

Rapporto sulla qualità dell'aria della Provincia di Ravenna

Anno 2016



Edizione Giugno 2017

Sezione Provinciale di Ravenna - Servizio Sistemi Ambientali

via Alberoni 17 - 48100 Ravenna - Tel 0544 – 210629- 30-31 – Fax 210650

Gli operatori di **ARPAE – Sezione di Ravenna** che hanno collaborato:

Gestione monitor e postazioni

Deborah Valbonetti
Lorenzo Bettini
Valter Gnani
Emilio Rambelli

Analisi di laboratorio

Ivan Scaroni
Monica Pagnani
Manuela Briccolani
Davide Panniello
Alberto Santolini
Davide Verna

Elaborazione dati

Patrizia Luciali
Elisa Pollini
Deborah Valbonetti

Redazione relazione

Patrizia Luciali
Elisa Pollini
Deborah Valbonetti

Dal 2005 la Rete Regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (RRQA) è certificata ISO 9001:2008 relativamente al processo di monitoraggio, acquisizione e validazione dati.



Si ringrazia per la collaborazione all'elaborazione dei dati ed alla redazione della relazione
il tirocinante in Scienze Ambientali Francesco Pezzi

INDICE

	<i>Pag.</i>
1 - IL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA DI QUALITÀ DELL'ARIA	1
1.1 Quadro normativo: limiti e valori di riferimento	1
1.2 Valori guida dell'OMS	4
1.3 Zonizzazione della Provincia di Ravenna	5
1.4 Limiti di quantificazione strumentali	6
2 – LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	7
2.1 Configurazione attuale della Rete	7
2.2 Riconfigurazione della Rete Regionale	9
2.3 Stazioni della Rete Regionale di Qualità dell'Aria di Ravenna	10
2.4 Stazioni della Rete Locale Industriale di Ravenna	12
3 - LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI RAVENNA	14
3.1 Gli indicatori meteorologici per lo studio della qualità dell'aria	14
3.2 Andamento meteorologico del 2016 nella Provincia di Ravenna	15
3.2.1 Temperatura	15
3.2.2 Precipitazioni	16
3.2.3 Intensità e direzione del vento	17
4 - VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLA PROVINCIA DI RAVENNA	20
4.1 Biossido di Zolfo SO ₂	20
4.2 Biossido di Azoto NO ₂ e Ossidi di Azoto NO _x	23
4.3 Monossido di Carbonio CO	31
4.4 Ozono	34

4.5 Benzene C₆H₆	42
4.6 Toluene C₇H₈ e Xileni C₈H₁₀	47
4.7 Particolato PM 10	51
4.8 Particolato PM 2,5	58
4.9 Analisi sul particolato	63
4.9.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	64
4.9.1.1 IPA nel PM2,5 e rapporto PM10/PM2,5	68
4.9.1.2 Rapporti diagnostici	70
4.9.2 Metalli	73
4.9.3 Diossine, Furani e Policlorobifenili	86
4.10 Deposizioni umide	93
4.10.1 Deposizioni umide di sostanze acidificanti	95
4.10.2 Deposizioni umide di sostanze eutrofizzanti	96

1 . IL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA DI QUALITÀ DELL'ARIA

1.1 – Quadro normativo: limiti e valori di riferimento

La normativa di riferimento in materia di qualità dell'aria è il D.Lgs del 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".

In aprile 2017 è stato emanato il decreto «Procedure di garanzia di qualità per verificare il rispetto della qualità delle misure dell'aria ambiente, effettuate nelle stazioni delle reti di misura» (G.U. del 26 aprile 2017, n. 96) che definisce le procedure di garanzia di qualità previste per verificare il rispetto della qualità delle misure dell'aria ambiente, ai sensi dell'art. 17, comma I, lettera a), D.Lgs. n. 155/2010, demandando all'Ispra l'adozione di apposite linee guida per individuare i criteri diretti a garantire l'applicazione di procedure su base omogenea in tutto il territorio nazionale.

Il decreto DL.vo n.155/2010, oltre ad introdurre strumenti per contrastare più efficacemente l'inquinamento atmosferico, fornire una metodologia di riferimento per la caratterizzazione delle zone (zonizzazione), definisce i valori di riferimento che permettono di valutare la qualità dell'aria, su base annuale, considerando le concentrazioni dei diversi inquinanti.

In particolare, i valori limite e di riferimento per i diversi inquinanti, sono:

<i>INQUINANTE</i>	<i>PERIODO DI MEDIAZIONE</i>	<i>VALORE LIMITE</i>	
Biossido di zolfo	Orario (non più di 24 volte all'anno)	350	µg/m ³
	Giornaliero (non più di 3 volte all'anno)	125	µg/m ³
Biossido di azoto	Orario (per non più di 18 volte all'anno)	200	µg/m ³
	Annuo	40	µg/m ³
Benzene	Annuo	5	µg/m ³
Monossido di carbonio	Media max giornaliera su 8 ore	10	mg/m ³
Particolato PM 10	Giornaliero (non più di 35 volte all'anno)	50	µg/m ³
	Annuo	40	µg/m ³
Particolato PM 2.5	Annuo al 2015	25	µg/m ³
Piombo	Anno	0.5	µg/m ³

Tabella 1.1 - Valori limite (VL): Livello che *non deve essere superato*

<i>INQUINANTE</i>	<i>PERIODO DI MEDIAZIONE</i>	<i>Livelli critici per la vegetazione</i>	
Biossido di zolfo	Annuale	20	µg/m ³
	Invernale (1 ott.- 31 mar.)	20	µg/m ³
Ossidi di azoto (NOx)	Annuo	30	µg/m ³

Tabella 1.2 - Livelli critici per la vegetazione: Livello oltre il quale possono sussistere rischi o danni per ecosistemi e vegetazione, non per gli esseri umani

<i>INQUINANTE</i>	<i>PERIODO DI MEDIAZIONE</i>	<i>Soglia di Allarme</i>	
Biossido di zolfo	Per 3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 km ²	500	µg/m ³
Biossido di azoto	Per 3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 km ²	400	µg/m ³

Tabella 1.3 - Soglie di allarme per biossido di zolfo e di azoto: Livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana, il cui raggiungimento *impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive*.

Anche l'ozono – inquinante secondario che si forma, attraverso reazioni fotochimiche, a partire da inquinanti precursori (principalmente ossidi di azoto e composti organici volatili) in presenza della luce del sole – ha effetti sulla salute dell'uomo e sulla vegetazione. Il Decreto mantiene in essere un sistema di sorveglianza dell'inquinamento da ozono su tutto il territorio nazionale, indicando *valori obiettivo, obiettivi a lungo termine, soglia di informazione e soglia di allarme* da perseguire secondo una tempistica stabilita (Tabelle 1.4 e 1.5).

<i>Valori obiettivo</i>			
<i>Finalità</i>	<i>Periodo di mediazione</i>	<i>Valore obiettivo (1.1.2010)</i>	<i>Data raggiungimento⁽²⁾</i>
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m ³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni	2013 (dati 2010 – 2012)
Protezione della vegetazione	AOT40 ⁽¹⁾ Calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	18000 µg/m ³ h come media su 5 anni	2015 (dati 2010 – 2014)
<i>Obiettivi a lungo termine</i>			
<i>Finalità</i>	<i>Periodo di mediazione</i>	<i>Obiettivo a lungo termine</i>	<i>Data raggiungimento⁽³⁾</i>
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m ³	Non definito)
Protezione della vegetazione	AOT40 ⁽¹⁾ Calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	6000 µg/m ³ h	Non definito

(1) AOT40 (espresso in µg/m³h) si intende la somma delle differenze tra le concentrazioni > 80 µg/m³ e 80 µg/m³ rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00 (ora dell'Europa centrale).
 (2) Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo
 (3) Data entro la quale deve essere raggiunto l'obiettivo a lungo termine

Tabella 1.4 – Valori obiettivo e obiettivi a lungo termine per l'ozono.

Valore Obiettivo: Livello da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita.

Obiettivo a lungo termine: Livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate

<i>Finalità</i>	<i>Periodo di mediazione</i>	<i>Soglia</i>
Informazione	1 ora	180 µg/m ³
Allarme	1 ora ⁽¹⁾	240 µg/m ³

(1) Per l'applicazione dell'art.10 comma 1, deve essere misurato o previsto un superamento per tre ore consecutive

Tabella 1.5 – Soglie di informazione e di allarme per l'ozono.

Soglia di Allarme: Livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive.

Soglia di Informazione: Livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana per alcuni gruppi sensibili, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive.

La registrazione del superamento della soglia di informazione o di allarme comporta l'obbligo, per la Regione (art.14 comma 1), di fornire al pubblico informazioni relativamente a:

- superamenti registrati (località, tipo di soglia superata, data, ora di inizio e durata del fenomeno, concentrazione oraria più elevata e concentrazione media più elevata sulle 8 ore);
- previsioni sull'evoluzione del fenomeno con l'indicazione dell'area geografica prevedibilmente interessata dai superamenti;
- informazioni sui settori colpiti della popolazione e sui possibili effetti sulla salute e sulla condotta raccomandata (informazione sui gruppi di popolazione a rischio; descrizione dei sintomi riscontrabili gruppi di popolazione a rischio; precauzioni che i gruppi interessati devono prendere; riferimenti per ottenere ulteriori informazioni);
- informazioni sulle azioni preventive per la riduzione dell'inquinamento e/o per la riduzione dell'esposizione all'inquinamento con l'indicazione dei principali settori cui si riferiscono le fonti e delle azioni raccomandate per la riduzione delle emissioni.

Per assolvere a tali obblighi nel periodo estivo viene pubblicato uno specifico "Bollettino regionale per l'Ozono", allo scopo di rendere tempestive le informazioni sui superamenti della soglia di informazione. Il bollettino è consultabile alla pagina <http://www.arpa.emr.it/qualita-aria/bollettino-ozono/>.

Sempre allo scopo di facilitare la diffusione e la lettura dei dati di Qualità dell'aria, Arpa pubblica sul proprio sito web quotidianamente:

- il Bollettino Regionale, cioè le concentrazioni misurate dalle stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria installate nel territorio provinciale (consultabile alla pagina: <http://www.arpa.emr.it/qualita-aria/bollettino-qa/>);
- le previsioni delle concentrazioni di PM10, PM2,5, Ozono e Biossido di Azoto su scala regionale. (*link*: http://www.arpa.emr.it/v2_aria.asp?idlivello=134&tema=previsioni)

Il Decreto fissa anche valori obiettivo (riportati in Tabella 1.6) per la concentrazione di arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene nell'aria ambiente per evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi di tali inquinanti sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso.

Il valore obiettivo del benzo(a)pirene (1,0 ng/m³) viene usato come *marker* per il rischio cancerogeno degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

<i>Inquinante</i>	<i>Parametro</i>	<i>Valori Obiettivo</i>
Arsenico	Tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile	6,0 ng/m ³
Cadmio		5,0 ng/m ³
Nichel		20,0 ng/m ³
Benzo(a)pirene		1,0 ng/m ³

Tabella 1.6 –Valori obiettivo per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene.

Valore Obiettivo: Livello da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita (31 dicembre 2012).

La norma suggerisce, in un numero limitato di stazioni, di effettuare, contestualmente al benzo(a)pirene, la misurazione delle concentrazioni nell'aria ambiente di altri 6 IPA: benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, indeno(1,2,3-

cd)pirene e dibenzo(a,h)antracene, al fine di verificare la costanza dei rapporti nel tempo e nello spazio tra il benzo(a)pirene e gli altri idrocarburi policiclici aromatici di rilevanza tossicologica.

L'Agenzia per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato, fino ad ora, 48 IPA; la classificazione di alcuni dei composti che più frequentemente si ritrovano nell'aria sono riportati in tabella 1.7, indicati in grigio quelli richiamati dal DLvo 155/2010.

Nome	Classificazione IARC	Nome	Classificazione IARC
benzo[a]pirene	1	dibenzo[a,h]acridine	2B
benzo[a]antracene	2A	dibenzo[a,i]pirene	2B
dibenzo[a,h]antracene	2A	benzo[g,h,i]perilene	3
benzo[b]fluorantene	2B	metilfenantrene	3
benzo[j]fluorantene	2B	crisene	3
benzo[k]fluorantene	2B	antracene	3
indeno[1,2,3-cd]pirene	2B	fluorene	3
5-metil-crisene	2B		

Nota : 1: Cancerogeno
2A: Probabile cancerogeno per l'uomo
2B: Possibile cancerogeno per l'uomo
3: Non classificabile come cancerogeno per l'uomo

Tabella 1.7 – Cancerogenicità dei principali IPA.

1.2 - Valori guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)

Nel 2005 l'OMS ha aggiornato le linee guida per la qualità dell'aria in riferimento a: particolato (PM10 e PM2.5), ozono, biossido di azoto e biossido di zolfo. Le linee guida (edizione 2000 e 2005) riportano **valori guida**, cioè concentrazioni in aria di inquinanti, associate a tempi di esposizione, al di sotto delle quali non sono attesi effetti avversi per la salute, secondo le evidenze scientifiche disponibili.

Sostanza	Valore guida	Tempo di mediazione
OMS – valori guida 2005		
NO ₂	40 µg/m ³	annuale
	200 µg/m ³	1 ora
SO ₂	20 µg/m ³	24 ore
	500 µg/m ³	10 min
O ₃	100 µg/m ³	8 ore
PM ₁₀	20 µg/m ³	annuale
	50 µg/m ³	24 ore
PM _{2.5}	10 µg/m ³	annuale
	25 µg/m ³	24 ore
OMS – valori guida 2000		
CO	100 mg/m ³	15 min
	60 mg/m ³	30 min
	30 mg/m ³	1 ora
	10 mg/m ³	8 ore
Toluene	260 µg/m ³	Media settimanale
Xileni	4800 µg/m ³	Media su 24 ore

Tabella 1.8 - Valori guida della qualità dell'aria indicati dall'OMS (edizione 2000 e 2005)

(http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf)

Sempre l'OMS, per alcuni inquinanti atmosferici ad azione cancerogena (Tabella 1.9), fornisce invece un calcolo di *indice di rischio unitario* per la popolazione, associato alla loro presenza nell'aria. La stima dell'incremento di *rischio unitario (U.R.)* è intesa come il rischio addizionale di tumore che può verificarsi in una ipotetica popolazione nella quale tutti gli individui siano continuamente esposti, dalla nascita e per tutto l'intero tempo di vita, ad una concentrazione dell'agente di rischio nell'aria che essi respirano pari ad $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sostanza	Rischio unitario Indice di rischio/tempo di vita ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹
BENZENE	6×10^{-6}
IPA (BaP)	8.7×10^{-2}
NICHEL	3.8×10^{-4}
ARSENICO	1.5×10^{-3}
CROMO esavalente	$(1.1 \div 13) \times 10^{-2}$

Tabella 1.9 Indice di rischio unitario (OMS)

1.3 - Zonizzazione della Regione Emilia Romagna e della Provincia di Ravenna

A norma del DL.vo 155/2010 la Regione Emilia Romagna ha effettuato la zonizzazione del proprio territorio in aree omogenee ai fini della valutazione della qualità dell'aria ([Delibera della Giunta regionale del 27/12/2011, n. 2001](#)), prevedendo la suddivisione del territorio in un agglomerato (Bologna) ed in tre zone omogenee: la zona "Appennino", la zona "Pianura Ovest" e la zona "Pianura Est" (Fig.1).

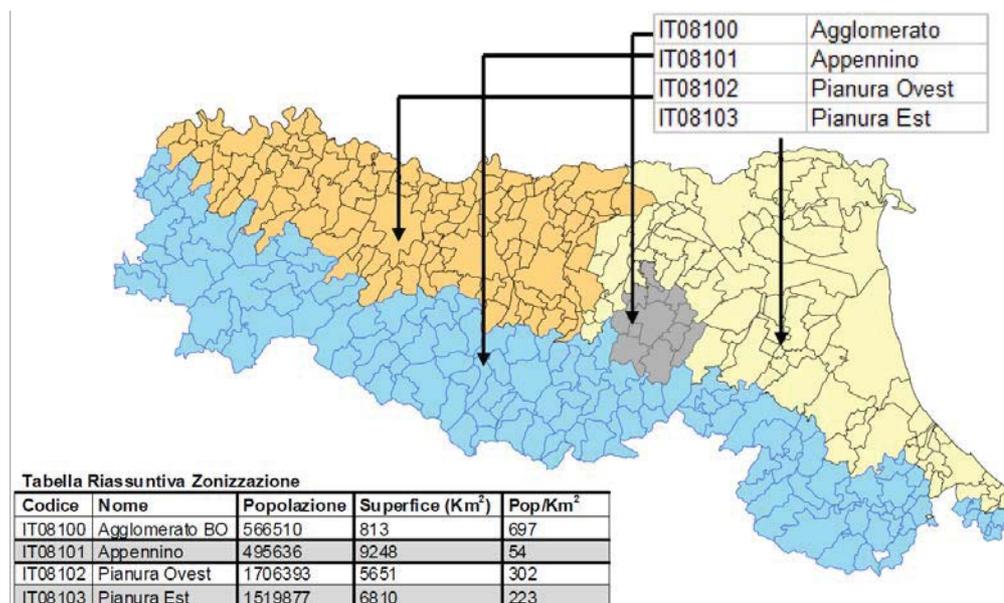


Figura 1.1 – Zonizzazione regionale (DLgs 155/2010 e DGR 2001/2011)

Il territorio della provincia di Ravenna risulta in parte nella zona “Appennino” ed in parte nella zona “Pianura Est”:

ZONA Pianura EST	Alfonsine, Bagnacavallo, Bagnara di Romagna, Castel Bolognese, Cervia, Conselice, Cotignola, Faenza, Fusignano, Lugo, Massa Lombarda, Ravenna, Russi, Sant'Agata sul Santerno, Solarolo
ZONA Appennino	Brisighella, Casola Val Senio, Riolo Terme

Tabella 1.7 – Zonizzazione per la Provincia di Ravenna (DLgs 155/2010 e DGR 2001/2011)

La Regione ha quindi il compito di effettuare la *valutazione della qualità dell'aria ambiente* (DLvo 155/10 art. 5, Allegato II, Appendice II e Appendice III) e predispone un *piano di qualità dell'aria* con le misure necessarie che, agendo sulle principali sorgenti di emissione che hanno influenza sulla aree di superamento, permettano di raggiungere i valori limite nei termini prescritti.

L'Emilia Romagna, con Delibera di Giunta n. 1180 del 21 luglio 2014, ha adottato la Proposta di Piano Aria Integrato Regionale (PAIR 2020), approvato dalla Assemblea legislativa dell'Emilia-Romagna in aprile 2017.

1.4 – Limiti di quantificazione strumentali (LdQ)

Il limite di quantificazione è la concentrazione minima alla quale la misura strumentale quantitativa è fornita con ragionevole certezza statistica (predefinita).

I limiti di quantificazione degli analizzatori automatici in uso nella Rete Regionale di Qualità dell'aria sono:

<i>Inquinante</i>	<i>Limite di quantificazione L.Q.</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Espressione utilizzata in caso di valore inferiore a LQ</i>
NO₂	12	µg/m ³	<12
SO₂	14	µg/m ³	<14
O₃	10	µg/m ³	<10
PM₁₀	5	µg/m ³	<5
PM_{2.5}	5	µg/m ³	<5
CO	0,6	mg/m ³	<0,6
Benzene	0,5	µg/m ³	<0,5

2. LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

2.1 - Configurazione attuale della Rete

La Regione Emilia Romagna ha iniziato nel 2005 una prima modifica della struttura della Rete Regionale di monitoraggio della Qualità dell'Aria (RRQA), terminata nella Provincia di Ravenna nel 2009. A questa è seguita una seconda revisione – conclusasi a dicembre 2012 e quindi operativa dal 2013 – per rendere conforme la rete ai nuovi requisiti normativi nazionali e regionali (DLgs 155/2010 e DGR 2001/2011).

I punti di campionamento individuati sono finalizzati alla verifica del rispetto dei limiti:

- per la protezione della salute umana (*stazioni di Traffico Urbano, Fondo Urbano, Fondo Urbano Residenziale, Fondo Sub Urbano*) e
- per la protezione degli ecosistemi e/o della vegetazione (*Fondo rurale e Fondo remoto*).

A Ravenna sono presenti anche due stazioni di monitoraggio Locali - Rocca Brancaleone e Porto San Vitale – che hanno lo scopo di controllare e verificare gli impatti riconducibili prevalentemente all'area industriale/portuale. La cartina di Figura 2.1 fornisce un'indicazione della distribuzione spaziale delle stazioni all'interno del territorio provinciale, mentre la configurazione della rete e la relativa dotazione strumentale è riportata in Tabella 2.1.

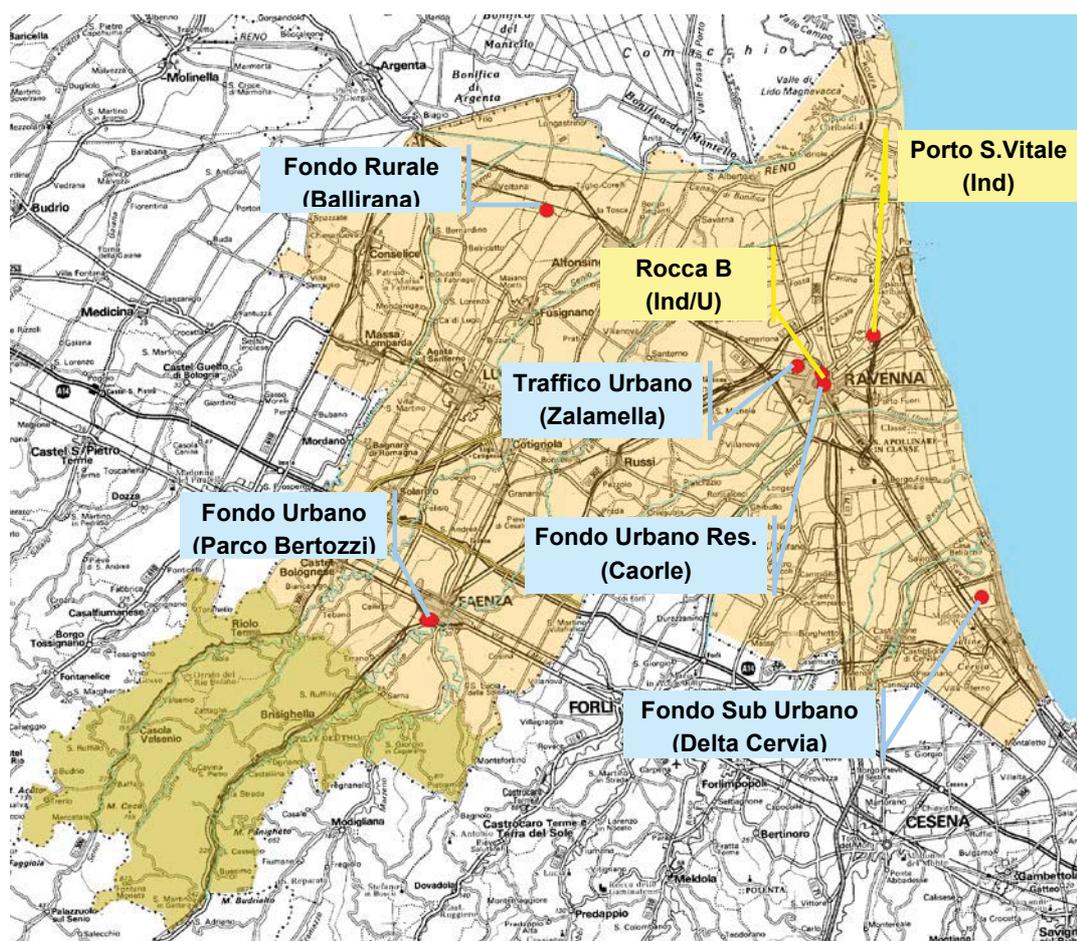


Figura 2.1 - Ravenna - Distribuzione spaziale delle stazioni di rilevamento della qualità dell'aria

Nella rete afferente alla provincia di Ravenna le stazioni sono tutte collocate in ZONA PIANURA EST, mentre la ZONA APPENNINO - in cui non si prevedono superamenti degli standard di qualità dell'aria e il monitoraggio è finalizzato alla verifica del mantenimento delle condizioni ambientali in essere - viene monitorata con la vicina stazione di Savignano di Rigo a Sogliano al Rubicone (fondo remoto) appartenente alla rete della provincia Forlì-Cesena e con rilevazioni periodiche effettuate con il laboratorio mobile.

Zona	Comune	Stazione	Tipo	Zona + Tipo	Inquinanti misurati							
					PM10	PM2.5	NOx	CO	BTX	SO2	O3	
	Alfonsine	Ballirana		FRu								
	Cervia	Delta Cervia		FSubU								
	Faenza	Parco Bertozzii		FU								
	Ravenna	Caorle		FU-Res								
	Ravenna	Zalamella		TU								
	Ravenna	Rocca Brancaleone		Ind-U								
	Ravenna	Porto San Vitale		Ind								

Legenda

Classificazione Zona	
	Urbana
	Suburbana
	Rurale

Classificazione Stazione	
	Traffico
	Fondo
	Industriale

Zona + tipo Stazione		
		Fondo Rurale FRu
		Fondo Sub Urbano FsubU
		Fondo Urbano FU
		Traffico Urbano TU
		Indust. Urbana Ind-U
		Industriale Ind

Tabella 2.1 – Configurazione della RRQA di Ravenna al 31/12/2014

Sempre a Ravenna, in prossimità della zona industriale, sono presenti sei stazioni fisse gestite dalla Società RSI per conto di un consorzio a cui partecipano numerose industrie del polo industriale. I dati rilevati dalla rete privata sono inviati al centro di calcolo della Sezione Arpa di Ravenna, ma la gestione e la validazione dei dati è effettuata dal gestore.

In tabella 2.2 è riportata la dotazione strumentale della rete privata:

Stazione	Nox	O3	SO2	PM10	PM 2.5
Germani	X		X	X	X
Marani	X		X	X	
AGIP 29				X	X
Marina di Ravenna	X	X			
Zorabini	X	X	X		
Sant'Alberto	X				

Tabella 2.2 - Dotazione strumentale (inquinanti monitorati) nelle stazioni della rete privata (2016)

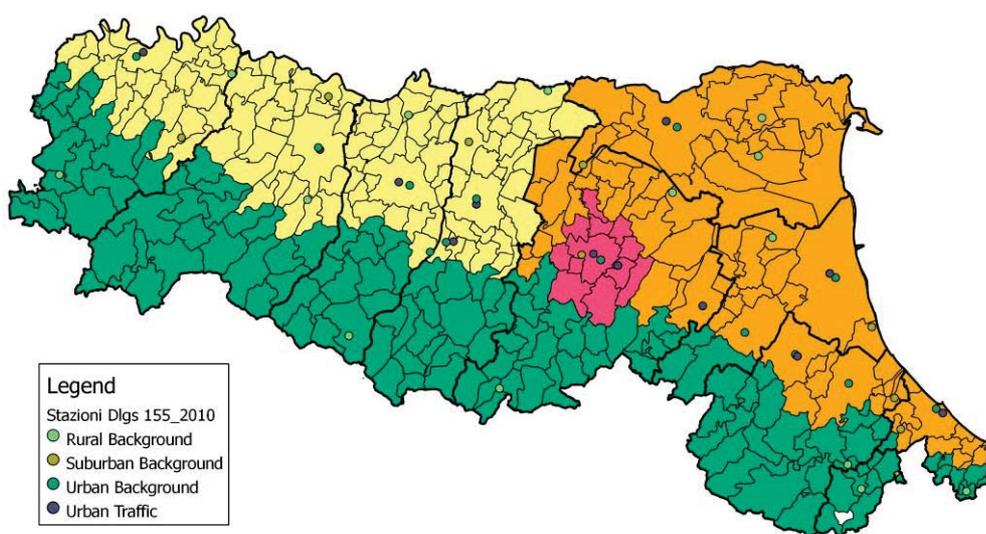
Nei capitoli successivi sono riportate le elaborazioni statistiche dei dati rilevati dalla rete pubblica.

2.2 – Riconfigurazione della Rete Regionale

Come richiamato nella parte normativa, a fine 2011 è stata deliberata una nuova zonizzazione regionale. La diversa suddivisione del territorio regionale in zone omogenee dal punto di vista della qualità dell'aria, ha richiesto anche un nuovo assetto della rete regionale di controllo della qualità dell'aria. A tal fine è stato predisposto un Programma di Valutazione (inviato ed approvato dal Ministero) che individuava - a livello regionale - le stazioni della rete da utilizzare per la valutazione degli standard di qualità dell'aria previsti dal Decreto, Programma attuato nel biennio 2012 – 2013. L'analisi della rete esistente ed il suo aggiornamento ai sensi del DLgs n. 155/2010 è stata effettuata considerando i seguenti criteri normativi:

1. Limitare al minimo le porzioni di territorio completamente prive di punti misura, compatibilmente con i criteri del D.Lgs. 155/2010, pur cercando di contenere al massimo il numero di stazioni utilizzate, al fine di non perdere informazioni importanti circa il territorio monitorato.
2. Privilegiare le stazioni attive da più tempo senza compromettere l'efficacia delle stazioni di nuova locazione.
3. Mantenere la configurazione delle stazioni da traffico presenti in quanto già essenziali per la valutazione della componente di maggior peso nell'inquinamento regionale.
4. Privilegiare le stazioni che misurano più inquinanti con particolare attenzione alla misura del PM2.5
5. Privilegiare le stazioni in grado di misurare, accanto alla massa complessiva, anche la composizione chimica e granulometrica del particolato.
6. Mantenere tutte le stazioni necessarie per garantire le prestazioni dei modelli previsionali e di analisi del territorio a supporto delle valutazioni e della gestione della qualità dell'aria sul territorio della Regione Emilia-Romagna.
7. Rispettare i requisiti minimi di valutazione mediante stazioni fisse previsti nel DLgs n. 155/2010 in relazione alla nuova zonizzazione.

La declinazione dei punti sopra riportati, congiuntamente ai contenuti della norma, ha portato ad una prima ridefinizione della rete regionale composta da 47 stazioni di misura (Fig.2.2), rispetto alle 63 precedentemente in funzione, con possibili margini di ottimizzazione.



**Figura 2.2 -
Dislocazione delle
stazioni nella rete
regionale**

(DLgs 155/2010 e
DGR 2001/2011)

2.3 – Stazioni della Rete Regionale di Qualità dell'Aria (RRQA) di Ravenna

Si riportano le schede, con la documentazione fotografica e la localizzazione, delle stazioni di monitoraggio della rete pubblica nella configurazione 2014.

Stazione: <i>Ballirana (Alfonsine)</i>	Zona : <i>Agglomerato Pianura Est</i>
	
Tipo Stazione: Fondo Rurale	Coordinate geografiche:
Inquinanti: $PM_{2,5}$ - NO_x - O_3	UTM32 X: 736992 Y: 934882

Stazione: <i>Delta Cervia (Cervia)</i>	Zona : <i>Agglomerato Pianura Est</i>
	
Tipo Stazione: Fondo SubUrbano	Coordinate geografiche:
Inquinanti: PM_{10} - NO_x - O_3	UTM32 X: 765899 Y: 908893

Stazione: **Zalamella (Ravenna)**

Zona : **Agglomerato Pianura Est**



Tipo Stazione: **Traffico Urbano**

Coordinate geografiche:

Inquinanti: **PM₁₀ - NO_x - CO - BTX**

UTM32: X: 753646 Y: 924418

Stazione: **Caorle (Ravenna)**

Zona : **Agglomerato Pianura Est**



Tipo Stazione: **Fondo Urbano Residenz.**

Coordinate geografiche:

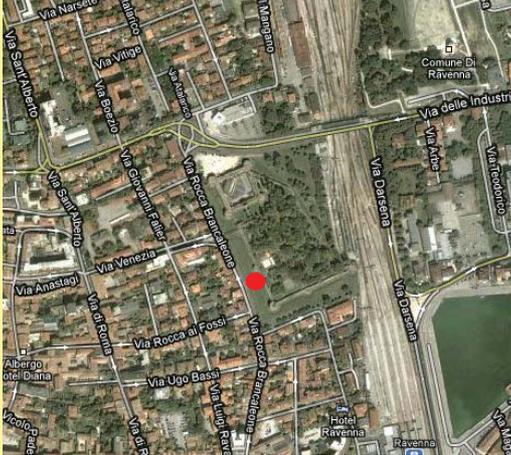
Inquinanti: **PM₁₀ PM_{2,5}- NO_x - O₃ - SO₂**

UTM32: X: 756779 Y: 923593

<p>Stazione: <i>Parco Bertozzi (Faenza)</i></p>	<p>Zona : <i>Agglomerato Pianura Est</i></p>
	
<p>Tipo Stazione: Fondo Urbano</p>	<p>Coordinate geografiche:</p>
<p>Inquinanti: PM₁₀ – PM_{2.5} – NO_x – O₃</p>	<p>UTM32 X: 729277 Y: 9007702</p>

Nel dicembre del 2015 (18 dicembre) la stazione di fondo urbano “Parco Bucci” è stata spostata a a “Parco Bertozzi” per ripristinare le condizioni di rappresentatività come Stazione di Fondo Urbano.

2.4 – Stazioni della Rete Locale industriale di Ravenna

<p>Stazione:<i>Rocca Brancaleone (Ravenna)</i></p>	<p>Stazione locale industriale</p>
	
<p>Tipo Stazione: Industriale / Urbana</p>	<p>Coordinate geografiche:</p>
<p>Inquinanti: PM₁₀ - NO_x - SO₂- CO - O₃</p>	<p>UTM32 X: 755267 Y: 923906</p>

Stazione: Porto San Vitale (Ravenna)



Tipo Stazione: Industriale

Inquinanti: PM₁₀ – PM_{2,5} - NO_x - SO₂- CO - O₃ - BTX

Stazione locale industriale



Coordinate geografiche:

UTM32

X: 758889

Y: 926401

Dal 2014 il monitoraggio della qualità dell'aria nell'area portuale viene effettuato utilizzando la nuova stazione locale denominata "Porto San Vitale". Dotata di strumenti in grado di misurare tutti gli inquinanti previsti dall'attuale normativa, è situata a circa 200 metri dalla postazione "SAPIR" che, dopo 23 anni di onorato servizio, nel 2014 è stata dimessa.

3 - LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI RAVENNA

3.1 - Gli indicatori meteorologici per lo studio della qualità dell'aria

L'atmosfera rappresenta l'ambiente dove gli inquinanti, immessi da varie sorgenti, si diffondono, vengono dispersi e subiscono trasformazioni del loro stato fisico e chimico.

Le condizioni meteorologiche interagiscono, quindi, in vari modi con i processi di formazione, dispersione, trasporto e deposizione degli inquinanti ed alcuni indicatori meteorologici possono essere posti in relazione con tali processi.

- La **temperatura dell'aria**: ad elevate temperature sono, in genere, associati elevati valori di ozono, mentre basse temperature, durante il periodo invernale, sono spesso correlate a condizioni di inversione termica che tendono a confinare gli inquinanti in prossimità della superficie e quindi a fare aumentare le concentrazioni misurate.
- Le **precipitazioni e la nebbia** influenzano la deposizione e la rimozione umida di inquinanti. L'assenza di precipitazioni e di nubi riduce la capacità dell'atmosfera di rimuovere, attraverso i processi di deposizione umida e di dilavamento, gli inquinanti, in particolare le particelle fini.
- **L'intensità del vento** influenza il trasporto e la diffusione degli inquinanti; elevate velocità del vento tendono a favorire la dispersione degli inquinanti immessi vicino alla superficie.
- La **direzione del vento** influenza in modo diretto la dispersione degli inquinanti.

Gli indicatori che regolano il grado di rimescolamento - e quindi di diluizione dell'inquinante emesso - sono le **condizioni di stabilità dell'atmosfera** e l'**altezza dello strato di rimescolamento**

Altro indicatore - la **diffusività atmosferica** - esprime la capacità dell'atmosfera di disperdere - o di accumulare - gli inquinanti emessi dalle attività umane, e viene descritta da: altezza di rimescolamento, velocità di attrito, classe di stabilità dello strato limite.

Tali dati, che provengono dal dataset LAMA e coprono tutta l'Italia con una risoluzione di 7km, sono reperibili alla pagina http://www.arpa.emr.it/sim/?qualita_aria/turbolenza.

Di seguito si riportano le elaborazioni, relative alla Provincia di Ravenna, effettuate utilizzando i dati di tre stazioni meteorologiche rappresentative del territorio provinciale: una stazione in area urbana (Ravenna), una in area collinare (Brisighella) ed infine una nell'entroterra faentino (Granarolo Faentino) (Fig.3.1).

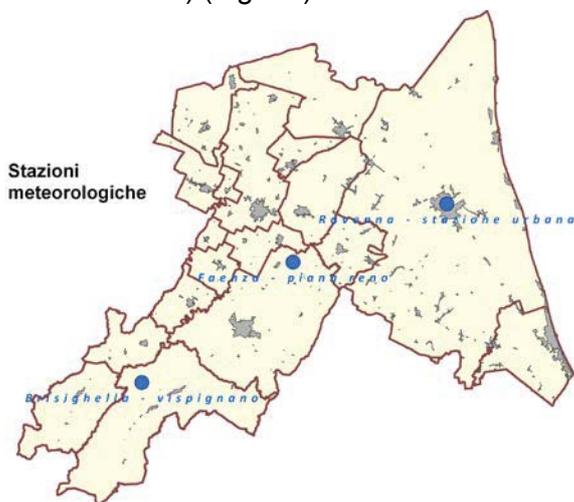


Figura 3.1 - Dislocazione delle stazioni meteorologiche

3.2 - Andamento meteorologico del 2016 nella Provincia di Ravenna

3.2.1 – Temperatura

In figura 3.2 sono riportate le temperature medie, minime e massime mensili per l'anno 2016 misurate nelle tre stazioni.

Gli andamenti mensili delle temperature rilevate risultano molto simili e non ci sono variazioni rilevanti fra le diverse zone per le temperature medie. Variazioni lievemente più marcate si rilevano fra le temperature minime e massime nell'entroterra rispetto alla stazione di Ravenna, che risente maggiormente della vicinanza al mare.

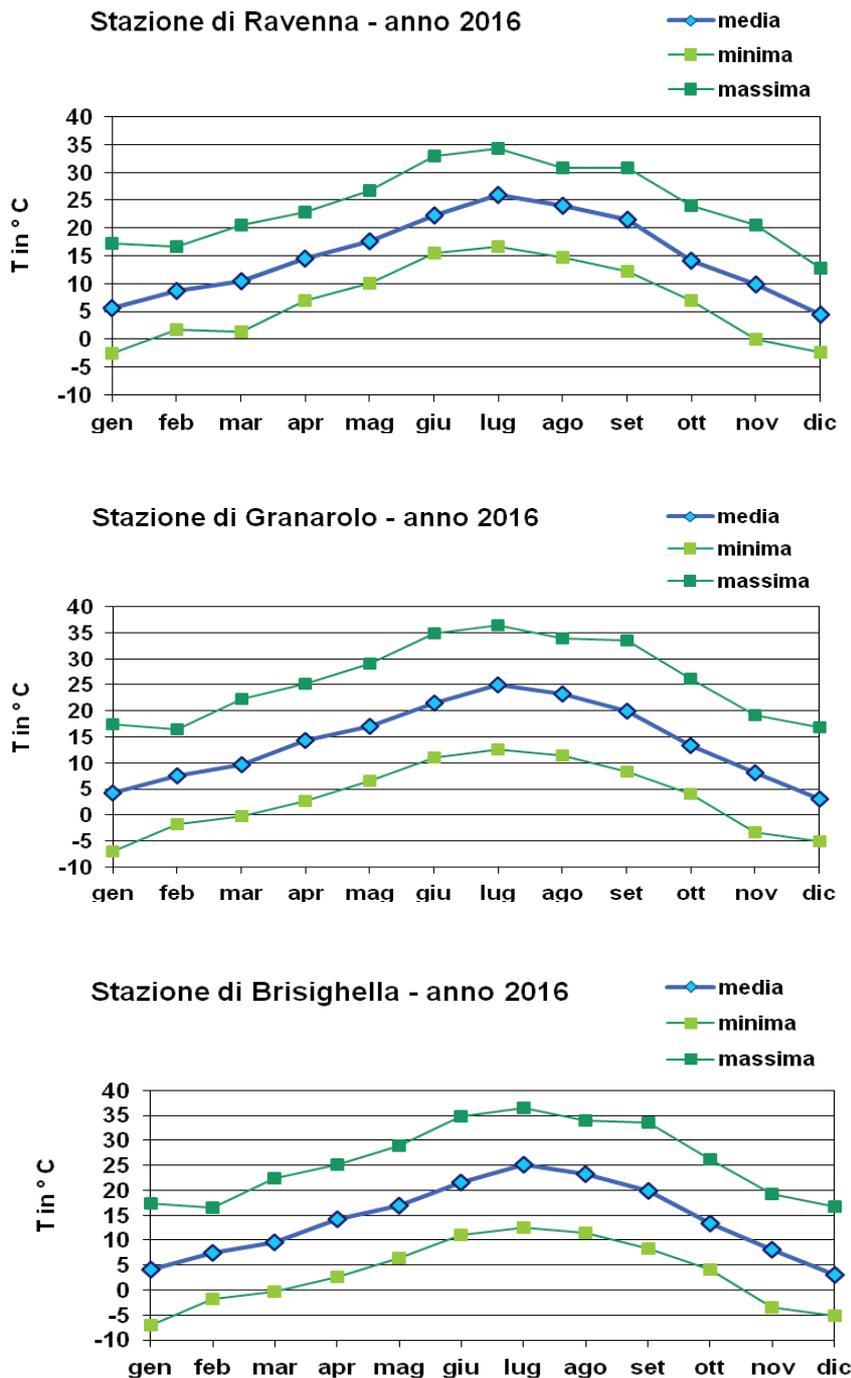


Figura 3.2
Medie, minimi e massimi mensili delle temperature – Anno 2016

3.2.2 – Precipitazioni

In figura 3.3 sono rappresentate la precipitazione cumulata mensile ed il numero di giorni con precipitazione superiore a 0.3 mm nelle tre stazioni meteorologiche e presso la stazione della qualità dell'aria di Porto San Vitale, all'interno dell'area portuale di Ravenna (attivata a metà del 2013 per sostituire la stazione Sapir), in cui vengono rilevati anche alcuni parametri meteorologici. La scelta di fissare come soglia di significatività della precipitazione cumulata giornaliera 0.3 mm è da ricondurre alla definizione di "giorno critico per l'accumulo di PM₁₀" elaborata dal SIMC. Sono stabilite come "favorevoli all'accumulo di PM₁₀" le giornate con precipitazione inferiore a 0.3 mm e con indice di ventilazione (inteso come prodotto dell'altezza di rimescolamento media giornaliera e dell'intensità media giornaliera del vento) inferiore a 800 m²/sec.

Gli andamenti delle precipitazioni, seppure simili, si differenziano nelle diverse aree provinciali, anche se in tre delle quattro le stazioni considerate il mese più piovoso è stato febbraio, mentre luglio è stato nel complesso il più secco, con un minimo di precipitazione cumulata.

A Porto San Vitale si sono misurate precipitazioni cumulate significativamente inferiori rispetto alle altre stazioni.

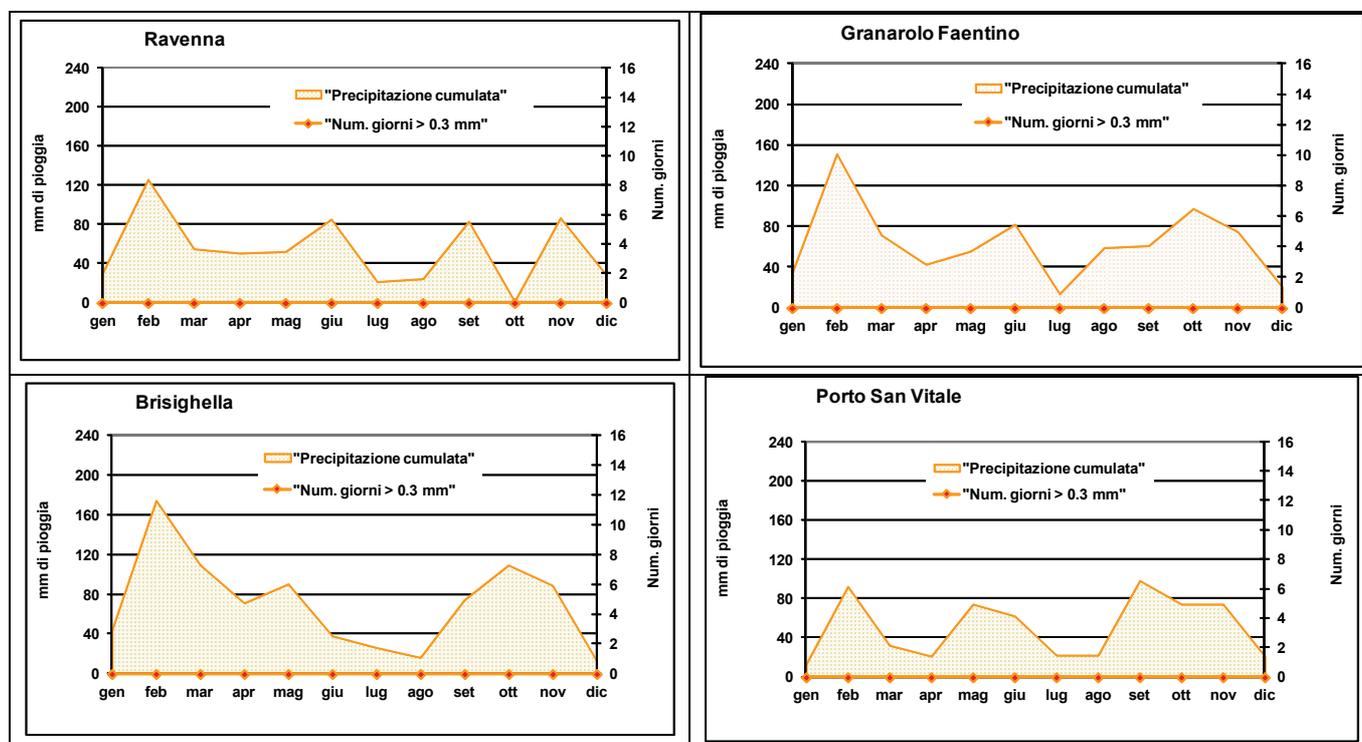


Figura 3.3
Precipitazione cumulata mensile e numero di giorni con precipitazione superiore a 0.3 mm – Anno 2016

3.2.3 – Intensità e direzione del vento

A causa di un malfunzionamento della stazione meteorologica urbana di Ravenna (Piazza Caduti) – gestita dal Servizio IdroMeteoClima - la maggior parte dei dati del 2016 non sono attendibili. La rosa dei venti del 2016 è stata allora calcolata utilizzando i dati di direzione e velocità del vento forniti dal modello LAMA (figura 3.4) in corrispondenza dell'area urbana di Ravenna.

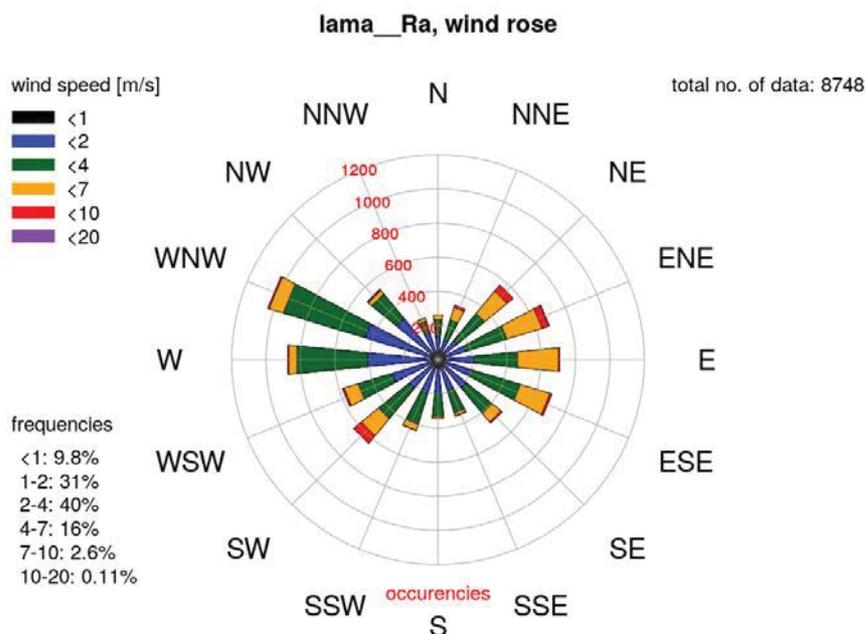


Figura 3.4
Rosa dei venti – modello LAMA – Anno 2016
 (in asse sono riportati le frequenze percentuali)

In figura 3.5 sono rappresentate le direzioni prevalenti dei venti stagionali, sempre stimate dal modello LAMA. A Ravenna, nella stagione invernale ed autunnale, prevalgono i venti occidentali mentre, nella stagione estiva, risulta evidente l'influenza delle brezze di mare con direzione E-SE. La primavera è la stagione in cui, in generale, si rileva la maggiore variabilità.

In figura 3.6 sono invece confrontate le rose dei venti dei tre anni precedenti (2013 – 2015) calcolate dai dati del modello LAMA (a sinistra) e dai dati della stazione di Ravenna (colonna a destra).

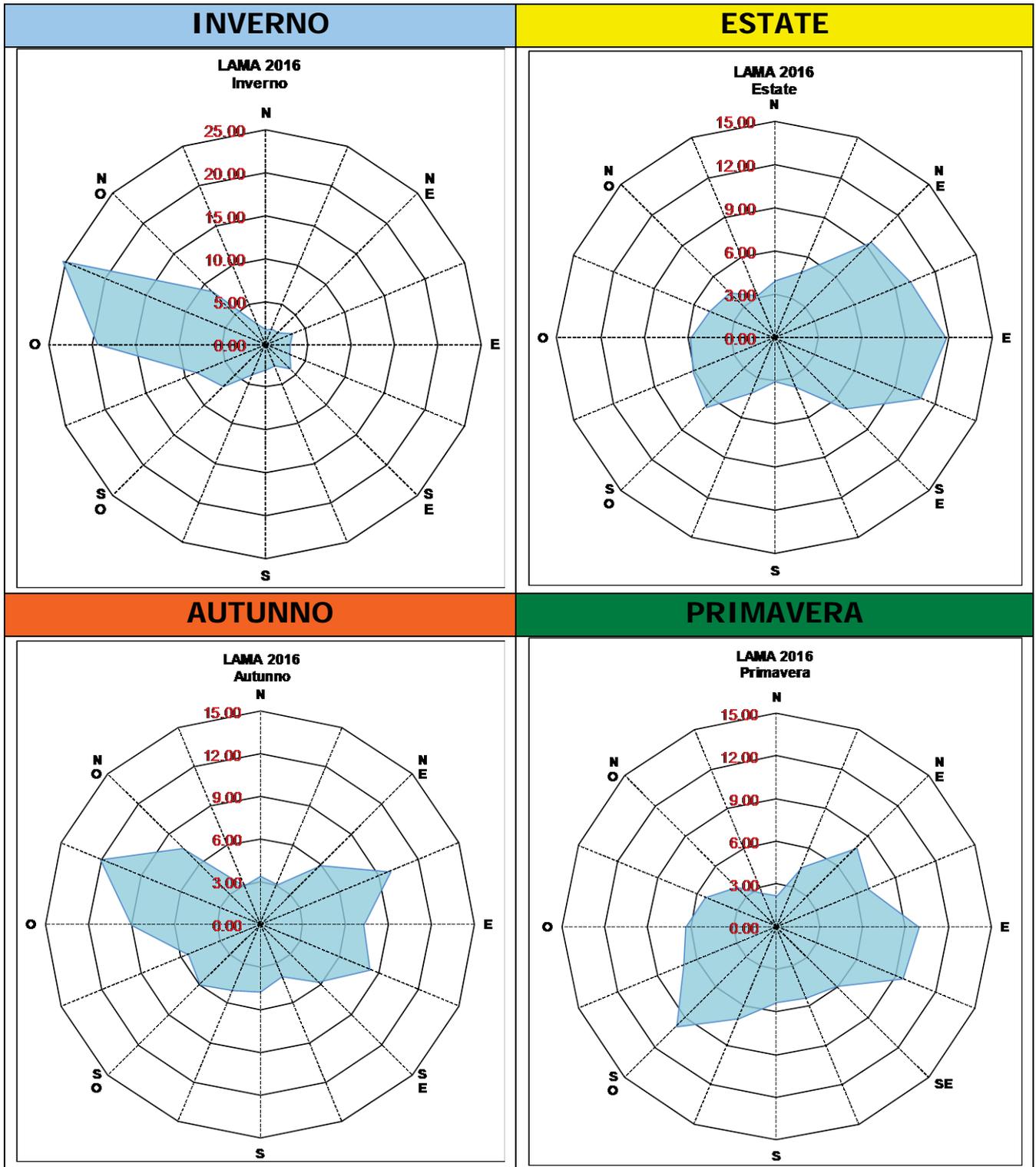


Figura 3.5 –Rose del vento stagionali calcolate sul modello LAMA - anno 2016
In asse sono riportate le frequenze percentuali.

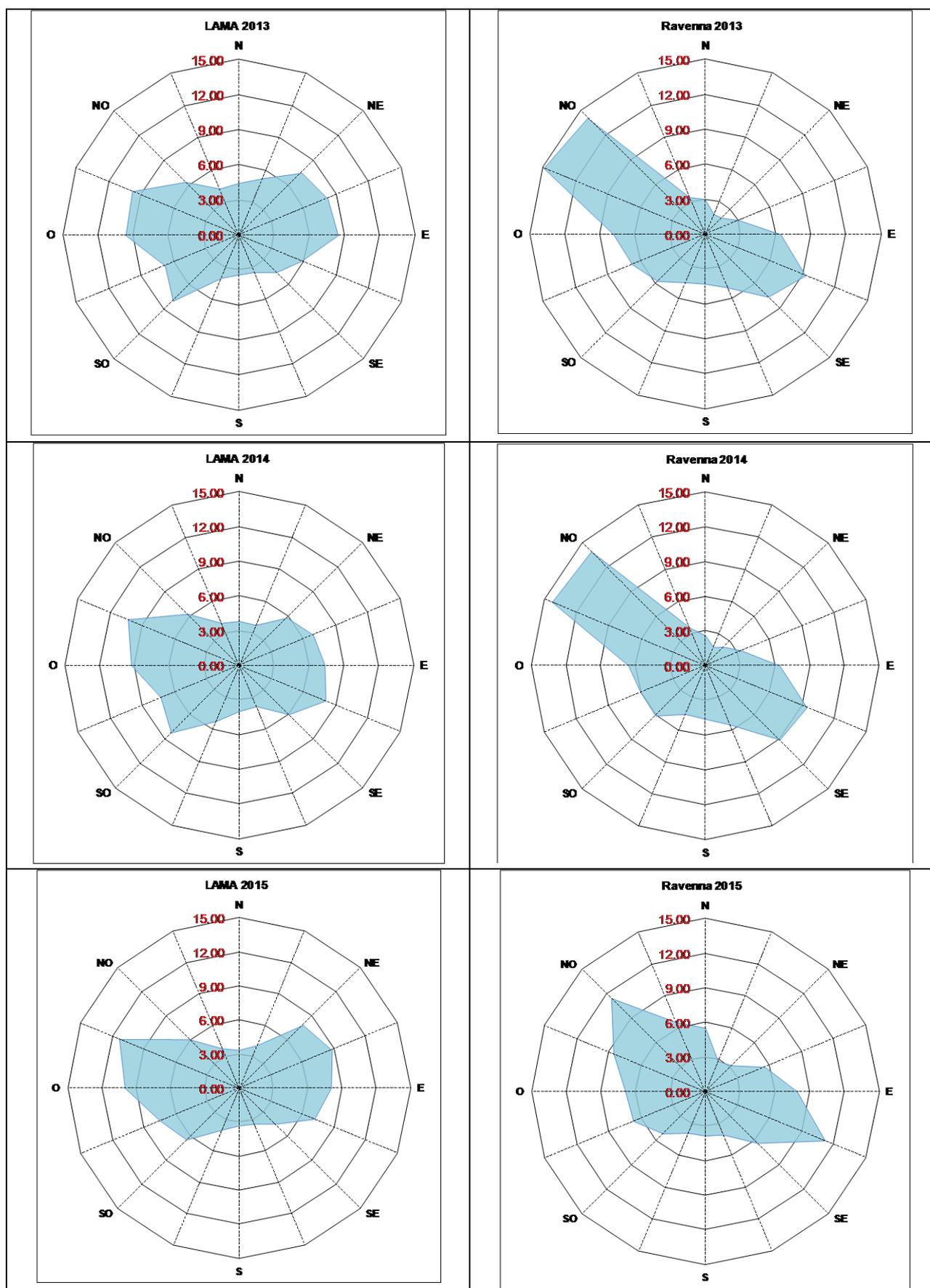


Figura 3.6 –Rose del vento annuali calcolate sul modello LAMA e sui dati della stazione di Ravenna (anni 2013, 2014, 2015)
In asse sono riportate le frequenze percentuali

4 - VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLA PROVINCIA DI RAVENNA

4.1 Biossido di Zolfo SO₂

Il biossido di zolfo è il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono. Nell'atmosfera l'anidride solforosa (SO₂) è ossidata ad anidride solforica (SO₃).

E' un gas incolore, dall'odore acre e pungente, irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie.

In atmosfera, attraverso le reazioni con l'ossigeno e l'acqua, contribuisce alla formazione della piogge acide provocando effetti tossici sui vegetali, acidificazione dei corpi idrici ed effetti corrosivi su materiali da costruzione, in particolare sui monumenti. Le emissioni antropiche derivano prevalentemente dall'utilizzo di combustibili solidi e liquidi contenenti zolfo, ad esempio gasolio, nafta, carbone, legna e altro. Fino a qualche decennio fa anche a livello locale la misura di SO₂ costituiva il principale indicatore dell'inquinamento di origine antropica.

Negli ultimi anni le concentrazioni sono notevolmente diminuite e spesso risultano inferiori al limite di quantificazione strumentale.

Indicatore	Copertura temporale	Stato attuale indicatore	Trend
Concentrazione in aria di biossido di Zolfo (SO ₂)	2006 - 2016		

Valutazione in sintesi

Il biossido di zolfo è misurato nelle stazioni di controllo della qualità dell'aria di Caorle, Rocca Brancaleone e Porto San Vitale, dislocate a Ravenna, dove è presente un importante polo industriale con numerose potenziali fonti di emissione di tale inquinante.

Le concentrazioni rilevate nel 2016, così come da diversi anni, sono contenute e meno del 2% dei dati supera il limite di quantificazione strumentale (pari a 14 µg/m³), livelli notevolmente inferiori rispetto a quelli previsti dalla normativa. Il rispetto dei limiti non rappresenta pertanto un problema e già da numerosi anni (1999) non si verificano superamenti.

Anche il valore più restrittivo previsto dalla normativa per questo inquinante¹ non è stato raggiunto in nessuna postazione almeno da dodici anni.

¹ **Livello critico invernale per la protezione della vegetazione:** è calcolato come media dei dati orari rilevati dal 1° ottobre al 31 marzo e non deve superare i 20 µg/m³

SO₂ [L.Q. = 14 µg/m ³]				Concentrazioni in µg/m³		Limiti normativi			
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	20 µg/m ³		<i>Max 24</i>	<i>Max 3</i>
						<i>Media anno</i>	<i>Media inverno</i>	<i>N° Sup. 350 µg/m³ orari</i>	<i>N° Sup. 125 µg/m³ gg</i>
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	98	< 14	28	< 14	< 14	0	0
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	96	< 14	53	< 14	< 14	0	0
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	98	< 14	72	< 14	< 14	0	0

Tabella 4.1 – SO₂: Parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme (concentrazioni espresse in µg/m³)

L'andamento delle concentrazioni dal 2006 al 2016, riportato in Tabella 4.2 e nelle Figure 4.1 e 4.2, conferma i valori contenuti sopracitati (inferiori al limite di quantificazione della strumentazione fissato a 14 µg/m³).

Tabella 4.2 - Andamento temporale di SO₂ dal 2006 al 2016 (concentrazioni espresse in µg/m³)

Stazione: Caorle

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media annuale	-	-	-	5	5	3	3	5	4	4	2
Media inverno	-	-	-	8	3	3	5	3	5	2	2
50°Percentile	-	-	-	4	4	3	3	5	3	4	1
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	8	9	8
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	12
98°Percentile	-	-	-	12	12	7	8	11	13	11	19
Max	-	-	-	46	61	44	37	40	45	44	28
> 350 µg/m³	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	-	-	-	91	99	99	97	99	97	95	98

Stazione: Rocca Brancaleone

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	4	4	2	2	3	4	4	6	6	5	2
Media inverno	-	2	2	2	4	5	6	7	7	5	3
50°Percentile	2	1	1	1	3	4	3	6	5	4	0
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	7
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	11	13	9
98°Percentile	24	23	10	8	8	11	12	13	13	16	11
Max	105	55	53	32	36	60	41	43	74	32	53
> 350 µg/m³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	98	96	99	91	98	98	98	99	95	94	96

Stazione: SAPIR (fino al 2013) e Porto San Vitale (dal 2014)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	12	8	6	10	7	7	4	4	5	5	4
Media inverno	-	-	-	9	6	9	5	6	6	4	6
50°Percentile	7	4	3	7	4	3	3	3	4	4	3
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	8
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	12	11	12
98°Percentile	56	49	38	42	32	40	25	22	19	15	19
Max	169	190	135	177	93	183	180	63	111	61	72
> 350 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	99	95	95	99	99	98	94	93	93	96	98

SO₂ - Massimo orario nell'anno - Area urbana e industriale

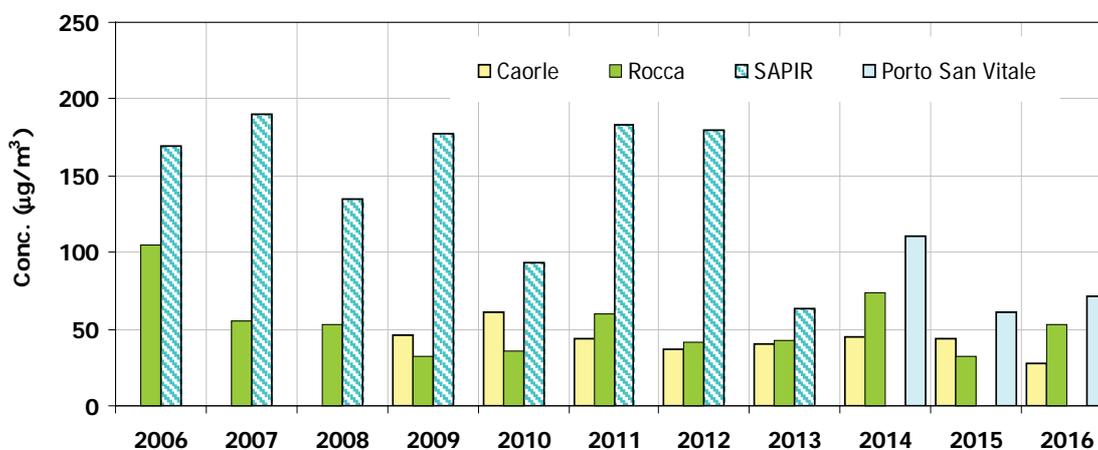


Figura 4.1 - Massimo orario - Area urbana e industriale di Ravenna

SO₂ - 98° perc. - Area urbana e industriale

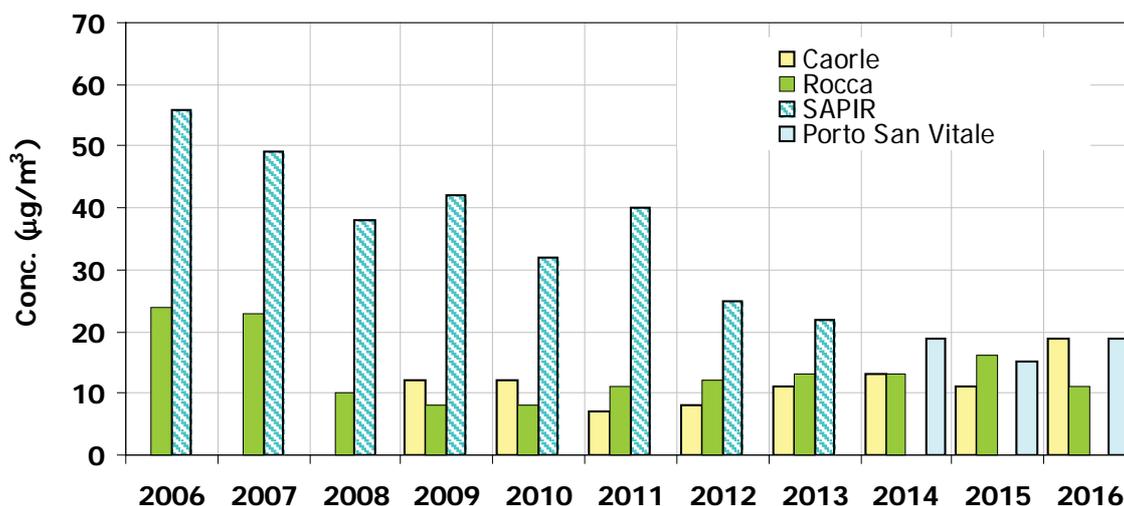


Figura 4.2 - 98° percentile medie orarie - Area urbana e industriale di Ravenna

4.2 Biossido di Azoto NO₂ e Ossidi di Azoto NO_x

Con il termine ossidi di azoto (NO_x) viene indicato genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico: il monossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO₂). Il primo è un gas inodore e incolore che costituisce la componente principale delle emissioni di ossidi di azoto nell'aria e viene gradualmente ossidato a NO₂, gas di colore rosso-bruno, caratterizzato da un odore acre e pungente. Il biossido di azoto (NO₂) viene normalmente generato a seguito di processi di combustione ad elevata temperatura: le principali sorgenti emissive sono il traffico veicolare, gli impianti di riscaldamento ed alcuni processi industriali; è per lo più un inquinante secondario, che svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico e delle piogge acide, ed è tra i precursori di alcune frazioni significative di particolato.

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione in aria di biossido di azoto (NO ₂)	2006 – 2016		
Superamenti dei limiti di legge per il biossido di azoto (NO ₂)	2006 - 2016		

Valutazione in sintesi

Il valore limite di 40 µg/m³ della media annuale del biossido di azoto è rispettato in tutte le stazioni della Provincia dal 2010, con un trend in diminuzione a partire dal 2007, che manifesta una certa tendenza alla stabilità dal 2010.

I valori più alti sono stati rilevati nella stazione da traffico (Zalamella).

Nonostante nella Provincia di Ravenna i limiti per il biossido di azoto siano rispettati già da qualche anno, è indispensabile mantenere alto il controllo su questo inquinante, sia per le interazioni esistenti tra NO_x, Particolato e O₃, sia per le criticità riscontrate a livello regionale (prevalentemente legate alle concentrazioni medie annuali piuttosto che ad episodi acuti²).

² intendendosi con “**episodi acuti**” eventi intensi ma di breve durata, con medie orarie elevate, maggiori del limite di 200 µg/m³

NO₂ [L.Q. = 12 µg/m ³]				Concentrazioni in µg/m³		Limiti Normativi		Riferimenti OMS
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	40 µg/m ³	Max 18	200 µg/m ³
						<i>Media anno</i>	<i>N° Sup. 200 µg/m³ orari</i>	<i>Max orario</i>
Ballirana	Alfonsine	Fondo Rurale	98	< 12	70	14	0	70
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	97	< 12	71	15	0	71
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	95	< 12	92	18	0	92
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	98	< 12	85	20	0	85
Zalamella	Ravenna	Traffico	96	< 12	133	33	0	133
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	94	< 12	101	24	0	101
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	99	< 12	118	27	0	118

 Tabella 4.3 – NO₂: Parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme

I limiti di lungo e di breve periodo del biossido di azoto nel 2016 sono rispettati in tutte le stazioni. La media annuale più elevata (33 µg/m³) è stata rilevata nella stazione di traffico (Zalamella) dove si è misurato anche il massimo orario più alto (133 µg/m³ il 18 gennaio 2016 alle ore 20). Nel grafico di Figura 4.3 sono rappresentate le concentrazioni medie annue di NO₂ confrontate con il valore limite (linea rossa): dal 2007 si ha una riduzione della media annuale e negli anni successivi (a partire dal 2010) le concentrazioni tendono a stabilizzarsi su valori sempre inferiori al limite anche nelle stazioni industriali (Sapir / Porto San Vitale). La media delle concentrazioni misurate nel 2016, pur essendo inferiore rispetto a quella del 2015 (questa leggera differenza è da imputare alla variabilità delle condizioni meteorologiche sopracitata), conferma il trend che tende alla stabilità dei valori.

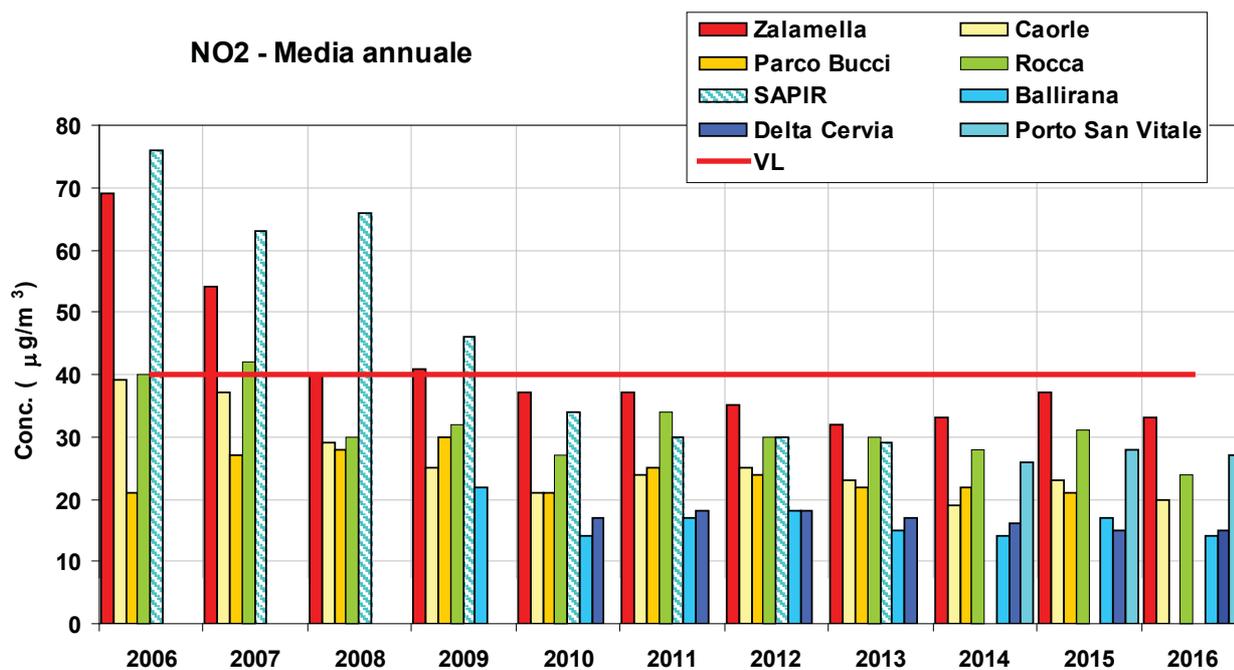


Figura 4.3 – Medie annuali - Area urbana e industriale di Ravenna

Nelle figure 4.4 e 4.5 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2016 per le stazioni in area urbana e industriale (fig.4.4) e per le stazioni di fondo sub urbano e rurale (fig.4.5).

L'andamento è simile: le concentrazioni più alte si registrano nei mesi invernali mentre, in generale, i valori assoluti delle stazioni di fondo sono più contenuti.

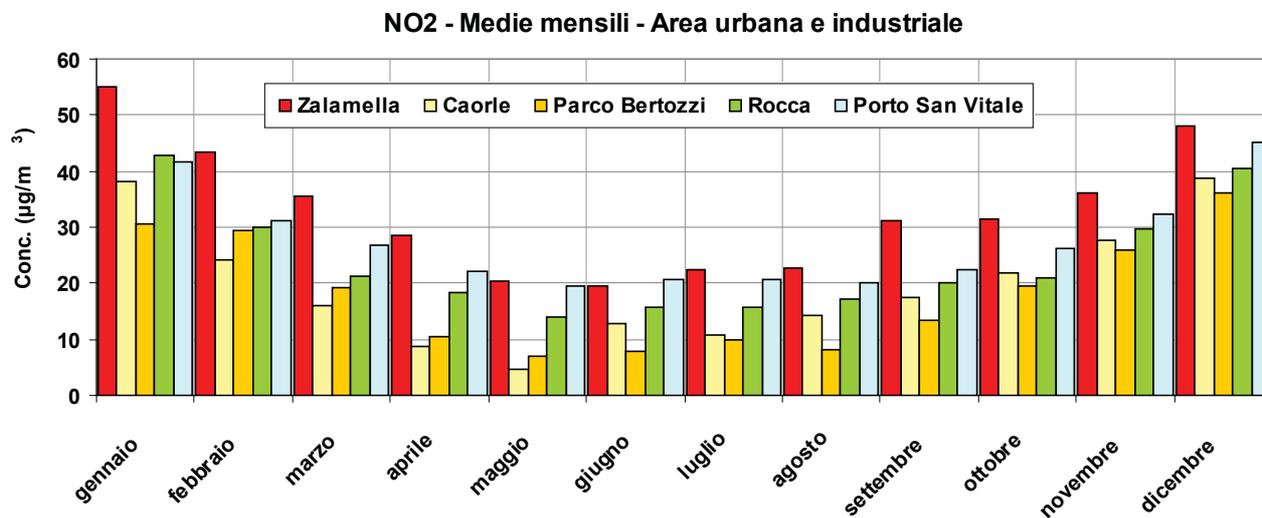


Figura 4.4 Medie Mensili - Area urbana e Industriale

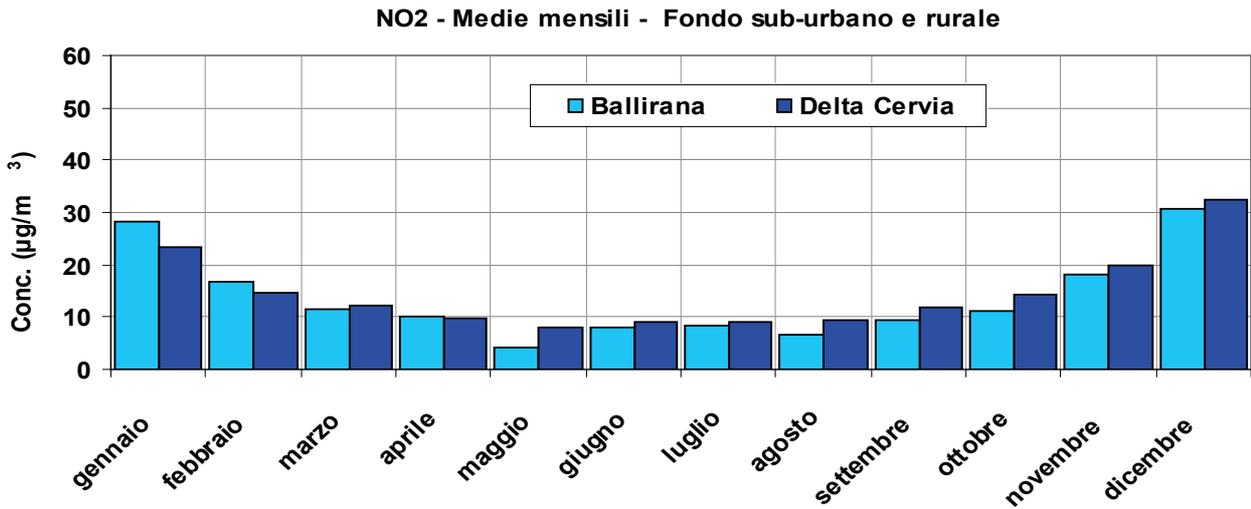
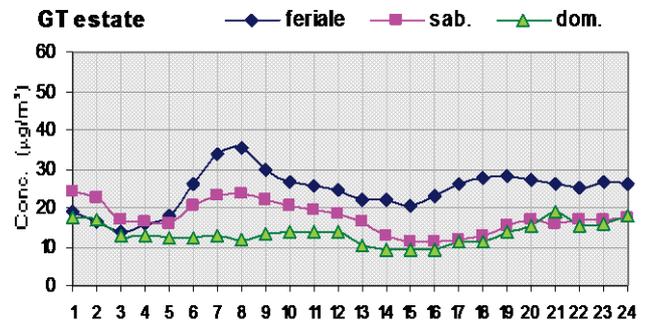
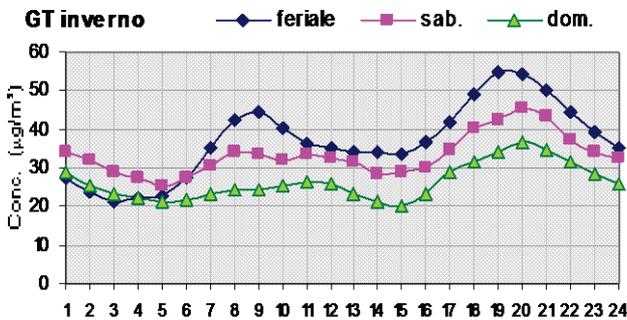
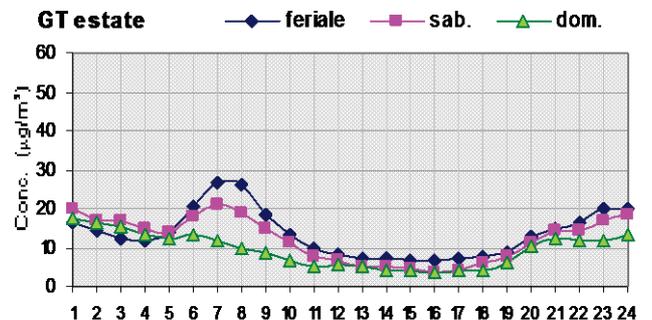
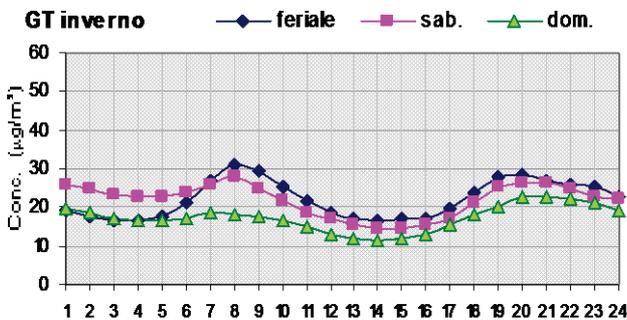


Figura 4.5 Medie Mensili – Fondo Sub-urbano e Rurale

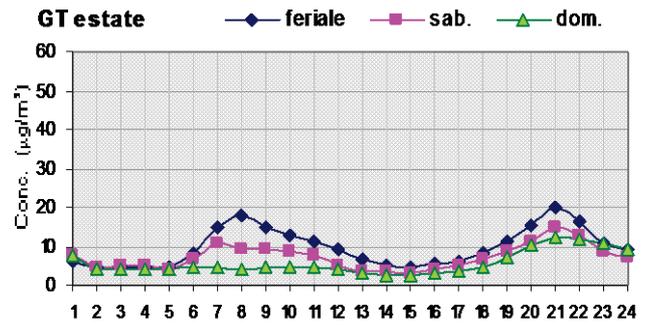
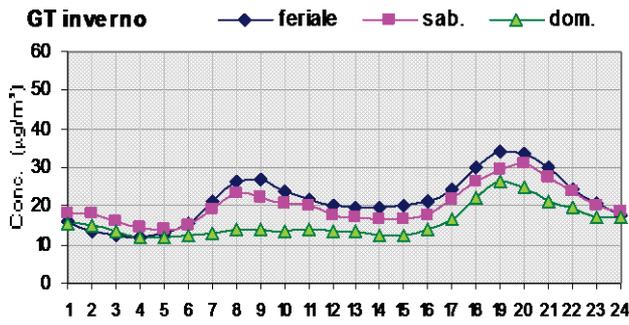
Per visualizzare l'andamento giornaliero di un inquinante si può far ricorso al grafico del «giorno tipico». Il giorno tipico si calcola effettuando la media dei dati rilevati alla stessa ora del giorno in un periodo di riferimento, questo per tutte le 24 ore di una giornata: rappresenta quindi un ipotetico giorno "medio" che permette di evidenziare situazioni ricorrenti e minimizzare le fluttuazioni casuali. I grafici che seguono (Figura 4.6) sono relativi al giorno tipico (GT) dell'NO₂ del semestre estivo e del semestre invernale. Il GT è stato inoltre calcolato differenziando i giorni feriali, prefestivi e festivi.



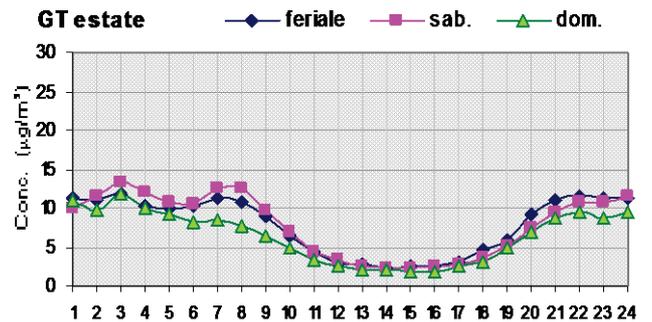
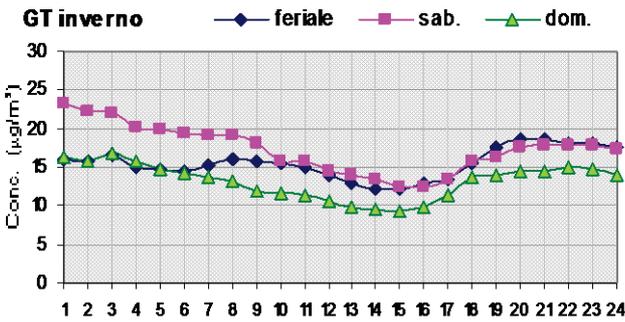
Zalamella – Traffico Urbano(TU) – Area urbana



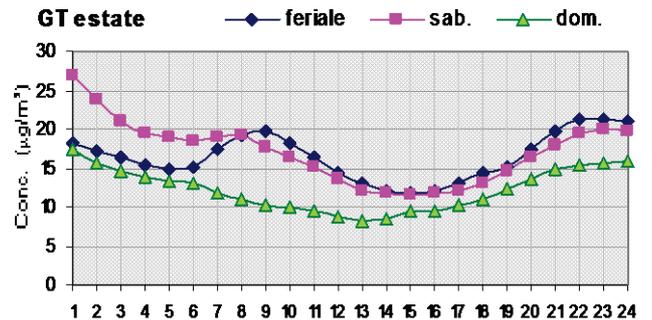
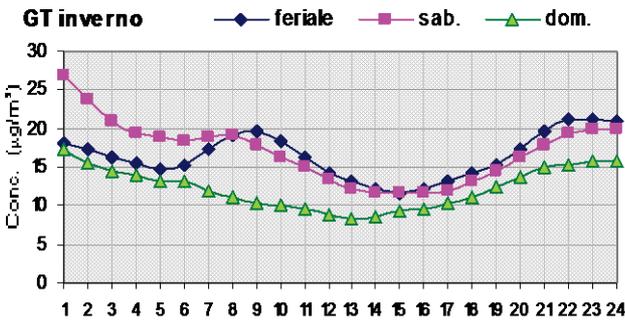
Caorle – Fondo Urbano Residenziale(FU-Res) – Area urbana



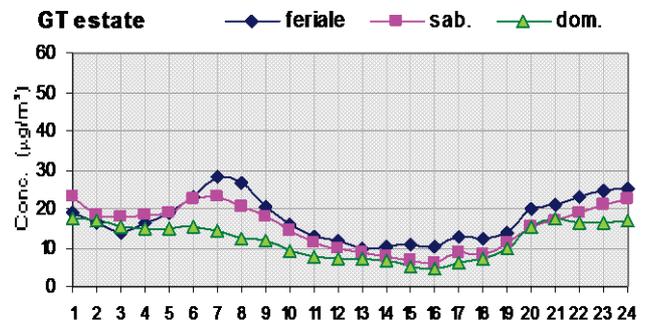
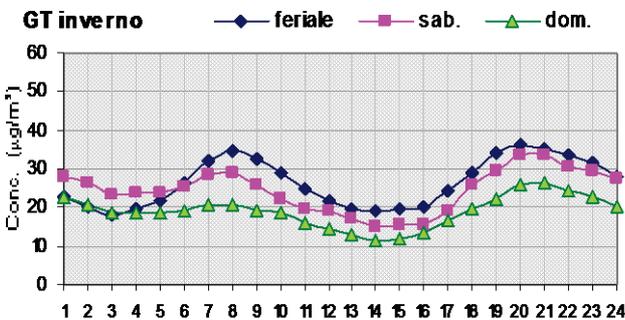
Parco Bertozzi – Fondo Urbano (FU) – Area urbana



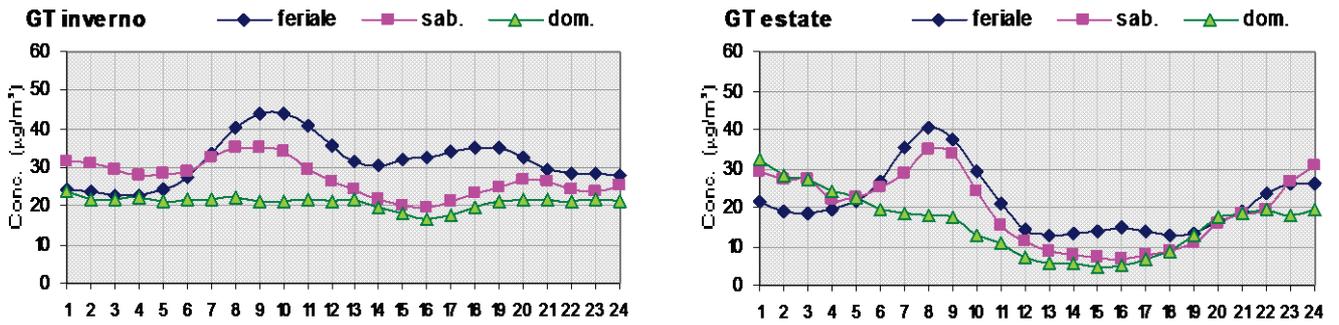
Ballirana – Fondo Rurale(FU-R)



Delta Cervia – Fondo SubUrbano(FSub-U)



Rocca Brancaleone – LOCALE - Industriale Urbana (Ind/U) – Area urbana



Porto San Vitale – LOCALE - Industriale (Ind) – Area industriale

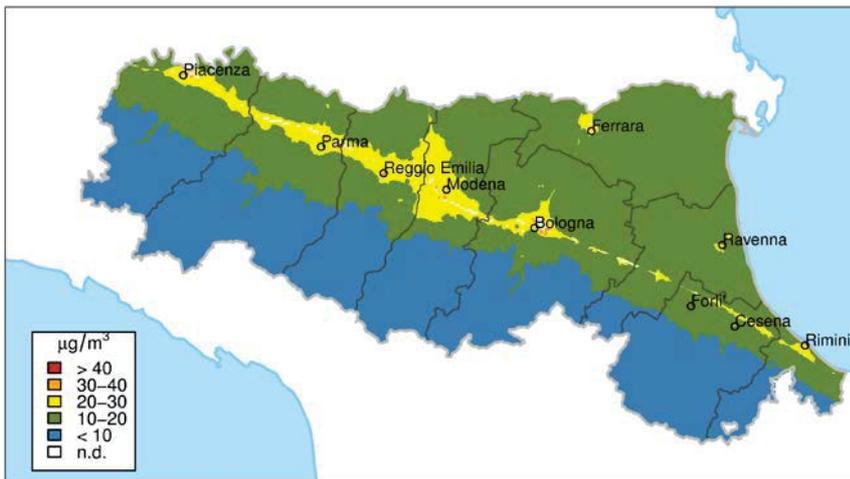
Figura 4.6 – Biossido di azoto - giorni tipici – stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria

Per fornire un adeguato livello di informazione circa la qualità dell'aria ambiente, il D.Lgs. 155/2010 indica la possibilità/opportunità di integrare le misurazioni effettuate in siti fissi con tecniche di modellizzazione. A partire dai primi mesi del 2010, ARPAE ha implementato un nuovo servizio che – a livello regionale – effettua stime sullo stato della qualità dell'aria sull'intero territorio regionale, anche nelle in cui non sono presenti stazioni fisse di monitoraggio.

A tale scopo i dati delle stazioni di monitoraggio vengono integrati con i modelli della catena NINFA+PESCO. Il risultato porta a mappe (con risoluzione di 1km) che forniscono la stima delle “concentrazioni di fondo” dei principali inquinanti (NO₂, PM10, PM2.5 e O₃), dove con concentrazioni di fondo si intendono quelle misurabili lontano da fonti dirette di emissione.

Di seguito, nella Mappa 4.1, viene riportata la mappa regionale della concentrazione di fondo di NO₂ stimata per l'anno 2016.

NO₂ di fondo
media annua (µg/m³)
anno: 2016



Mappa 4.1 – Concentrazione di fondo - media annuale (espressa in µg/m³) di NO₂ – 2016

Infine, in Tabella 4.4, sono riportati alcuni parametri statistici (espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) relativi alle concentrazioni orarie rilevate dal 2006 al 2016:

Tabella 4.4 - Andamento temporale di NO_2 dal 2006 al 2016 (concentrazioni espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Zalamella

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	69	54	40	41	37	37	35	32	33	37	33
50°Percentile	64	49	37	38	33	35	31	29	31	33	30
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	55	65	58
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	66	78	70
98°Percentile	163	132	95	96	88	94	94	84	79	96	84
Max	281	255	158	182	151	166	182	161	171	144	133
> 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	54	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	100	96	99	100	99	99	98	97	100	99	96

Stazione: Caorle

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	39	37	29	25	21	24	25	23	19	23	20
50°Percentile	35	34	24	22	17	20	19	17	15	17	16
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	41	49	43
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	47	58	50
98°Percentile	98	87	81	67	63	64	76	65	55	68	58
Max	161	170	156	96	99	104	166	136	120	99	85
> 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	99	95	96	92	96	98	98	99	95	94	98

Stazione: Parco Bucci (fino al 2015) e Parco Bertozzi (dal 2016)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	21	27	28	29	21	25	24	22	22	21	18
50°Percentile	16	22	23	22	15	20	19	17	19	16	13
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	42	44	40
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	48	52	48
98°Percentile	65	72	77	82	68	66	75	63	54	62	56
Max	113	108	143	132	127	111	157	98	100	96	92
> 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	84	96	98	100	99	100	98	99	88	86	95

Stazione: Ballirana

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	22	14	17	18	15	14	17	14
50°Percentile	-	-	-	19	10	12	13	11	12	15	10
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	28	34	31
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	33	39	39
98°Percentile	-	-	-	62	51	54	65	50	37	45	44
Max	-	-	-	139	96	85	117	92	58	74	70
> 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	-	-	-	92	95	99	98	96	95	90	98

Stazione: Delta Cervia

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	17	18	18	17	16	15	15
50°Percentile	-	-	-	-	14	15	15	13	13	12	12
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	36	36	32
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	42	42	39
98°Percentile	-	-	-	-	54	50	59	52	48	48	46
Max	-	-	-	-	102	73	109	92	73	72	71
> 200 µg/m³	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	-	-	-	-	94	97	99	93	92	94	97

Stazione: Rocca Brancaleone

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	40	42	30	32	27	34	30	30	28	31	24
50°Percentile	36	38	27	29	24	30	25	27	25	27	20
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	49	59	46
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	57	66	55
98°Percentile	93	105	76	78	76	86	83	71	71	74	64
Max	172	190	146	118	129	194	153	130	149	110	101
> 200 µg/m³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	100	95	96	97	94	98	98	99	93	98	94

Stazione: SAPIR(fino al 2013) e Porto San Vitale (dal 2014)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	76	63	66	46	34	30	30	29	26	28	27
50°Percentile	66	59	64	43	33	28	27	26	25	26	26
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	45	51	51
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	51	58	57
98°Percentile	209	155	158	117	79	72	80	70	57	67	64
Max	403	265	255	188	143	151	137	130	98	106	118
> 200 µg/m³	220	26	24	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	98	99	99	91	96	97	95	93	94	96	99

Per gli ossidi di azoto (NO_x) la normativa fornisce un valore limite annuale per la protezione della vegetazione pari a 30 µg/m³ (somma di monossido e biossido di azoto calcolata in ppm ed espressa come biossido di azoto) e dà indicazioni circa il posizionamento delle stazioni in cui verificare il rispetto del limite. In particolare i punti di campionamento destinati alla protezione degli ecosistemi o della vegetazione dovrebbero essere ubicati a più di 20 km dagli agglomerati o a più di 5 km da aree edificate diverse dagli agglomerati o da impianti industriali e da autostrade.

Nella RRQA della provincia di Ravenna la stazione che soddisfa questi criteri è Ballirana, in cui la concentrazione media annuale misurata per il 2016 risulta inferiore al limite per la protezione della vegetazione (Tabella 4.5).

NO_x	Riferimenti normativi	Ballirana
D.Lgs. 155/2010	Protezione della vegetazione Media annuale	30 µg/m ³
		28 µg/m ³

Tabella 4.5 - NO_x: media annuale 2016

4.3 Monossido di Carbonio CO

Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore e inodore generato dalla combustione incompleta delle sostanze contenenti carbonio, in condizioni di difetto di aria, cioè quando il quantitativo di ossigeno non è sufficiente ad ossidare in modo completo le sostanze organiche.

La principale sorgente è il traffico veicolare. Le concentrazioni di CO emesse dai veicoli sono correlate alle condizioni di funzionamento del motore e i picchi più elevati si registrano durante le fasi di decelerazione e con motore al minimo. La continua evoluzione tecnologica ha permesso negli ultimi anni una consistente riduzione di questo inquinante.

Indicatore	Copertura temporale	Stato attuale indicatore	Trend
Concentrazione in aria di monossido di carbonio (CO)	2006 - 2016		

Valutazione in sintesi

I valori di monossido di carbonio mostrano una continua diminuzione, in particolare a partire dal 2007, e il valore limite per la protezione della salute umana è ampiamente rispettato in tutte le stazioni della Provincia di Ravenna già da molti anni. In considerazione di questa situazione, l'attuale configurazione della Rete Regionale prevede la misura del monossido di carbonio nella sola postazione di traffico urbano (dove potenzialmente la concentrazione di tale inquinante è più elevata): nel caso della rete regionale di Ravenna a Zalamella.

A Ravenna viene misurato anche nella stazione locale di Rocca Brancaleone (industriale/urbana) e, dal 2014, in quella Locale Industriale di Porto San Vitale.

CO [L.Q. = 0,6 mg/m ³]				Concentrazioni in mg/m³			Limiti Normativi	Riferimenti OMS	
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	Media	Media Max 8 ore	Media Max 1 ora	Media Max 8 ore
							10 mg/m ³	30 mg/m ³	10 mg/m ³
Zalamella	Ravenna	Traffico	100	< 0,6	3,1	0,5	0,7	3,1	0,7
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	100	< 0,6	2,1	0,4	0,6	2,1	0,6
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	99	< 0,6	3,2	0,3	0,4	3,2	0,4

Tabella 4.6 – CO: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme

Il valore limite per la protezione della salute umana indicato dal D.Lgs. 155/2010 - media massima giornaliera su otto ore pari a 10 mg/m^3 - non è mai stato superato ed il parametro è sempre stato inferiore a 1 mg/m^3 (1/10 del limite) in tutte le postazioni, inoltre più dell'85% dei dati non ha superato il limite di quantificazione strumentale ($0,6 \text{ mg/m}^3$). Analizzando il trend degli ultimi anni (Tabella. 4.7) i valori risultano molto bassi e decisamente inferiori al limite di legge. Tale andamento, ormai consolidato, fa dedurre che anche nei prossimi anni per questo inquinante non ci saranno problemi circa il rispetto del limite previsto dalla normativa.

In figura 4.7 si riportano i giorni tipici feriali, prefestivi e festivi, suddivisi in due periodi: invernale (gennaio-marzo e ottobre-dicembre) ed estivo (aprile-settembre). Le concentrazioni sono più alte nel periodo invernale, ma restano sempre molto contenute e nella maggioranza dei casi inferiori al limite di quantificazione strumentale. Nel grafico della stazione di Zalamella, nel periodo invernale si intravedono due “picchi”: uno intorno alle 8 e l'altro intorno alle 20, quindi in corrispondenza degli orari di punta del traffico cittadino; gli stessi picchi, seppur meno pronunciati poiché la stazione è più distante dalla strada, sono presenti anche nel grafico di Rocca Brancaleone.

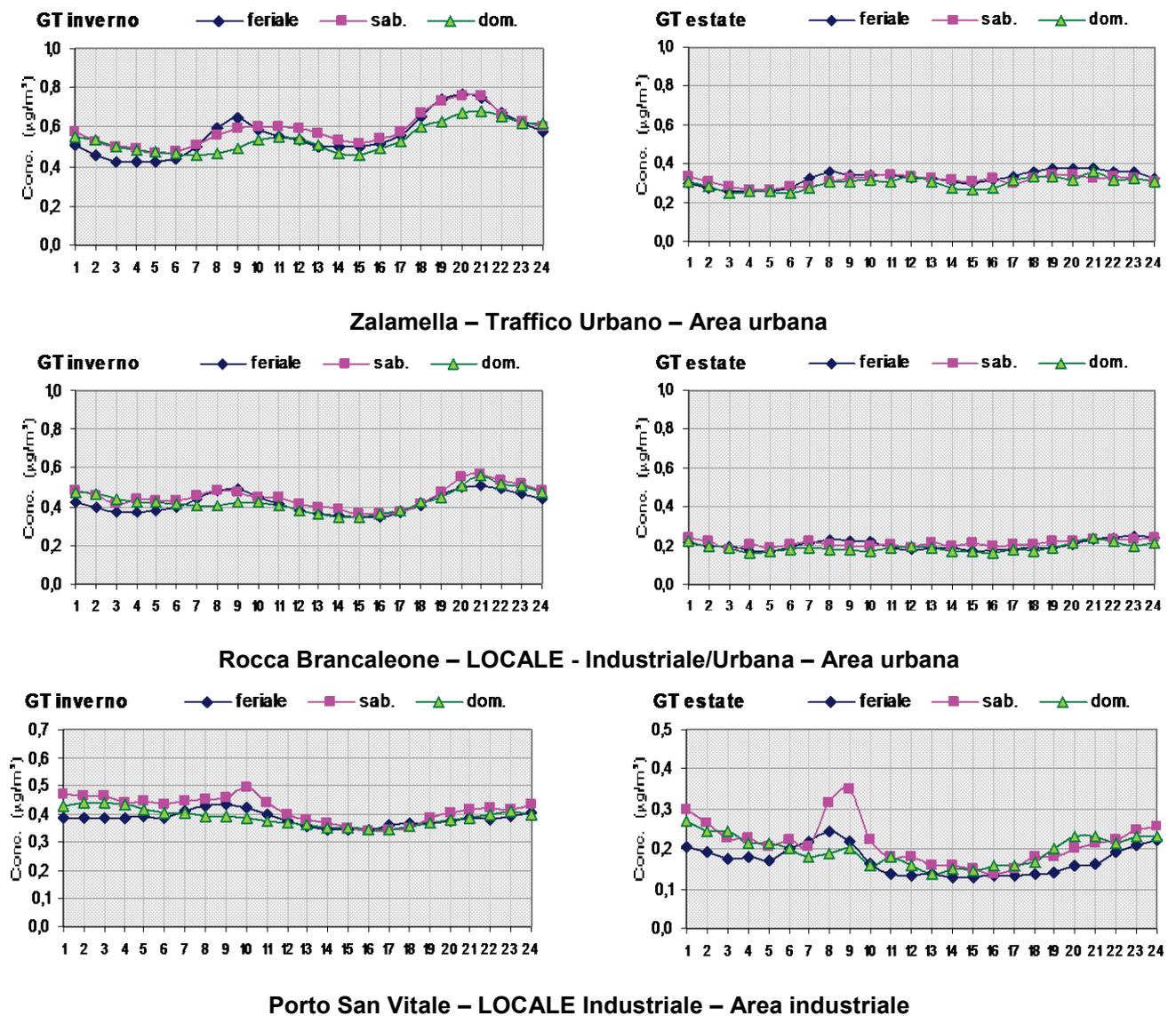


Figura 4.7 – Monossido di carbonio - Giorni tipici – anno 2016

La tabella successiva riporta l'andamento delle concentrazioni di CO negli anni 2006 ÷ 2016.

Tabella 4.7 - Andamento temporale di CO dal 2006 al 2016 (concentrazioni espresse in mg/m³)

Stazione: Zalamella

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5
50°Percentile	0.5	0.4	0.6	0.5	0.3	0.4	0.3	0.6	0.5	0.5	0.4
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	1.0	0.9
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	1.2	1.1
98°Percentile	1.9	1.5	1.5	1.6	1.6	1.4	1.4	1.5	1.3	1.6	1.4
Max	9.4	5.1	4.7	3.3	3.7	3.7	3.8	4.4	2.9	3.2	3.1
Max media 8 h	3.1	3.2	2.5	2.2	2.5	2.9	2.4	3.3	0.6	0.8	0.7
% dati validi	98	100	97	99	98	99	98	98	100	99	100

Stazione: Rocca Brancaleone

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	0.5	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4
50°Percentile	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.8	0.7
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.9	0.8
98°Percentile	1.6	1.1	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.8	1.1	1.0
Max	4.6	4.5	3.1	2.5	2.6	2.7	2.7	2.4	2.2	2.6	2.1
Max media 8 h	2.4	2.7	2.0	1.7	1.9	1.8	1.5	1.9	0.3	0.5	0.6
% dati validi	99	95	98	98	98	98	98	100	98	99	100

Stazione: Porto San Vitale

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.4	0.3
50°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.4	0.3
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.7	0.6
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	0.8	0.7
98°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	1.0	0.9
Max	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	1.8	3.2
Max media 8 h	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.5	0.4
% dati validi	-	-	-	-	-	-	-	-	94	96	99

4.4 Ozono O₃

L'Ozono O₃ è un gas molto reattivo presente in atmosfera. Negli strati alti (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla terra formando un strato protettivo che filtra i raggi ultravioletti del sole, mentre nei strati più bassi (troposfera), se presente in concentrazioni elevate provoca disturbi irritativi all'apparato respiratorio e danni alla vegetazione.

L'Ozono di origine naturale si forma per interazione tra composti organici emessi in natura e l'ossigeno dell'aria sotto l'irradiazione solare, mentre quello di origine antropica si forma a seguito di reazioni con sostanze precursori quali composti organici volatili (COV) e ossidi di azoto. L'immissione di inquinanti primari, prodotti da traffico, processi di combustione, solventi delle vernici, evaporazione di carburanti, etc., favorisce la produzione di un eccesso di Ozono rispetto alle quantità presenti in natura durante i mesi estivi.

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione in aria a livello del suolo di Ozono	2006 - 2016		
Superamento dei valori obiettivo previsti dalla normativa per l'Ozono	2006 - 2016		

Valutazione in sintesi

I valori di ozono rilevati nel 2016 confermano il perdurare di una situazione critica per questo inquinante, con superamenti dei valori obiettivo e/o del valore della soglia di informazione in tutte le 6 stazioni. Gli indicatori considerati non evidenziano una chiara tendenza e confermano lo stretto legame fra concentrazioni di ozono e meteorologia della stagione osservato anche negli anni precedenti.

Il trend storico registra una certa stabilità delle concentrazioni di ozono in tutta la nostra Regione. La situazione di criticità diffusa è riconducibile anche all'origine fotochimica e alla natura esclusivamente secondaria di questo inquinante, che rende la riduzione più complicata rispetto agli inquinanti primari: spesso, infatti, i precursori dell'ozono sono prodotti anche a distanze notevoli rispetto al punto in cui vengono misurate le concentrazioni più alte di ozono e questo rende decisamente più difficile pianificare azioni di risanamento/mitigazione.

O_3 [L.Q. = $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$]				Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Soglia informazione		Soglia allarme	Rif. OMS			
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$		$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$			
						ore di Sup.	giorni di Sup.	ore di Sup	Max Media 8 ore			
Ballirana	Alfonsine	Fondo Rurale	98	<10	156	0	0	0	147			
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	93	<10	167	0	0	0	157			
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	99	<10	178	0	0	0	169			
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	96	<10	187	4	2	0	164			
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	99	<10	181	1	1	0	152			
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	99	<10	180	0	0	0	149			
O_3	obiettivi a lungo termine											
	N. gg superamenti di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della media massima di 8 h da non superare per più di 25 gg (media 3 anni)										AOT 40 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$) 18000 media 5 anni	
Stazione	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	Anno	Media 3 anni	Anno	Media 5 anni
Ballirana	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	13015	21120
Delta Cervia	0	0	7	6	19	6	9	0	47	38	28930	28377
Parco Bertozzi	0	0	2	5	16	7	5	0	35	28	21993	15858
Caorle	0	0	6	4	18	5	6	0	39	24	27493	22899*
Rocca Brancaleone	0	0	1	3	10	2	0	0	16	14	19114	23323
Porto San Vitale	0	0	1	3	11	2	2	0	19	28	15579	15148

Tabella 4.8 – O3: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme

* Media calcolata sugli ultimi tre anni

“ n.c.” = non calcolato in quanto i dati i dati disponibili sono inferiori a quelli previsti dalla norma (D.Lgs. 155/2010)

Il D.Lgs. 155/2010, oltre agli obiettivi a lungo termine (sintetizzati in tabella 4.8), riporta:

- la soglia di informazione: livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi della popolazione particolarmente sensibili, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive;
- la 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 l'adozione di provvedimenti immediati.

 In particolare si raggiunge la soglia di informazione quando la media oraria è maggiore di $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre la soglia di allarme si raggiunge se la media oraria è superiore a di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tre ore consecutive.

Come già citato, l'ozono è un inquinante secondario e si forma a seguito di complesse reazioni fotochimiche (favorite dalla radiazione solare) che coinvolgono inquinanti primari (o precursori) immessi direttamente in atmosfera, quali gli ossidi di azoto e i composti organici volatili.

Pertanto, le stazioni di elezione in cui misurare questo inquinante sono le stazioni di fondo:

Finalità della misurazione	Tipo di stazione	Stazioni RRQA Ravenna
protezione della salute umana	Fondo Urbano	Parco Bertozzi e Caorle
protezione della salute umana/ protezione della vegetazione	Fondo Sub Urbano Fondo Rurale	Delta Cervia e Ballirana

A Ravenna l'ozono si misura anche in entrambe le stazioni della rete locale, in quanto tali postazioni sono vicine alla zona industriale, quindi a fonti significative di inquinanti precursori.

Siccome dipende dall'intensità della radiazione solare, l'andamento delle concentrazioni di ozono troposferico ha una spiccata stagionalità (le più significative si rilevano nel periodo primavera-estate come illustrato nelle figure 4.8 e 4.9 – media mensile anno 2016) e mostra un caratteristico andamento giornaliero, con il massimo di concentrazione in corrispondenza delle ore di maggiore insolazione (ore 13 ÷ 14 - figura 4.10 – giorno tipico per il semestre estivo).

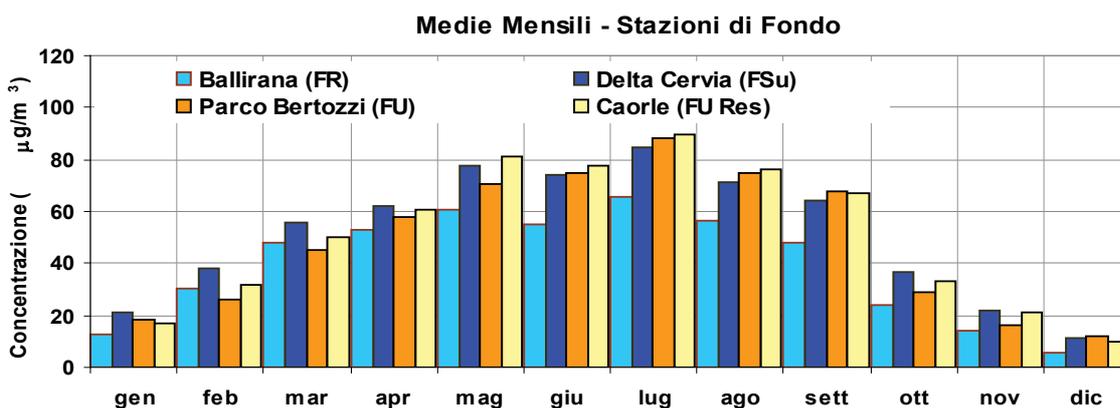


Figura 4.8 Concentrazioni medie mensili Stazioni di Fondo – anno 2016

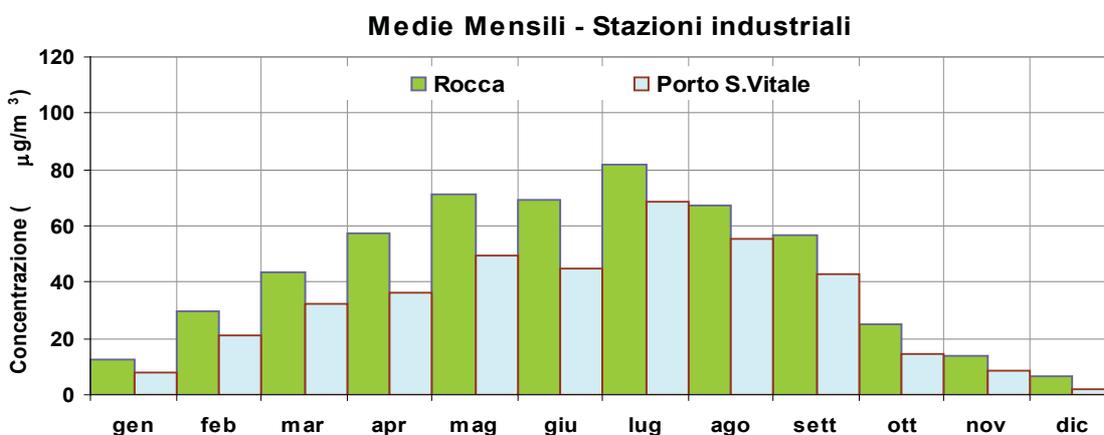
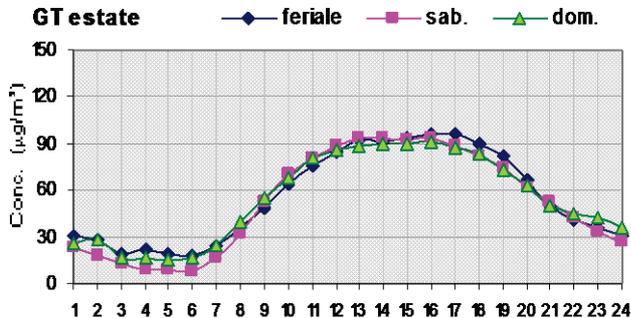


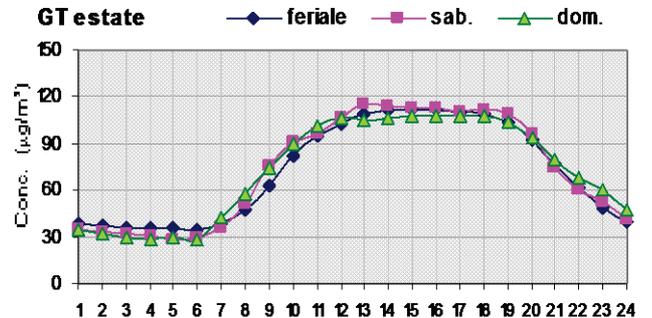
Figura 4.9 Concentrazioni medie mensili Stazioni LOCALI Industriali – anno 2016

Gli andamenti giornalieri delle concentrazioni di ozono nelle stazioni sono molto simili: il minimo tra le 6 e le 7 del mattino (quando si raggiunge il massimo di diffusione dell'ozono prodotto il giorno precedente) ed il massimo nelle ore centrali del pomeriggio, quando è maggiore l'insolazione e quindi più intensa la formazione dell'inquinante.

Stazioni di Fondo

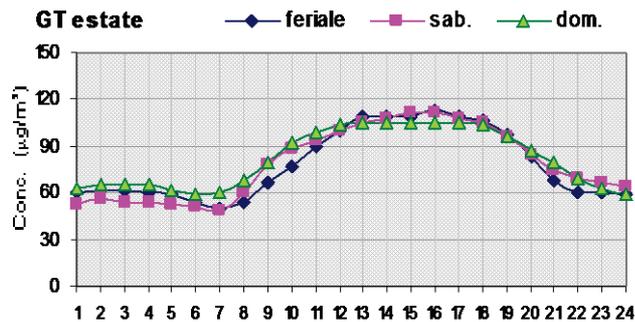


Ballirana (FR)

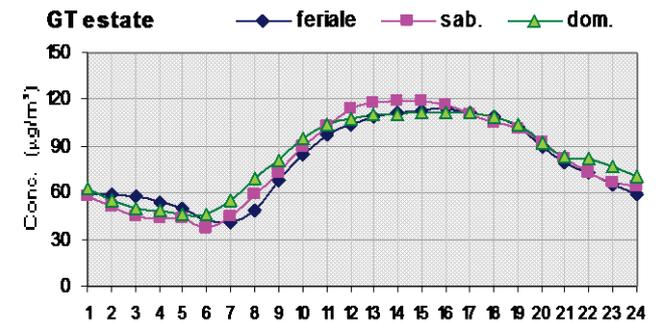


Delta Cervia (FSubU)

Stazione di Fondo Urbano

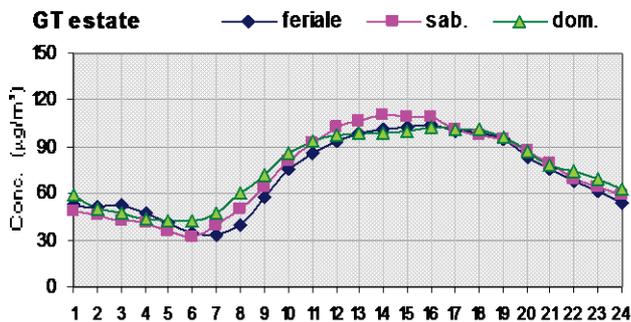


Parco Bertozzi (FU)

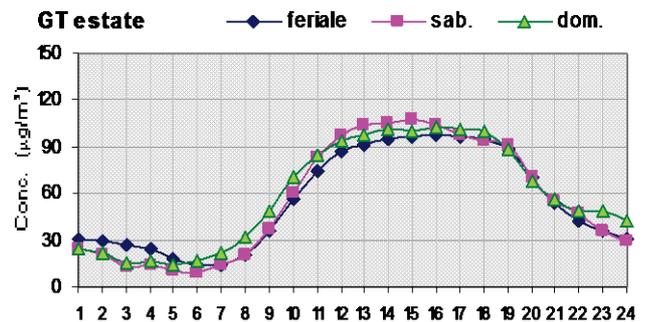


Caorle (FU Res)

Stazioni LOCALI Industriali



Rocca Brancaleone (Ind./Urbana)



Porto San Vitale (Ind)

Figura 4.10 - Ozono: giorni tipici estivi – anno 2016

Nel 2016 il limite per la protezione della salute umana (superamento della media massima giornaliera su 8 h di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 25 giorni, calcolata come media degli ultimi tre anni) è stato superato nelle stazioni di Fondo sub-urbano (Delta Cervia, 47 giorni), Fondo urbano residenziale (Carole, 39 giorni) e Fondo urbano (Parco Bertozzi, 35 giorni).

Il numero di giorni di superamento dei $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'anno sono riportati in figura 4.11.

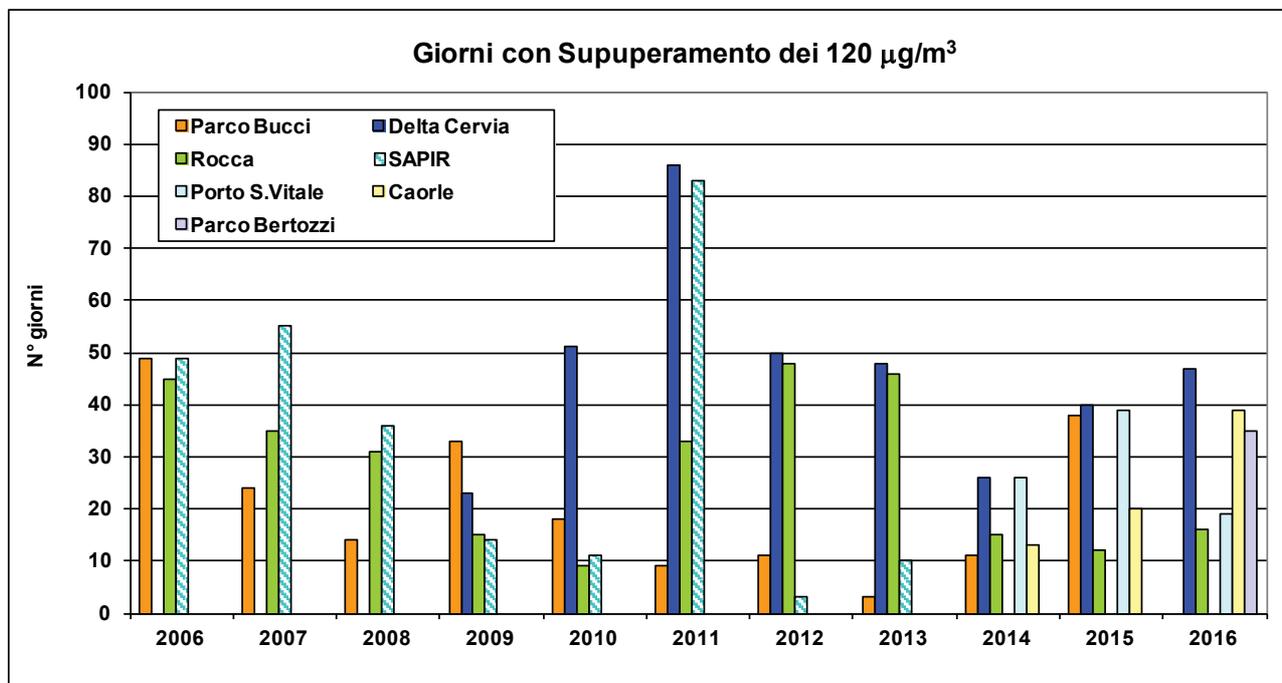


Figura 4.11 Giorni con superamento dei 120 - anni 2006-2016

Per quanto riguarda gli episodi acuti, la soglia di informazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stata superata in 2 giornate (22 luglio e 29 agosto) e in tre postazioni, mentre non è mai stata raggiunta la soglia di allarme ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (tabella 4.9).

giorno di sup.	Caorle	Rocca Brancaleone	Porto San Vitale
22 luglio 2016			
29 agosto 2016			

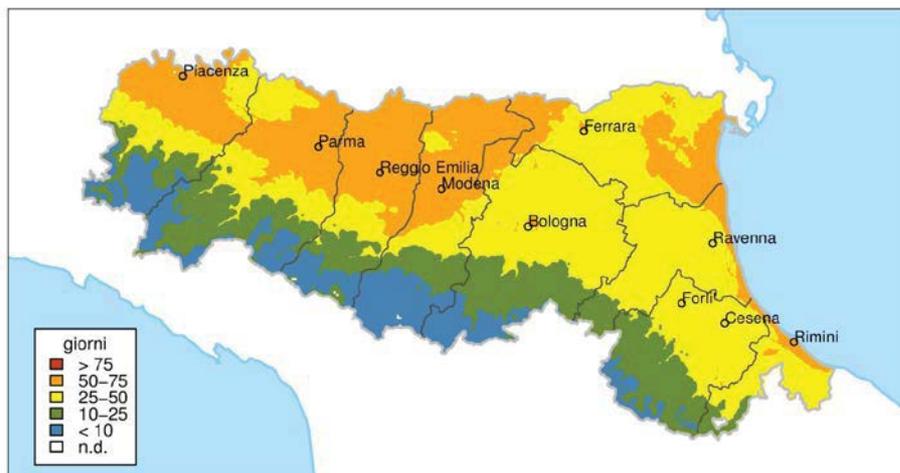
Tabella 4.9 – O3: giorni di superamento della soglia di informazione $180\mu\text{g}/\text{m}^3$

Di seguito si riporta la mappa regionale relativa alla stima delle concentrazioni di ozono elaborate dal SIMC per il 2016 (Mappa 4.2).

Il parametro riportato – che deriva dall'integrazione di dati simulati e dati misurati - è relativo al numero di giorni in cui si valuta il superamento della concentrazione di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, calcolata come concentrazione massima giornaliera di 8 h.

ozono di fondo

numero di giorni in cui il massimo giornaliero della media mobile su 8 ore supera i $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$
anno: 2016



Mappa 4.2 – Stima regionale del numero di giorni di superamento della concentrazione max di 8 h Anno 2016

Infine si riportano in Tabella 4.10 alcuni parametri relativi all'ozono, calcolati a partire dal 2006.

Tabella 4.10 - Andamento temporale dell'ozono dal 2006 al 2016 (dati orari in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Parco Bucci (fino al 2015) e Parco Bertozzi (dal 2016)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	-	-	-	-	39	43	49
50°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	32	34	45
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	86	99	98
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	100	115	112
98°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	114	133	128
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	191	198	170	180	156	158	154	140	164	187	178
N° giorni sup $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	49	24	14	33	18	9	11	3	11	38	35
N° giorni sup $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	7	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
N° giorni sup $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	94	97	99	99	96	100	99	98	97	95	99

Stazione: Ballirana

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	-	-	-	-	41	41	39
50°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	34	31	32
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	92	99	88
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	103	114	101
98°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	114	128	113
Max orario µg/m ³	--	--	--	144	168	168	204	190	180	171	156
N° giorni sup 120 µg/m ³	--	--	--	2	15	37	45	42	12	34	-
N° giorni sup 180 µg/m ³	--	--	--	0	0	0	3	2	0	0	0
N° giorni sup 240 µg/m ³	--	--	--	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	--	--	--	--	88	99	99	98	94	90	98

Stazione: Delta Cervia

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	-	-	-	-	47	49	51
50°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	40	43	46
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	102	105	106
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	113	119	120
98°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	125	133	133
Max orario µg/m ³	--	--	--	186	191	184	186	214	190	196	167
N° giorni sup 120 µg/m ³	--	--	--	23	51	86	50	48	26	40	47
N° giorni sup 180 µg/m ³	--	--	--	1	2	1	3	6	1	1	0
N° giorni sup 240 µg/m ³	--	--	--	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	--	--	--	81	97	99	99	96	96	94	93

Stazione: Caorle

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	-	-	-	-	46	47	51
50°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	44	44	49
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	94	96	104
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	104	109	116
98°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	118	123	130
Max orario µg/m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	177	198	187
N° giorni sup 120 µg/m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	13	20	39
N° giorni sup 180 µg/m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	2
N° giorni sup 240 µg/m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
% dati validi	-	-	-	-	-	-	-	-	98	96	96

Stazione: Rocca Brancaleone

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	-	-	-	-	47	42	45
50°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	44	37	40
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	97	91	94
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	107	103	106
98°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	119	115	120
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	210	235	199	154	170	175	197	205	181	187	181
N° giorni sup 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	45	35	31	15	9	33	48	46	15	12	16
N° giorni sup 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6	4	2	0	0	0	2	6	1	1	1
N° giorni sup 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	99	88	98	99	96	99	98	98	98	99	99

Stazione: SAPIR (fino al 2013) e Porto San Vitale (dal 2014)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	-	-	-	-	36	37	32
50°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	21	21	19
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	93	97	88
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	110	116	103
98°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	127	134	122
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	230	245	195	157	180	195	144	170	203	211	180
N° giorni sup 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	49	55	36	14	11	83	3	10	26	39	19
N° giorni sup 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6	7	2	0	0	6	0	0	3	2	0
N° giorni sup 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	97	98	97	99	97	99	95	94	90	96	99

4.5 Benzene C₆H₆

Il benzene è una sostanza chimica liquida e incolore dal caratteristico odore pungente.

È il più comune e il più largamente utilizzato degli idrocarburi aromatici ed è impiegato come antidetonante nelle benzine. I veicoli a motore rappresentano infatti la principale fonte di emissione per questo inquinante che viene immesso nell'aria con i gas di scarico. Un'altra sorgente di benzene è rappresentata dalle emissioni di solventi prodotte da attività artigianali ed industriali come ad esempio: produzione di plastiche, resine, detersivi, vernici, collanti, inchiostri, adesivi, prodotti per la pulizia, ecc.

Oltre ad essere uno dei composti aromatici più utilizzati è anche uno dei più tossici, classificato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) come cancerogeno di classe I per l'uomo.

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione media annuale di Benzene (C ₆ H ₆)	2006 – 2016		

Valutazione in sintesi

Nel 2016 le concentrazioni medie annue del benzene risultano inferiori ai limiti normativi, con valori simili a quelli rilevati negli ultimi anni.

La situazione in relazione al rispetto del limite di legge non è critica ma, considerata l'accertata cancerogenicità del composto e le concentrazioni comunque significative che si possono registrare durante i mesi invernali, la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

Per i motivi richiamati e a scopo cautelativo, questo inquinante continua ad essere rilevato in tutte le stazioni dell'area urbana di Ravenna; in particolare nelle stazioni di Traffico urbano di Zalamella e in quella Locale Industriale di Porto San Vitale, viene eseguito un monitoraggio in continuo con dati orari. I valori più elevati vengono registrati nella stazione di Traffico.

Benzene C₆H₆ [L.Q. = 0,5 µg/m ³]				Concentrazioni in µg/m ³				Limite Normativo
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo orario</i>	<i>Massimo orario</i>	<i>Media Max giornaliera</i>	<i>Media Max settimanale</i>	5 µg/m ³
								<i>Media annuale</i>
Zalamella	Ravenna	Traffico	96	< 0,5	10,7	4,7	3,7	1,2
Carole (*)	Ravenna	Fondo Urb. Res	100	-	-	-	3,5	1,1
Rocca Brancaleone(*)	Ravenna	Locale Ind/Urban	100	-	-	-	2,5	1,0
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	94	< 0,5	7,2	3,3	2,6	0,6

Tabella 4.11 – C₆H₆ : parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme – strumentazione in continuo e campionatori passivi (Caorle, Rocca)

Per il benzene il limite per la protezione della salute umana, entrato in vigore il 1° gennaio 2010, è 5 µg/m³ come media annuale.

In tabella 4.11 sono riassunti i parametri statistici relativi alle concentrazioni di benzene rilevate a Ravenna : monitoraggio con strumentazione in continuo e campionatori passivi.

Il benzene (insieme ad altri COV, in particolare toluene e xileni) viene misurato:

- con strumentazione in continuo che fornisce dati con cadenza oraria nella postazione di traffico urbano (Zalamella) e in quella Locale Industriale di Porto San Vitale;
- con campionatori passivi in continuo ma con dati settimanali nelle altre due postazioni di Ravenna (segnalate in tabella con (*): fondo urbano residenziale (Caorle), Industriale/Urban (Rocca Brancaleone, rete locale).

Il campionatore passivo è un dispositivo capace di raccogliere gas dall'atmosfera ad una velocità controllata dalla diffusione molecolare e non richiede movimento attivo dell'aria. E' costituito da un tubo contenente un adsorbente che fissa l'inquinante; quando inizia il campionamento il tubo viene liberato dal contenitore ermetico e montato su apposito supporto che permette la diffusione degli inquinanti e contemporaneamente evita l'azione degli agenti atmosferici. Al momento dell'installazione viene annotata la data, l'ora e la postazione. Alla fine del campionamento il tubo viene richiuso nel contenitore, sigillato (segnando la data e l'ora) e portato in laboratorio per l'analisi. La determinazione analitica dei composti organici viene effettuata per gascromatografia dopo l'estrazione con una soluzione di solfuro di carbonio.

Dalla quantità totale di composti organici volatili rilevati, noto il volume d'aria "campionata", possono essere determinate le concentrazioni di COV in atmosfera espresse in µg/m³, fra cui il benzene. Il campionatore viene cambiato ogni settimana: il dato che si ottiene è una concentrazione media settimanale e da questa vengono poi calcolate la media annuale (parametro di riferimento legislativo per il benzene) e le medie mensili.

In tutte le stazioni la media annuale è inferiore al limite normativo, la più alta è stata registrata nella stazione di Zalamella (1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre a Porto San Vitale si è registrata la più bassa (0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): entrambi i valori sono in linea con quelli registrati negli anni precedenti.

Nelle postazioni in cui la misura è integrata sulla settimana, le concentrazioni medie annuali si sono assestate già da qualche anno su valori prossimi a 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e il 2016 non ha fatto eccezione.

In figura 4.12 sono rappresentate le concentrazioni medie annuali a partire dal 2006: il valore limite, entrato in vigore nel 2010, è sempre stato rispettato e, a partire dal 2008, la concentrazione annuale è stabilmente inferiore a 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

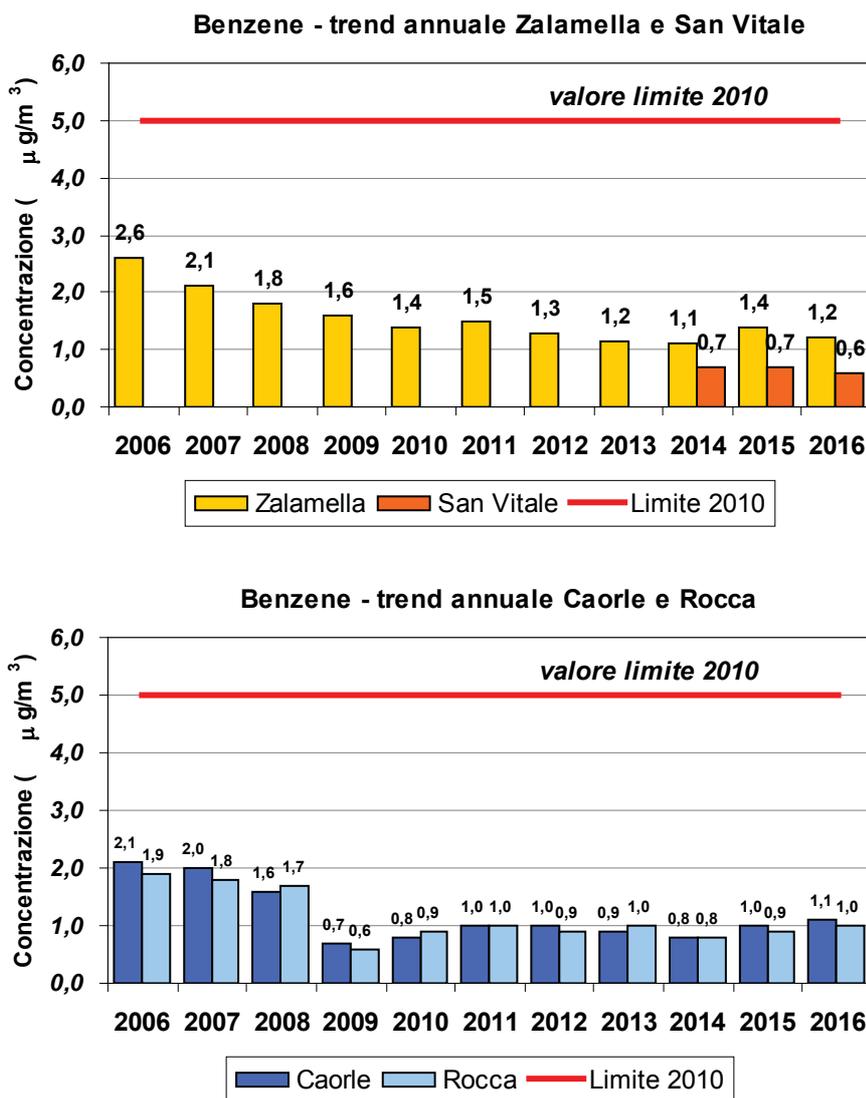


Figura 14.12 - Confronto con i valori limite- D.lgs. 155/10

I grafici successivi (Figure 4.13 e 4.14) riportano le concentrazioni medie mensili. Valori superiori a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sono stati rilevati a Zalamella e nella stazioni passive nei mesi di gennaio e dicembre, periodo in cui anche gli altri inquinanti (ad esclusione dell'ozono) manifestano le concentrazioni più elevate. L'andamento è simile sia nelle postazioni con campionatori passivi sia nelle postazioni con campionatori in continuo.

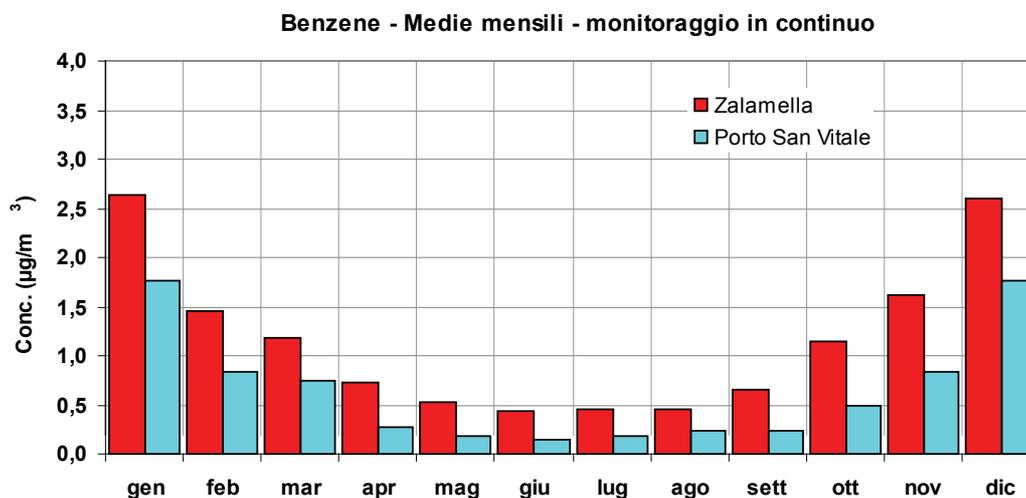


Figura 4.13 - Concentrazioni medie mensili: Zalamella e Porto San Vitale – monitoraggio continuo – Anno 2016

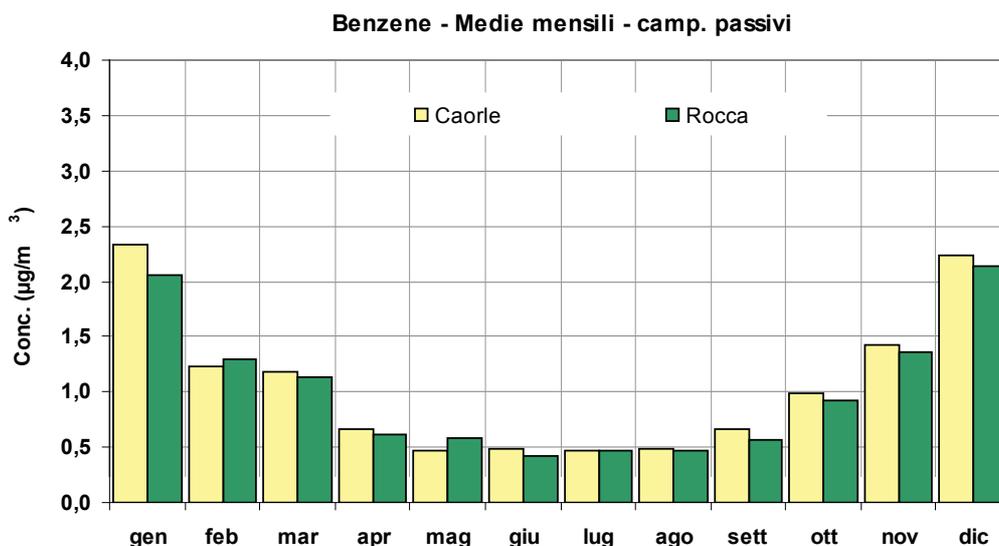


Figura 4.14 - Concentrazioni medie mensili: Caorle, Rocca - campionatori passivi – Anno 2016

In Tabella 4.12 sono riportati alcuni parametri statistici relativi al benzene, calcolati a partire dal 2006. Rispetto a questo inquinante si è avuta, negli anni, una progressiva diminuzione e il dato risulta stabilizzato su valori contenuti. Tale riduzione è essenzialmente riconducibile alla limitazione del contenuto massimo di benzene e degli idrocarburi aromatici nelle benzine commercializzate, infatti già la legge 413/97 fissava per il benzene e per gli aromatici limiti massimi in percentuale volumetrica (1% in vol per il benzene e 40% in vol per gli aromatici). Il Decreto Legislativo

n.66/2005 (recepimento della Direttiva 98/70/CE) prevedeva per le benzine i seguenti valori massimi: - tenore di Piombo: 0.005 g/l,
- contenuto di benzene: 1 % vol;
- contenuto di zolfo: 150 mg/kg fino al 31/12/2004, poi dal 1/1/2005: 50 mg/kg;
- contenuto di aromatici: 42% vol. fino al 31/12/2004, poi dal 1/1/2005, il 35% vol.

Il D.Lgs. n.55/2011 (recepimento della direttiva 2009/30/CE) ha poi stabilito le *specifiche ecologiche* della benzina. Fra queste, i seguenti limiti:

- Analisi degli idrocarburi: olefinici 18,0% (v/v) - aromatici 35,0% (v/v) - benzene) 1,0% (v/v)
- Tenore di zolfo: 10,0 mg/kg
- Tenore di piombo: 0,005 g/l

Tabella 4.12 - Andamento temporale di Benzene dal 2006 al 2016

Stazione: Zalamella

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	2.0	2.1	1.8	1.6	1.4	1.5	1.3	1.3	1.1	1.4	1.2
50°Percentile	1.6	1.7	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.9	0.7
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3	2.9	2.5
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	3.9	3.4
98°Percentile	7.1	7.0	8.0	5.4	4.7	5.5	5.5	5.1	3.9	5.3	4.5
Max	14.7	19.6	16.0	12.8	11.6	12.4	16.0	16.8	12.3	48.7	10.7
> 5 µg/m³	14	2	12	0	0	0	0	0	0	1	0
> 10 µg/m³	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	88	96	86	91	98	94	94	91	95	95	96

Stazione: Carole (campionatori passivi)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
% dati validi	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Media annua	2.1	2.0	1.6	0.7	0.8	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0	1.1
Max settimana	5.4	5.4	5.8	1.4	2.3	3.1	2.6	2.9	1.9	3.0	3.5

Stazione: Rocca (campionatori passivi)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
% dati validi	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Media annua	1.9	1.8	1.7	0.6	0.9	1.0	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0
Max settimana	4.5	4.6	6.1	1.2	2.4	2.9	2.3	3.1	1.9	3.0	2.5

Stazione: Porto San Vitale

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	0.7	0.6
50°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.4	0.3
90°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	1.8	1.7
95°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	2.4	2.2
98°Percentile	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	3.0	2.8
Max	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	39.2	7.2
> 5 µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
> 10 µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
% dati validi	-	-	-	-	-	-	-	-	98	96	94

Nota: i parametri statistici sono calcolati a partire dalle concentrazioni orarie espresse in µg/m³, mentre > 5 µg/m³ e > 10 µg/m³ si riferisce al numero di giorni in cui la media giornaliera è stata superiore alla concentrazione riportata (rispettivamente 5 e 10 µg/m³).

4.6 Toluene C₇H₈ e Xileni C₈H₁₀

Il Toluene è un liquido volatile ed incolore dall'odore fruttato e pungente; è un idrocarburo aromatico principalmente utilizzato come sostituto del benzene, sia come reattivo che come solvente. Come solvente viene impiegato per sciogliere resine, grassi, oli, vernici, colle, coloranti e molti altri composti. E' contenuto anche nelle benzine.

Il termine Xileni si riferisce alla miscela di tre composti isomeri derivati dal benzene, chiamati rispettivamente orto-xilene, meta-xilene e para-xilene, le cui proprietà chimiche variano leggermente da isomero a isomero.

Lo xilene è un liquido incolore avente un odore lievemente dolce; è anch'esso un idrocarburo aromatico infiammabile e nocivo. È un prodotto che si trova naturalmente nel petrolio e nel catrame: le industrie chimiche producono lo xilene a partire dal petrolio ed è utilizzato come solvente nella stampa, per la lavorazione delle gomme e del cuoio, come agente pulente per acciai, e come diluente per vernici. Il p-xilene viene usato anche nel confezionamento di alimenti. Si può formare anche negli incendi boschivi.

Indicatore	Copertura temporale	Stato attuale indicatore	Trend
Concentrazione media annuale di Toluene (C ₇ H ₈) e Xileni (C ₈ H ₁₀)	2006 – 2016		

Valutazione in sintesi

La normativa nazionale non fissa valori limite di qualità dell'aria per toluene e xileni, mentre l'OMS indica dei valori guida, che corrispondono alle concentrazioni al di sopra delle quali si **possono riscontrare** effetti sulla salute della popolazione non esposta professionalmente.

Le concentrazioni massime rilevate in tutte le postazioni sono comunque ben al di sotto di tali valori.

A partire dal 2009-2010 le concentrazioni di entrambi gli inquinanti sono progressivamente diminuite in tutte le stazioni, con una diminuzione più evidente nella stazione di traffico urbano (Zalamella).

Toluene C₇H₈				Concentrazioni in µg/m³					OMS
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo orario</i>	<i>Massimo orario</i>	<i>Media Max giornaliera</i>	<i>Media Max settimanale</i>	<i>Media annuale</i>	260 µg/m ³
									<i>Media settimanale</i>
Zalamella	Ravenna	Traffico	96	< 0.5	178.4	30.7	9.4	3.4	9.4
Caorle (*)	Ravenna	Fondo Urbano Res	100	-	-	-	28.1	2.9	28,1
Rocca Brancaleone (*)	Ravenna	Locale Ind/Urbano	100	-	-	-	10.3	2.5	10.3
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	94	< 0.5	82.9	14.3	4.8	1.6	4.8
Xileni C₈H₁₀				Concentrazioni in µg/m³					OMS
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo Orario</i>	<i>Massimo orario</i>	<i>Media Max giornaliera</i>	<i>Media Max settimanale</i>	<i>Media annuale</i>	4800 µg/m ³
									<i>Media 24 ore</i>
Zalamella	Ravenna	Traffico	96	< 0.5	26.7	7.6	5.3	2.0	7.6
Caorle (*)	Ravenna	Fondo Urbano Res	100	-	-	-	5.9	2.0	-
Rocca Brancaleone (*)	Ravenna	Locale Ind/Urbano	100	-	-	-	4.7	1.9	-
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	94	< 0.5	305.0	81.6	14.2	1.8	81.6

Tabella 4.13 – C₆H₆ : parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme – strumentazione in continuo e campionatori passivi (Caorle, Rocca)

Nella stazione di traffico (Zalamella) e in quella Locale Industriale (Porto San Vitale) toluene e xileni vengono monitorati in continuo.

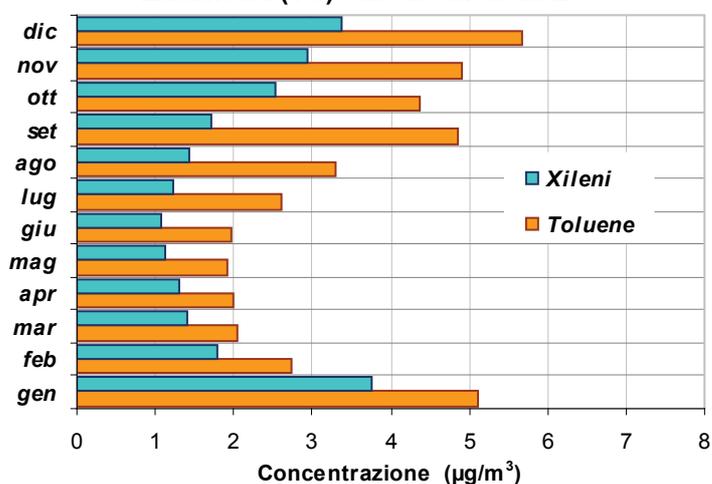
Relativamente agli xileni, sia nel monitoraggio in continuo sia nella determinazione analitica sui campionatori passivi, si misurano i 3 isomeri: m-xilene, p-xilene e o-xilene.

La tabella 4.13 sintetizza le elaborazioni statistiche relative a tutti i campionamenti effettuati e la figura 4.15 riporta le medie mensili. Le concentrazioni massime rilevate in tutte le postazioni sono ben al di sotto dei valori guida dell'OMS (riportati in verde in tabella 4.13).

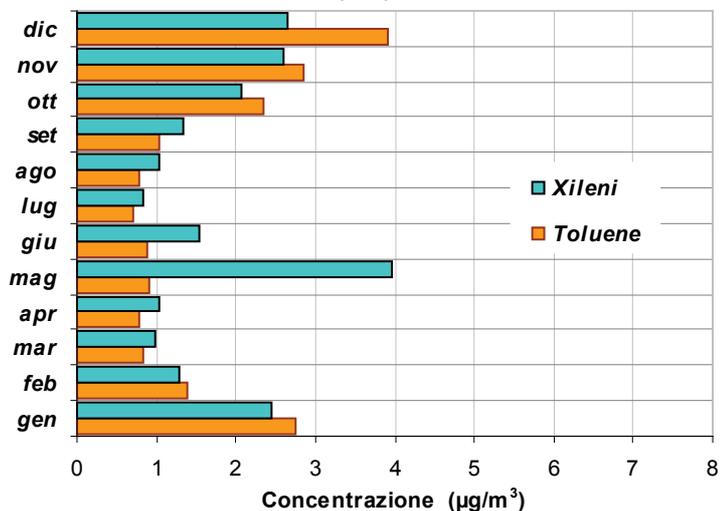
Toluene e xileni presentano un andamento stagionale meno marcato rispetto al benzene. L'andamento consueto che vede concentrazioni più alte in inverno e più basse in estate è

mantenuto. In generale durante l'estate le concentrazioni di toluene e xileni tendono a diminuire, ad eccezione dei mesi di maggio, luglio e agosto, nei quali sono state registrate, rispettivamente a Porto San Vitale, Caorle e Rocca, media molto più alte rispetto alla media stagionale, sicuramente attribuibili a eventi isolati.

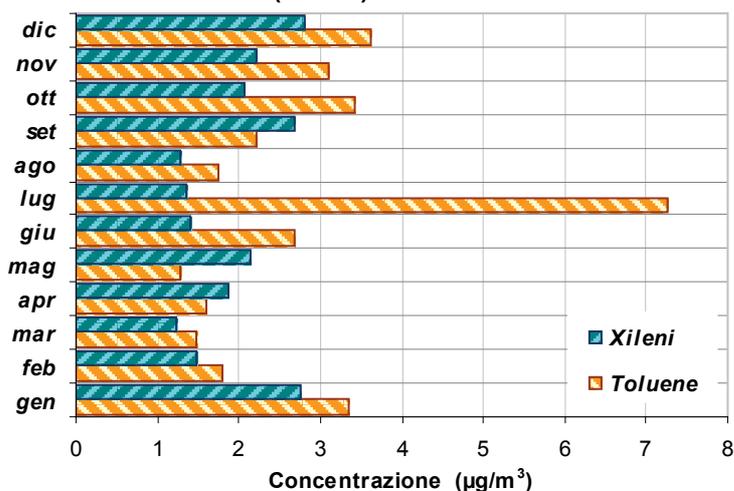
Zalamella (TU) - Medie mensili 2016



Porto San Vitale (Ind) - Medie mensili 2016



Caorle (FURes) - Medie mensili 2016



Rocca (Ind/Urb)- Medie mensili 2016

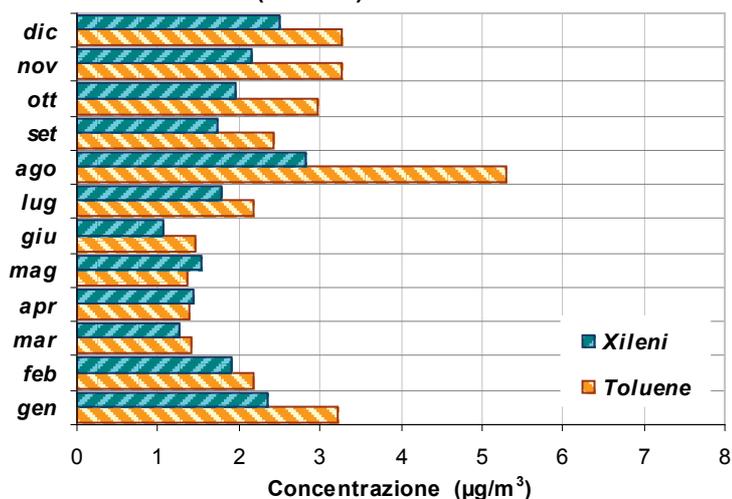


Figura 4.15 – Toluene e Xileni: concentrazioni medie mensili – anno 2016

Tabella 4.13 bis - Andamento temporale di Toluene e Xileni dal 2006 al 2016

Stazione: Zalamella

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Toluene											
% dati validi	85	97	85	91	98	94	94	89	95	95	96
Media	7.2	8.1	5.6	5.0	4.0	4.5	3.8	3.4	3.4	2.7	3.4
Max orario	316.0	383.0	210.6	57.0	198.1	53.5	162.8	86.0	61.6	51.9	178.4
Xileni											
% dati validi	85	97	85	91	98	95	94	91	95	95	96
Media	4.0	8.6	5.5	3.0	2.1	3.0	1.9	1.6	2.1	1.7	2.0
Max orario	96.2	256.5	110.7	74.0	86.6	65.7	34.3	31.7	28.2	35.4	26.7

Stazione: Caorle

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Toluene											
% dati validi	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Media annua	6.1	5.7	4.9	4.7	2.7	2.7	3.0	2.4	2.0	2.3	2.9
Max settimana	17.5	14.5	11.2	12.1	13.5	25.7	8.0	6.0	5.8	7.1	28.1
Xileni											
% dati validi	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Media annua	5.5	5.9	5.6	3.5	1.7	1.4	1.7	1.5	1.3	1.6	2.0
Max settimana	22.4	16.0	12.8	8.3	3.9	3.7	6.2	4.0	3.9	3.9	5.9

Stazione: Rocca

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Toluene											
% dati validi	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Media annua	5.0	5.4	4.3	4.8	2.2	2.3	2.7	2.2	2.2	4.5	2.5
Max settimana	12.8	12.6	8.8	13.1	4.9	6.7	7.4	5.0	6.1	112.1	10.3
Xileni											
% dati validi	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Media annua	5.1	6.1	4.6	3.5	1.4	1.3	1.6	1.4	1.3	1.7	1.9
Max settimana	16.6	52.6	9.8	8.6	3.1	2.5	5.9	4.0	4.0	4.9	4.7

Stazione: SAPIR (fino al 2013) e Porto San Vitale (dal 2014)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Toluene											
% dati validi	100	100	96	100	100	100	100	100	100	96	94
Media annua	4.5	4.0	4.7	2.0	3.9	2.5	2.2	2.0	1.8	1.9	1.6
Max settimana	12.1	9.2	21.9	6.5	94.6	6.9	4.8	6.8	42.1	122.3	4.8
Xileni											
% dati validi	100	100	96	100	100	100	100	100	100	96	94
Media annua	5.2	5.0	3.8	1.4	1.4	1.6	1.7	1.5	1.5	1.7	1.8
Max settimana	23.9	10.4	12.0	4.2	2.8	4.6	3.8	4.1	54.4	38.1	14.2

4.7 Particolato PM10

Con il termine *PM10* si intende l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 μm . In generale il particolato di queste dimensioni permane in atmosfera per lunghi periodi e può essere trasportato anche a distanza considerevole dal punto di emissione. Il *PM10*, che ha una natura chimica particolarmente complessa e variabile, è in grado di penetrare nell'apparato respiratorio umano e avere effetti negativi sulla salute.

Il particolato può essere emesso direttamente dalle sorgenti in atmosfera (primario) oppure formarsi in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altre specie di inquinanti, come ad esempio gli ossidi di zolfo e di azoto, i composti organici volatili (COV) e l'ammoniaca (particolato secondario).

Il *PM 10* può essere emesso da sorgenti naturali: eruzioni vulcaniche, erosione dei venti sulle rocce, incendi boschivi, o da sorgenti antropiche: tra queste una delle più significative è il traffico veicolare.

Questo inquinante è oggetto di numerosi studi a livello internazionale per la valutazione dell'impatto sanitario, ricerche che hanno portato l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) a affermare che «vi è una stretta, relazione quantitativa tra l'esposizione ad alte concentrazioni di particolato fine (*PM10* e *PM2.5*) e un aumento della mortalità e morbilità, sia quotidiana sia nel tempo. [...] Il particolato fine ha effetti sulla salute, anche a concentrazioni molto basse, infatti non è stata identificata una soglia al di sotto della quale non si osservano danni alla salute». Pertanto l'OMS, pur indicando dei valori guida (per il *PM 10*: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media sulle 24 ore), pone l'obiettivo di raggiungere «le più basse concentrazioni di *PM* possibile».

Indicatore	Copertura temporale	Stato attuale indicatore	Trend
Concentrazione media annuale di particolato <i>PM10</i>	2011 – 2016		
Numero superamenti del limite giornaliero per particolato <i>PM10</i>	2011 – 2016		

Valutazione in sintesi

Nel 2016 i limiti della media annuale del *PM10* (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e per il limite giornaliero (media giornaliera di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte in un anno) sono rispettati in tutte le postazioni, tranne quella di Porto San Vitale, mentre gli obiettivi dell'OMS (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione massima sulle 24 ore) sono stati superati in tutte le stazioni.

Il trend storico della media annuale presenta una diminuzione delle concentrazioni rispetto al 2011 e un successivo assestamento attorno al valore di 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tuttavia il *PM10* resta un inquinante critico sia per i diffusi superamenti del limite di breve periodo sia per gli importanti effetti che ha sulla salute.

Considerata la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si possono rilevare soprattutto in periodo invernale, la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

PM10 [L.Q. = 5 µg/m ³]				Concentrazioni in µg/m³		Limiti Normativi	
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	40 µg/m ³	Max 35
						<i>Media anno</i>	<i>N° giorni Sup. 50µg/m³</i>
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	94	< 5	86	25	20
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	98	< 5	88	21	16
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	97	5	98	25	22
Zalamella	Ravenna	Traffico	99	5	114	25	26
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	98	< 5	123	26	29
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	97	8	174	46	108

Tabella 4.14 – PM10: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme

In relazione ai dati riportati in Tabella 4.14 si può osservare che nel 2016 i limiti relativi alla media annuale e al breve periodo sono stati rispettati in tutte le postazioni eccetto quella di Porto San Vitale, dove si è registrata una media di 46 µg/m³ e 108 superamenti del limite giornaliero di 50 µg/m³.

In Figura 4.16 viene riportato il trend degli ultimi anni della media annuale e in Figura 4.17 il numero di superamenti rilevati nelle stazioni urbane e sub urbane della rete (compresa la stazione locale di Rocca Brancaleone).

Nel 2016 la media annuale è inferiore ai due anni precedenti, così come il numero di giorni con concentrazioni superiori a 50 µg/m³.

Un andamento opposto si registra invece in area industriale/portuale (stazione locale SAPIR fino al 2013 e Stazione Porto San Vitale dal 2014 - Figura 4.18), dove i valori della media annuale e del numero di superamenti per il 2016 sono maggiori di quelli dei tre anni precedenti.

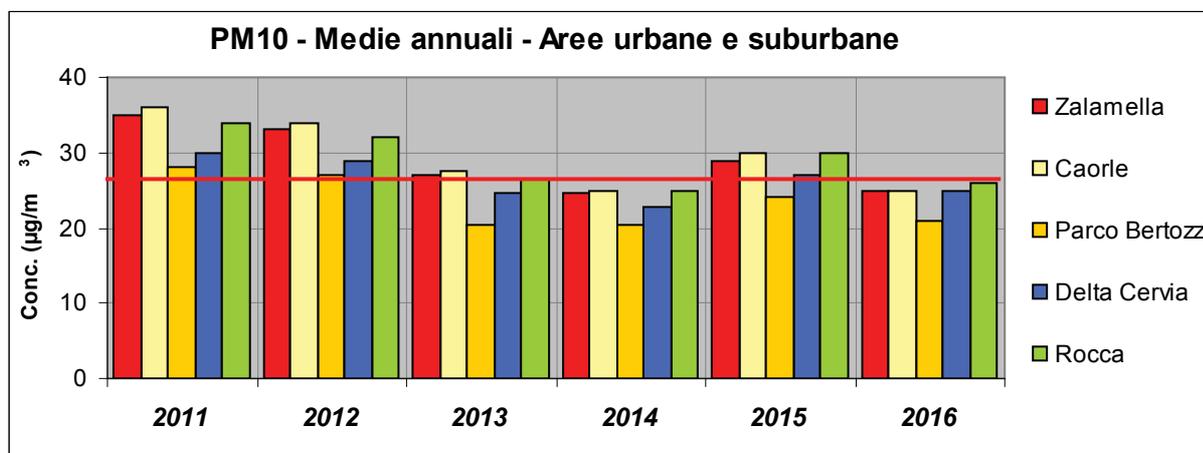


Figura 4.16 – PM10 medie annuali Area Urbana e Sub Urbana – Stazioni RRQA + Stazione Locale di Rocca Brancaleone (Ind/Urb)

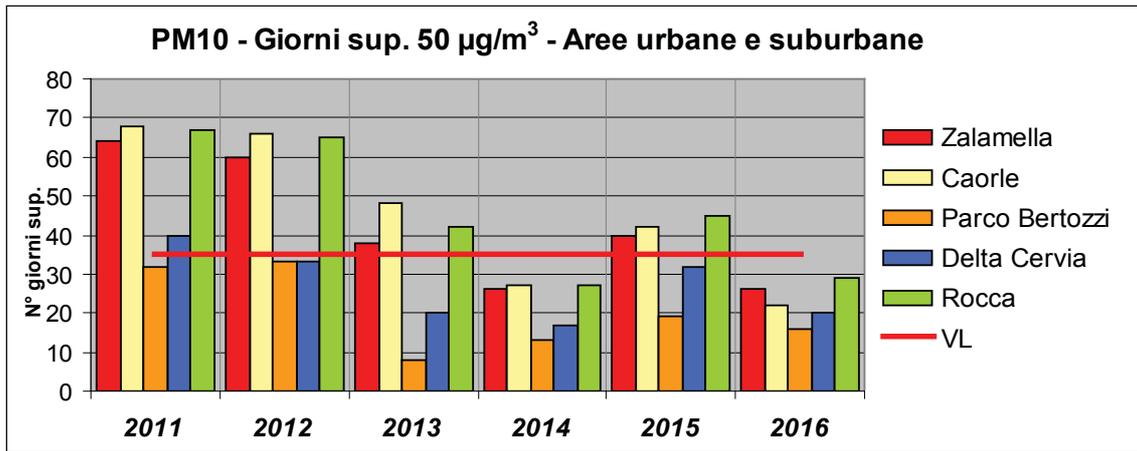


Figura 4.17 – PM10 giorni con superamento dei 50 µg/m³ - Area Urbana e Sub Urbana Stazioni RRQA + Stazione Locale di Rocca Brancaleone (Ind/Urb)

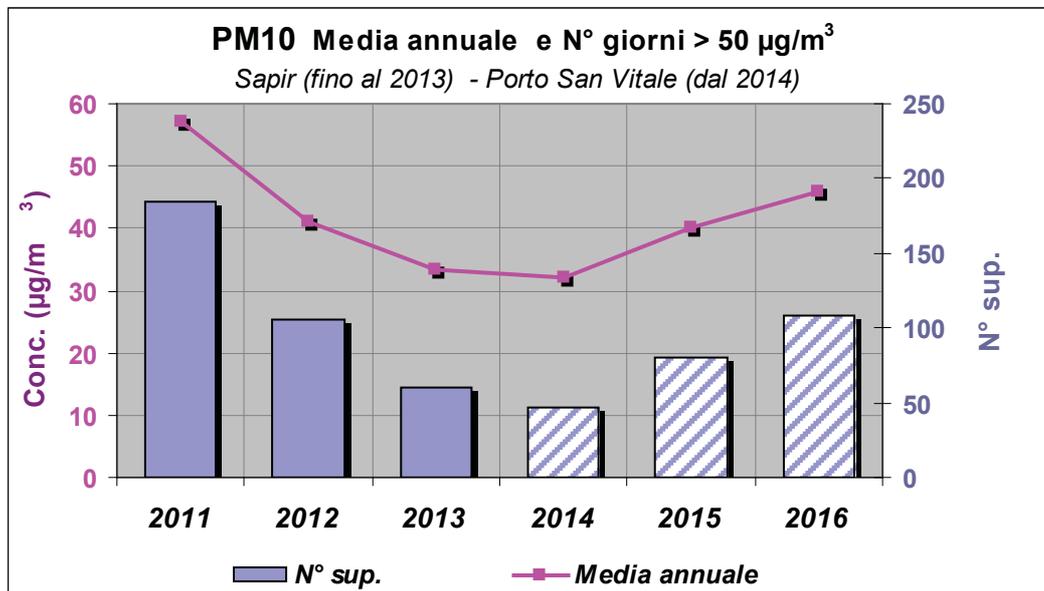


Figura 4.18 – PM10 medie annuali e giorni con superamento dei 50 µg/m³ – Area industriale - Stazione Locale SAPIR (fino 2013) e Porto San Vitale (dal 2014)

La Figura 4.19 riporta il grafico relativo al “numero di superamenti della media di 50 µg/m³ di PM10 cumulati” nel corso del 2016 nelle 5 stazioni della rete e in quella Locale urbana/industriale di Rocca Brancaleone e consente di visualizzare fino a quando, nelle diverse stazioni, il limite di breve periodo è stato rispettato. Si può constatare che tale limite nel 2016 non è stato superato in nessuna delle cinque stazioni.

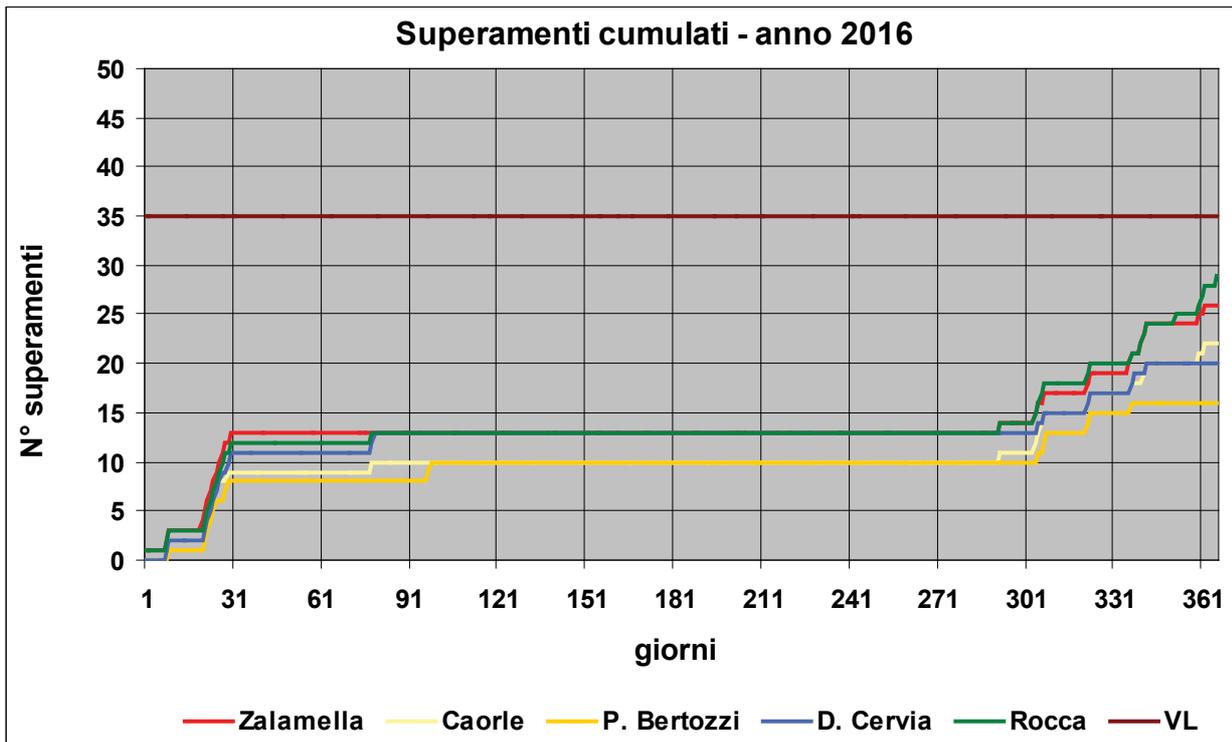


Figura 4.19 – PM10 Superamenti cumulati - Area Urbana e Sub Urbana Stazioni RRQA + Stazione Locale di Rocca Brancaleone (Ind/Urb)

Il numero di superamenti del limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ambito regionale è stato elaborato dal SIMC utilizzando il sistema modellistico NINFA+PESCO; le stime sono riportate nella mappa 4.23

PM10 di fondo
 numero di giorni in cui la media giornaliera supera i $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 anno: 2016



Mappa 4.3 – Stima regionale del numero di giorni di superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Anno 2016

Nelle figure successive vengono riportate le medie mensili per l'area urbana e sub-urbana (Figura 4.20) e per l'area industriale (Stazioni Locali Figura 4.21). In tutte le stazioni i valori più elevati si sono misurati a gennaio e dicembre con concentrazioni medie mensili superiori a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le concentrazioni più basse sono state misurate a Zalamella (Traffico urbano) nei mesi primaverili-estivi.

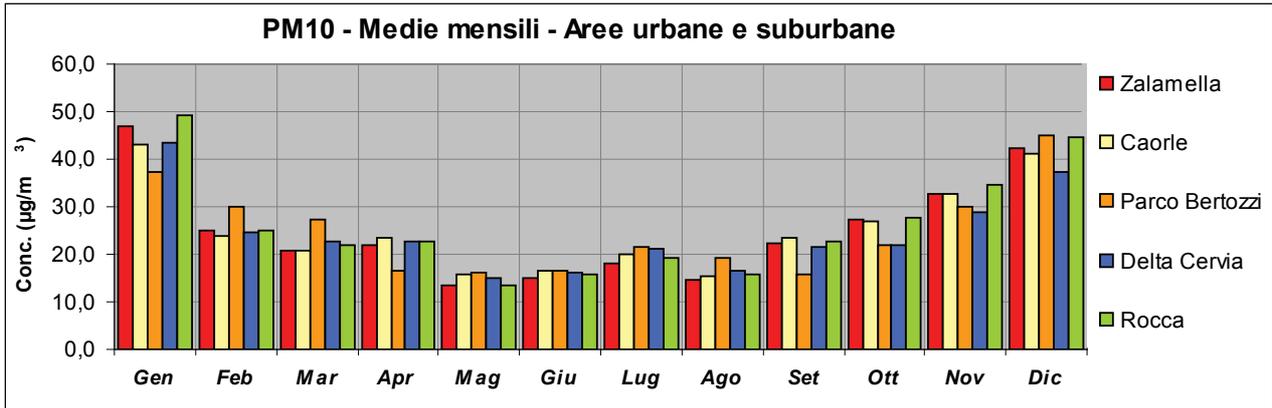


Figura 4.20 – PM10 medie mensili Area Urbana e Sub Urbana – Stazioni RRQA + Stazione Locale di Rocca Brancaleone (Ind/Urb) anno 2016

Anche in area portuale (Stazione Porto San Vitale - Figura 4.21) si riscontra una certa “stagionalità” della concentrazione di particolato: l’andamento è analogo a quello della stazione urbana e industriale di Rocca Brancaleone, seppur meno evidente, poiché risente delle emissioni legate alle attività insediate al porto, il cui contributo si sovrappone alla variabilità legata alla meteorologia.

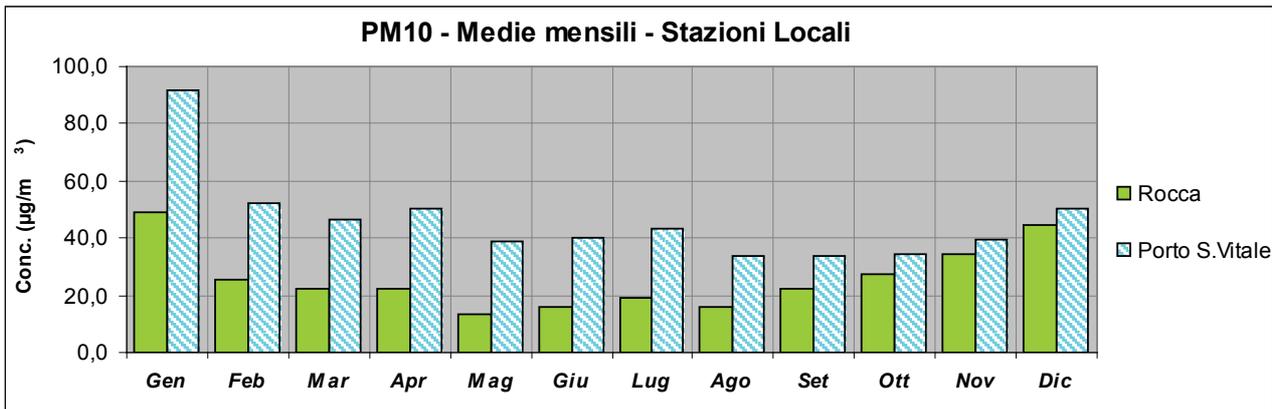


Figura 4.21 – PM10 medie mensili Area Industriale/Portuale – Stazioni Locali Industriali – anno 2016

Segue la mappa, elaborata dal SIMC, con la stima della concentrazione media annuale di PM10 sul territorio regionale per il 2016 (Mappa 4.4).

PM10 di fondo
media annua (µg/m³)
anno: 2016



Mappa 4.4 – Stima regionale della concentrazione media annuale PM10

Anno 2016

Infine si riportano in Tabella 4.16 alcuni parametri relativi al PM10, calcolati a partire dal 2011.

Tabella 4.16 - Andamento temporale PM10 dal 2005 al 2016 (dati giornalieri in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Zalamella

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	35	33	27	25	29	25
50°Percentile	29	26	22	20	23	20
90°Percentile	-	-	-	46	52	45
95°Percentile	-	-	-	56	73	57
98°Percentile	88	84	67	68	83	72
Max	104	171	77	77	97	114
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	64	60	38	26	40	26
% dati validi	93	95	90	93	99	99

Stazione: Caorle

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	36	34	27	25	30	25
50°Percentile	30	27	23	20	24	21
90°Percentile	-	-	-	46	53	45
95°Percentile	-	-	-	57	76	59
98°Percentile	93	93	69	68	87	70
Max	127	175	77	85	107	98
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	68	66	48	27	42	22
% dati validi	98	98	99	96	95	97

Stazione: Parco Bucci (fino al 2015) e Parco Bertozzi (dal 2016)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	28	27	20	20	24	21
50°Percentile	24	22	17	17	20	17
90°Percentile	-	-	-	33	42	39
95°Percentile	-	-	-	41	53	47
98°Percentile	79	73	51	61	62	56
Max	92	130	67	69	78	88
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	32	33	8	13	19	16
% dati validi	98	99	97	86	94	98

Stazione: Delta Cervia

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	30	29	25	23	27	25
50°Percentile	26	25	21	19	25	21
90°Percentile	-	-	-	40	47	45
95°Percentile	-	-	-	50	66	55
98°Percentile	77	75	61	62	74	70
Max	99	144	78	80	92	86
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40	33	20	17	32	20
% dati validi	98	98	93	93	94	94

Stazione: Rocca Brancaleone

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	34	32	26	25	30	26
50°Percentile	28	24	21	19	25	22
90°Percentile	-	-	-	46	55	46
95°Percentile	-	-	-	58	78	62
98°Percentile	91	89	69	68	93	75
Max	117	186	82	85	113	123
> 50 µg/m³	67	65	42	27	45	29
% dati validi	99	99	99	98	98	98

Stazione: SAPIR e Porto San Vitale (dal 2014)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	57	41	33	32	40	46
50°Percentile	51	37	28	27	35	41
90°Percentile	-	-	-	55	69	74
95°Percentile	-	-	-	67	92	85
98°Percentile	152	95	84	75	106	130
Max	177	143	111	104	114	174
> 50 µg/m³	184	105	60	47	80	108
% dati validi	98	100	99	96	99	97

4.8 Particolato PM2.5

Con il termine particolato ultrafine PM2.5, si intende l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico medio inferiore a 2,5 µm. In generale il particolato di queste dimensioni microscopiche e inalabili penetra in profondità attraverso l'apparato respiratorio, dai bronchi sino agli alveoli polmonari e riesce anche, attraverso la mucosa, ad arrivare al sangue.

Il particolato PM2,5 può essere di origine primaria, quando è emesso direttamente dalle sorgenti in atmosfera o secondario, quando si forma in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altri composti, come ad esempio gli ossidi di zolfo e di azoto, i composti organici volatili (COV) e l'ammoniaca.

Il particolato ultrafine può essere emesso da sorgenti naturali, ad esempio eruzioni vulcaniche, erosione del suolo, incendi boschivi e aerosol marino, o da sorgenti antropiche, tra le quali traffico veicolare, utilizzo di combustibili (carbone, combustibili liquidi, rifiuti, legno, rifiuti agricoli) e emissioni industriali (cementifici, fonderie).

Questo inquinante – come il PM10 - è oggetto di numerosi studi a livello internazionale per la valutazione dell'impatto sulla salute umana: queste ricerche hanno portato l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) a affermare che « La maggior parte delle particelle che danneggiano la salute sono quelle con un diametro di 10 micron o meno, (≤PM10), che possono penetrare e depositarsi in profondità nei polmoni. L'esposizione cronica alle particelle contribuisce al rischio di sviluppare malattie cardiovascolari e respiratorie, nonché di cancro ai polmoni. [...] Vi è una stretta relazione quantitativa tra l'esposizione ad alte concentrazioni di particolato fine (PM10 e PM2.5) e un aumento della mortalità e morbilità, sia quotidiana sia nel tempo. [...] Il particolato fine ha effetti sulla salute anche a concentrazioni molto basse, infatti non è stata identificata una soglia al di sotto della quale non si osservano danni alla salute». Pertanto l'OMS, pur indicando dei valori guida (per il PM2.5: 10 µg/m³ come media annuale e 25 µg/m³ come media sulle 24 ore), pone l'obiettivo di raggiungere «le più basse concentrazioni di PM possibile».

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione media annuale di Particolato ultrafine (PM2.5)	2010 – 2016		

Valutazione in sintesi

Nel 2016 il limite relativo alla media annuale del PM2.5 è stato rispettato in tutte le postazioni ad eccezione della stazione Locale di Porto San Vitale.

La stagione più critica è quella invernale, quando le concentrazioni di PM2.5 rappresentano oltre il 70% di quelle di PM10.

Considerata la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si rilevano - se confrontate con i valori guida dell'OMS - la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

PM2.5 [L.Q. = 5 µg/m ³]				Concentrazioni in µg/m³		Limiti Normativi
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	25 µg/m ³
						<i>Media anno</i>
Ballirana	Alfonsine	Fondo Rurale	98	<5	88	15
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	98	<5	64	13
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	98	<5	91	18
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	96	<5	145	28

Tabella 4.17 – PM2.5: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme

Nella rete regionale di Ravenna il PM2.5 viene monitorato in continuo presso 2 stazioni: Fondo Urbano (Parco Bertozzi) e Fondo Rurale (Ballirana).

Dal 2014 sono state aggiunte altre 2 stazioni: Fondo Urbano Residenziale (Caorle) e Locale Industriale (Porto San Vitale).

Relativamente al PM2.5 il D.lgs. 155/2010 indica, a partire dal 1° gennaio 2015, un valore limite della media annuale pari a 25 µg/m³ che viene superato solo nella stazione Locale di Porto San Vitale.

Diversamente, non è stato rispettato in nessuna stazione il valore guida dell'OMS (10 µg/m³).

Di seguito si riporta il grafico con le medie mensili (Figura 4.22).

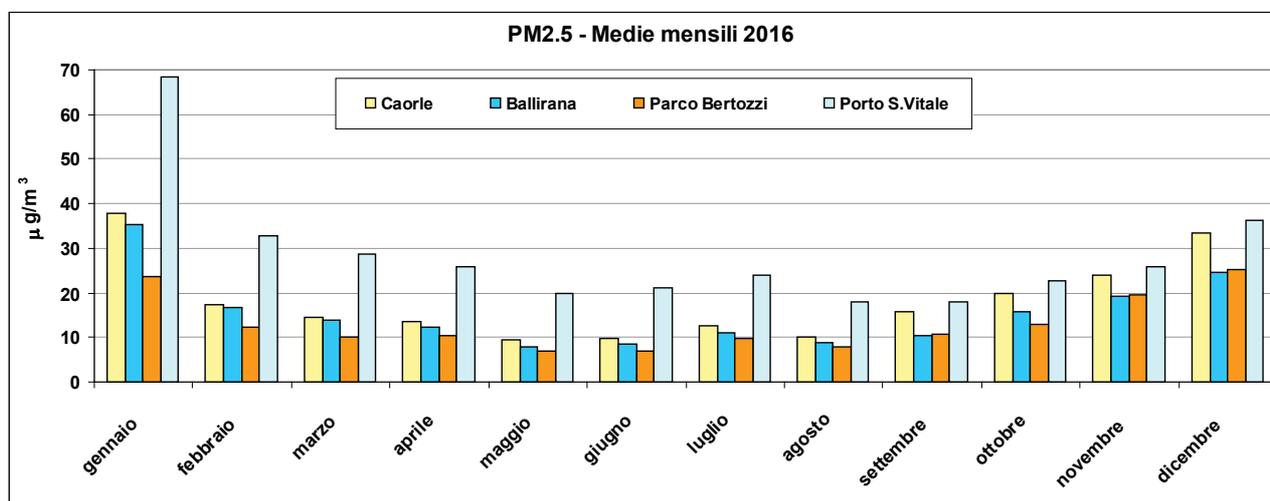


Figura 4.22 – PM2.5: medie mensili 2016

In Figura 4.23 sono riportate le medie annuali e i superamenti di 25 µg/m³ rilevati dal 2009 nelle stazioni provinciali della RRQA.

Nel 2016, solo nella stazione Locale di Porto San Vitale si ha il superamento del limite normativo, anche se i valori consigliati dall'OMS sono superati in tutte le postazioni.

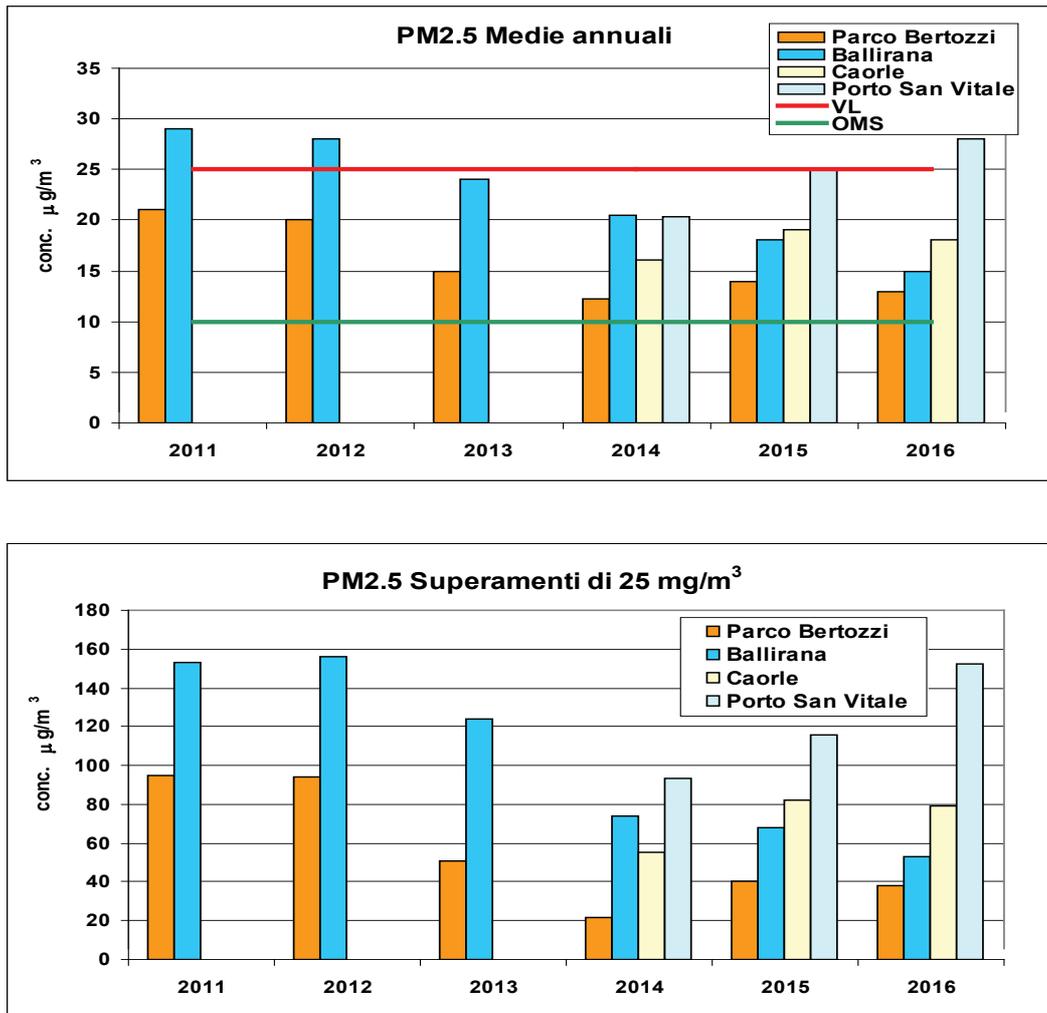


Figura 4.23 – PM2.5: medie annuali e superamenti della media giornaliera di 25 µg/m³ 2011 - 2016

Segue la mappa, elaborata dal SIMC, con la stima della concentrazione media annuale di PM2.5 sul territorio regionale per il 2016 (Mappa 4.5).

PM2.5 di fondo
media annua (µg/m³)
anno: 2016



Mappa 4.5 – Stima regionale della concentrazione media annuale PM2.5

Anno 2016

Poiché nelle stazioni di Parco Bertozzi, Carole e Porto San Vitale sono installati degli strumenti che permettono la contestuale misurazione di particolato PM10 e PM2.5 (SWAM – DualChannel), è stata calcolata e riportata in grafico (Figura 4.24) la media mensile dei rapporti giornalieri delle concentrazioni delle due frazioni granulometriche PM2.5 e PM10 per ogni stazione.

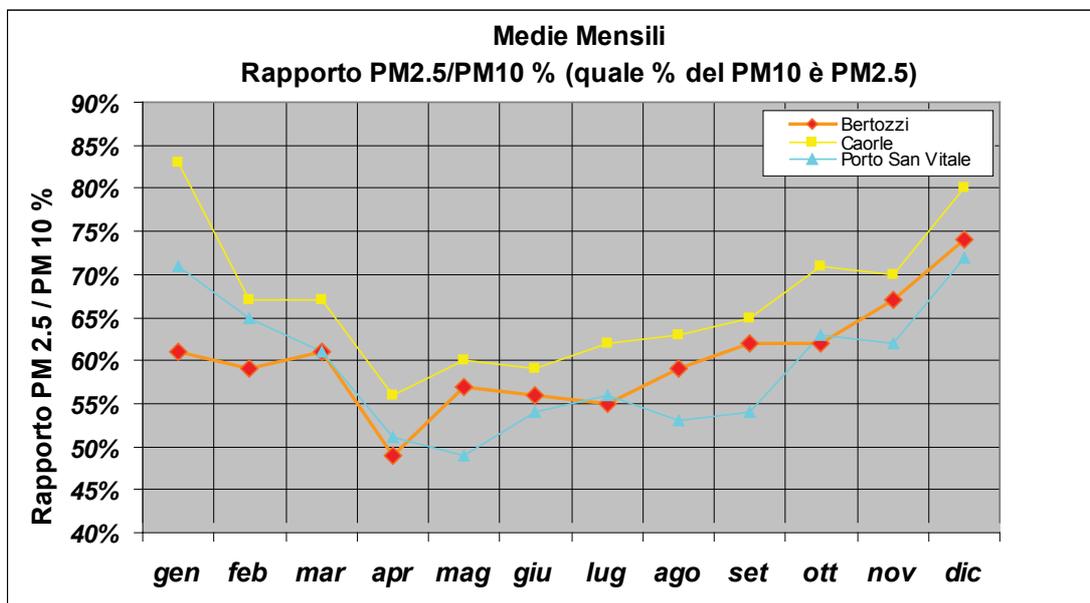


Figura 4.24
Rapporto
PM2.5/PM10 :
medie mensili
2016

Dagli andamenti del rapporto si osserva una spiccata stagionalità: la quota di particolato fine è maggiore nei mesi invernali (nei mesi di gennaio, febbraio, novembre e dicembre) dove oltre il 70% del PM10 è costituito da PM2.5.

Le particelle con diametro aerodinamico attorno ai 10 µm (PM10) vengono generate, per una quota significativa, per azione meccanica mentre quelle più fini sono prodotte prevalentemente dalla combustione o sono di origine secondaria, cioè prodotte in atmosfera a partire da precursori gassosi quali ossidi di azoto (nitrati), ossidi di zolfo (solfati), ammoniaca, composti organici volatili. La maggior quota di particolato PM2.5 durante i mesi invernali può, quindi, essere in relazione:

- con l'aumento delle emissioni primarie derivanti dai processi di combustione (traffico, riscaldamento,...), quantitativamente più rilevanti in questo periodo dell'anno;
- con l'incremento della componente secondaria legata ad una maggiore presenza di precursori in atmosfera.

Infine si riportano in Tabella 4.17 bis alcuni parametri relativi al PM2.5 calcolati a partire dal 20110.

Tabella 4.17 bis - Andamento temporale PM2.5 dal 2011 al 2016 (dati giornalieri in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Stazione: Parco Bucci (fino al 2015) e Parco Bertozzi (dal 2016)**

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	21	20	15	12	14	13
50°Percentile	16	15	12	10	11	10
90°Percentile	-	-	-	22	27	27
95°Percentile	-	-	-	28	35	33
98°Percentile	71	61	44	41	43	41
Max	85	118	56	46	48	64
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95	94	51	22	40	38
% dati validi	98	99	97	86	94	98

Stazione: Ballirana

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	29	28	24	20	18	15
50°Percentile	23	23	21	18	14	12
90°Percentile	-	-	-	36	39	30
95°Percentile	-	-	-	45	48	37
98°Percentile	81	69	59	53	58	55
Max	102	149	81	62	83	88
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	153	156	124	74	68	53
% dati validi	98	97	94	92	91	98

Stazione: Caorle

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	16	19	18
50°Percentile	-	-	-	12	14	13
90°Percentile	-	-	-	32	40	36
95°Percentile	-	-	-	41	57	48
98°Percentile	-	-	-	50	69	60
Max	-	-	-	60	88	91
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	55	82	79
% dati validi	-	-	-	97	95	98

Stazione: Porto San Vitale

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Media	-	-	-	20	25	28
50°Percentile	-	-	-	16	20	23
90°Percentile	-	-	-	36	48	47
95°Percentile	-	-	-	47	68	60
98°Percentile	-	-	-	62	85	93
Max	-	-	-	80	98	145
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	93	116	152
% dati validi	-	-	-	96	99	96

4.9 Analisi sul particolato

Il particolato PM10 e PM2.5 raccolto sui filtri viene sottoposto ad analisi per la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici e dei metalli.

A Ravenna PM2.5 e PM10 vengono rilevati anche in tre stazioni ubicate in area industriale facenti parte della rete industriale privata.

Sul particolato raccolto in queste stazioni dal 2013 viene effettuata una ricerca di PCB, Diossine e Furani, che era stata effettuata anche nel periodo 2004 – 2008.

Il D.Lgs. 155/2010 indica, nell'Allegato VI, i metodi di riferimento da utilizzare per il campionamento e la misurazione di piombo, arsenico, cadmio, nichel e del Benzo(a)Pirene nell'aria ambiente.

In particolare:

1. Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del piombo.

Il metodo di riferimento per il campionamento è descritto nella norma UNI EN 12341:1999 “Qualità dell'aria. Determinazione del particolato in sospensione PM10. Metodo di riferimento e procedimento per prove in campo atte a dimostrare l'equivalenza dei metodi di misurazione rispetto ai metodi di riferimento”.

Il metodo di riferimento per la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14902:2005 “Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione di Pb, Cd, As e Ni nella frazione PM10 del particolato in sospensione”.

2. Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione dell'arsenico, del cadmio e del nichel nell'aria ambiente.

Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14902:2005 “Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione di Pb, Cd, As e Ni nella frazione PM10 del particolato in sospensione”.

3. Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del benzo(a)pirene nell'aria ambiente.

Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del benzo(a)pirene è descritto nella norma UNI EN 15549:2008 “Qualità dell'aria. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di benzo(a)pirene in aria ambiente”.

4. Metodo di riferimento per l'analisi di PCB Diossine e Furani nell'aria ambiente.

La determinazione di Diossine e Furani viene effettuata secondo il metodo EPA 1613, utilizzando uno spettrometro di massa in Alta Risoluzione. Il metodo prevede l'aggiunta di composti marcati per valutare sia il recupero del metodo che eventuali anomalie in fase di iniezione. La determinazione di PCB viene effettuata con un metodo interno, utilizzando uno spettrometro di massa in Triplo Quadrupolo con tecnica Massa/Massa.

4.9.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono idrocarburi aromatici ad elevato peso molecolare, la cui molecola è formata da due o più anelli benzenici, saldati in modo da avere in comune due o più atomi di carbonio. Vengono suddivisi, in funzione del peso molecolare e del numero di atomi, in IPA leggeri (2-3 anelli condensati) e IPA pesanti (4-6 anelli). La pericolosità di alcuni IPA deriva principalmente dalla loro semi-volatilità che li rende particolarmente mobili attraverso le varie matrici ambientali.

Il composto più studiato e rilevato è il Benzo(a)Pirene [BaP] del quale l'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro (IARC) ha accertato la cancerogenicità per l'uomo (Gruppo1).

In Europa, negli anni novanta, è stata stimata una concentrazione atmosferica media annua di questo IPA compresa fra 0,1 e 1 ng/m³ in area rurale e fra 0,5 e 3 ng/m³ in area urbana.

In particolari aree geografiche, le principali sorgenti naturali di IPA nell'ambiente sono costituite da incendi boschivi e vulcani. Per quanto riguarda le sorgenti antropiche, il maggior contributo deriva dalla combustione incompleta di composti organici durante processi industriali ed altre attività come la trasformazione di combustibili fossili, la produzione di alluminio, acciaio e di materiali bituminosi, l'incenerimento di rifiuti, la produzione di energia termoelettrica, il traffico veicolare, il riscaldamento domestico e il fumo di tabacco. In particolare durante i processi di combustione gli IPA vengono inizialmente generati in fase gassosa e permangono solo per breve tempo nell'atmosfera in quanto, a causa della loro bassa tensione di vapore, tendono rapidamente a condensarsi e ad essere adsorbiti dalle particelle sospese, che, per la loro elevata superficie specifica, presentano alta capacità di adsorbimento anche per questi inquinanti.

In atmosfera l'esposizione agli IPA non è mai legata ad un singolo composto, ma ad una miscela generalmente adsorbita al particolato atmosferico. La distribuzione dei diversi isomeri tra fase gassosa e particolata dipende, in ultima analisi, dal peso molecolare: composti a basso peso molecolare sono praticamente presenti solo nella fase gassosa, mentre i composti definiti pesanti sono per lo più adsorbiti sul particolato atmosferico.

Il metodo analitico utilizzato per la determinazione degli IPA prevede l'estrazione del materiale particellare con solvente e la successiva purificazione su colonna di gel di silice. L'eluato così raccolto viene ripreso con un volume noto di toluene. La determinazione analitica finale viene effettuata per gascromatografia ad alta risoluzione interfacciata ad un rivelatore costituito da uno spettrometro di massa a bassa risoluzione.

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione in aria di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) – Benzo(a)pirene	2012 - 2016	☺	☺

Valutazione in sintesi

Nel 2016 il valore obiettivo di 1 ng/m³ come media annuale della concentrazione del Benzo(a)pirene, valido a partire dal 2012, è stato rispettato in tutte le stazioni. Tale situazione è stabile per tutto l'arco temporale considerato, pertanto la criticità segnalata non è relativa alle concentrazioni rilevate quanto alla classificazione dell'inquinante come accertato cancerogeno.

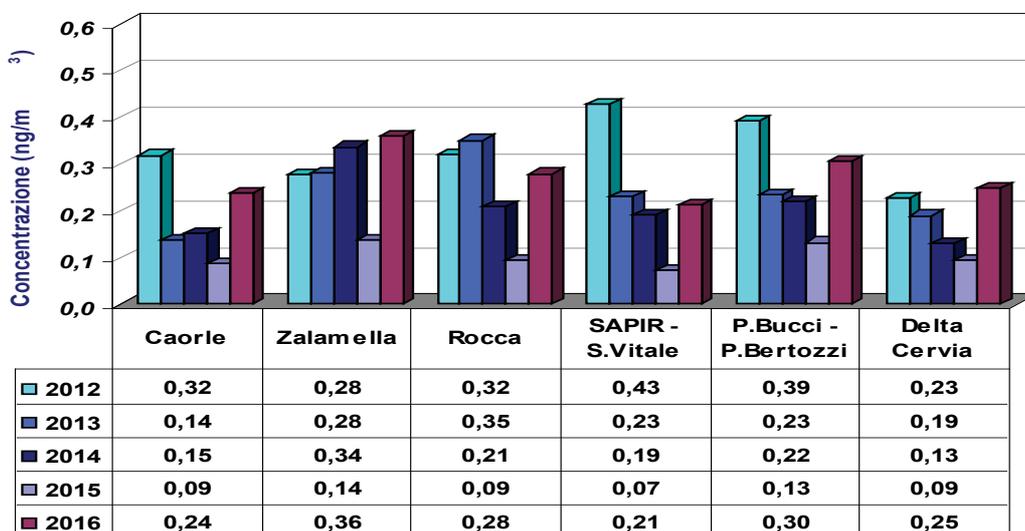
IPA Concentrazione di inquinante nella frazione PM10				Medie mensili di benzo(a)pirene in ng/m³		Limiti Normativi
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	1 ng/m ³
						Media annuale Benzo(a)pirene
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	94	<0,1	0,8	0,2
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	98	<0,1	1,0	0,3
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	97	<0,1	0,9	0,2
Zalamella	Ravenna	Traffico	99	<0,1	1,6	0,4
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	98	<0,1	1,0	0,3
San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	97	<0,1	0,9	0,2

Tabella 4.18 – IPA sul particolato PM10: parametri statistici e confronto con i limiti normativi

In Figura 4.25 sono riportate le concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene (in ng/m³) rilevate nelle postazioni della provincia negli ultimi 5 anni.

Le medie annuali del 2016 rilevate nelle postazioni sono più alte rispetto a quelle rilevate nel 2015, ma in linea con i valori degli anni precedenti e sempre inferiori al limite normativo di 1 ng/m³.

BaP - Medie annuali 2012 - 2016



Nota: i dati al di sotto del LR di 0.1 ng/m³ sono stati posti pari al limite stesso

Figura 4.25 – Concentrazioni medie annuali BaP – anni 2012 – 2016

L'istogramma delle concentrazioni medie mensili di BaP (Figura 4.26) mostra un marcato andamento stagionale, con concentrazioni anche al di sotto della sensibilità analitica nei mesi primaverili ed estivi e valori più significativi in periodo invernale.

Le concentrazioni più basse nei mesi estivi sono riconducibili alla concomitanza di diversi fattori, come la diminuzione delle sorgenti presenti (uso meno intensivo dell'auto, riscaldamento spento,...), la presenza di condizioni meteorologiche che favoriscono la diffusione degli inquinanti (venti più intensi, acquazzoni che dilavano l'atmosfera, assenza di inversione termica) ed una maggiore insolazione, in grado di favorire reazioni di degradazione degli IPA.

Nelle stazioni di Rocca e San Vitale le concentrazioni medie mensili appaiono in linea a quelle rilevate nelle altre stazioni della rete.

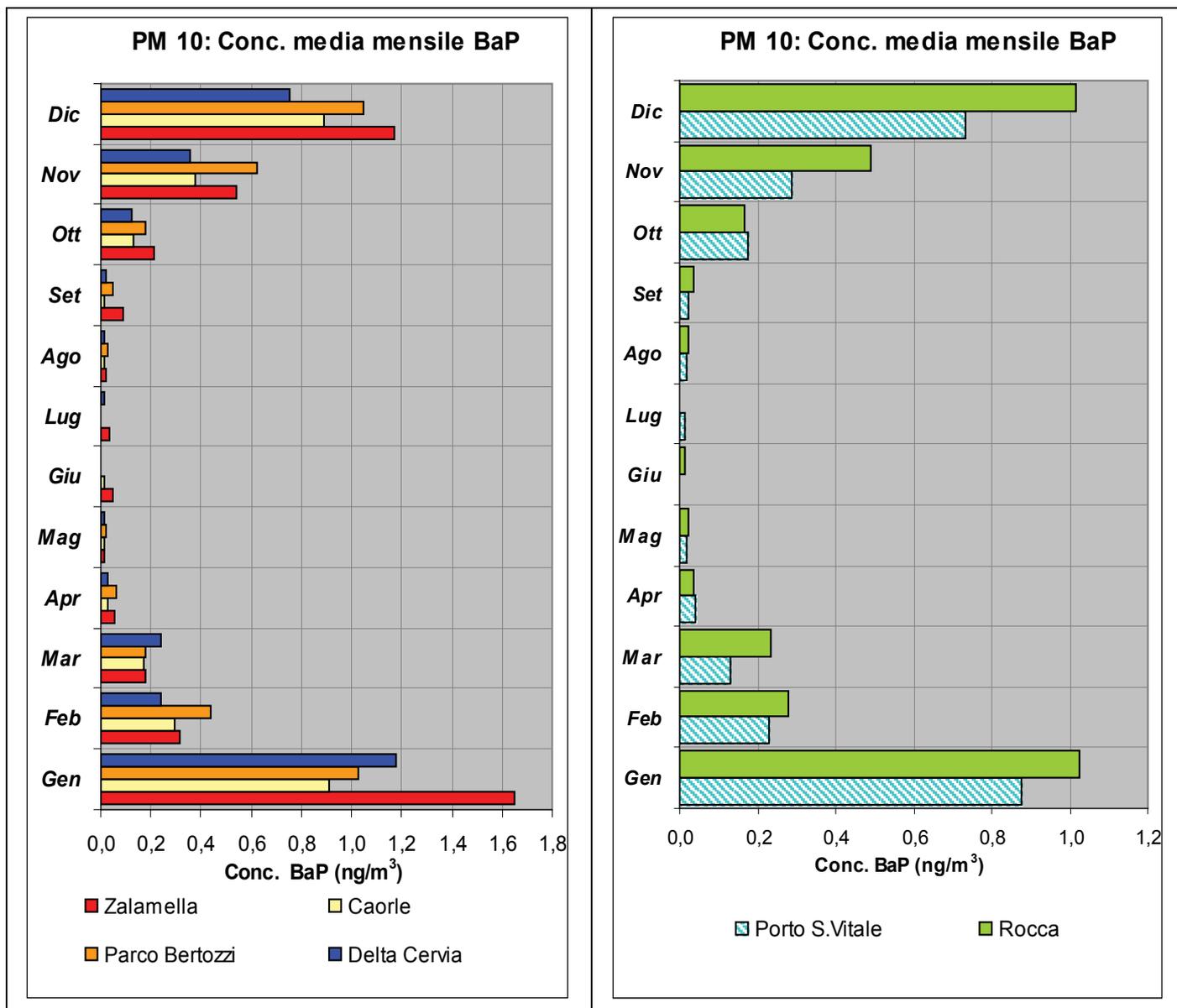
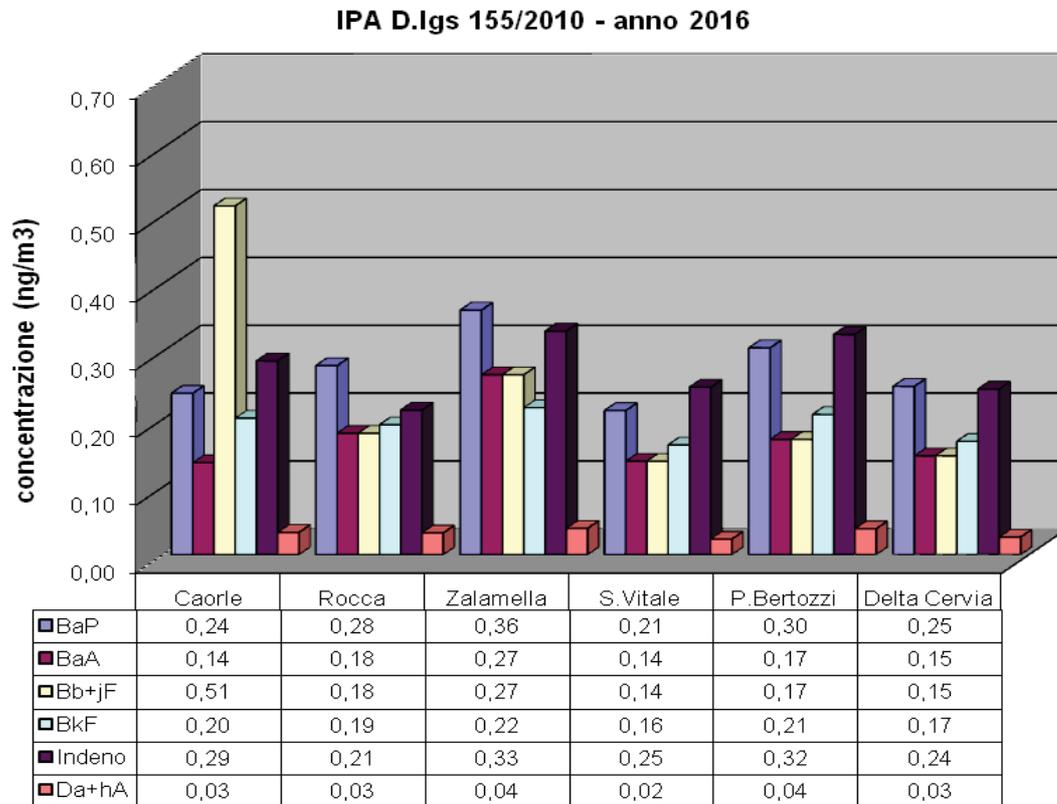


Figura 4.26 – Andamento temporale delle concentrazioni di BaP adsorbito al particolato PM10 nel corso del 2016 in stazioni urbane e di fondo (a sinistra) e in stazioni locali industriali (a destra)

Il grafico di figura 4.27 riporta le concentrazioni medie annuali degli IPA richiamati dal D.lgs 155/2010 e misurate nelle diverse postazioni della rete di controllo della qualità dell'aria: la

concentrazione maggiore si riscontra per il benzo[b+j]fluorantene, classificato dallo IARC come possibile cancerogeno per l'uomo (2B), presso la stazione di fondo urbano di Caorle.

Gli altri composti si attestano su valori più bassi. Particolarmente basse in tutte le postazioni sono le concentrazioni di dibenzo(a,h)antracene, anch'esso classificato dallo IARC 2B.



Nota: i dati al di sotto del LR di 0.1 ng/m³ sono stati posti pari al limite stesso

Figura 4.27 – Media annuale sul particolato PM10 (2016) degli IPA indicati dal D.lgs. 155/2010 - postazioni della rete di controllo della qualità dell'aria

4.9.1.1 - IPA nel PM2.5 e rapporto PM10/PM2.5

Dal 2009 gli IPA vengono rilevati anche sul particolato PM2.5: prima solo a Ballirana (dove si misura solo il PM2.5) e a Parco Bertozzi (dove si rileva anche il PM10) mentre dal 2014 anche nelle stazioni di Caorle e San Vitale (in queste stazioni si misura anche il PM10).

La figura 4.28 riporta, per l'anno 2016, la concentrazione media mensile di B(a)P adsorbito sul PM2.5 nelle quattro stazioni.

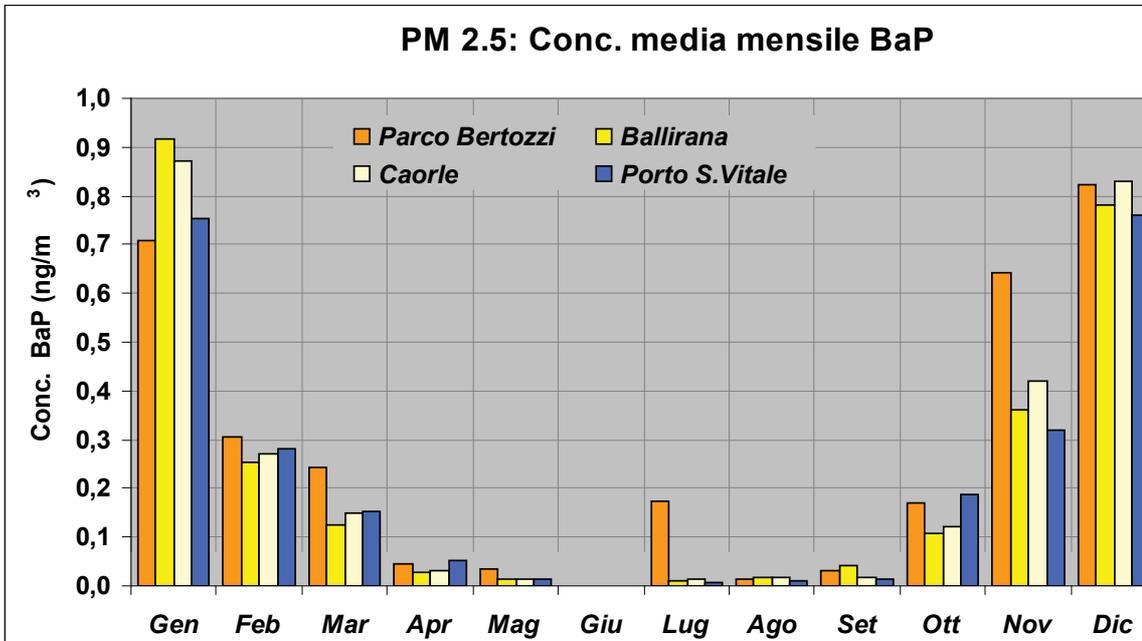


Figura 4.28 – Andamento temporale delle concentrazioni di BaP sul PM2,5 Anno 2016

Per la stazioni in cui si misura contestualmente PM10 e PM2.5 (Parco Bertozzi, Caorle e San Vitale), è stato calcolato anche il rapporto fra le concentrazioni assolute (ng di IPA/g di particolato) nelle due frazioni granulometriche. Considerata la significativa variabilità stagionale, si è scelto di rappresentare il rapporto (concentrazione nella frazione PM10/concentrazione nella frazione PM2.5) calcolato come media dei 6 mesi “invernali” (primo e ultimo trimestre dell’anno) e dei 6 mesi “estivi”, da aprile a settembre. Un valore di tale rapporto superiore ad 1 indica un maggiore adsorbimento dell’IPA in esame sul particolato PM10 rispetto alla frazione più fine, mentre un valore inferiore ad 1 evidenzia un adsorbimento maggiore sul particolato PM2.5.

In figura 4.29 è riportato il risultato di tale elaborazione per l’anno 2016.

Nella stazione Locale di Porto San Vitale (area portuale), nei mesi invernali il rapporto è inferiore a 1 per alcuni composti e superiore a 1 per altri, mentre durante la stagione estiva, il rapporto è maggiore di 1 per tutti i composti eccetto il ciclopenta(cd)pirene e il dibenzo(a,h+a,c)antracene.

Nella stazione di Caorle i valori oscillano attorno a 1 ad eccezione del . dibenzo(a,h+a,c)antracene che presenta un valore superiore a 2.

Nella stazione di Fondo Urbano di Faenza, Parco Bertozzi, si rilevano quasi sempre valori superiori a 1 sia durante il semestre invernale che in quello estivo, anche se d’estate, come per le altre stazioni, i rapporti aumentano per quasi tutti gli IPA.

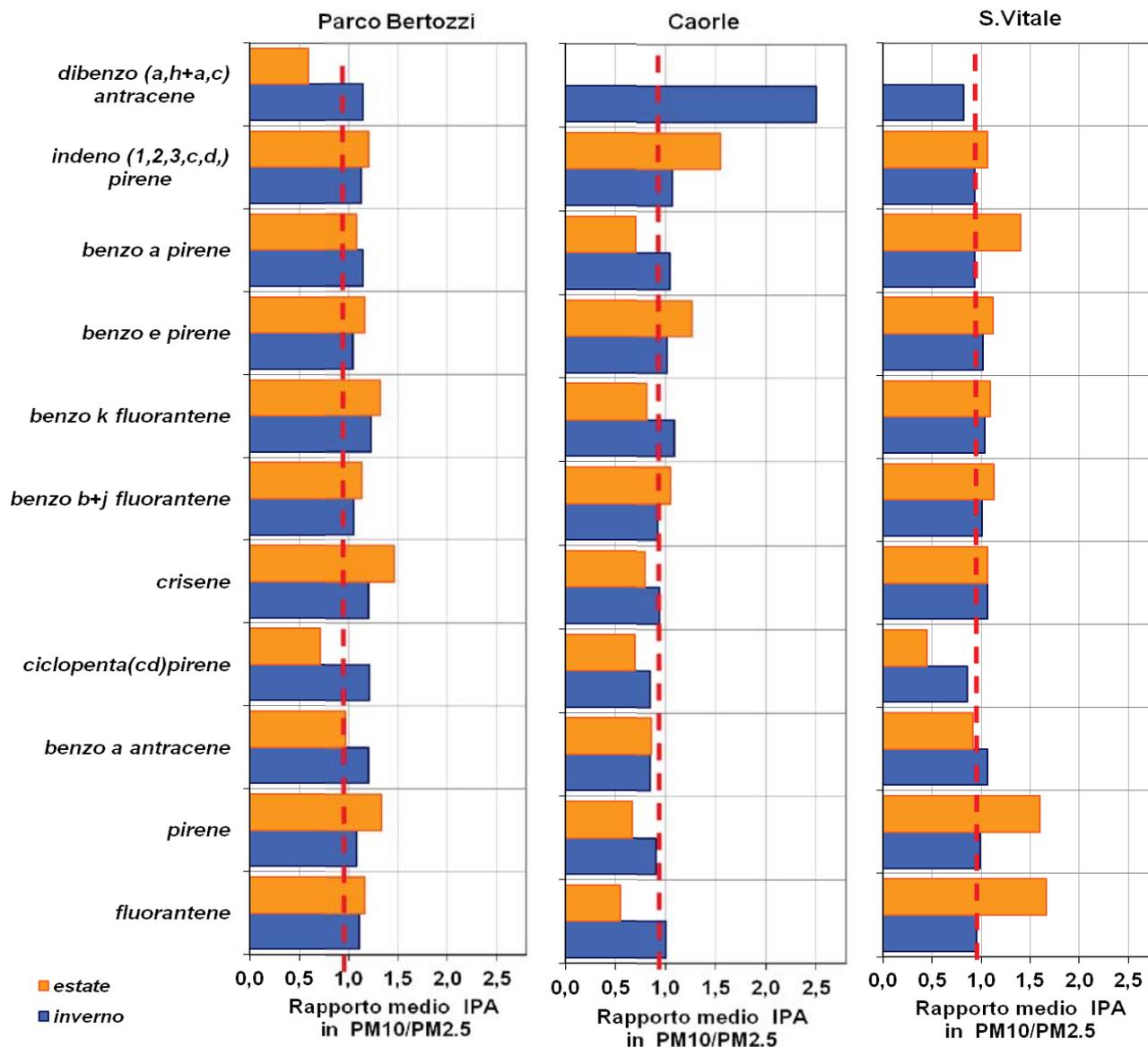


Figura 4.29 – Rapporto “ng IPA per ogni g PM10 / ng IPA per ogni g PM2.5” Anno 2016

4.9.1.2 Rapporti diagnostici

E' stato approfondito lo studio dei rapporti fra singoli IPA.

In letteratura sono citati alcuni valori di "rapporto diagnostico" - definito come relazione tra le concentrazioni di IPA considerati dei marker per particolari sorgenti antropiche - che consentono di formulare ipotesi circa la sorgente prevalente nella formazione di questi composti.

In particolare sono stati calcolati i rapporti diagnostici riportati in tabella 4.19, con riferimento all'anno 2016 e il risultato denota una predominanza, pressoché in tutte le postazioni, dell'apporto dato dalla sorgente "traffico veicolare".

Diagnosis ratio	Value	Sources	References
Indeno[1,2,3-cd]pyrene/(indeno[1,2,3-cd]pyrene + benzo[ghi]perylene)	0.18	Cars	Grimmer et al. (1983); Ravindra et al. (2006a, b) Kavouras et al. (2001)
	0.37	Diesel	
	0.56	Coal	
	0.62	Wood burning	
	0.35-0.70	Diesel emissions	
Fluorene/(fluorene + pyrene)	>0.5	Diesel	Rogge et al. (1993a,b); Mandalakis et al. (2002); Fang et al. (2004); Ravindra et al. (2006a, b)
	<0.5	Gasoline	
B[a]P/(B[a]P + chrysene)	0.5	Diesel	Khalili et al. (1995); Guo et al. (2003)
	0.73	Gasoline	
Benzo[b]fluoranthene/benzo[k]fluoranthene	>0.5	Diesel	Pandey et al. (1999); Park et al. (2002)
B[a]P/benzo[ghi]perylene	0.5-0.6	Traffic emission	Pandey et al. (1999); Park et al. (2002); Pandey et al. (1999)
	>1.25	Brown coal ^b	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene/benzo[ghi]perylene	<0.4	Gasoline	Caricchia et al. (1999)
	~1	Diesel	
CPAHs/TPAHs ^a	~1	Combustion	Prahl et al. (1984); Takada et al. (1990); Mantis et al. (2005) Ravindra et al. (2006a, 2008); Gogou et al. (1996)
	~1	Combustion	
Fluoranthene/benzo[e]pyrene	3.5±0.5	Automobile exhaust	Oda et al. (2001)
Pyrene/benzo[e]pyrene	6±1	Diesel engine	
	~10		
Pyrene/B[a]P	~1	Gasoline engine	
	~1	Gasoline engine	
Fluoranthene/pyrene	0.6	Vehicle	Neilson (1998)

^aSum of major non-alkylated compounds (fluorene + pyrene + benzo[a]anthracene + chrysene + benzo[b]fluoranthene + benzo[k]fluoranthene + B[a]P + indeno[1,2,3-cd]pyrene + benzo[ghi]perylene)/total concentration of PAHs.
^bUsed for residential heating and industrial operation.

Tabella 4.19– Esempi di rapporti diagnostici (Ravindra et. al., atm environment (2008) doi:10.1016/j.atmosenv.2007.12.010).

A titolo esemplificativo si riportano i rapporti evidenziati in rosso nella tabella 4.19, calcolati per l'anno 2015:

- $\text{indeno}(123\text{cd})\text{pirene} / (\text{indeno}(123\text{cd})\text{pirene} + \text{benzo}(\text{ghi})\text{perilene})$
- $\text{BaP} / (\text{BaP} + \text{crisene})$.

Per ogni rapporto è stata calcolata la media annua e la media dei soli mesi autunnali e invernali (gennaio-marzo e ottobre-dicembre), gli IPA infatti subiscono reazioni di degradazione per effetto dell'insolazione, ma con modalità e intensità diverse fra i vari composti e questo può alterare il valore del rapporto diagnostico.

Rapporto medio					
		$I(123cd)P / I(123cd)P + B(ghi)Pe$		$BaP / (BaP + crisene)$	
Stazione		2016	autunno ed inverno 2016	2016	autunno ed inverno 2016
Rocca	PM10	0,38	0,38	0,48	0,44
Caorle	PM10	0,50	0,51	0,53	0,54
Caorle	PM2.5	0,50	0,50	0,52	0,52
Zalamella	PM10	0,48	0,49	0,52	0,49
P. Bertozzi	PM10	0,51	0,52	0,55	0,54
P. Bertozzi	PM2.5	0,51	0,51	0,59	0,58
Ballirana	PM2.5	0,50	0,50	0,50	0,50
Cervia	PM10	0,50	0,50	0,54	0,51
San Vitale	PM10	0,47	0,48	0,50	0,51
San Vitale	PM2.5	0,48	0,49	0,50	0,50

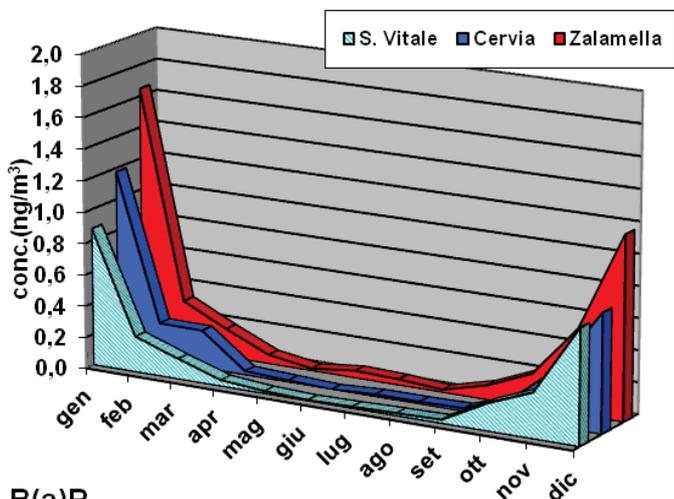
Tabella 4.20 – Rapporti diagnostici calcolati per le postazioni della provincia di Ravenna - 2016

valore di riferimento	Traffico veicolare	0.35 ÷ 0.70	0.5 diesel	0.73 benzina
-----------------------	--------------------	-------------	------------	--------------

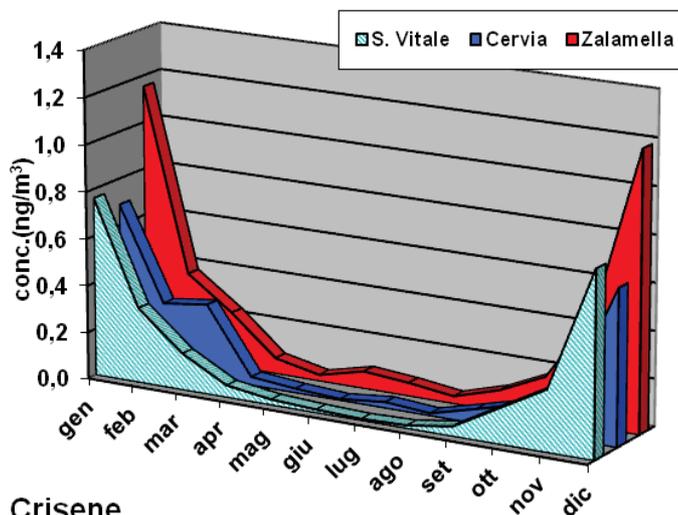
Per quanto riguarda il rapporto $I(123cd)P / [I(123cd)P + B(ghi)Pe]$, in tutte le postazioni si riscontrano valori molto stabili e sempre compresi nel range di riferimento tipico delle emissioni da traffico veicolare, sia nella stagione invernale sia nell'intero anno.

Stabilità fra valori invernali ed annuali si rileva anche per il rapporto $BaP / [(BaP + crisene)]$. I dati sono simili in tutte le postazioni e compresi fra quelli tipici di emissioni da veicoli a benzina e veicoli diesel.

Per gli IPA considerati nei rapporti diagnostici (indeno(123cd)pirene, benzo(ghi)perilene, benzo(a)pirene e crisene) vengono di seguito rappresentate le medie mensili (Figura 4.30) per le postazioni di traffico urbano (Zalamella), industriale (San Vitale) e fondo suburbano (Delta Cervia).



B(a)P



Crisene

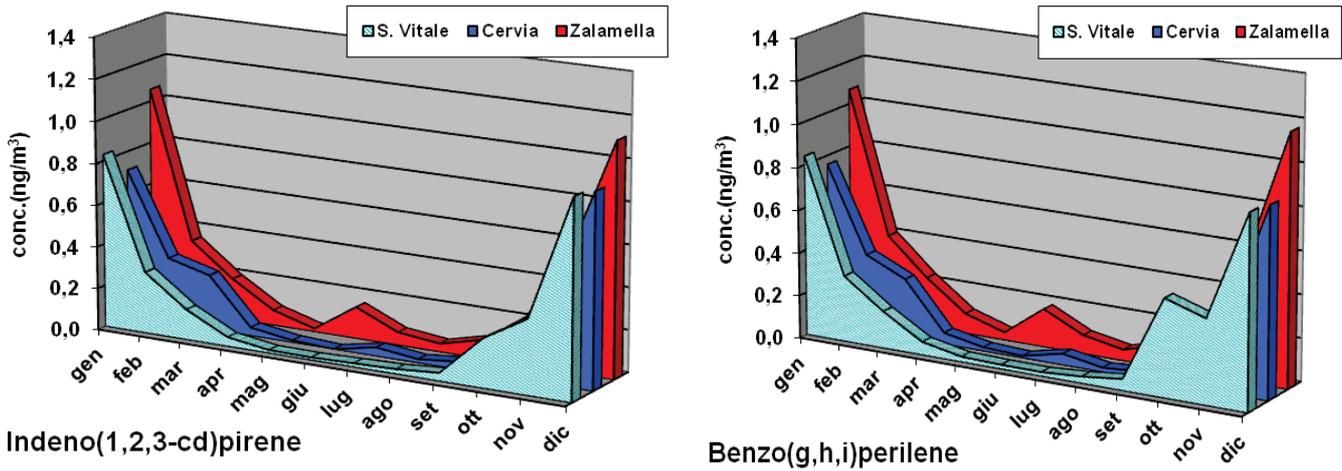


Figura 4.30 – Medie mensili degli IPA considerati nei rapporti diagnostici – 2016

In Figura 4.31 i risultati dei due rapporti diagnostici relativi ai periodi autunno e inverno degli ultimi cinque anni, calcolati per le stazioni di Zalamella, Delta Cervia e San Vitale. Mentre il primo rapporto risulta stabile intorno a 0.5 (ad esclusione della stazione industriale SAPIR nel 2013), il rapporto BaP/(BaP+Crisene) varia tra 0.5 e 0.7 circa.

Sullo stesso grafico è riportato il range di valori “tipici” per il traffico veicolare nel rapporto indeno/(indeno+benzo(g,h,i)perilene) e quelli “tipici” di veicoli diesel e benzina per il rapporto BaP/(BaP+Crisene).

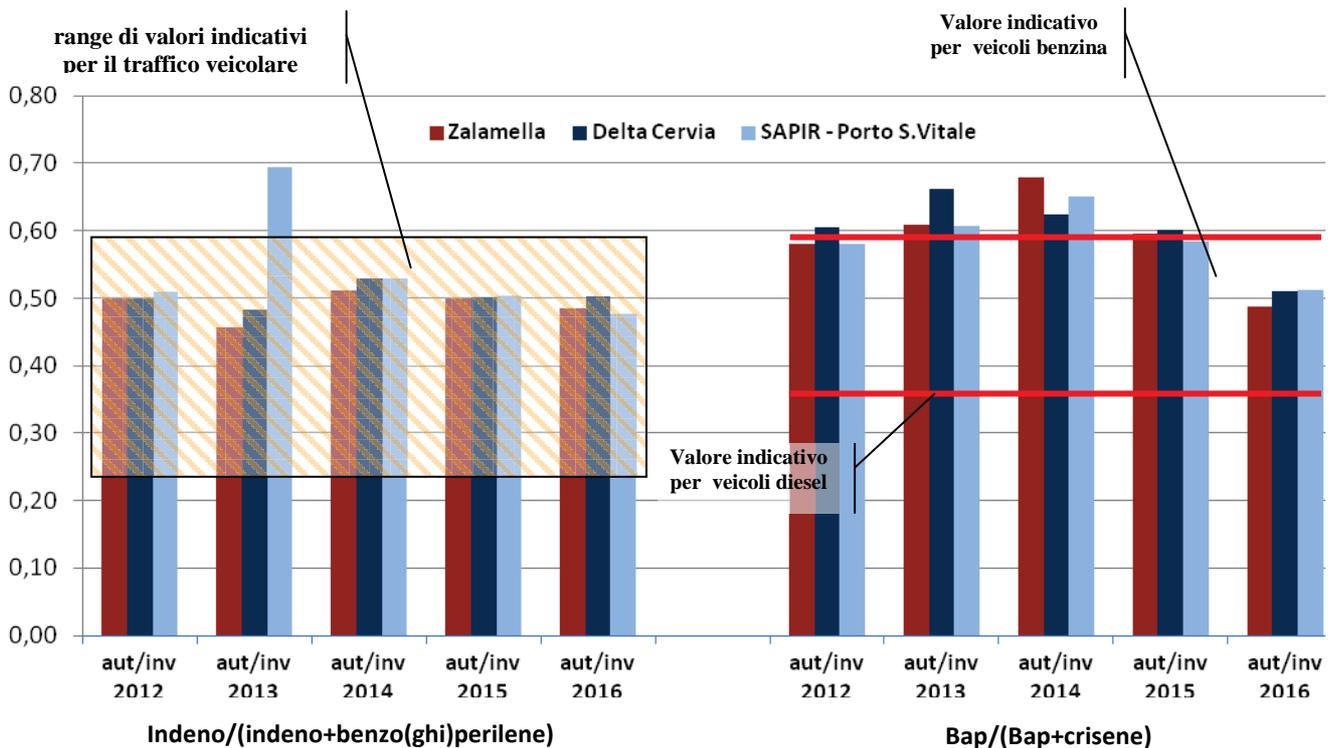


Figura 4.31 – Rapporti diagnostici, mesi invernali e autunnali 2012 - 2016

4.9.2 Metalli

Nel particolato atmosferico sono presenti metalli di varia natura. Quelli di maggior rilevanza sotto il profilo tossicologico per i quali esiste un limite normativo sono: nichel, cadmio, arsenico e piombo, che hanno evidenziato un'ampia gamma di effetti tossici sulla salute e sono classificati dall'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro (IARC) come cancerogeni per l'uomo.

I metalli presenti nel particolato provengono da diverse fonti sia naturali che antropiche:

- **Alluminio (Al), Ferro (Fe), Silicio (Si), Potassio (K), Manganese (Mn), Calcio (Ca), Cromo (Cr):** costituenti della crosta terrestre ⇒ suolo, rocce;

- **Sodio (Na), Cloro (Cl), Magnesio (Mg):** aerosol marino;

- **Bromo (Br), Piombo (Pb), Bario (Ba):** emissioni da trasporto veicolare;

- **Vanadio (V), Nichel (Ni):** combustione di olii combustibili, produzione di metalli non ferrosi, produzione di ferro e acciaio;

- **Selenio (Se), Arsenico (As), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Rame (Cu):** combustione di carbone, produzione di metalli non ferrosi;

- **Zinco (Zn), Antimonio (Sb), Rame (Cu), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg):** incenerimento di rifiuti, produzione di cemento, produzione di metalli non ferrosi, produzione di ferro e acciaio.

In particolare il piombo aveva come fonte predominante il traffico veicolare da motori a benzina, ma dal 01/01/2002 con l'adozione della "benzina verde", si è registrata una riduzione del 97% della concentrazione di tale metallo sul particolato.

Piombo, zinco, cadmio, arsenico, nichel, vanadio, si trovano in prevalenza nella frazione fine del particolato, mentre elementi come, ferro, cromo, calcio, silicio, alluminio, rame e manganese si possono trovare anche nella parte più "grossolana" del PM10 (detta anche frazione coarse).

Indicatore	Copertura temporale	Stato attuale indicatore	Trend
Concentrazione in aria di Metalli Pesanti (As, Cd, Ni, Pb)	2013 - 2016		

Valutazione in sintesi

Per tutti i metalli ricercati, nell'anno 2016, le concentrazioni medie risultano inferiori ai limiti di legge e in linea con i dati rilevati negli anni precedenti; fa eccezione il Cromo, le cui concentrazioni sono risultate, per alcune stazioni, superiori al trend storico.

Rispetto ai riferimenti normativi non si riscontrano particolari criticità per questi inquinanti anche se, considerata la classificazione di alcuni di essi da parte dello IARC e il trend stazionario (non in diminuzione) la valutazione dell'indicatore non può essere in generale positiva.

Metalli Concentrazione di inquinante nella frazione PM10				Limiti Normativi Medie annuali			
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Arsenico(As) 6 ng/m ³	Cadmio (Cd) 5 ng/m ³	Nichel (Ni) 20 ng/m ³	Piombo(Pb) 500 ng/m ³ = 0,5 µg/m ³
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	94	0,5	0,2	6,9	3,8
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	98	0,5	0,1	2,6	3,8
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	97	0,4	0,5	1,4	3,3
Zalamella	Ravenna	Traffico	99	0,5	1,2	2,2	4,4
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	98	0,5	0,8	4,1	4,2
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	97	0,5	0,9	2,7	4,0

Tabella 4.21 – Metalli sul particolato PM10 espressi in ng/m³: parametri statistici e confronto con i limiti normativi

Per determinare i metalli sul particolato PM10 e PM2.5 viene utilizzato il metodo UNI EN 14902/05. Una porzione delle membrane campionate viene mineralizzata con microonde, ponendo il campione in contenitori ermetici in PTFE nei quali sono aggiunti acidi ultrapuri.

La determinazione analitica della soluzione di campione è effettuata con un sistema ICP/MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

I risultati delle analisi evidenziano come metalli e non metalli siano sempre presenti, pur rappresentando una piccola percentuale sulla massa del particolato atmosferico (max. 2-3%).

Di seguito si riportano i risultati di alcuni lavori effettuati ormai più di dieci anni fa, che quindi hanno una valenza più qualitativa che quantitativa (essendosi nel frattempo modificato il pattern emissivo), relativi a:

- la distribuzione dei metalli nelle diverse frazioni granulometriche del particolato campionato nell'area urbana di Bologna (Progetto ARPA-EMR/UNIBO (Polvere II) – Periodo 2004-2005) – Fig 4.32;
- i range della concentrazione media annuale di alcuni metalli (Pb, Cd, Ni, As) rilevata in Italia e in Europa, pubblicati dell' Istituto Superiore di Sanità (ISS) (tabella 4.22).

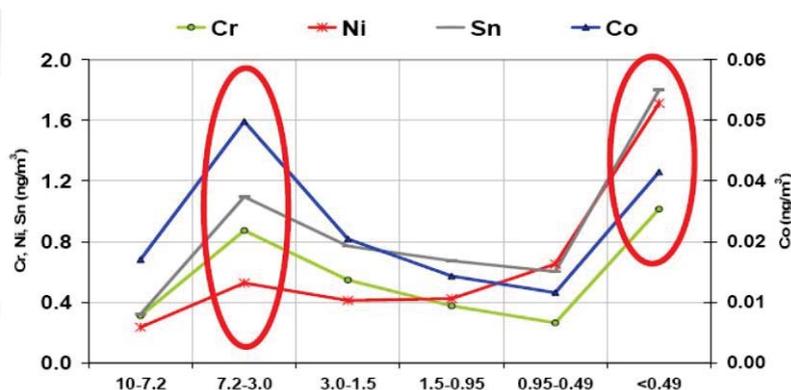


Figura 4.32 (a)-
Concentrazione di metalli
nelle varie frazioni
dimensionali di aerosol (in
ascissa)
Progetto ARPA-
EMR/UNIBO (Polvere II) –
Periodo 2004-2005 -
Bologna

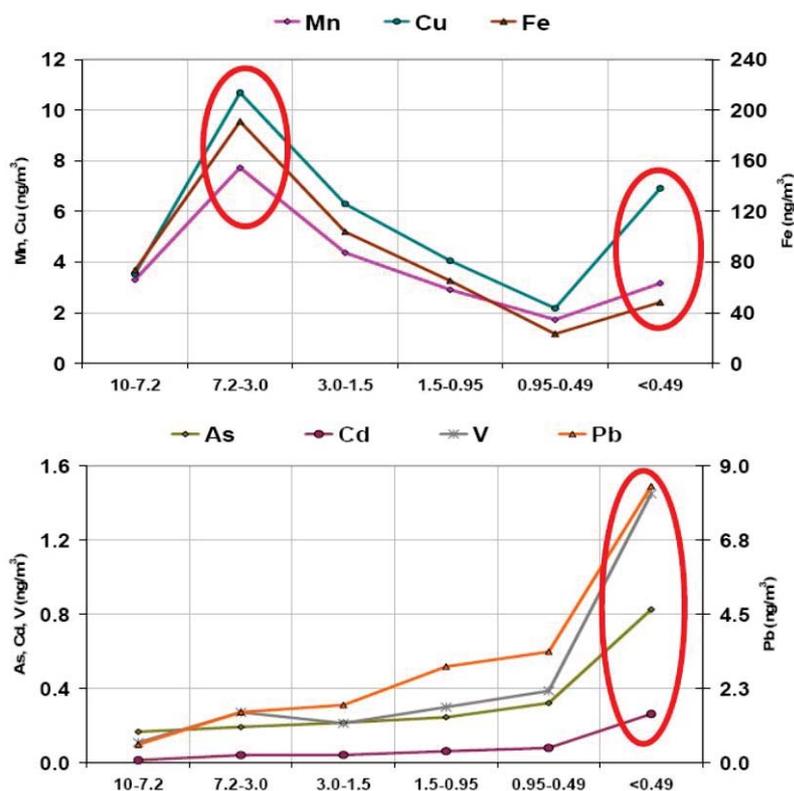


Figura 4.32 (b)- Concentrazione di metalli nelle varie frazioni dimensionali di aerosol (in ascissa) Progetto ARPA-EMR/UNIBO (Polvere II) – Periodo 2004-2005 - Bologna

Inquinante	ISS 1999-2000 ⁽¹⁾	ISS 2003 ⁽²⁾	ISS 2004 ⁽³⁾	Range italiano	Range europeo	Valore obiettivo
Piombo	68	21	10,1	6,3 - 210	10 -100	500
Cadmio	0,62	0,51	0,34	0,2 - 4	0,2 - 2,5	5
Nichel	6,6	6,2	4,8	3,3 - 35	1,4 -13	20
Arsenico	--	4,3	1,7	0,3 - 8,4	0,5 - 3	6

1) Misure ISS - periodo aprile 1999-febbraio 2000; 2) Valori medi annuali delle concentrazioni determinate nel periodo 1996-2003 a: Firenze, Roma, Bari, Padova, Bolzano, Reggio Emilia, Catania, Torino, Venezia, Milano, Aosta. 3) Siti urbani influenzati dal traffico.

Tabella 4.22 - Istituto Superiore di Sanità: concentrazioni (ng/m³) di piombo, cadmio, nichel, arsenico nichel – Anni 2000 - 2004

La concentrazione media annuale dei metalli rilevati in provincia di Ravenna sul particolato PM10 e PM2,5 nel 2016 è riportata nei grafici di figura 4.33.

Per il cadmio le concentrazioni annuali maggiori sono state rilevate a Zalamella, stazione di traffico urbano e, più in generale, le concentrazioni di cadmio sono significativamente superiori nell'area urbana di Ravenna.

Per il cromo le concentrazioni annuali maggiori si sono rilevate a Rocca Brancaleone, in generale nel 2016 in diverse stazioni sono state rilevate concentrazioni di Cromo superiori rispetto agli anni scorsi.

I valori medi annui di Nichel sono simili in tutte le stazioni, con una media annua più elevata a Delta Cervia, data da un valore anomalo di concentrazione nel mese di Aprile (61.7 ng/m³ – figura 4.34). Per il vanadio nella stazione locale/industriale (Porto San Vitale) sono state registrate medie mensili regolarmente più alte che nelle altre stazioni, riconducibile al traffico navale. In tutte le stazioni le concentrazioni di argento sono inferiori al limite di rilevabilità analitico. Arsenico e Piombo sono ubiquitari.

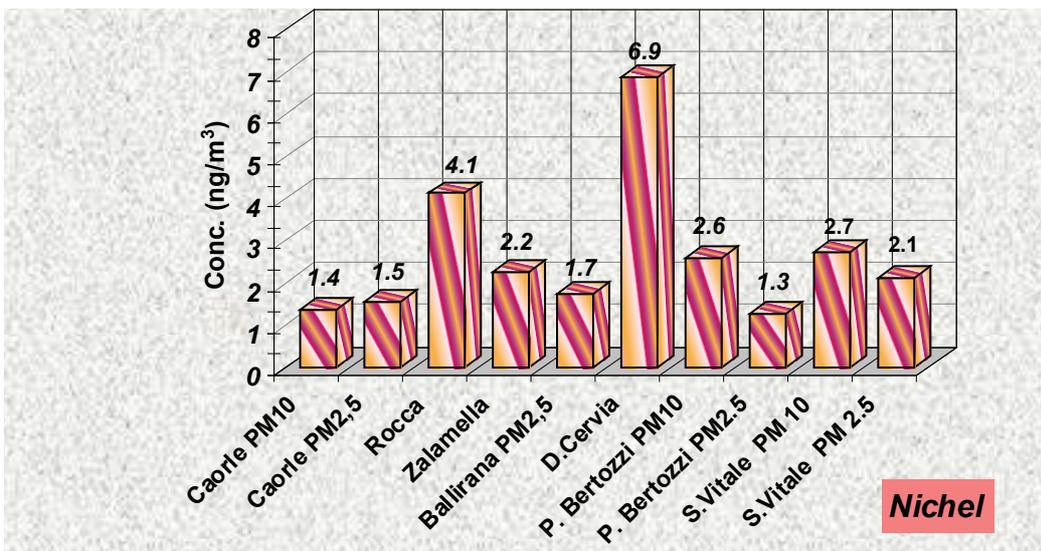
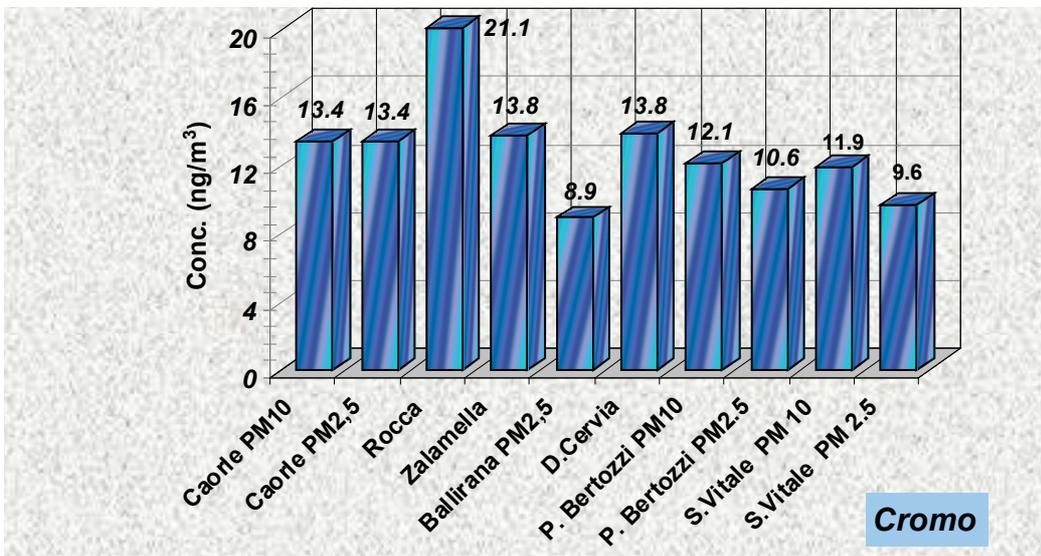
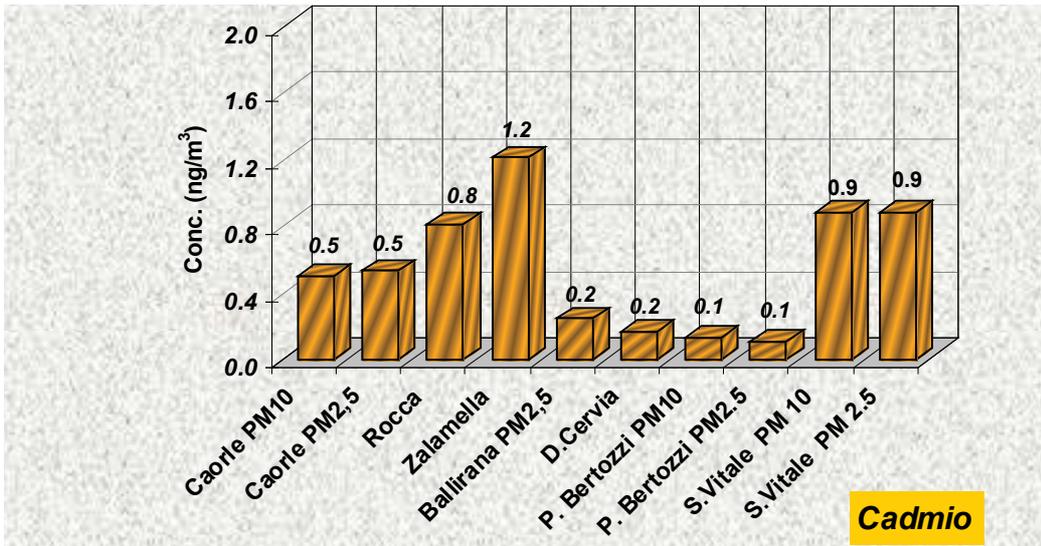


Figura 4.33(a)
Metalli:
concentrazione
media annuale
sul particolato
PM10 e PM2.5

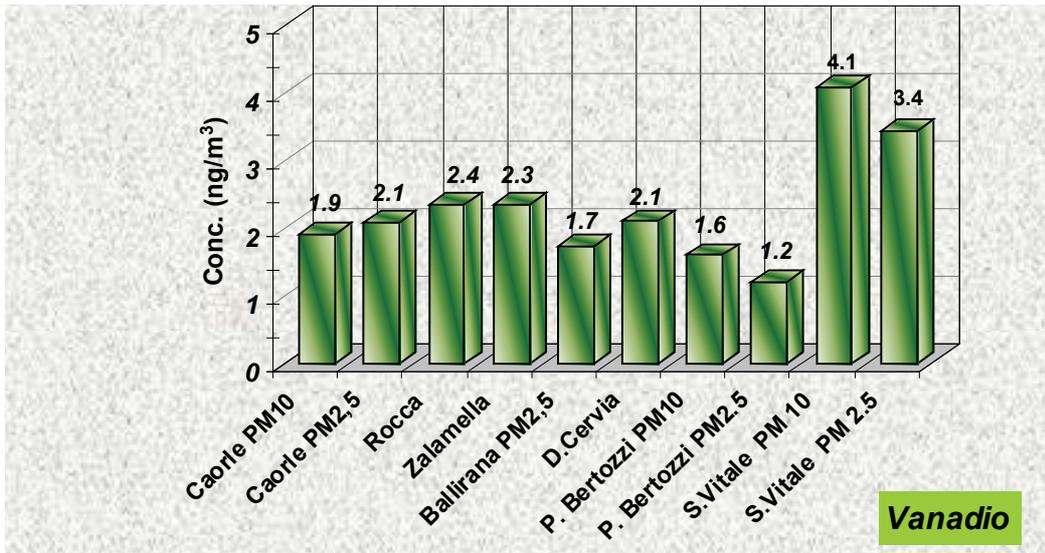
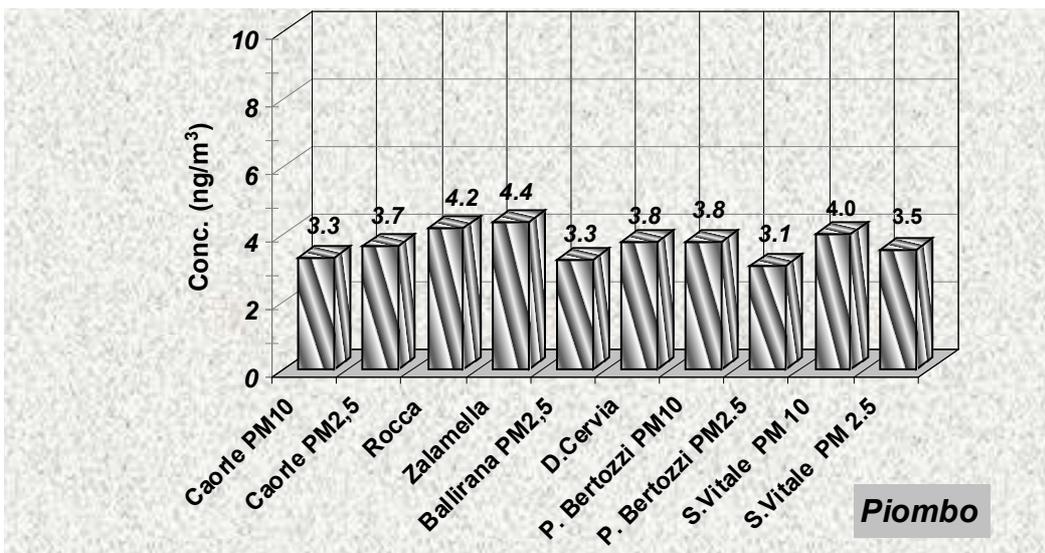
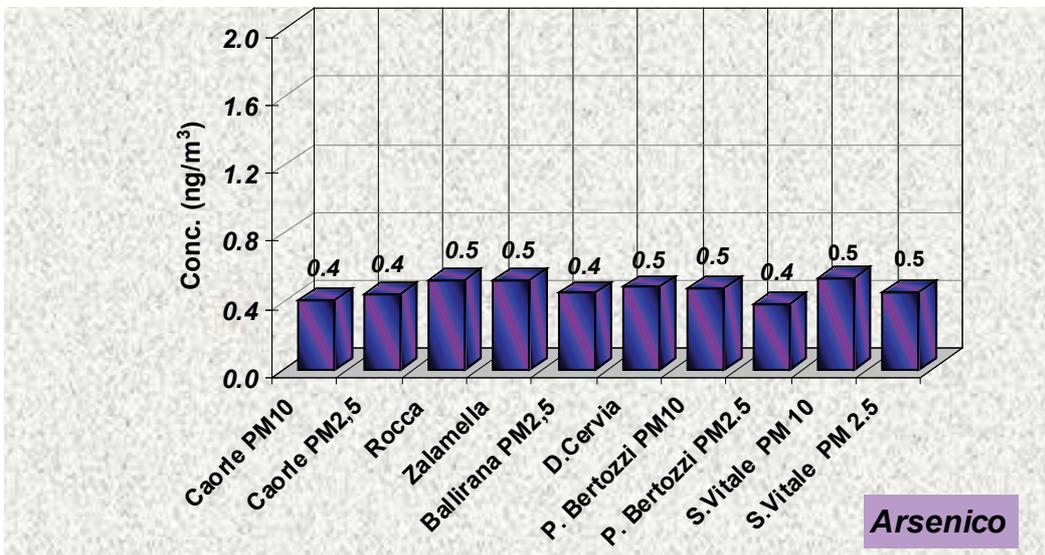


Figura 4.33 (b)
Metalli:
concentrazione
media annuale
sul particolato
PM10 e PM2.5



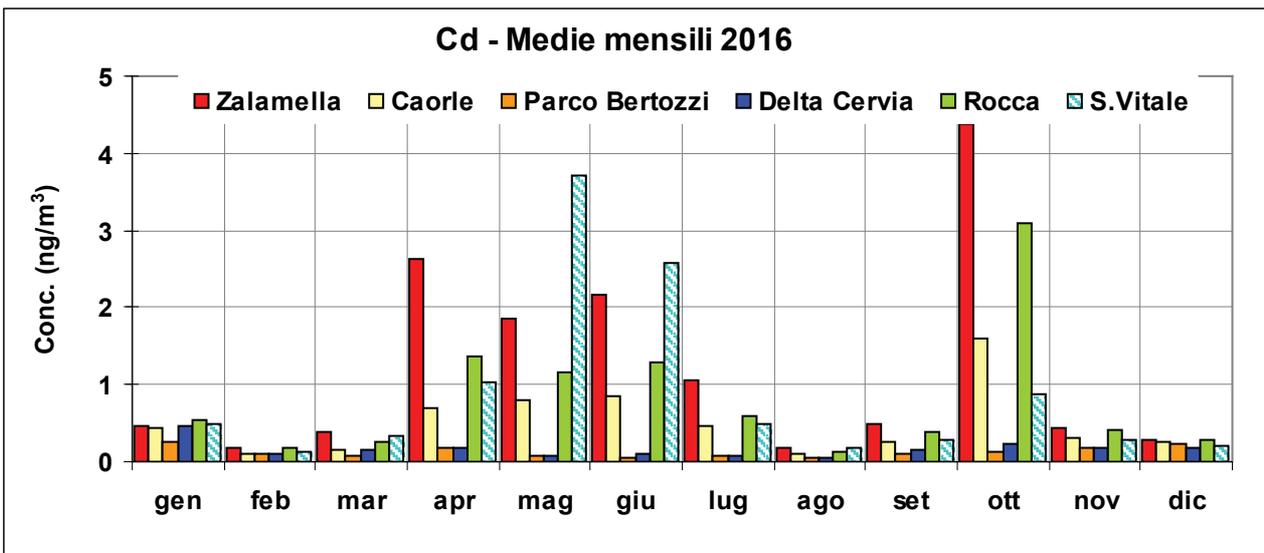
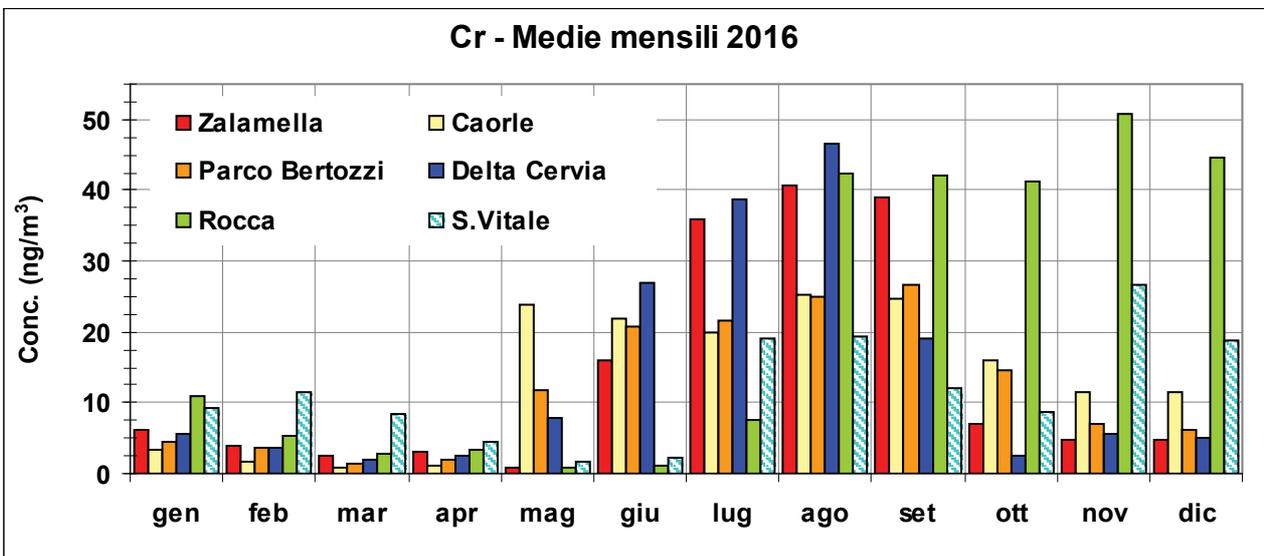
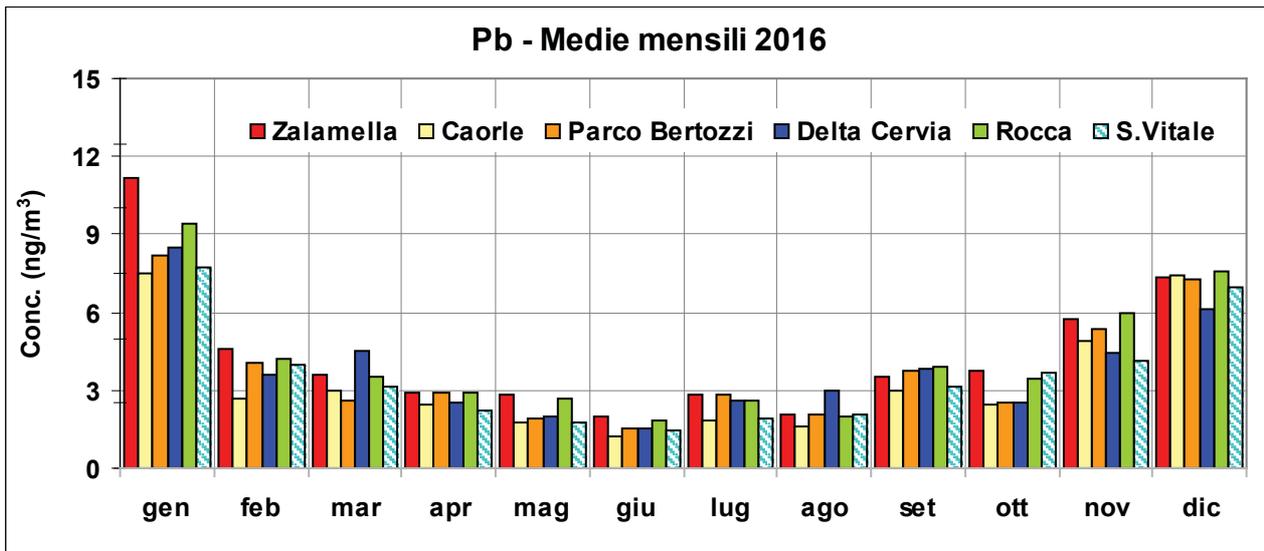


Figura 4.34 (a) – Medie mensili di piombo, cromo e cadmio nel particolato PM10 – Anno 2016

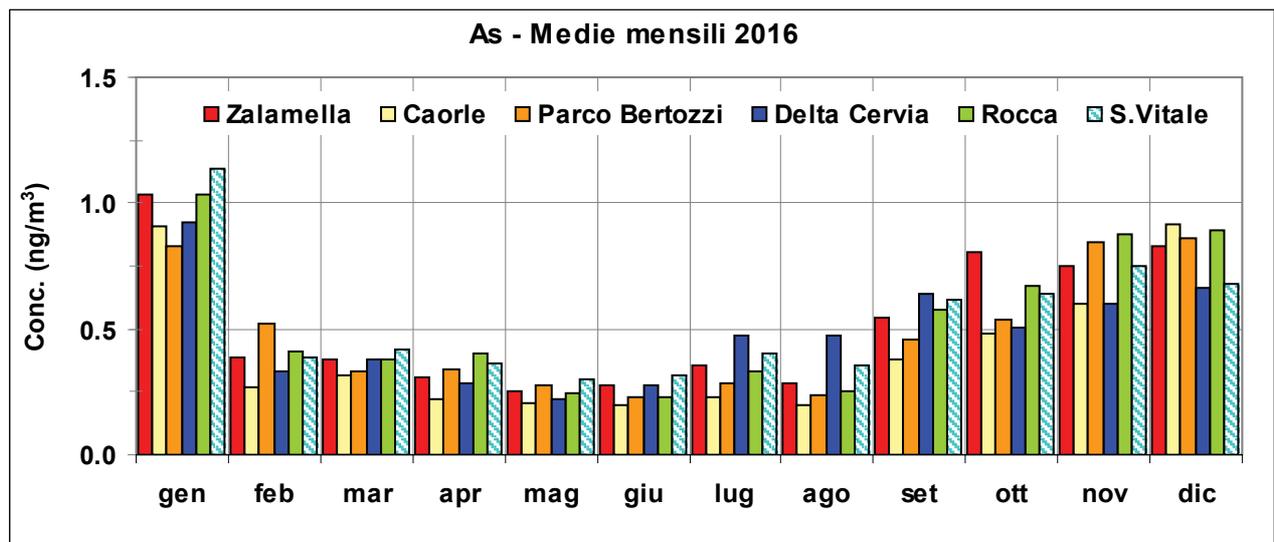
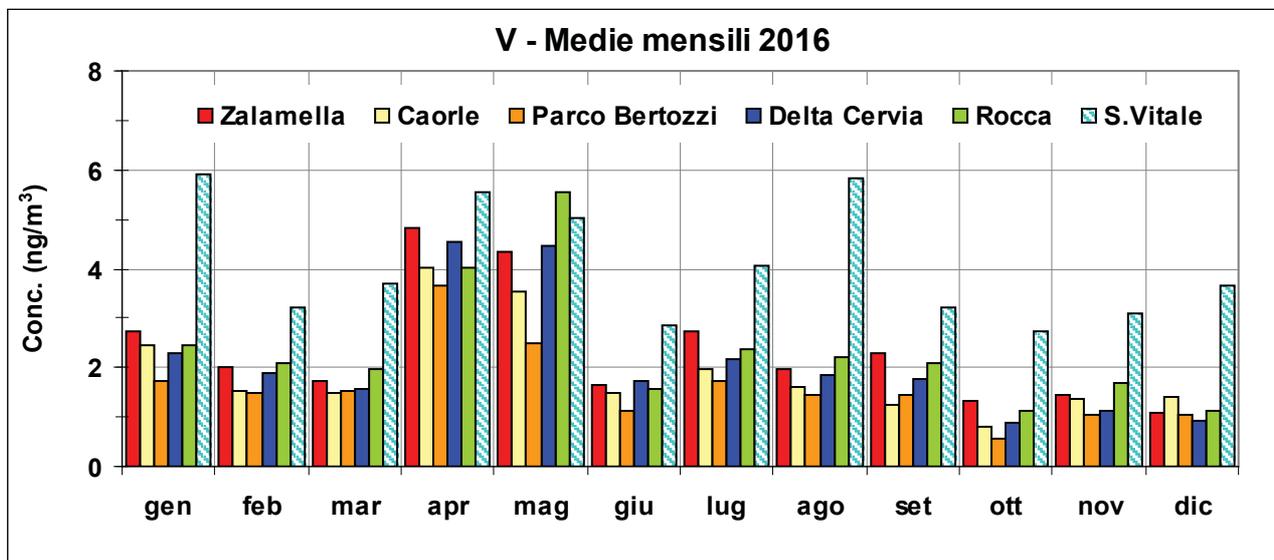
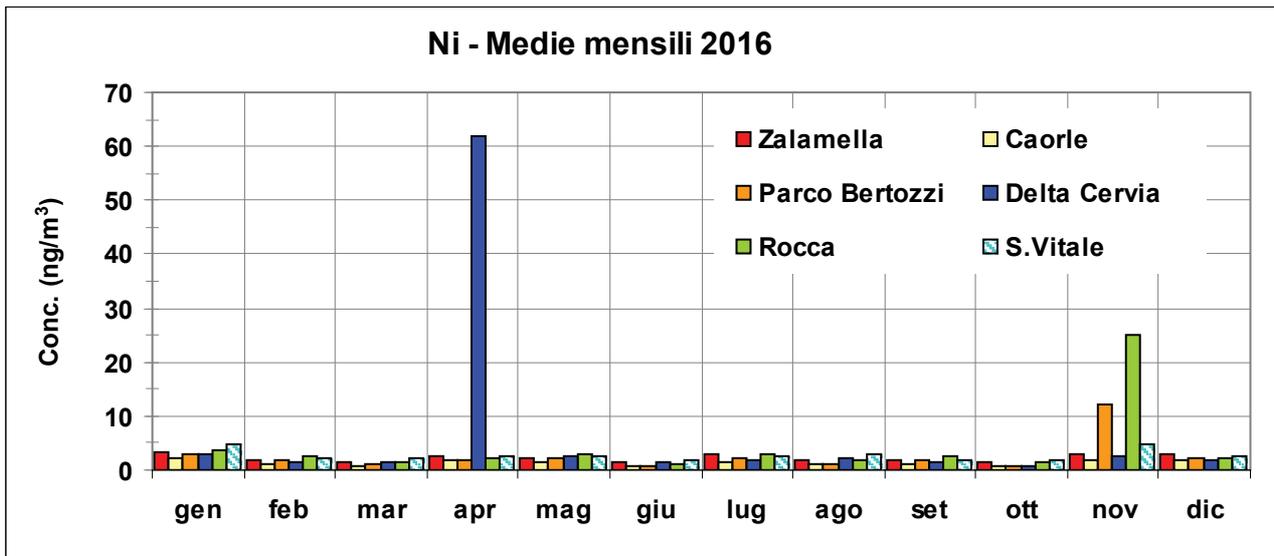


Figura 4.34 (b)– Medie mensili di nichel, vanadio e arsenico nel particolato PM10 – Anno 2016

Le concentrazioni misurate nella RRQA di Ravenna (comprese le stazioni Locali) confrontate con i dati pubblicati dall'ISS e con i campionamenti effettuati nell'area urbana di Bologna nel biennio

2004 – 2005 (Tabella 4.23), mostrano valori dello stesso ordine di grandezza o inferiori rispetto ai dati riportati in bibliografia per nichel, arsenico, e piombo. Anche i valori del Vanadio risultano in linea con quelli in bibliografia, con l'unica eccezione del valore massimo misurato nella stazione Locale industriale di Porto San Vitale. Valori tendenzialmente più alti rispetto al trend degli anni precedenti sono stati rilevati in diverse stazioni della rete a partire dai mesi estivi (figura 4.34). Alle concentrazioni medie annuali di cadmio contribuiscono significativamente quelle rilevate nei mesi di aprile, maggio, giugno e ottobre nell'area urbana di Ravenna (Caorle, Zalamella e Rocca Brancaleone) e Porto San Viale (Fig. 4.34).

Metallo	Cr	Ni	As	Cd	V	Pb
Concentrazione (ng/m ³) ISS 2004	-	4,8	1,7	0,34	-	10
Concentrazione (ng/m ³) Bologna PM10	3,1	4,0	1,4	0,61	1,5	18
Concentrazione (ng/m ³) Ravenna 2016	Min 8.9	Min 1.4	Min 0.4	Min 0.1	Min 1.6	Min 3.3
	Max 21.1	Max 6.9	Max 0.5	Max 1.2	Max 4.1	Max 4.4

Tabella 4.23 Confronto concentrazioni medie annuali in ng/m³ di alcuni metalli rilevate a Bologna (2004-2005), a Ravenna (2016) e dati ISS 2004

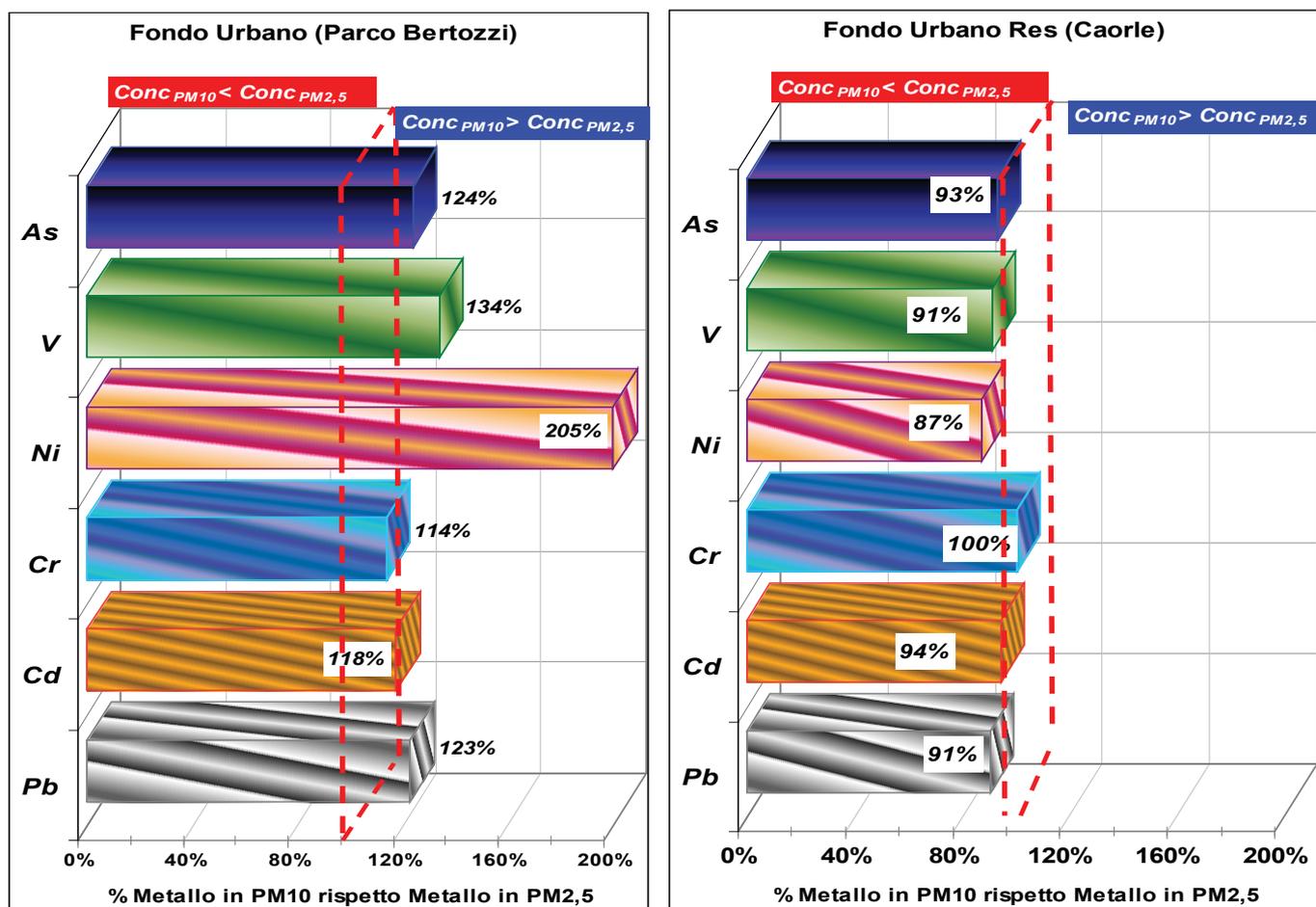
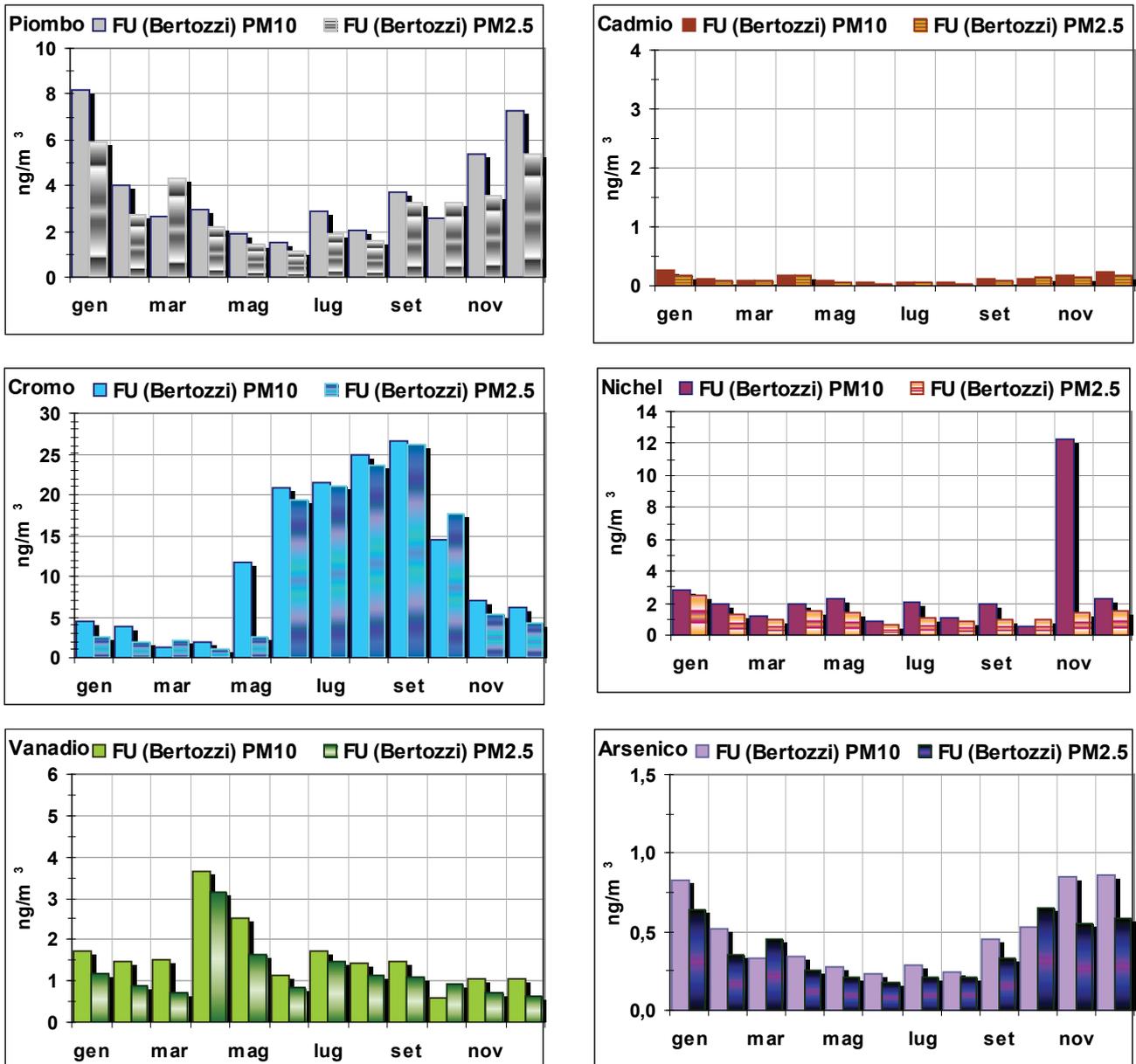


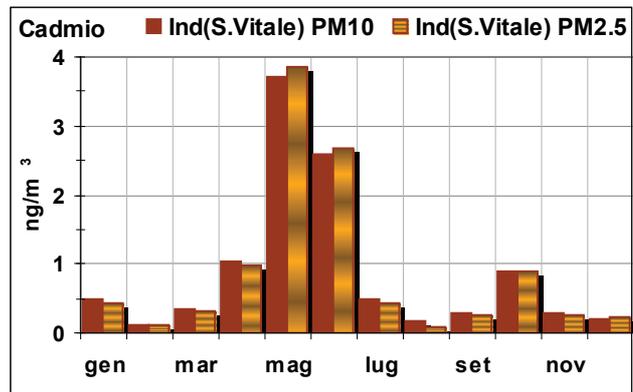
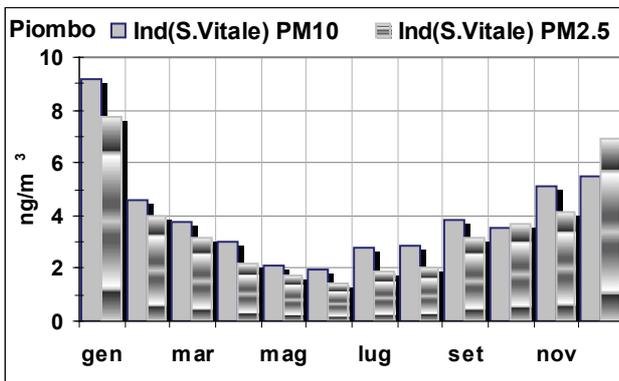
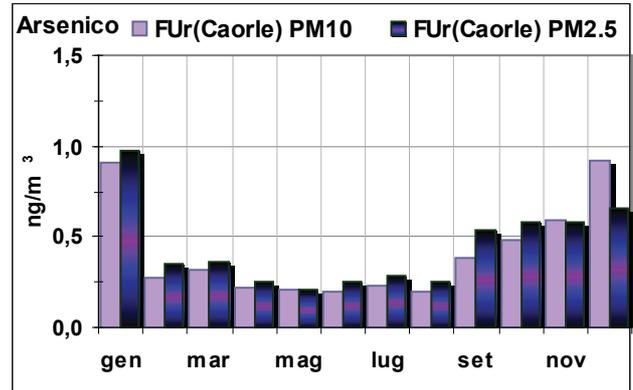
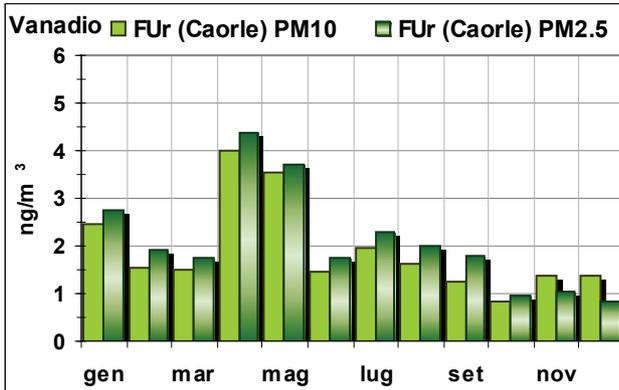
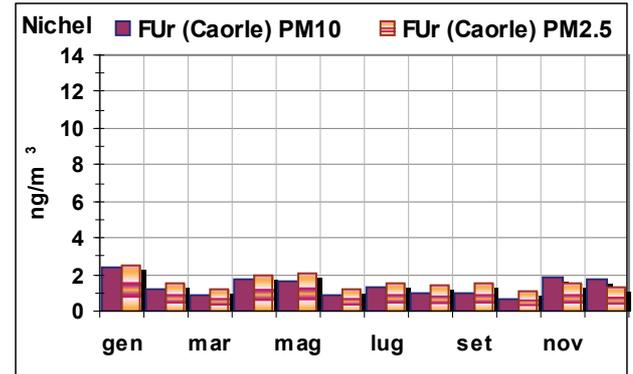
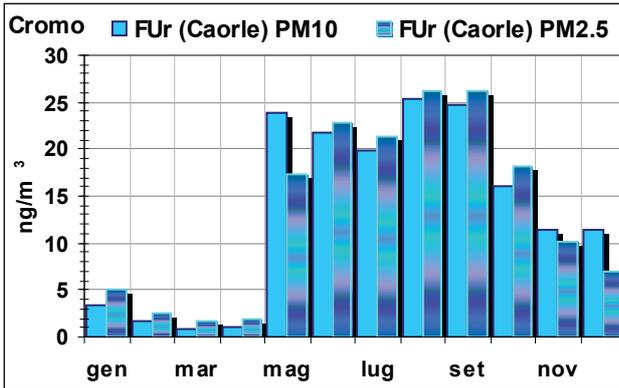
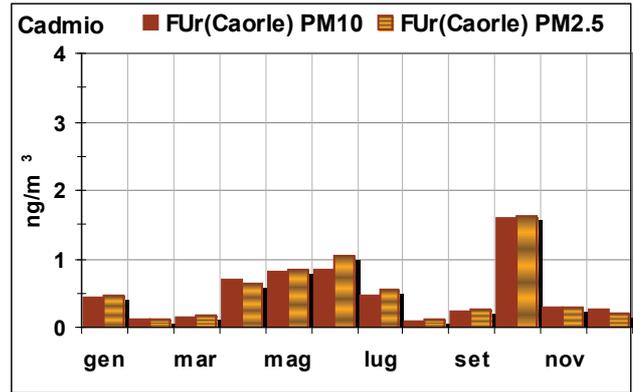
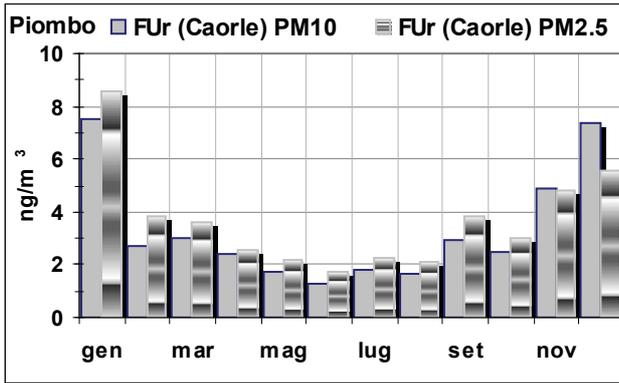
Figura 4.35 – Rapporto % della media annuale di metalli raccolti su PM2.5/PM10 – Fondo Urbano - Anno 2016

La Figura 4.35 riporta la percentuale di metallo determinato nella frazione PM10 rispetto a quello determinato nel PM2.5 (media annuale) sulle due diverse frazioni granulometriche misurate contestualmente nelle stazioni di fondo urbano (Parco Bertozzi e Caorle). Per la stazione di Parco

Bertozzi tutti i metalli – seppur con percentuali diverse – risultano distribuiti maggiormente nella frazione con granulometrica maggiore di 2.5 µm (% > di 100). Per la Stazione di Caorle il comportamento è invece esattamente opposto, ovvero con le maggiori concentrazioni di metalli nella frazione PM2.5 (% < di 100). Non sono riportati i dati relativi all'argento in quanto nel 2016 è risultato sempre al di sotto del limite di rilevabilità della metodica analitica utilizzata.

La figura 4.36 riporta gli istogrammi delle concentrazioni medie mensili di particolato PM10 e PM2.5 rilevate nelle stazioni di Parco Bertozzi (Fondo Urbano), Caorle (Fondo Urbano Residenziale) e Porto San Vitale (Stazione Locale Industriale).





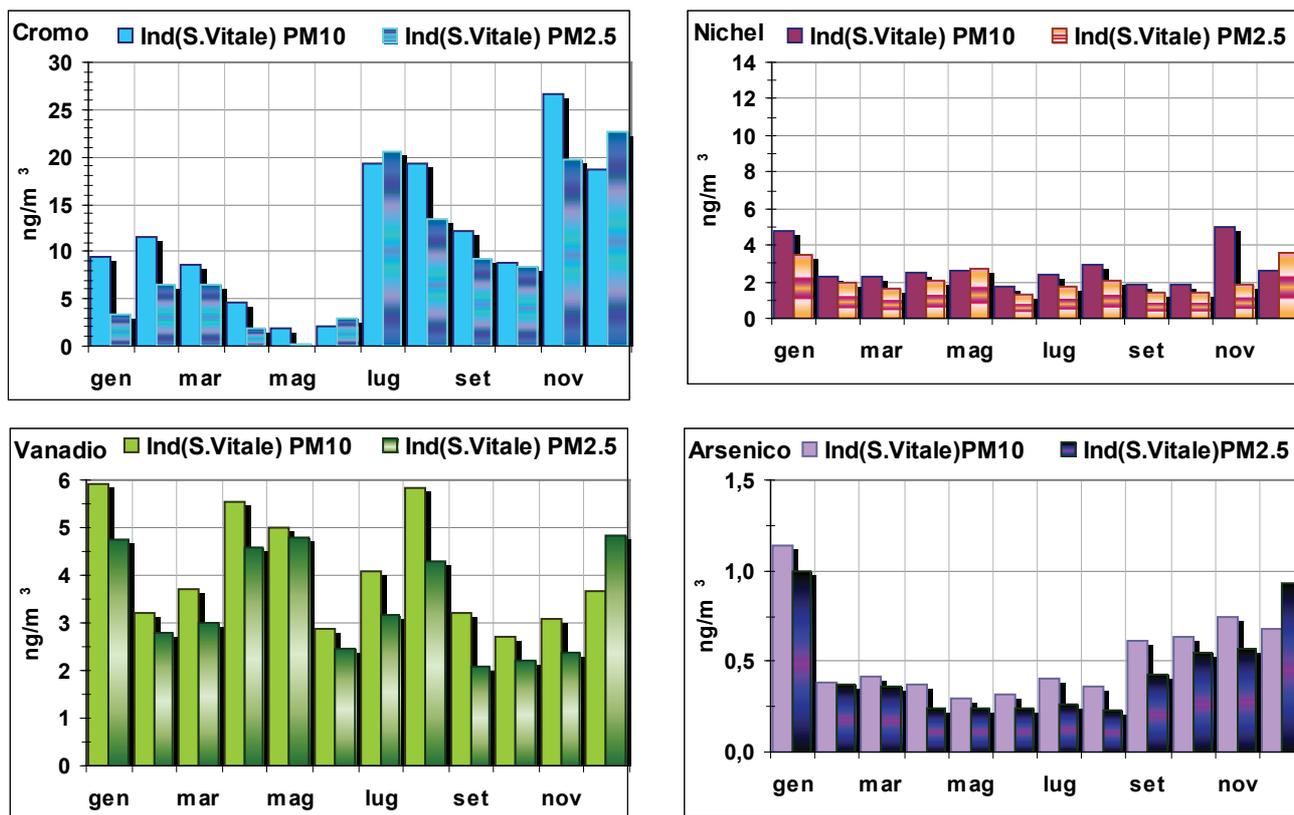


Figura 4.36 – Medie mensili di alcuni metalli nel particolato PM10 e PM2.5 – Anno 2016

Seguono i grafici (Fig.4.37) delle concentrazioni medie annuali dal 2013 al 2016.

Il cadmio presenta, nel 2016, concentrazioni medie annuali pari o inferiori agli anni precedenti, ampiamente entro i limiti normativi.

Le concentrazioni di nichel del 2016 sono in linea od inferiori a quelle rilevate negli anni precedenti, ad eccezione di Delta Cervia, dato medio annuale determinato da un valore anomalo mensile; la media annuale risulta comunque inferiore al valore obiettivo del D.lgs. 155/2010, pari a 20 ng/m³.

Le concentrazioni di vanadio risultano in linea con le medie degli anni precedenti.

Per il Cromo, nel 2016 sono state determinate le medie annuali più elevate del quadriennio pressoché in tutte le stazioni in cui viene rilevato, dato medio che, come si diceva, risulta influenzato dall'andamento delle concentrazioni medie mensili del secondo semestre dell'anno. Vanadio e cromo, per i quali non sono stati fissati dalla normativa valori obiettivo, possono essere confrontati con i dati indicati dall'OMS: per il vanadio le concentrazioni risultano in linea con quelle riportate come tipiche di grandi aree urbane, ad esclusione della stazione industriale del porto che presenta valori maggiori.

La concentrazione media annuale di piombo non evidenzia un trend particolare se non nelle stazioni di Fondo Urbano Residenziale di Caorle e nella stazione Industriale/Urbana di Rocca Brancaleone, dove le concentrazioni sono in diminuzione.

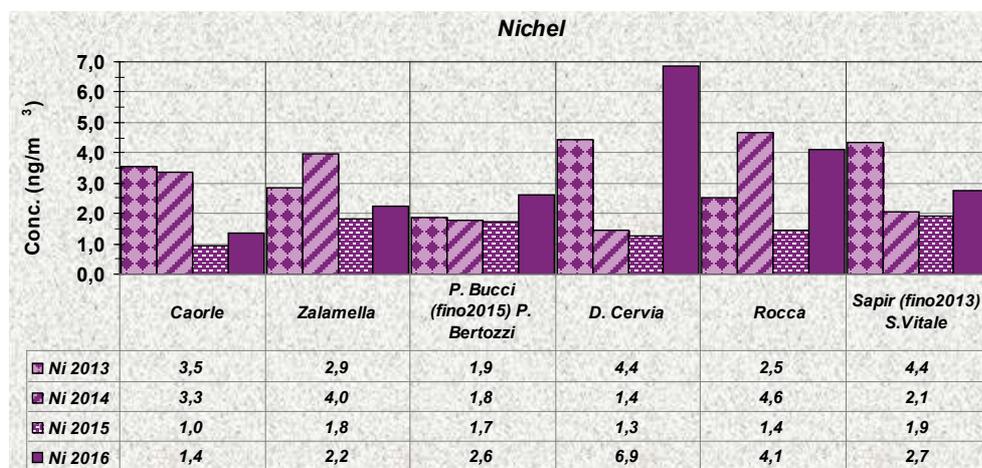
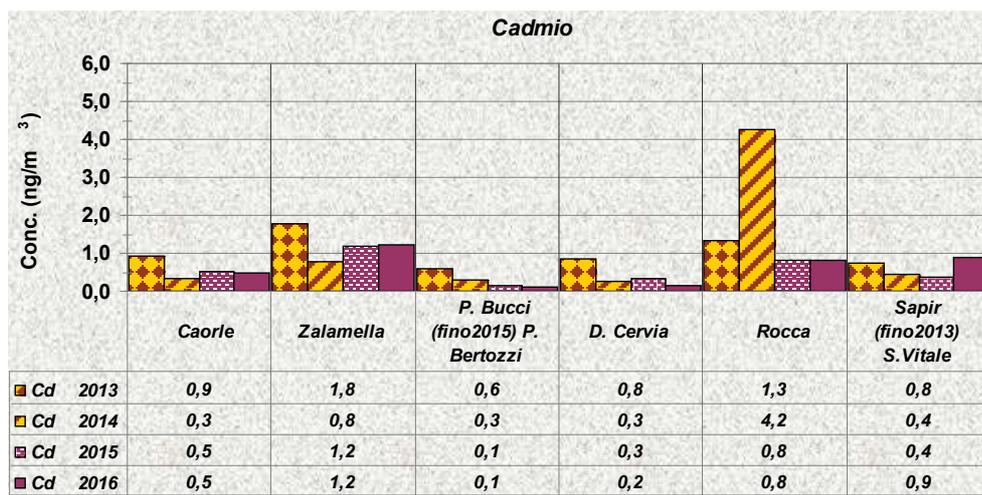
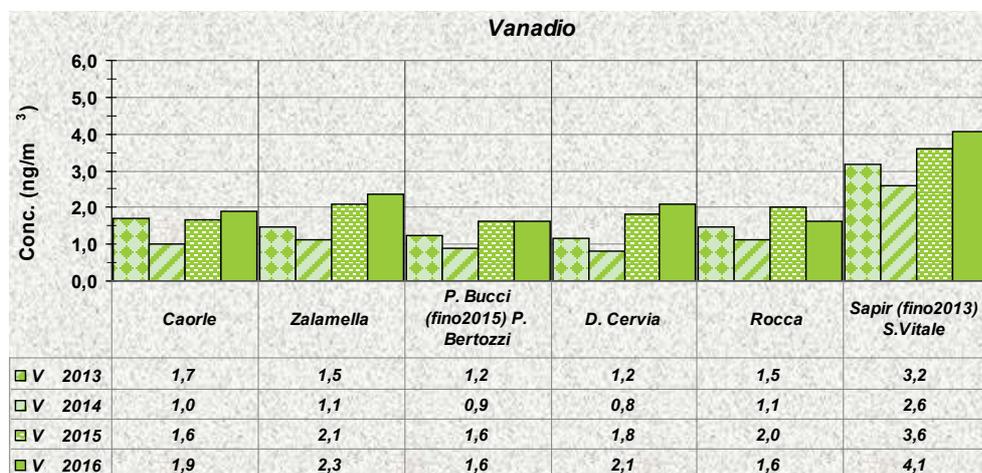


Figura 4.37 (a) –
Andamento medie
annuali di alcuni
metalli nel
particolato PM10 –
Anni 2013 ÷ 2016



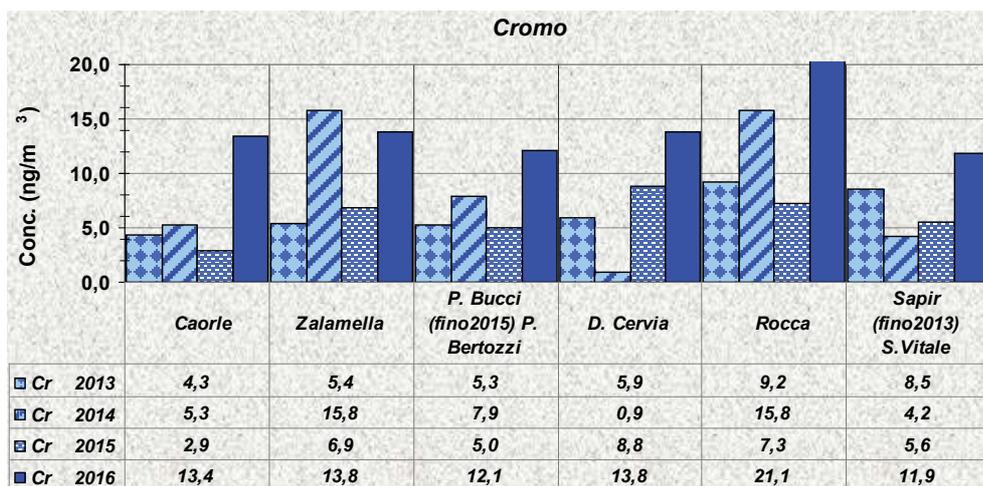
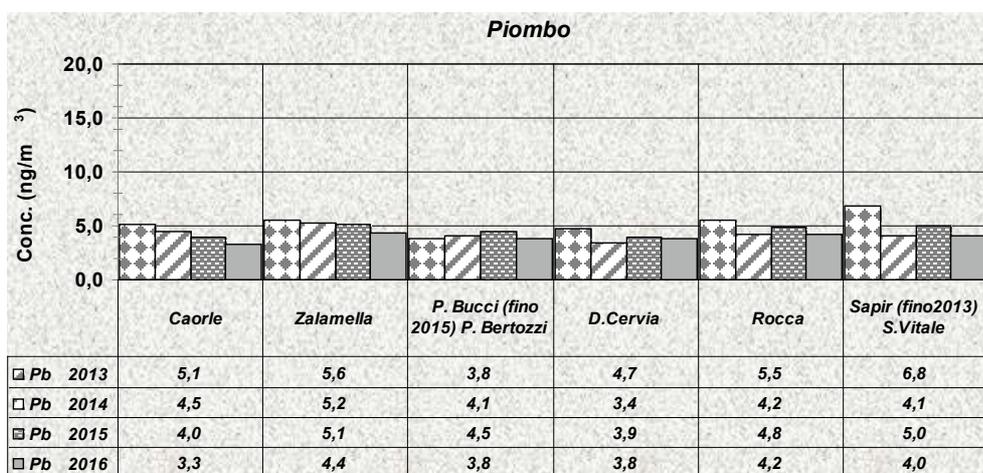


Figura 4.37 (b) –
Andamento medie
annuali di alcuni
metalli nel
particolato PM10

Anni 2013 ÷ 2016



4.9.3 Diossine, Furani e Policlorobifenili

Policlorobifenili (PCB), diossine (PCDD) e Furani (PCDF) fanno parte della più ampia famiglia dei Composti Organici Persistenti (POPs). I POPs sono sostanze chimiche molto resistenti che, una volta immesse nell'aria, nell'acqua o nel terreno, a causa della loro scarsa degradabilità, permangono nell'ambiente per lungo tempo. Alcuni POPs, come i PCB, sono prodotti artificialmente, altri, come DIOX e furani, derivano dalla combustione di sostanze chimiche organiche e da processi industriali. Verso la fine degli anni '70 gli insetticidi e gli altri POPs sono stati vietati o sottoposti a restrizioni d'uso in molti paesi, tra cui l'Italia.

*Il termine **diossine** si riferisce ad un gruppo di 210 composti chimici aromatici policlorurati, divisi in due famiglie e simili per struttura, detti congeneri. 75 congeneri hanno struttura chimica simile a quella della policlorodibenzo-diossina (PCDD), 135 hanno struttura simile al policlorodibenzo-furano (PCDF). 17 di questi congeneri sono considerati tossicologicamente rilevanti. Le diossine sono immesse nell'ambiente da varie sorgenti e possono essere trasportate per lunghe distanze in atmosfera. In natura vengono rilasciate durante gli incendi boschivi e le eruzioni vulcaniche; le attività umane responsabili della loro formazione sono in generale riconducibili a processi di combustione incontrollata.*

Generalmente le diossine vengono rilevate nelle diverse matrici ambientali come miscele complesse dei diverse congeneri. Inoltre non tutti i congeneri sono tossici o non lo sono alla stessa maniera. Per esprimere la tossicità dei singoli congeneri e della totalità del campione analizzato è stato introdotto il concetto di «fattore di tossicità equivalente (TEF)». I TEF si basano sulla considerazione che PCDD e PCDF sono composti che producono effetti tossici simili; i TEF esprimono perciò la tossicità di un determinato congenere rispetto al congenere più tossico, la 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina), a cui è assegnato il valore 1.

In pratica, il valore di concentrazione di "diossina-equivalente" di un campione è ottenuto sommando i valori di concentrazione dei singoli congeneri dopo averli moltiplicati per i rispettivi TEF. Per i TEF sono stati proposti due schemi di classificazione, l' International TEF (I-TEF) e quello del WHO (WHO-TEF).

*I **PCB** sono composti organici di sintesi clorurati, estremamente stabili, poco solubili in acqua e dalle ottime proprietà dielettriche. Per queste loro caratteristiche sono stati estensivamente impiegati, sin dagli anni '30, nel settore elettrico in qualità di isolanti ed in seguito come lubrificanti, in fluidi per impianti di condizionamento, nella preparazione delle vernici e nei sigillanti di giunti di edifici in calcestruzzo.*

Anche per i PCB è stato adottato il sistema TEQ. In particolare 12 PCB hanno proprietà tossicologiche molto simili a quelle delle diossine e per questo motivo vengono chiamati PCB-DL (Dioxin Like). Anche per questi composti sono stati fissati dei TEF che valutano la tossicità in riferimento alla diossina 2,3,7,8-TCDD e quindi le concentrazioni di PCB espressi in funzione dei I-TEF possono essere sommati quelli delle diossine e dei furani. I TEF dei PCB-DL sono generalmente più bassi di quelli delle diossine, tuttavia i PCB sono di solito presenti in ambiente a livelli più elevati rispetto a diossine e furani.

Non esistono riferimenti normativi né a livello nazionale né a livello europeo che regolamentino la presenza di diossine, furani e PCB in aria. La Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale ha riportato per la concentrazione in aria (parere del 12/02/1988) un limite massimo per PCDD e PCDF di 40 fg/m³ in unità I-TEQ (espresso in tossicità equivalente utilizzando i Fattori di Tossicità NATO del 1988, I-TEF).

Scarse sono anche le campagne di monitoraggio ed estremamente frammentari i dati al riguardo: un documento EPA che riporta i valori di fondo di PCDD e PCDF rilevati in diverse località del Nord America e un documento dell'Istituto Superiore di Sanità con concentrazioni in aria ambiente di PCB totali.

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato indicatore</i>
Concentrazione in aria di PCDD, PCDF e PCB	2014-2016	

Valutazione in sintesi

Nel 2016 le concentrazioni medie dei composti ricercati risultano inferiori ai valori limite consigliati dalla Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale e ai valori di fondo riportati in letteratura. Quindi non si riscontrano criticità – anzi in molti casi le concentrazioni sono inferiori al limite di quantificazione strumentale (dell'ordine di qualche femtogrammo ($fg = 10^{-15}$ g), cioè di qualche milionesimo di miliardesimo di grammo) – ma, date le caratteristiche di questi composti, la valutazione dell'indicatore non viene comunque classificata positiva.

PCDD, PCDF e PCB-DL Concentrazione di inquinante nella frazione PM10 e PM2,5				Medie annuali indice I-TE			
<i>Stazione industriale</i>	<i>Frazione granulometrica</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza%</i>	<i>PCDD Lim. Quantif. 2 fg/m³</i>	<i>PCDF Lim. Quantif. 1 fg/m³</i>	<i>PCB-DL Lim. Quantif. 3 fg/m³</i>	<i>TOTALE fg/m³</i>
Germani	PM10	Industriale	100%	3	9	< 3	12
	PM2,5	Industriale	100%	2	9	< 3	12
Marani	PM10	Industriale	100%	2	6	< 3	8
Agip29	PM10	Industriale	100%	2	6	< 3	8
	PM2,5	Industriale	100%	3	7	< 3	10

Tabella 4.24 – Diossine (PCDD), Furani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB) sul particolato PM10 e PM2,5: parametri statistici

Di seguito si riportano alcuni dati ricavati dalla bibliografia:

→ classificazione International TEF (I-TEF) e WHO (WHO-TEF) - tabella 4.25.

PCDD e PCDF (Diossine e Furani)	I-TEF (NATO/CCMS, 1988)	WHO-TEF (Vanderberg et al., 1998)
--	------------------------------------	--

2,3,7,8 T4CDD <i>2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina</i>	1	1
1,2,3,7,8 P5CDD	0,5	1
1,2,3,4,7,8 H6CDD	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8 H6CDD	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9 H6CDD	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8 H7CDD	0,01	0,01
OCDD	0,001	0,0001
2,3,7,8 T4CDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8 P5CDF	0,05	0,05
2,3,4,7,8 P5CDF	0,5	0,5
1,2,3,4,7,8 H6CDF	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8 H6CDF	0,1	0,1
2,3,4,6,7,8 H6CDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9 H6CDF	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8 H7CDF	0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9 H7CDF	0,01	0,01
OCDF	0,001	0,0001

Tabella 4.25 – TEF relativi per diossine e furani (Fonte APAT, 2006). I singoli composti risultano da 0,5 (metà) a 0.0001 (diecimila volte) meno tossici della 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina

- TEF di alcuni PCB (in riferimento alla diossina 2,3,7,8-TCDD) utilizzati per il calcolo della loro "tossicità equivalente" (tabella 4.26) e per la valutazione della tossicità "cumulativa" con diossine e furani:

PCB	TEF
PCB 81	0,0003
PCB 77	0,0001
PCB 123	0,00003
PCB 118	0,00003
PCB 114	0,00003
PCB 105	0,00003
PCB 126	0,1
PCB 167	0,00003
PCB 156	0,00003
PCB 157	0,00003
PCB169	0,03
PCB 189	0,00003

Tabella 4.26 – TEF relativi a PCB-DL

- valori di fondo di PCDD e PCDF rilevati in diverse località del Nord America, rappresentativi di zone lontane da potenziali sorgenti emissive (riportati in un documento Apat, 2006) e concentrazioni in aria ambiente di PCB totali riportati dall'Istituto Superiore di Sanità (Tabella 4.27):

Area	PCDD/PCDF WHO-TEQ (fg/m ³) (Apat, 2006)		PCB totali pg/m ³ (ISS)
Urbana, Nord America	120 ± 94	range: 30 - 200	
Rurale, Nord America	13	range: 4 - 20	
Rurale, Nord America			2 - 70
Urbana/Ind. Germania			3300
Rurale, Germania			3
Urbana/Ind. Parigi			60 - 200
Traffico intenso, Roma			1900 - 5400

Tabella 4.27 – Concentrazioni di fondo di PCDD/PCDF e di PCB totali

In figura 4.38 sono rappresentate le concentrazioni medie annuali di diossine e furani adsorbite sul particolato (PM10 e PM2,5) raccolto in corrispondenza di tre stazioni di monitoraggio della rete industriale (Marani, Agip29 e Germani). Tali concentrazioni sono espresse in femtogrammo/m³ (1 femtogrammo = 10⁻¹⁵ g = 0,000 000 000 000 001 g = 1 milionesimo di miliardesimo di grammo). L'altezza di ogni barra corrisponde alla somma delle concentrazioni medie dei diversi congeneri ricercati (riportati in legenda) in una determinata postazione e per un determinato taglio granulometrico (PM10 o PM2.5), mentre l'altezza di ogni segmento colorato all'interno della barra è proporzionale alla concentrazione di quel congenere. Non si è tenuto conto del «fattore di tossicità equivalente».

Per quanto riguarda le diossine si rileva una differenza fra le diverse stazioni: la stazione Germani ha una media annuale per entrambe le frazioni granulometriche più elevata rispetto a quella delle altre due stazioni.

Le concentrazioni medie annuali calcolate sommando le concentrazioni dei composti considerati, senza tener conto della loro tossicità, variano tra circa 160 a 180 fg/m³ per Germani e tra 50 e 100 fg/m³ per Agip29 e Marani, valori che sono inferiori o in linea a quelli riportati in letteratura. Si osserva una predominanza di due congeneri: OCDD e 1,2,3,4,6,7,8H7CDD, aventi rispettivamente un TEF di 0.001 e 0.01.

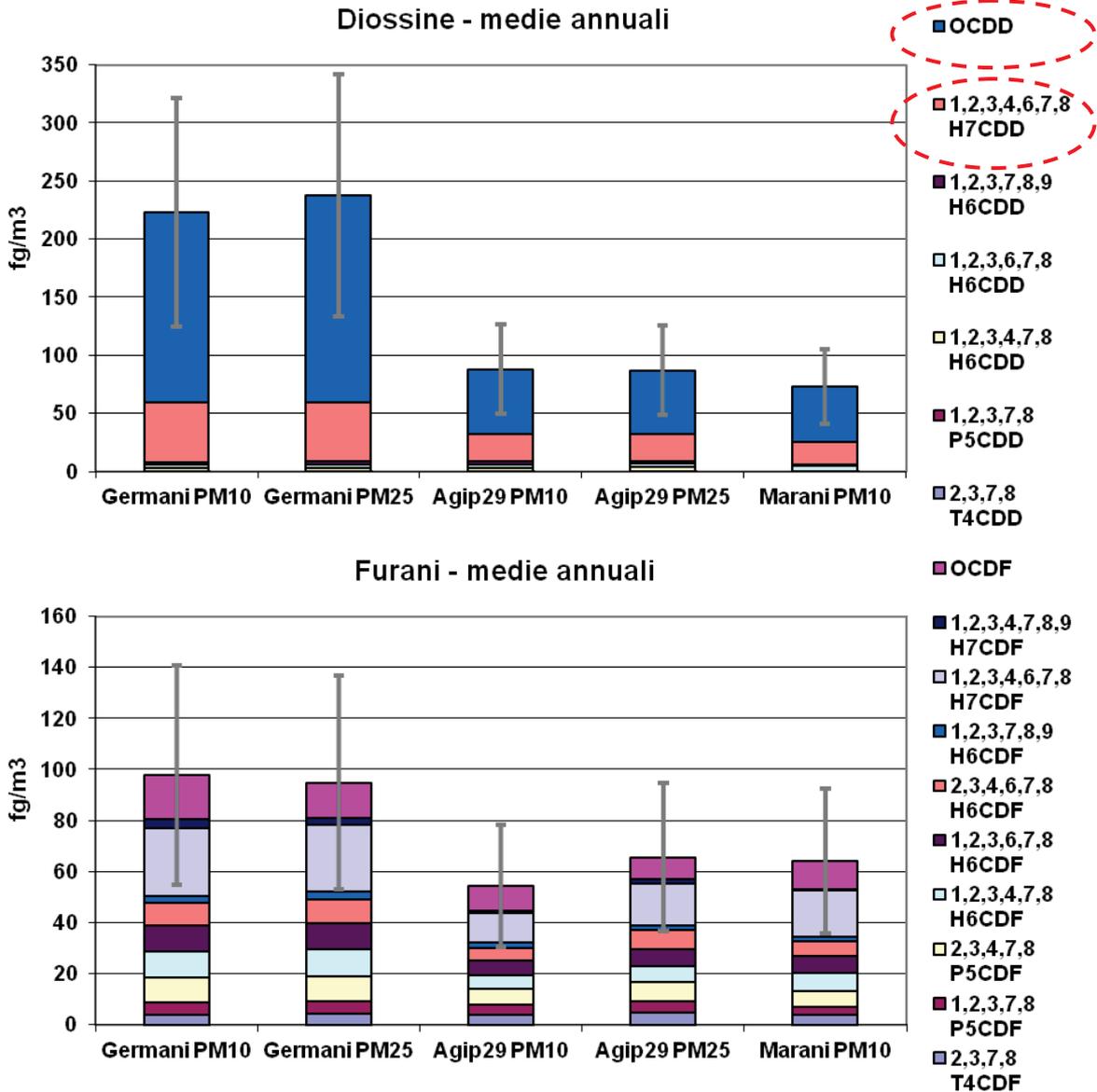


Figura 4.38– PCDD e PCDF - medie annuali 2016

La figura 4.39 indica, invece, le concentrazioni medie annuali di PCB (esprese in picogrammo/m³, 1 picogrammo = 10⁻¹²g = 0,000 000 000 001 = 1 milionesimo di milionesimo di grammo).

Le concentrazioni rilevate sono molto basse e non si rilevano particolari differenze. I congeneri più presenti sono PCB 167, PCB 105 e PCB 118 che risultano piuttosto uniformemente distribuiti nelle 3 postazioni.

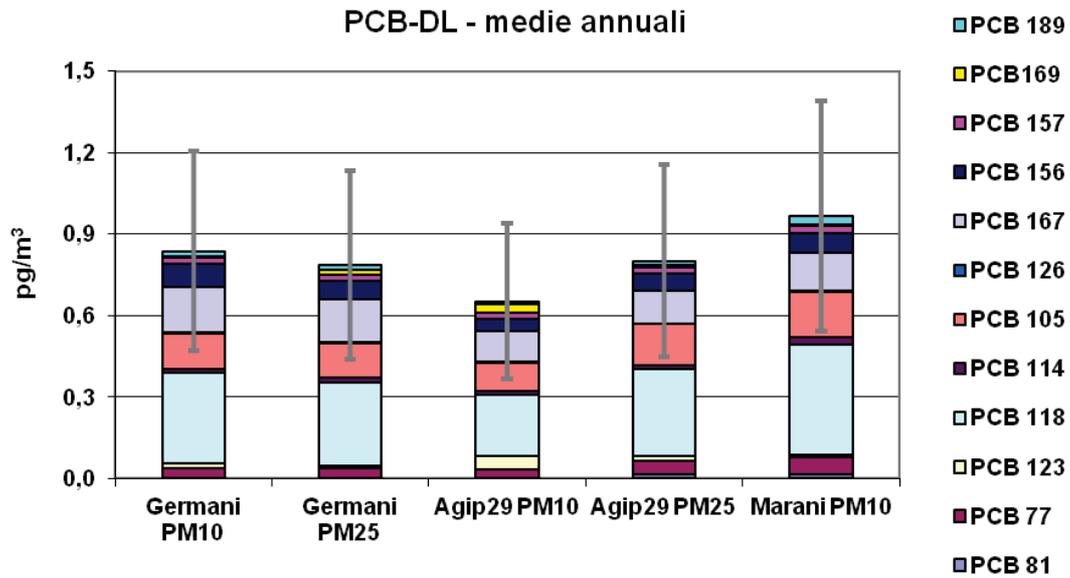


Figura 4.39 – PCB-DL - medie annuali 2016

Infine si riportano le medie mensili delle concentrazioni totali di PCDD, PCDF e PCB espresse in termini di tossicità equivalente nelle diverse postazioni.

Rispetto allo scorso anno le concentrazioni sono leggermente più alte, con concentrazioni medie mensili più alte nei mesi invernali e un abbassamento consistente, al di sotto del limite di rilevabilità strumentale, nei mesi estivi. Nell'arco di tre anni è difficile distinguere un trend chiaro.

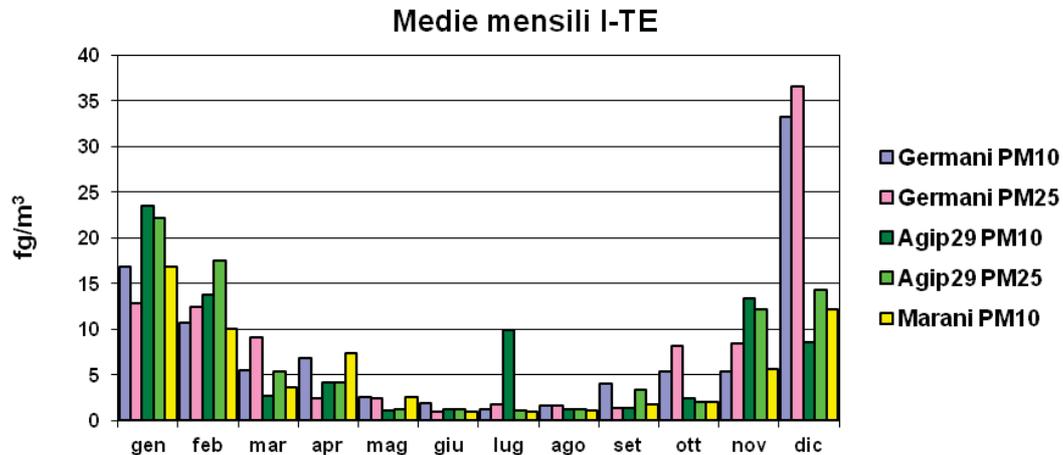


Figura 4.40 – Tossicità equivalente per sommatoria di PCDD, PCDF, PCB - medie mensili 2016

In figura 4.41 sono rappresentate le concentrazioni medie annuali di PCDD, PCDF e PCB-DL in termini di tossicità equivalente per ogni stazione. Per tutte e tre le classi di composti è difficile individuare un trend evidente, sia per la brevità del periodo considerato, sia per i valori molto contenuti.

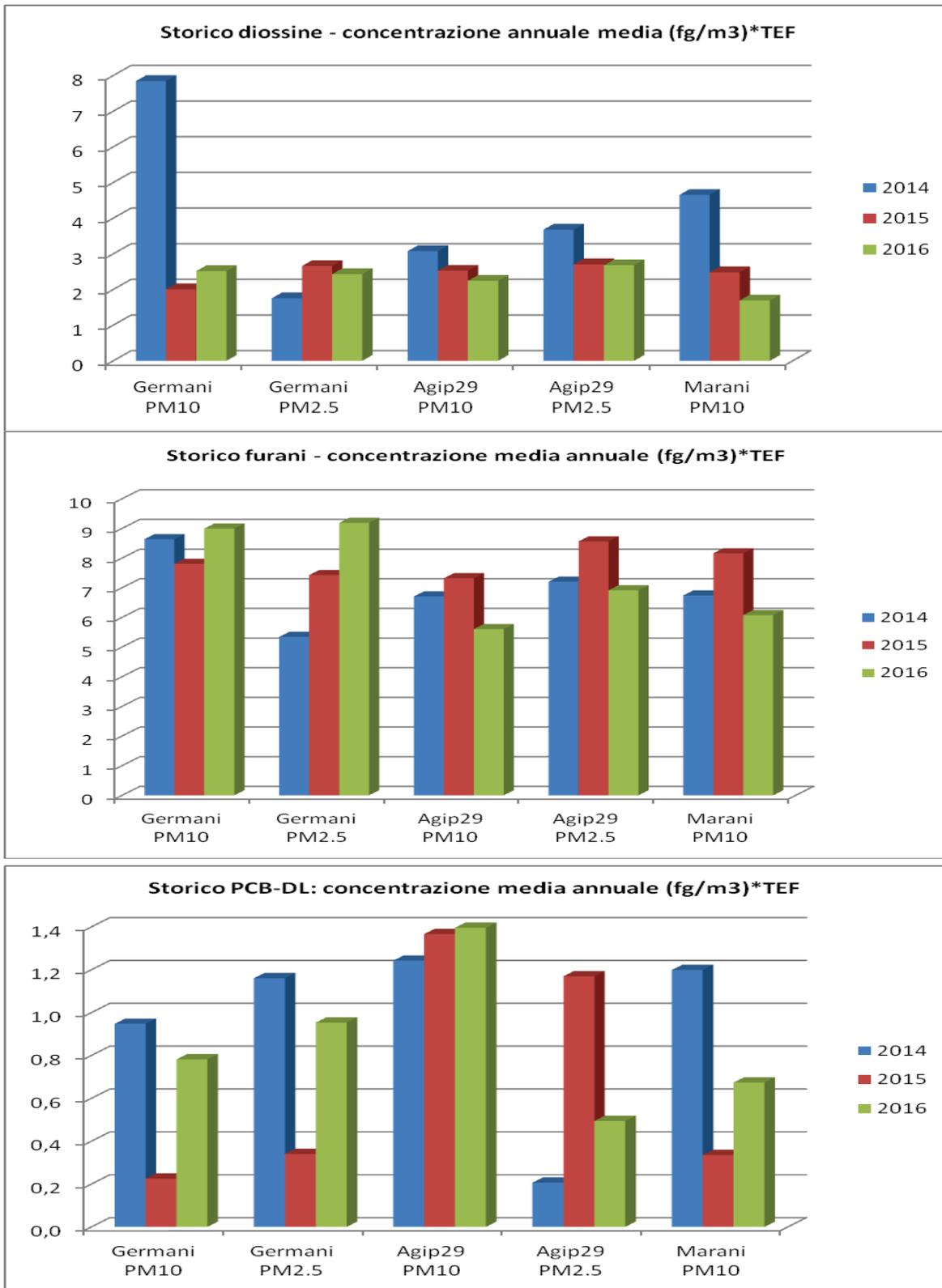


Figura 4.41 – Trend medie annuali per PCDD, PCDF e PCB-DL

4.10 Deposizioni umide

Le deposizioni umide sono un indicatore di stato della qualità dell'aria, poiché la loro composizione chimica viene alterata dalla presenza di inquinanti gassosi e di particolato sospeso nell'aria. Il monitoraggio delle deposizioni valuta, attraverso due indicatori, la quantità totale di sostanze acidificanti e sostanze eutrofizzanti che si depositano al suolo per effetto delle precipitazioni. I due indicatori utilizzati sono deposizioni umide di sostanze acidificanti e deposizioni umide di sostanze eutrofizzanti.

Per sostanze acidificanti si intende quel gruppo di composti in grado di aumentare la concentrazione di ioni H^+ , e quindi di abbassare il pH delle precipitazioni. Tipicamente questi composti sono gli ossidi di zolfo, che in presenza di acqua originano l'acido solforico, e gli ossidi di azoto, che si trasformano in acido nitrico.

Le sostanze eutrofizzanti sono invece sostanze altamente nutritive che introducono nell'ambiente elevati carichi di azoto e fosforo.

<i>Deposizioni umide</i>			<i>Flusso di deposizione umida in eq/ha</i>		<i>Precipitazione totale annua (mm)</i>
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Di acidità totale</i>	<i>Di azoto eutrofizzante</i>	
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Ind/Suburbano	913	416	757
Pineta San Vitale	Ravenna	Fondo Suburbana/naturale	740	349	875

Tabella 4.28 – Deposizioni umide: Parametri statistici 2016

Nella provincia di Ravenna sono presenti tre postazioni che raccolgono le deposizioni umide, collocate rispettivamente sul tetto della sede di Arpae (Stazione urbana), nel Porto San Vitale (Stazione industriale suburbana) e nella pineta San Vitale di Ravenna (stazione di fondo suburbana - naturale). La stazione di Porto San Vitale ha sostituito, nel 2014, la postazione di SAPIR. Nel 2015 e nel 2016 non sono stati raccolti dati dalla postazione Arpae a causa di un guasto al campionatore, che è in attesa di riparazione.

Per il monitoraggio delle deposizioni umide vengono utilizzati dei campionatori di tipo "Wet and Dry", costituiti da due recipienti per la raccolta separata della deposizione umida e secca; hanno la funzione di evitare che il campione di pioggia venga contaminato dal particolato, che è in grado di alterare le caratteristiche chimiche delle deposizioni (soprattutto pH, alcalinità e concentrazioni di ioni calcio, magnesio e potassio). Il dato viene raccolto e analizzato settimanalmente e viene considerato mancante nelle settimane in cui la quantità di pioggia raccolta è inferiore a 300 ml.

L'elaborazione dei dati raccolti mostra che nella stazione di Porto San Vitale i due flussi di deposizione umida (di sostanze acidificanti e di sostanze eutrofizzanti) sono maggiori rispetto a quelli riscontrati nella stazione della pineta, segno che la vicinanza al polo industriale influenza significativamente la concentrazione di sostanze acidificanti e eutrofizzanti nella pioggia.

Nelle figure sottostanti (figura 4.42, 4.43 e 4.44) vengono rappresentati i trend delle medie delle concentrazioni, espresse in mg/l, di nitrati, solfati e azoto ammoniacale nelle piogge per il periodo 2007-2016. Come si approfondirà in seguito, la concentrazione di queste sostanze è utilizzata per calcolare i flussi di deposizione di sostanze acidificanti e eutrofizzanti.

Trend medie annue N_NO3 nelle piogge

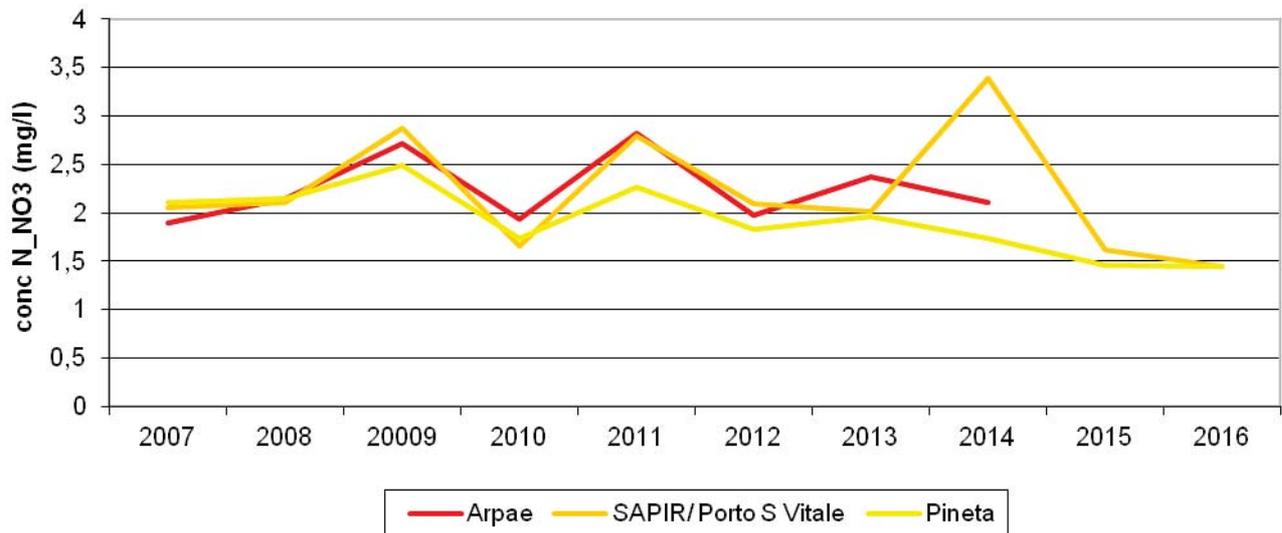


Figura 4.42 – Serie temporale della concentrazione media annuale di nitrati nelle piogge

Trend medie annue S_SO4 nelle piogge

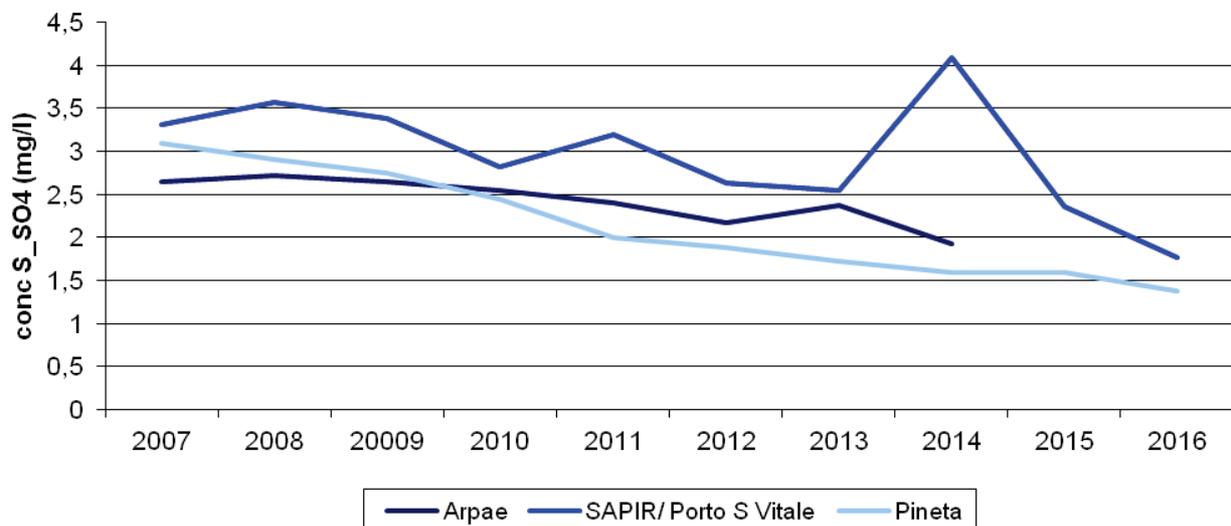


Figura 4.43 – Serie temporale della concentrazione media annuale di solfati nelle piogge

Trend medie annue N_NH4 nelle piogge

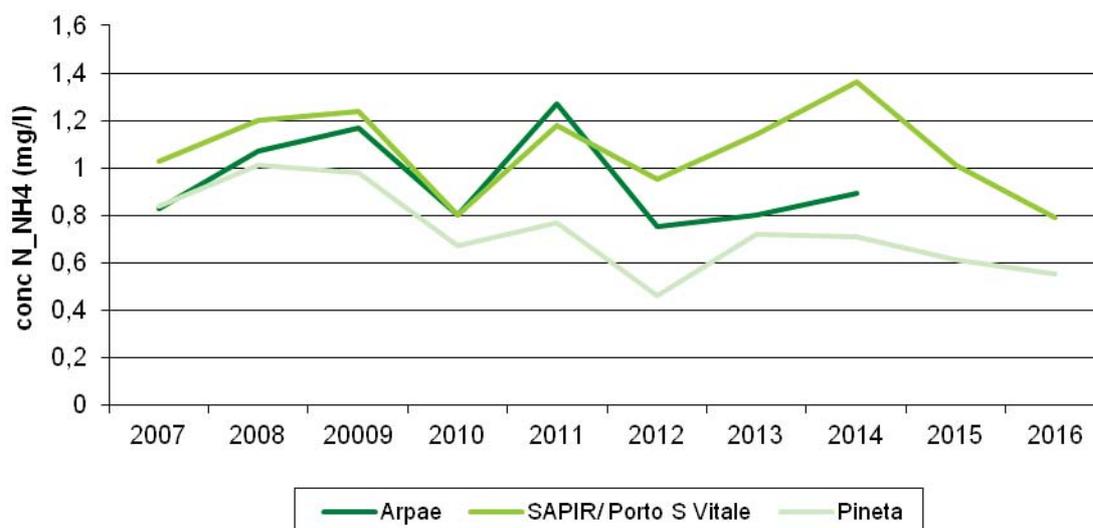


Figura 4.44– Serie temporale della concentrazione media annuale di ammoniaca nelle piogge

L'andamento generale mostra negli anni una progressiva diminuzione di concentrazione di tutti i parametri nelle deposizioni umide in tutte e tre le stazioni, in accordo con la tendenza delle emissioni e delle concentrazioni in aria. Fa eccezione il 2014 che mostra un picco in tutti i parametri nella stazione di Porto San Vitale, la quale, inoltre, ha quasi sempre registrato valori maggiori rispetto alle altre due stazioni.

4.10.1 Deposizioni umide di sostanze acidificanti

Il flusso di deposizione di acidità totale indica il contenuto, nelle deposizioni umide, di composti dell'azoto e dello zolfo, responsabili dell'acidificazione. Viene calcolato a partire da dati di concentrazione di NO_3 , SO_4 e NH_4 e dai volumi di pioggia raccolti, applicando la formula:

$$\text{Acidità totale} = \text{eqH}^+(\text{S_SO}_4) + \text{eqH}^+(\text{N_NO}_3) + [\text{eqH}^+(\text{N_NH}_4)] \times 2$$

dove eqH^+ sono gli equivalenti di idrogeno dovuti a N_NO_3 , S_SO_4 e N_NH_4 .

Il Valore del flusso annuale di equivalenti di idrogeno derivanti dall'azoto ammoniacale è moltiplicato per due poiché l'ammoniaca nel suolo si ossida a NO_3 , sviluppando un protone H^+ . La figura 4.45 mostra la variazione, negli ultimi 10 anni, del flusso annuo di acidità totale, confrontato con la precipitazione media, per le stazioni di Arpae, SAPIR (fino al 2013), Porto San Vitale (dal 2014) e Pineta San Vitale dal 2007 al 2016.

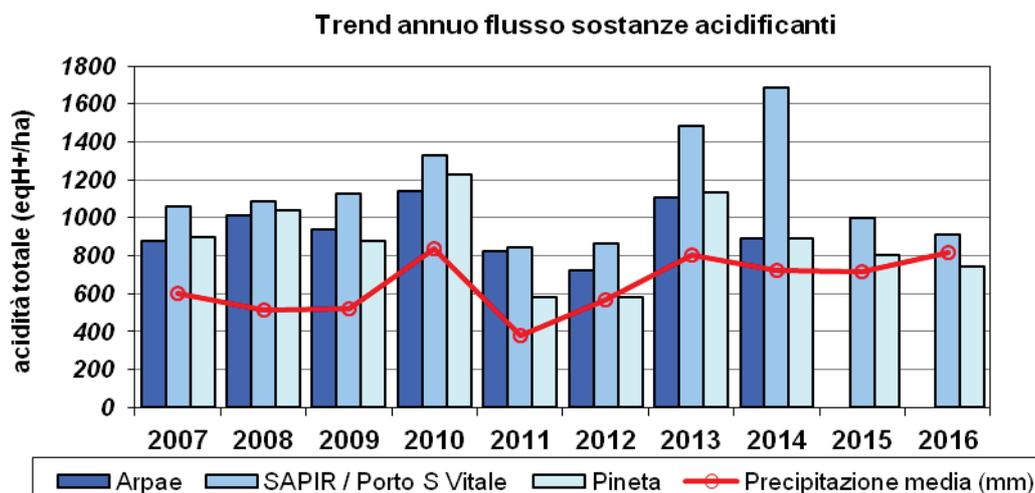


Figura 4.45– Serie temporale del flusso di sostanze acidificanti – 2007-2016

L'acidità totale mostra un marcata variabilità interannuale, per la quale non è possibile individuare un trend netto: il flusso di sostanze acidificanti mostra una tendenza all'aumento fino al 2010; il 2011 e il 2012 mostrano valori minori, ma che aumentano nuovamente nel 2013-2014. Il 2015 e il 2016 sono stati caratterizzati da valori relativamente bassi.

4.10.2 Deposizioni umide di sostanze eutrofizzanti

Questo indicatore mostra il contenuto, nelle deposizioni umide, di composti dell'azoto responsabili dell'eutrofizzazione. Il calcolo del flusso di deposizione di azoto eutrofizzante viene effettuato a partire da dati di concentrazione di NO_3 e NH_4 e dai volumi di pioggia raccolti. Per ottenere questo indice si è applicata la seguente formula:

$$\text{Azoto nutriente} = \text{eqN}(\text{N_NO}_3) + \text{eqN}(\text{N_NH}_4)$$

Dove eqN sono gli equivalenti di azoto.

In figura 4.46 è riportato il trend annuo del flusso di sostanze eutrofizzanti per il periodo 2007-2016.

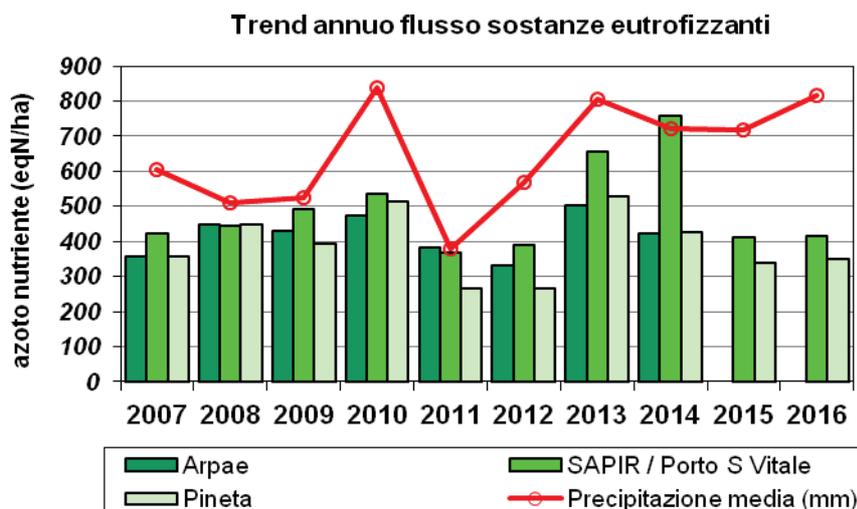


Figura 4.46– Serie temporale del flusso di sostanze eutrofizzanti – 2007-2016

Anche per il flusso di sostanze eutrofizzanti si può affermare che non esiste un andamento continuo negli anni, anche se tende ad avere fluttuazioni meno marcate rispetto al flusso di sostanze acidificanti.

In tabella 4.29 sono riassunti i totali delle concentrazioni degli ioni misurati dalle deposizioni umide, espressi in eq/ha. I dati si riferiscono al decennio 2007-2016.

Tabella 4.29 – Andamento temporale dei totali delle deposizioni umide (eq/ha) – Anni 2007-2016

Stazione: Sede Arpae Ravenna

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Pioggia (mm)	601	518	518	770	366	560	737	621	-	-
Ca	670	569	396	495	174	337	598	439	-	-
Mg	124	55	73	124	43	116	181	64	-	-
K	22	15	16	43	10	21	35	48	-	-
Na	385	230	259	415	293	367	588	222	-	-
NH₄⁺	202	296	262	280	244	179	293	259	-	-
NO₃⁻	154	153	167	195	139	155	208	165	-	-
NO₂⁻	7	7	8	11	6	5	7	10	-	-
SO₄⁻	321	271	244	385	198	212	312	211	-	-
cloruri	498	310	268	513	318	493	855	263	-	-

Stazione: SAPIR (fino al 2013) e Porto San Vitale (dal 2014)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Pioggia (mm)	609	506	531	864	394	556	781	758	700	757
Ca	434	593	595	585	341	477	617	853	366	336
Mg	165	61	82	151	86	116	189	142	280	85
K	27	15	25	48	30	31	72	48	40	26
Na	411	293	329	493	364	355	668	541	1203	364
NH₄⁺	259	302	324	344	229	228	445	458	277	265
NO₃⁻	164	141	173	197	138	160	213	300	135	151
NO₂⁻	7	7	6	6	4	5	6	9	3	5
SO₄⁻	379	338	313	461	245	250	383	468	313	232
cloruri	662	373	340	568	445	510	975	653	1350	506

Stazione: Pineta San Vitale

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Pioggia (mm)	600	509	521	883	381	587	893	782	733	875
Ca	804	462	420	479	202	385	524	427	268	292
Mg	157	84	80	133	82	96	155	109	199	106
K	27	16	21	33	13	24	31	30	33	33
Na	462	289	296	446	288	321	556	275	882	356
NH₄⁺	192	296	239	297	147	115	304	255	204	192
NO₃⁻	164	151	159	216	119	152	224	169	135	158
NO₂⁻	5	4	4	3	2	2	4	4	2	2
SO₄⁻	350	295	256	419	170	196	298	214	260	198
cloruri	582	358	312	527	364	461	815	319	1008	488

arpae
agenzia
prevenzione
ambiente energia
emilia-romagna