

Rapporto sulla qualità dell'aria della Provincia di Ravenna

Anno 2023



APA Area Est - Servizio Sistemi Ambientali - Ravenna

via Marconi 14, 48121 Ravenna - Tel 0544 210651 – ww.arpae.it – dvalbonetti@arpae.it

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

Gestione monitor e postazioni

Deborah Valbonetti (RP-RRQA)

Giacomo Agrillo

Caterina Casadei

Samuele Marinello

Analisi di laboratorio

Ivan Scaroni

Michela Comandini

Marilena Montalti

Alberto Santolini

Davide Verna

Patrizia Casali

Teresa D'Alessandro

Leonardo Babini

Giorgia Babbi

Elaborazione dati

Deborah Valbonetti

Samuele Marinello

Daniele Foscoli

Redazione relazione

Deborah Valbonetti

Francesca Liguori

Samuele Marinello

Caterina Casadei

Daniele Foscoli

Dal 2005 la Rete Regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (RRQA) è certificata ISO 9001:2015 relativamente al processo di monitoraggio, acquisizione e validazione dati.

**SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ CERTIFICATO**



UNI EN ISO **9001:2015**

INDICE

	<i>Pag.</i>
1 - IL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA DI QUALITÀ DELL'ARIA	1
1.1 Quadro normativo nazionale: limiti e valori di riferimento	1
1.2 Valori guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)	4
1.3 Revisione della Direttiva Europea relativa alla qualità dell'aria	6
1.4 Zonizzazione della Regione Emilia Romagna e della Provincia di Ravenna	7
1.5 Limiti di quantificazione strumentali (LdQ)	10
2 - LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	11
2.1 Configurazione della Rete Regionale	11
2.2 Configurazione della Rete di Ravenna	11
2.3 Stazioni della Rete Regionale di Qualità dell'aria (RRQA) di Ravenna	14
2.4 Stazioni della Rete Locale Industriale di Ravenna	16
3 - LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI RAVENNA, RIMINI E FORLI' - CESENA	17
3.1 Indicatori meteorologici a supporto dello studio della qualità dell'aria	17
3.2 Andamento meteorologico del 2023 nella Provincia di Ravenna, Rimini e Forli-Cesena	20
3.2.1 Temperatura	20
3.2.2 Precipitazioni	25
3.2.3 Intensità e direzione del vento	28
4 - VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLA PROVINCIA DI RAVENNA	34
4.1 Biossido di Zolfo SO ₂	34
4.2 Biossido di Azoto NO ₂ e Ossidi di Azoto NO _x	37
4.3 Monossido di Carbonio CO	45
4.4 Ozono O ₃	48
4.5 Benzene C ₆ H ₆	55
4.6 Toluene C ₇ H ₈ e Xileni C ₈ H ₁₀	60

4.7 Particolato PM10	64
4.8 Particolato PM2.5	71
4.9 Analisi sul particolato	76
4.9.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	76
4.9.1.1 IPA nel PM2.5 e rapporto PM10/PM2.5	80
4.9.1.2 Rapporti diagnostici	82
4.9.2 Metalli	85
4.9.3 Diossine, Furani e Policlorobifenili nel particolato PM10,PM2.5	96
5 - CONCLUSIONI	105

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

1.1 - Quadro normativo nazionale: 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".

Il decreto D.Lgs 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:

INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE	VALORE LIMITE	
Biossido di zolfo	Orario (non più di 24 volte all'anno)	350	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Giornaliero (non più di 3 volte all'anno)	125	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di azoto	Orario (per non più di 18 volte all'anno)	200	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Annuo	40	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzene	Annuo	5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Annuo	40	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Particolato PM 2.5	Annuo al 2015	25	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Annuo - Valore limite indicativo	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Piombo	Anno	0.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

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

INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE	Livelli critici per la vegetazione	
Biossido di zolfo	Annuale	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Invernale (1 ott.- 31 mar.)	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ossidi di azoto (NOx)	Annuo	30	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

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.

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*⁽¹⁾ 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</i>	<i>Data raggiungimento</i> ⁽²⁾
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m³ 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/m³h 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</i> ⁽²⁾
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m³	Non definito
Protezione della vegetazione	AOT40 ⁽¹⁾ Calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	6000 µg/m³h	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 / l'obiettivo a lungo termine

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

<i>Finalità</i>	<i>Periodo di mediazione</i>	<i>Soglia</i>
Informazione	1 ora	180 µg/m³
Allarme	1 ora ⁽¹⁾	240 µg/m³

(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.

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:

¹ Valore Obiettivo: Livello da conseguire, *ove possibile*, entro una data prestabilita.

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

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.

- 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” consultabile alla pagina <https://apps.arpae.it/qualita-aria/bollettino-ozono/>.

Sempre per facilitare l'informazione e la diffusione dei dati di qualità dell'aria, Arpae 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: <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/aria/dati-qualita-aria/>);
- le concentrazioni di PM10, PM2.5, Ozono e Biossido di Azoto su scala regionale (*link*: <https://apps.arpae.it/qualita-aria/bollettino-qa/>).

Il Decreto Legislativo 155/2010 fissa anche valori obiettivo (riportati in Tabella 1.6) della concentrazione nell'aria ambiente di arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene 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).

Inquinante	Parametro	Valori Obiettivo
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.

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, dove sono evidenziati 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.

In fine a livello di normativa italiana si riporta anche il riferimento al Decreto del 30 marzo 2017 emanato dal Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare di concerto con Il Ministro della salute relativo alle «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. 26/04/2017, n. 96) che definisce le procedure di garanzia di qualità previste per verificare il rispetto della qualità delle misure dell'aria ambiente e demanda ad ISPRA l'adozione di apposite linee guida per garantire l'applicazione di procedure omogenee in tutto il territorio nazionale.

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

Nel 2021 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha aggiornato le proprie Linee guida (AQG) e ha individuato, per sei inquinanti principali (PM_{2,5}, PM₁₀, ozono, biossido di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio), i livelli di qualità dell'aria da raggiungere per proteggere la salute umana. **I valori guida, cioè le concentrazioni in aria di inquinanti al di sotto delle quali - secondo le evidenze scientifiche disponibili - non sono attesi effetti avversi per la salute,** costituiscono, quindi, uno strumento per valutare l'esposizione della popolazione a livelli di inquinanti potenzialmente dannosi per la salute, oltre a fornire un importante riferimento nel fissare gli standard e gli obiettivi normativi, tra cui l'attuale revisione della direttiva europea. L'aggiornamento delle linee guida, si è reso necessario alla luce dei sempre più numerosi studi che dimostrano gli impatti negativi sulla salute provenienti da livelli di inquinamento atmosferico anche bassi.

Con la revisione e l'abbassamento dei limiti, l'OMS intende anche contribuire alla mitigazione del cambiamento climatico: alcuni inquinanti, infatti, come il black carbon e l'ozono troposferico, hanno anche un effetto sul riscaldamento globale.

Rispetto all'ultimo aggiornamento del 2006, le principali modifiche apportate sono:

- PM₁₀: il valore annuale passa da 20 a 15 µg/m³, quello sulle 24 ore da 50 a 45 µg/m³
- PM_{2,5}: il valore annuale passa da 10 a 5 µg/m³, quello sulle 24 ore da 25 a 15 µg/m³
- biossido di azoto: il valore annuale passa da 40 a 10 µg/m³ e viene introdotto un valore sulle 24 ore pari a 25 µg/m³

- ozono: si introduce un valore per il picco stagionale pari a 60 µg/m³
- biossido di zolfo: il valore sulle 24 ore passa da 20 a 40 µg/m³
- monossido di carbonio: si introduce un valore sulle 24 ore pari a 4 µg/m³

Rimangono validi i valori guida o valori di riferimento precedenti che non sono stati modificati nella versione 2021.

Pertanto, i valori guida dell'OMS per la qualità dell'aria risultano (Tabella 1.8):

Sostanza	Valore guida	Tempo di mediazione
	OMS-AQG ⁽¹⁾ – valori guida 2021	
NO ₂	10 µg/m ³	annuale
	200 µg/m ³	1 ora
	25 µg/m ³	24 ore
SO ₂	40 µg/m ³	24 ore
	500 µg/m ³	10 min
O ₃	100 µg/m ³	8 ore
	60 µg/m ³	picco stagionale*
PM ₁₀	15 µg/m ³	annuale
	45 µg/m ³	24 ore
PM _{2.5}	5 µg/m ³	annuale
	15 µg/m ³	24 ore
OMS-AQG – valori guida 2021		
CO	4 mg/m ³	24 ore
	100 mg/m ³	15 min
	35 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

*media della concentrazione massima giornaliera calcolata su 8 ore nei sei mesi estivi (1° aprile – 30 settembre)

(1) **Air Quality Guidelines**: una serie di raccomandazioni dell'OMS per proteggere la salute dell'uomo dagli effetti negativi provenienti dall'esposizione a sostanze pericolose e inquinanti atmosferici. Inoltre, è uno strumento per le autorità nazionali a gestire e ridurre tali sostanze inquinanti.

Tabella 1.8 - Valori guida della qualità dell'aria indicati dall'OMS

(<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>). **Solo per gli Xileni il riferimento è WHO**: Xylenes, Environmental Health Criteria 190, World Health Organization, Geneva, CH, 1997

L'OMS, per alcuni inquinanti atmosferici ad azione cancerogena (Tabella 1.9), non fornisce un valore guida ma indica l'indice di rischio unitario per la popolazione, ovvero il rischio associato alla presenza di tali inquinanti nell'aria a cui è sottoposta la popolazione.

La stima dell'incremento di *rischio unitario* (U.R.) è intesa come il rischio addizionale di cancro 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 µg/m³.

Sostanza	Rischio unitario
	Indice di rischio/tempo di vita (µg/m ³) ⁻¹
BENZENE	6 x 10 ⁻⁶
IPA (BaP)	8.7 x 10 ⁻²
NICHEL	3.8 x 10 ⁻⁴
ARSENICO	1.5 x 10 ⁻³
CROMO esavalente	(1.1 ÷ 13) x 10 ⁻²

Tabella 1.9 Indice di rischio unitario (OMS)

1.3 – Revisione della Direttiva Europea relativa alla qualità dell'aria

L'aria pulita è essenziale per la salute umana e per la salvaguardia dell'ambiente. Negli ultimi trent'anni l'Unione europea (UE) ha ottenuto notevoli miglioramenti nella qualità dell'aria grazie agli sforzi congiunti che ha messo in campo assieme alle autorità nazionali, regionali e locali degli Stati membri al fine di ridurre gli effetti negativi dell'inquinamento atmosferico: si è passati da circa un milione di decessi prematuri all'anno ad inizio anni 90 ai circa 300 000 di oggi (in Italia sono circa 47000 l'anno). Resta comunque un numero consistente di malattie come l'asma, i problemi cardiovascolari e il cancro ai polmoni attribuiti all'inquinamento atmosferico (e soprattutto al particolato, al biossido di azoto e all'ozono) e continua ad essere la prima causa ambientale di morte precoce nell'UE colpendo in modo particolare i gruppi vulnerabili (bambini, anziani e persone con patologie pregresse). Inoltre l'inquinamento atmosferico minaccia l'ambiente attraverso l'acidificazione, l'eutrofizzazione e i danni da ozono che colpiscono foreste, ecosistemi e colture con un impatto significativo sulla biodiversità.

Nel novembre 2019 la Commissione ha pubblicato il controllo dell'adeguatezza delle direttive sulla qualità dell'aria ambiente (direttive 2004/107/CE e 2008/50/CE), nel quale si conclude che le direttive sono state parzialmente efficaci relativamente al miglioramento e all'adempimento delle norme in materia di qualità dell'aria, in quanto non tutti i loro obiettivi sono stati raggiunti.

Nel dicembre 2019, nel Green Deal europeo, la Commissione europea si è impegnata a migliorare ulteriormente la qualità dell'aria e ad allineare maggiormente le norme dell'UE in materia di qualità dell'aria alle raccomandazioni dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) aggiornate al 2021. Nel maggio 2021 l'obiettivo di un maggiore allineamento ai più recenti risultati scientifici è stato confermato nel **“piano d'azione per l'inquinamento zero”**, nel quale si prevede, **entro il 2050**, di ridurre l'inquinamento dell'aria, nonché dell'acqua e del suolo, a livelli che non siano più considerati nocivi per la salute e gli ecosistemi naturali e che rimangano entro limiti che il nostro pianeta può sostenere, così da creare un ambiente privo di sostanze tossiche.

Sono stati inoltre introdotti **traguardi per il 2030**, due dei quali sull'aria:

- ridurre di oltre il 55 % gli effetti nocivi sulla salute (decessi prematuri) dell'inquinamento atmosferico
- ridurre la percentuale di ecosistemi dell'UE nei quali l'inquinamento atmosferico minaccia la biodiversità del 25 %.

Norme più rigorose in materia di qualità dell'aria contribuirebbero anche agli obiettivi del piano europeo di lotta contro il cancro. Nel Green Deal europeo la Commissione ha inoltre annunciato che rafforzerà il monitoraggio, la modellizzazione e la pianificazione della qualità dell'aria.

Nell'ottobre del 2022 la Commissione Europea ha proposto una bozza di revisione delle direttive sulla qualità dell'aria ambiente che comporterebbe la loro fusione in un'unica direttiva con l'obiettivo di:

- allineare maggiormente le norme dell'UE in materia di qualità dell'aria alle raccomandazioni dell'OMS;
- migliorare ulteriormente il quadro legislativo (ad esempio in relazione alle sanzioni e all'informazione del pubblico);
- offrire un migliore sostegno alle autorità locali nel conseguire l'obiettivo di garantire un'aria più pulita rafforzando il monitoraggio, la modellizzazione e i piani per la qualità dell'aria

La valutazione d'impatto indica che i benefici della revisione proposta per la società sono di gran lunga superiori ai costi e riguardano principalmente la salute (tra cui la riduzione della mortalità e

della morbilità, della spesa per l'assistenza sanitaria e delle assenze dal lavoro dovute a malattia, nonché l'aumento della produttività sul lavoro) e l'ambiente (tra cui la riduzione delle perdite di rendimento dei raccolti legate all'ozono).

In particolare per ciò che concerne la rete di monitoraggio nello specifico è prevista:

- ❖ l'introduzione di ulteriori punti di campionamento per gli inquinanti atmosferici non regolamentati che destano nuove preoccupazioni, come il particolato ultrafine (PUF), il particolato carbonioso, l'ammoniaca (NH₃) o il potenziale ossidativo del particolato, che contribuirà alla comprensione scientifica dei loro effetti sulla salute e sull'ambiente;
- ❖ la fissazione di nuovi valori limite per tutti gli inquinanti atmosferici, citati nelle precedenti normative, e di valori obiettivo solo per l'ozono. I valori limite e i valori obiettivo riveduti entreranno in vigore nel 2030, bilanciando la necessità di un miglioramento rapido con la necessità di garantire un lasso di tempo sufficiente e il coordinamento con le principali politiche correlate i cui risultati sono previsti nel 2030 anche se è prevista la possibilità di richiedere da parte degli Stati membri, entro il 31 gennaio 2029 e per ragioni specifiche e a rigorose condizioni, un rinvio del termine per il raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria;
- ❖ l'introduzione di nuove soglie di allarme per il particolato (PM₁₀ e PM_{2,5});
- ❖ l'introduzione di un valore limite giornaliero per il particolato fine (PM_{2,5}) e il biossido di azoto (NO₂) oltre alla revisione dei valori limite annuali (verranno ridotti rispettivamente da 25 µg/m³ a 10 µg/m³ per il PM_{2.5} e da 40 µg/m³ a 20 µg/m³ per l'NO₂) allo scopo di diminuire l'esposizione media della popolazione alle raccomandazioni dell'OMS;
- ❖ l'aggiornamento dell'elenco dei composti organici volatili (COV) raccomandati per le misurazioni volte a migliorare la comprensione della formazione e della gestione dell'ozono.

Il 24 Aprile 2024 il Parlamento Europeo ha adottato in via definitiva un accordo politico provvisorio con governi dell'UE sulle nuove misure introdotte dalla bozza di direttiva (381 voti favorevoli – 225 contrari – 17 astenuti).

Prossimo step: la direttiva dovrà essere formalmente adottata dal Consiglio, prima di essere pubblicata nella gazzetta ufficiale dell'UE ed entrare in vigore 20 giorni dopo. I Paesi dell'UE avranno due anni di tempo per applicare le nuove norme.

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

A norma del D.Lgs 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).

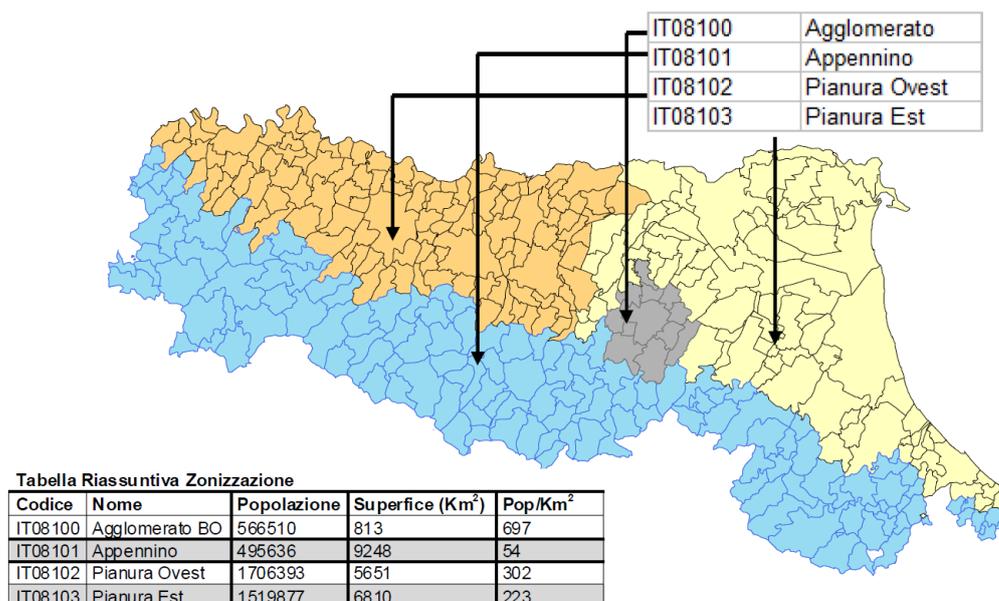


Figura 1.1 – Zonizzazione regionale (DLgs 155/2010 e DGR 2001/2011)

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 predisporre un *piano di qualità dell’aria* con l’obiettivo principale, a tutela della salute collettiva, di individuare azioni concrete per il rispetto degli standard di qualità dell’aria e per la riduzione delle emissioni inquinanti nei territori regionali agendo sulle principali sorgenti di emissione.

In adempimento a quanto stabilito la Regione Emilia Romagna ha approvato il nuovo Piano Aria Integrato Regionale (**PAIR 2030**) con deliberazione dell’Assemblea Legislativa n.152 del 30 gennaio 2024 ed è entrato in vigore dal 6 febbraio 2024 (data di pubblicazione sul BURERT n.34). Il **PAIR 2030** prevede di raggiungere il rispetto dei valori limite previsti dalla normativa per gli inquinanti più critici per la Regione, nel più breve tempo possibile, intervenendo sulla base dei seguenti principi:

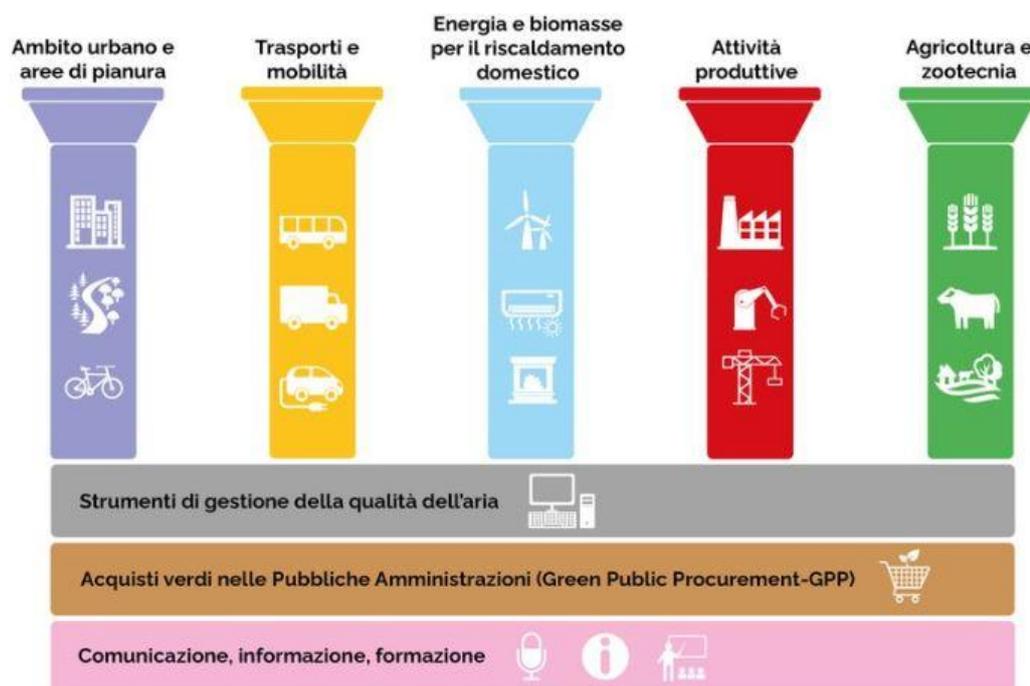
- ridurre le emissioni sia di inquinanti primari sia di precursori degli inquinanti secondari (PM10, PM2.5, NO_x, SO₂, NH₃, COV);
- agire simultaneamente sui principali settori emissivi;
- agire sia su scala locale che su scala spaziale estesa di bacino padano con intervento dei Ministeri sulle fonti di competenza nazionale;
- prevenire gli episodi di inquinamento acuto al fine di ridurre i picchi locali.

Il PAIR 2030 prevede le seguenti riduzioni emissive rispetto allo scenario base al 2017:

- del 13% per il **PM10**
- del 13% per il **PM2.5**
- del 12% per gli ossidi di azoto (**NO_x**)
- del 29% per l'ammoniaca (**NH₃**)
- del 6% per i composti organici volatili (**COV**)
- del 13% per il biossido di zolfo (**SO₂**)

Il piano individua **64 misure** suddivise in **8 ambiti di intervento**, prioritari per il raggiungimento degli obiettivi della qualità dell'aria, di cui **5 tematici** e **3 trasversali**:

1. Ambito urbano e aree di pianura
2. Trasporti e mobilità
3. Energie e biomasse per il riscaldamento domestico
4. Attività produttive
5. Agricoltura e zootecnia
6. Strumenti di gestione della qualità dell'aria
7. Acquisti verdi nelle Pubbliche Amministrazioni (GPP)
8. Comunicazione, informazione, formazione



1.5 - 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	8	µg/m ³	<8
SO₂	10	µg/m ³	<10
O₃	8	µg/m ³	<8
PM₁₀	3	µg/m ³	<3
PM_{2.5}	3	µg/m ³	<3
CO	0,4	mg/m ³	<0,4
Benzene	0,1	µg/m ³	<0,1

2. LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

2.1 - Configurazione della Rete Regionale

La Regione Emilia Romagna ha effettuato, a partire dal 2005, alcune revisioni della struttura della Rete Regionale di monitoraggio della Qualità dell'Aria (RRQA), per rendere conforme la rete ai nuovi requisiti normativi nazionali e regionali (D.Lgs 155/2010 e DGR 2001/2011).

L'attuale RRQA, che tiene conto anche della suddivisione del territorio regionale in zone omogenee dal punto di vista della qualità dell'aria, è composta da 47 stazioni di misura (Fig.2.1).

I punti di campionamento sono stati individuati per verificare il 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*).

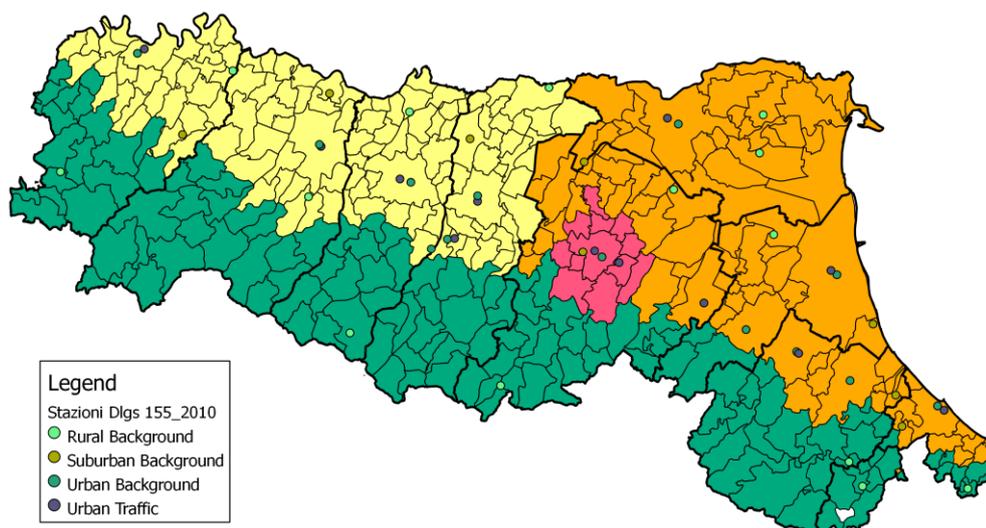


Figura 2.1 -
Dislocazione delle
stazioni nella rete
regionale (D.Lgs
155/2010 e DGR
2001/2011)

2.2 - Configurazione della Rete di Ravenna

Nella Provincia di Ravenna sono presenti 5 stazioni della Rete Regionale di rilevamento della qualità dell'aria (RRQA) e due stazioni Locali - Rocca Brancaleone e Porto San Vitale. Le due stazioni locali sono state collocate per controllare e monitorare gli impatti riconducibili prevalentemente all'area industriale/portuale. La cartina di Figura 2.2 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.

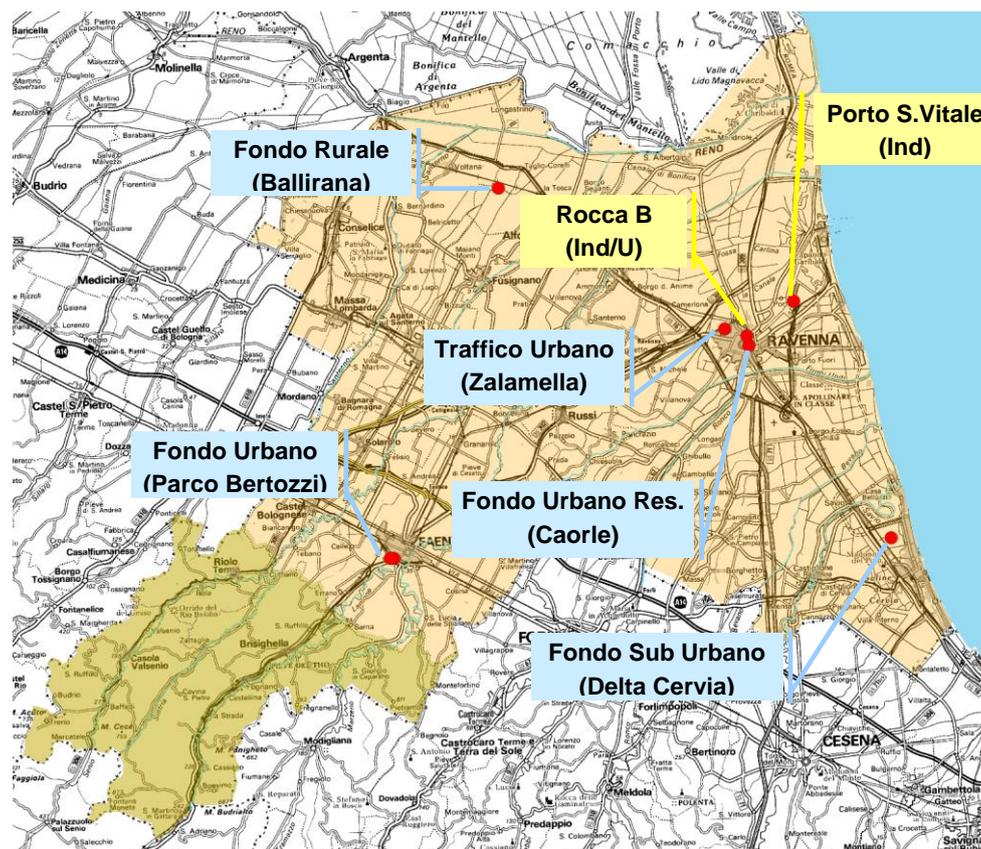


Figura 2.2 - Ravenna - Distribuzione spaziale delle stazioni di rilevamento della qualità dell'aria

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 prevalentemente al controllo del mantenimento delle condizioni ambientali in essere - è monitorata dalla stazione di Savignano di Rigo a Sogliano al Rubicone (fondo remoto - appartenente alla rete della provincia Forlì-Cesena) e da 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 Bertozzi		FU							
	Ravenna	Caorle		FU-Res							
	Ravenna	Zalamella		TU							
	Ravenna	Rocca Brancaleone		Ind-U							
	Ravenna	Porto San Vitale		Ind							

Legenda

Classificazione Zona	Classificazione Stazione	Zona + tipo Stazione	
 Urbana	 <i>Traffico</i>	  <i>Fondo Rurale</i>	<i>FRu</i>
 Suburbana	 <i>Fondo</i>	  <i>Fondo Sub Urbano</i>	<i>FsubU</i>
 Rurale	 <i>Industriale</i>	  <i>Fondo Urbano</i>	<i>FU</i>
		  <i>Traffico Urbano</i>	<i>TU</i>
		  <i>Indust. Urbana</i>	<i>Ind-U</i>
		  <i>Industriale</i>	<i>Ind</i>

Tabella 2.1 – Configurazione della RRQA di Ravenna al 31/12/2023

Nel comune di Ravenna, in prossimità della zona industriale, sono presenti, inoltre, sei stazioni fisse gestite dalla Società RSI per conto di un consorzio a cui partecipano numerose industrie del polo industriale (rete privata). 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	PM2.5	BTX
Germani	X		X	X	X	
Marani (ora ENGIM)	X		X	X	X	X
AGIP 29				X	X	
Marina di Ravenna 2	X	X	X	X	X	
Zorabini	X	X				
Sant'Alberto	X					

Tabella 2.2 - Dotazione strumentale (inquinanti monitorati) nelle stazioni della rete privata (2022)

Nei capitoli successivi sono riportate esclusivamente le elaborazioni statistiche dei dati rilevati dalla RRQA e dalle stazioni Locali.

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 2022.

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

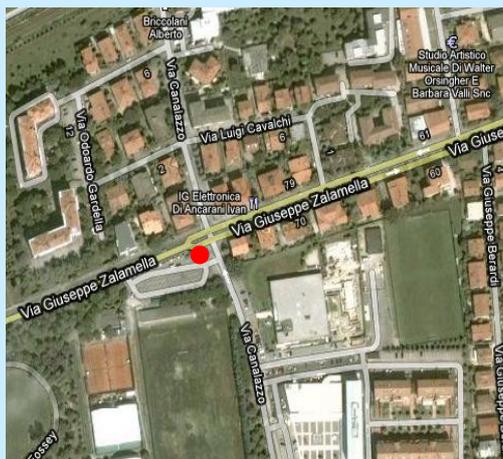
Stazione: <i>Delta Cervia (Cervia)</i>	Zona : <i>Agglomerato Pianura Est</i>
	
Tipo Stazione: Fondo SubUrbano	Coordinate geografiche:
Inquinanti: PM_{10} - NO_x - O_3	UTM32 X: 765899 Y: 908893

Stazione: Zalamella (Ravenna)



Tipo Stazione: Traffico Urbano
Inquinanti: PM₁₀ - NO_x - CO - BTX

Zona : Agglomerato Pianura Est



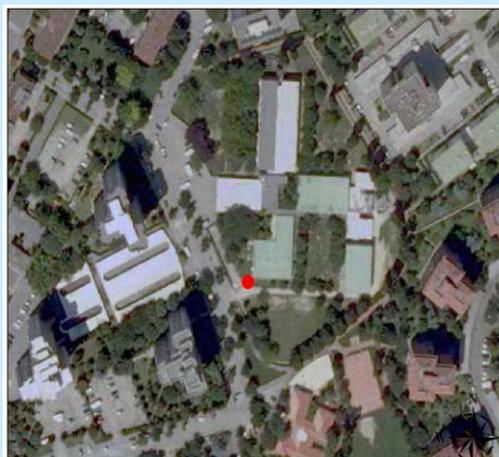
Coordinate geografiche:
 UTM32: X: 753646 Y: 924418

Stazione: Caorle (Ravenna)



Tipo Stazione: Fondo Urbano Residenz.
Inquinanti: PM₁₀ PM_{2,5}- NO_x - O₃ - SO₂

Zona : Agglomerato Pianura Est



Coordinate geografiche:
 UTM32: X: 756779 Y: 923593

Stazione: Parco Bertozzi (Faenza)



Tipo Stazione: Fondo Urbano
Inquinanti: PM₁₀ - PM_{2,5} - NO_x - O₃

Zona : Agglomerato Pianura Est



Coordinate geografiche:
 UTM32 X: 729277 Y: 9007702

2.4 - Stazioni della Rete Locale Industriale di Ravenna

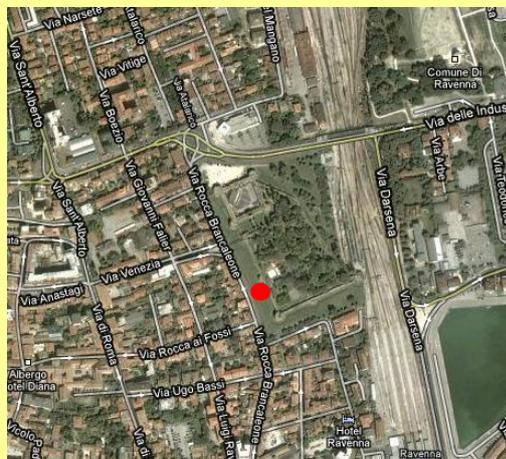
Stazione: Rocca Brancaleone (Ravenna)



Tipo Stazione: **Industriale / Urbana**

Inquinanti: **PM₁₀ - NO_x - SO₂- CO - O₃**

Stazione locale industriale



Coordinate geografiche:

UTM32 X: 755267 Y: 923906

**Stazione: Porto S. Vitale (Ravenna)
ex SAPIR**



Tipo Stazione: **Industriale**

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

Stazione locale industriale



Coordinate geografiche:

UTM32 X: 758889 Y: 926401

3 - LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI RAVENNA, RIMINI E FORLÌ - CESENA

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 le 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.

Di seguito si riportano alcune elaborazioni, relative ai parametri meteorologici registrati nel territorio delle tre province. In alcuni casi si è fatto riferimento ai parametri meteorologici che sono registrati nelle stazioni per la qualità dell'aria, mentre in altri si sono utilizzati i dati delle stazioni facenti parte delle reti gestite dal servizio Idro-Meteo-Clima (SIMC) di Arpae. In tabella 3.1 sono elencate tutte le stazioni prese in esame per la stesura del presente report.

L'inquadramento climatico per l'anno 2023 è tratto dal rapporto IdroMeteoClima 2023, realizzato dall'Osservatorio Clima di Arpae.

<https://www.arpae.it/it/notizie/il-2023-un-anno-di-caldo-record-ed-eventi-estremi>

Per la provincia di Ravenna le stazioni utilizzate sono tre: la stazione locale della rete di monitoraggio di qualità dell'aria di Porto San Vitale, nell'area industriale-portuale di Ravenna, la stazione meteo di Bisaura ubicata a Faenza sempre della rete di Ravenna, e la stazione di Brisighella, facente parte della rete idrometeorologica del SIMC (Fig.3.1).

Per la provincia di Rimini si sono utilizzate la stazione di Rimini Ausa a Rimini città, Riccione Urbana, e Morciano, Novafeltria e Pennabilli per l'entroterra riminese, tutte facenti parte delle stazioni di meteorologia gestite dal SIMC, (Fig.3.2).

Per la provincia di Forlì-Cesena si è utilizzata la stazione di monitoraggio Hera nell'area industriale di Forlì, stazione locale di qualità dell'aria e dedicata all'inceneritore, la stazione di Forlì Urbana e per l'interno la stazione di Castrocaro, facenti parte della rete idrometeorologica gestita dal SIMC. Si sono utilizzati inoltre anche i dati della stazione di Cesenatico Porto per la direzione del vento come riferimento per la costa, facente parte del SIMC. (Fig. 3.3).



Fig 3.1 – Dislocazione delle stazioni meteorologiche nella provincia di Ravenna



Fig. 3.2 Dislocazione delle stazioni meteorologiche nella provincia di Rimini.

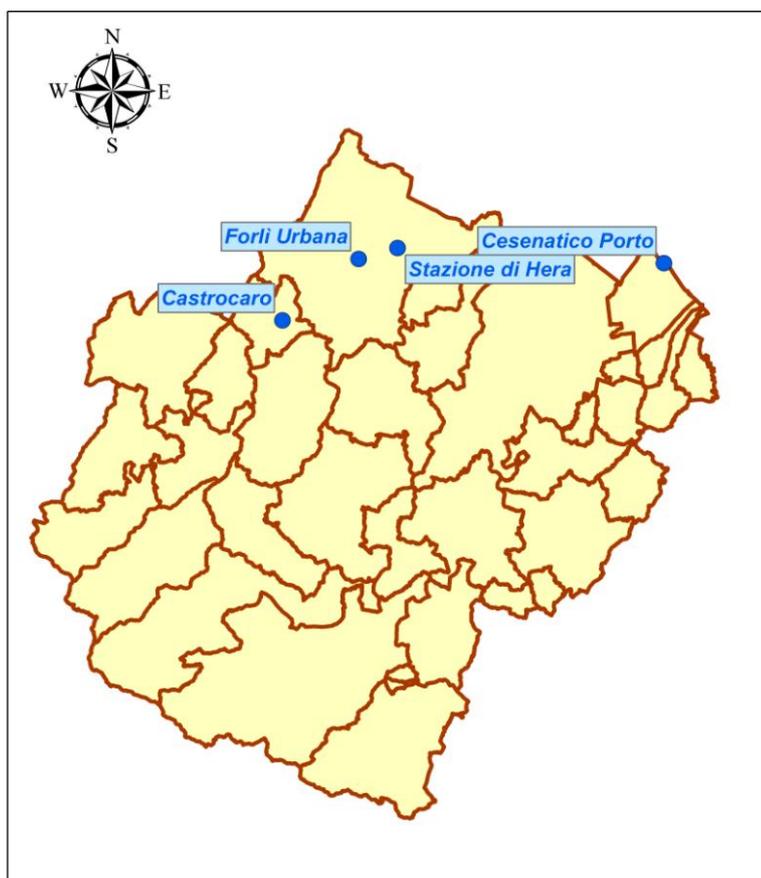


Fig. 3.3 Dislocazione delle stazioni meteorologiche nella provincia di Forlì.

	Temperatura	Precipitazione	Rosa venti
Ravenna	<i>Porto S. Vitale (0 m.s.m) (stazione locale)</i>	<i>Porto S. Vitale (0 m.s.m) (stazione locale)</i>	<i>Porto S. Vitale (0 m.s.m) (stazione locale)</i>
	<i>Bisaura (35 m.s.m) (RRQA)</i>	<i>Bisaura (35 m.s.m) (RRQA)</i>	<i>Bisaura (35 m.s.m) (RRQA)</i>
	<i>Brisighella (185 m.s.m) (SIMC)</i>	<i>Brisighella (185 m.s.m) (SIMC)</i>	
Rimini	<i>Riccione Urbana (1 m.s.m) (SIMC)</i>	<i>Rimini Ausa (1m.s.m) (SIMC)</i>	<i>Riccione Urbana (1 m.s.m) (SIMC)</i>
	<i>Morciano (65 m.s.m) (SIMC)</i>	<i>Novafeltria (331 m.s.m) (SIMC)</i>	<i>Pennabilli (629m.s.m) (SIMC)</i>
Forlì - Cesena	<i>Forlì Hera (23 m.s.m) (stazione locale)</i>	<i>Forlì Hera (23 m.s.m) (stazione locale)</i>	<i>Forlì Hera (23 m.s.m) (stazione locale)</i>
	<i>Forlì Urbana (51 m.s.m) (SIMC)</i>	<i>Castrocaro (66 m.s.m) (SIMC)</i>	<i>Cesenatico Porto 1 m.s.m (SIMC)</i>

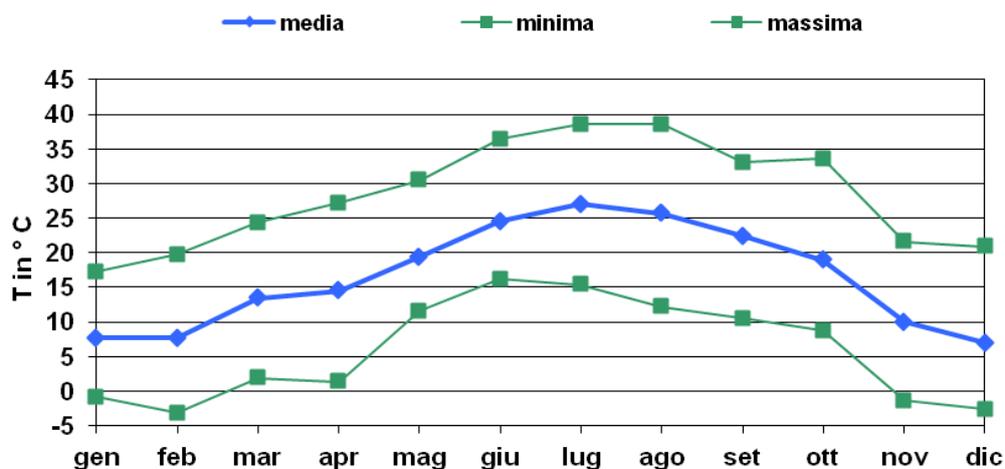
Tabella 4.1 stazioni meteorologiche

3.2 - Andamento meteorologico del 2023 nella Provincia di Ravenna, Rimini e Forlì-Cesena

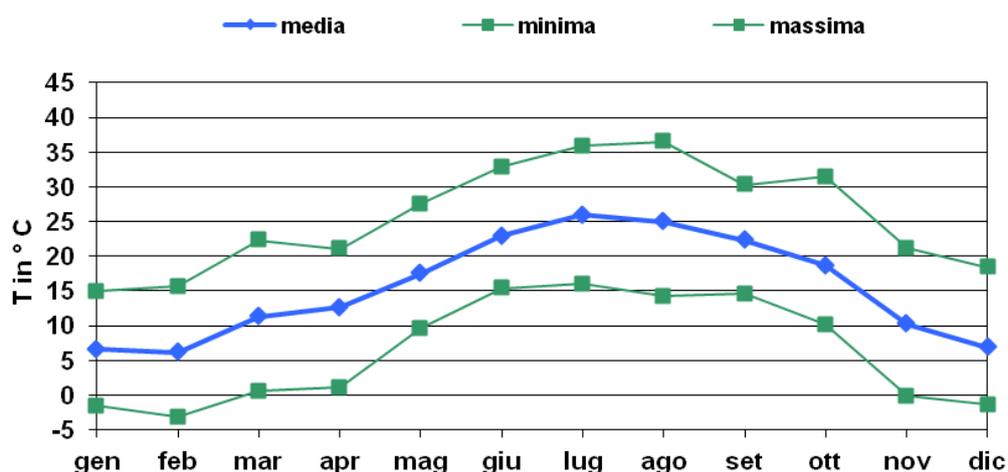
3.2.1 – Temperatura

In figura 3.4 sono riportate le temperature medie, minime e massime mensili per l'anno 2023 misurate nelle stazioni di Porto San Vitale, Bisaura (Faenza) e Brisighella per la provincia di Ravenna, la stazione Hera di Forlì e Forlì Urbana per la provincia di Forlì-Cesena e la stazione di Riccione Urbana e Morciano per la provincia di Rimini.

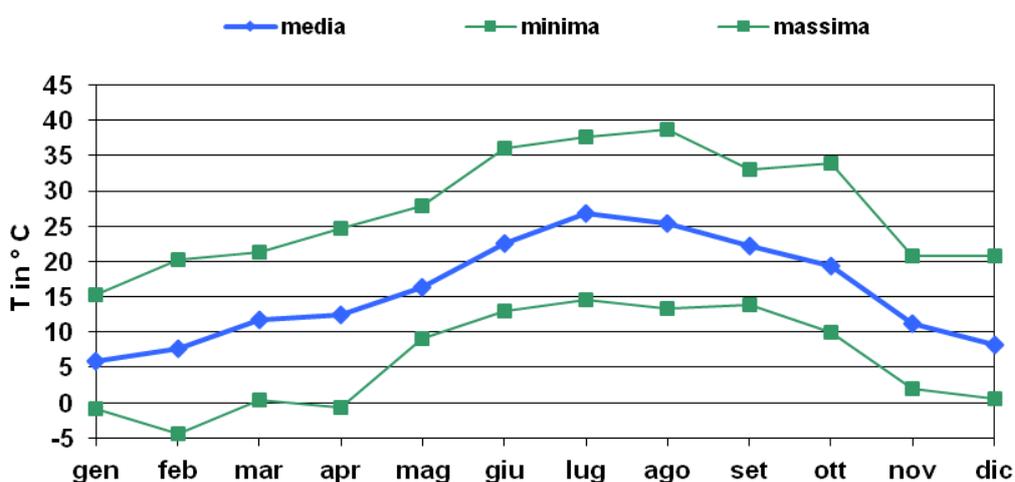
Stazione di Bisaura (Faenza)- anno 2023



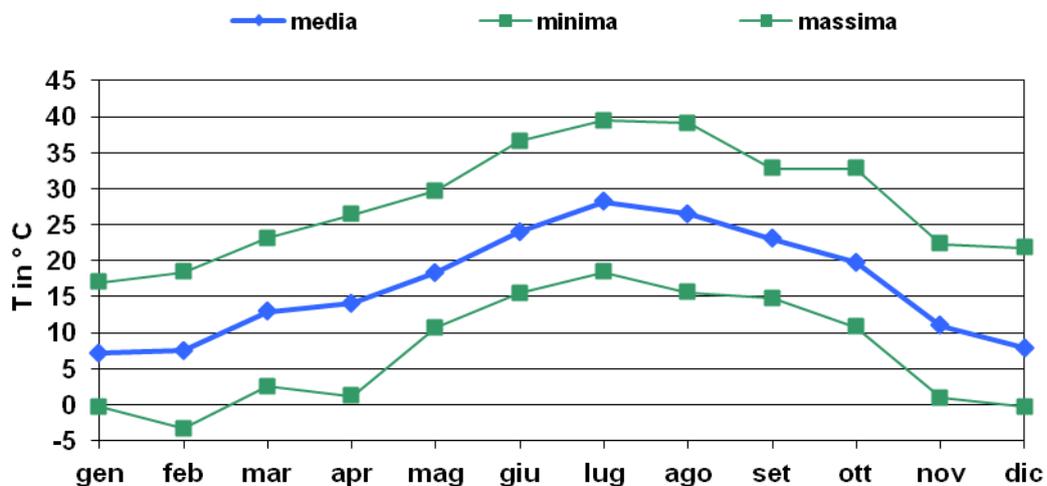
Stazione di Porto San Vitale (Ravenna) - anno 2023



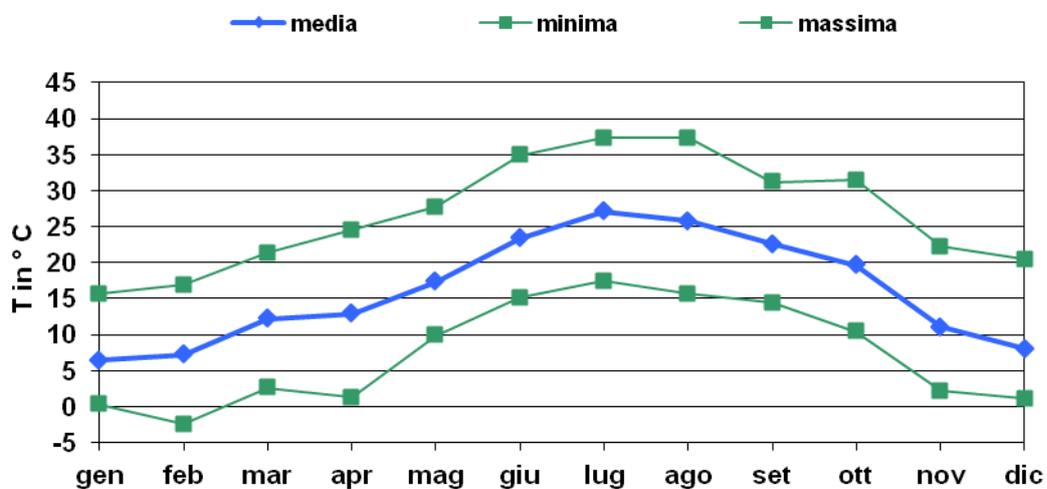
Stazione di Brisighella (Faenza) - anno 2023



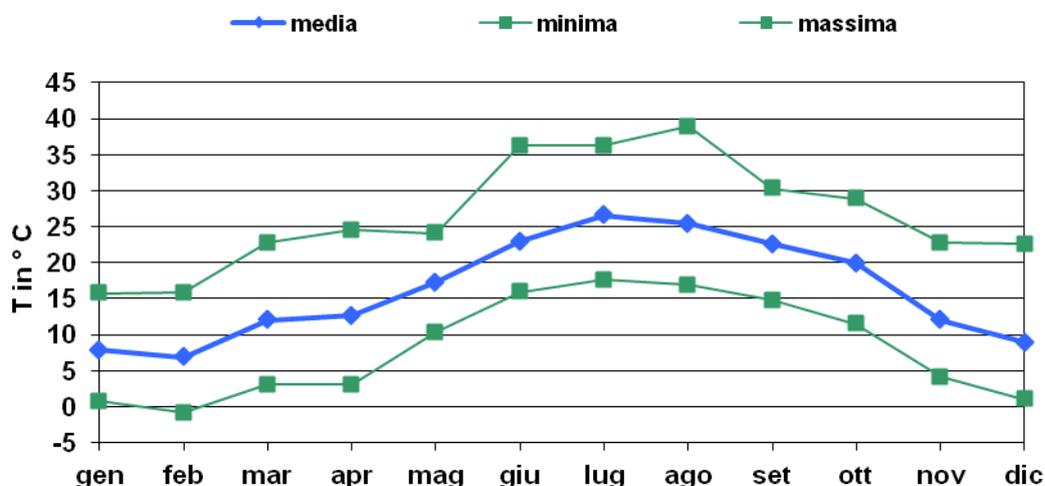
Stazione di Forlì Hera - anno 2023



Stazione di Forlì Urbana - anno 2023



Stazione di Riccione Urbana - anno 2023



Stazione di Morciano (Rimini) - anno 2023

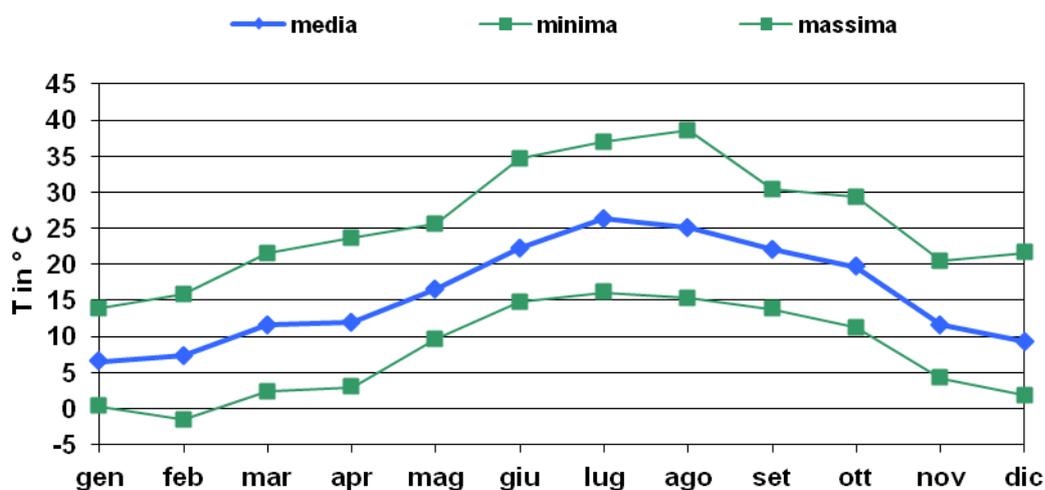


Figura 3.4 – Medie, minimi e massimi mensili delle temperature - Anno 2023

Il 2023, a livello regionale, è risultato l'anno più caldo dal 1961, per temperatura media e massima, e il secondo più caldo in termini di temperatura minima, dopo il 2014. Queste condizioni generali si sono tradotte in un elevato numero di notti con temperatura minima superiore a 20 °C (notti tropicali). Se calcoliamo il numero di notti tropicali medio per tutta la regione (l'indice regionale: calcolato a partire dalla serie delle medie regionali delle temperature minime giornaliere) il valore per l'anno 2023 è pari a 15, che è il terzo valore più alto della serie 1961-2023, dopo il 2003 e il 2015, inoltre, a livello locale, in pianura, sono state osservate fino a oltre 60 notti tropicali nell'area metropolitana di Bologna. A queste condizioni si lega anche il valore particolarmente elevato dello zero termico, la quota più alta della troposfera alla quale la temperatura dell'aria assume un valore di 0 °C, che in inverno coincide con la quota neve. In pianura, il valore medio annuo di questo indice è stato il più alto mai registrato dal 1986; le anomalie termiche osservate in superficie nel

corso dell'anno sono quindi strettamente correlate a quelle di un consistente strato di atmosfera sovrastante. La prima metà di gennaio si è discostata molto dalla normalità climatica, con elevatissime anomalie che hanno portato la temperatura media regionale fino a 6,3 °C oltre il clima 1991-2020, con superamento dei precedenti record calcolati dal 1961 nei giorni 1, 2 e 4 gennaio; successivamente, i valori termici non hanno presentato eccezionali anomalie e il 10 febbraio è stato rilevato, presso la stazione di Febbio (RE, 1148 m s.l.m.), il valore di temperatura minima assoluta regionale per il 2023, pari a -13,4 °C. A marzo, a cavallo fra la prima e la seconda decade, è stata registrata invece un'intensa ondata di calore, durante la quale per più giorni le temperature hanno segnato nuovi record. Poi, le temperature sono progressivamente diminuite e aprile è risultato complessivamente più freddo della norma, soprattutto per quanto riguarda i valori minimi giornalieri. A maggio, in presenza di condizioni particolarmente perturbate, le temperature medie mensili regionali sono risultate di nuovo inferiori alla norma, ma questa volta sono state le temperature massime giornaliere a determinare maggiormente il segno negativo dell'anomalia mensile.

Con il mese di giugno, in linea con la normale variabilità climatica, si è conclusa la fase dell'anno caratterizzata da brevi anomalie termiche e variabilità, ed è iniziato un secondo periodo caratterizzato da persistenti ed elevate anomalie termiche positive, che si sono intensificate nell'ultima parte dell'anno. Il 25 agosto, presso le stazioni di Marzaglia (MO, 54 m s.l.m.) e Sant'Agata Bolognese (BO, 18 m s.l.m.), è stata rilevata la temperatura massima assoluta regionale dell'anno, pari a 40,7 °C. Va osservato che, nonostante nel 2023 si siano verificate forti ondate di calore, il numero totale di giorni in cui la temperatura massima ha superato i 30 °C (giorni caldi) non ha raggiunto valori particolarmente alti; questo probabilmente a causa di frequenti temporali durante la stagione estiva, e anche perché l'umidità degli strati superficiali del suolo non ha mai raggiunto valori eccessivamente bassi e il rilascio di calore latente ha limitato i possibili effetti di amplificazione superficiale delle anomalie termiche. In autunno le anomalie termiche si sono ulteriormente intensificate: settembre è risultato il secondo più caldo dal 1961, dopo il 2011, mentre ottobre è stato il più caldo della serie così come l'autunno nel suo complesso; l'anno si è infine concluso con il dicembre più caldo della corrispondente serie storica. Nel corso di questi mesi, più volte la temperatura media regionale ha segnato nuovi record massimi, come il 9 ottobre, quando il precedente record è stato superato di 3,9 °C, complice un'eccezionale avvezione calda, e di nuovo il 23 dicembre, quando il nuovo record ha superato di 3,8 °C quello precedente, complice un intenso evento di foehn alpino. Nel 2023, la temperatura del mare, misurata a circa 10 km dalla costa adriatica, ha assunto in ogni mese dell'anno valori medi superiori al clima 2007-2020, con anomalie mensili particolarmente pronunciate, superiori a 2,5 °C, a gennaio e ottobre.

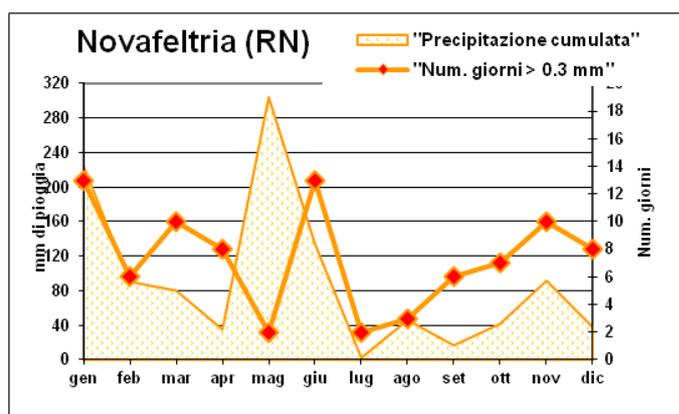
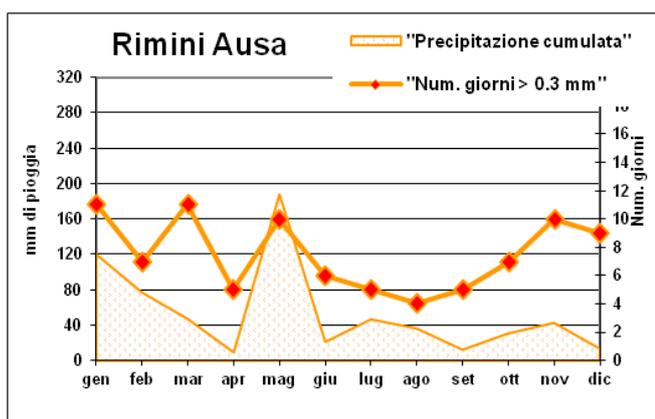
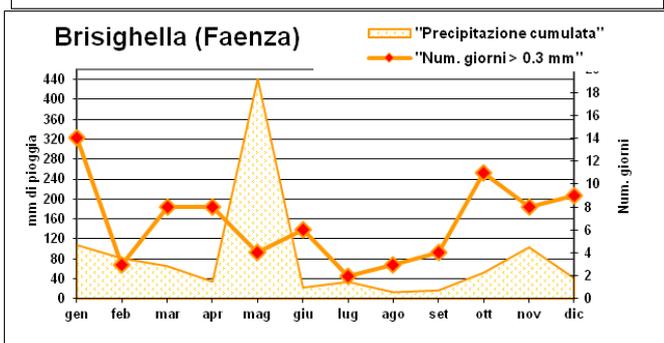
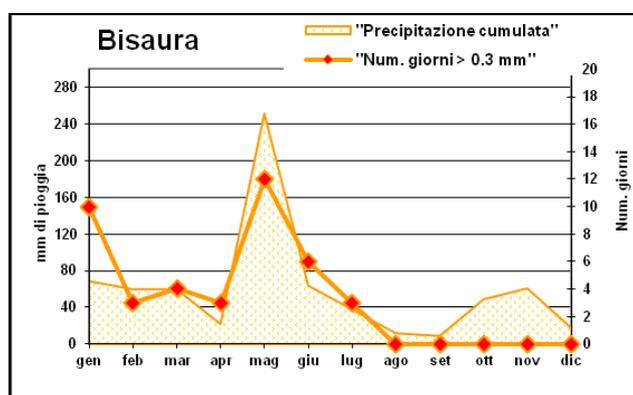
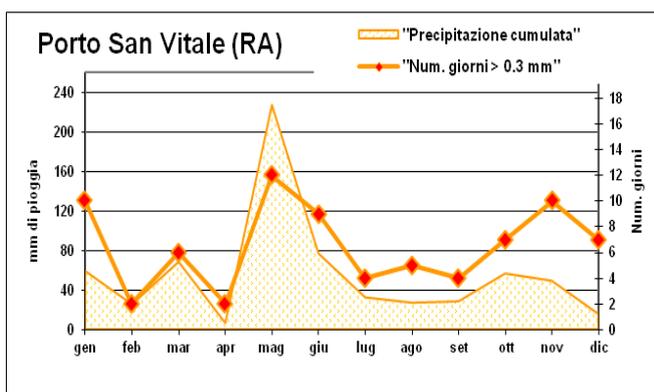
Per l'anno 2023 nella provincia di Ravenna i minimi si sono registrati nel mese di febbraio (-4,4 °C Brisighella), e le temperature massime si sono registrate sempre nelle due stazioni più interne con il picco a Brisighella (38,7 °C), che risulta essere anche la stazione delle tre a quota più elevata (185 m.s.m). Tali temperature sono in linea con l'anno 2022, e del tutto comparabili nel trimestre estivo. Questo andamento delle temperature rilevate è simile in tutte le stazioni, ma con variazioni più marcate, fra le minime e le massime, nell'entroterra rispetto alla stazione di Porto San Vitale, che risente maggiormente dell'azione mitigatrice del mare.

Per la provincia di Rimini, per il parametro della temperatura, si sono prese in considerazione le centraline di Morciano e Riccione. Le minime si sono registrate sempre nel mese di febbraio (Morciano -1.6°C), che si trova nell'entroterra a una altitudine di 65 m.s.m e per le massime a Riccione (39 °C). I valori medi sono stati analoghi per le due stazioni. Andamenti simili per le

stazioni di Forlì per quanto riguarda le medie ma con temperature massime più elevate per la stazione Hera rispetto alla stazione urbana di Forlì.

3.2.2 – Precipitazioni

In figura 3.5 sono rappresentate la precipitazione cumulata mensile ed il numero di giorni con precipitazione superiore a 0,3 mm (limite di significatività).



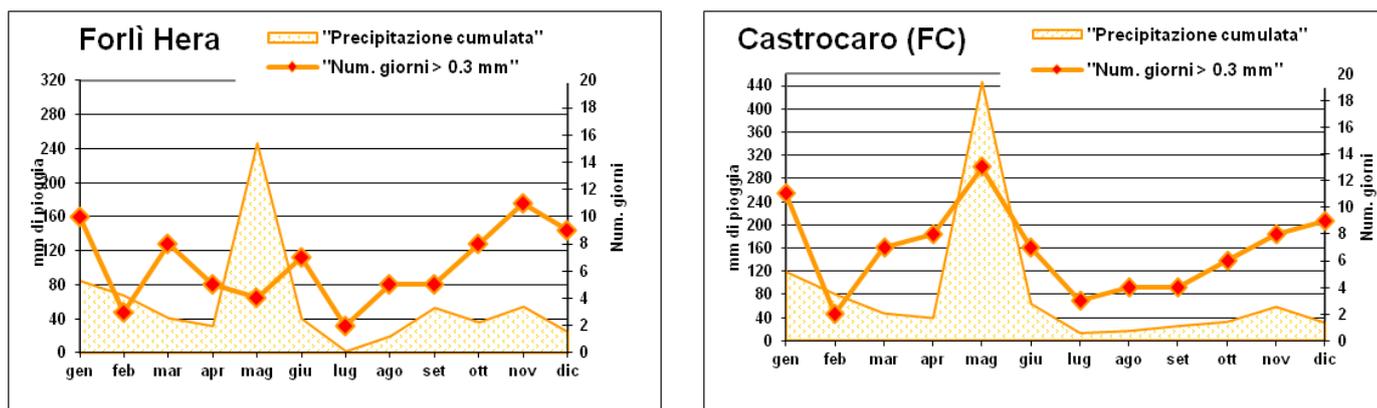


Figura 3.5 – Precipitazione cumulata mensile e numero di giorni con precipitazione superiore a 0.3 mm – Anno 2023

Le precipitazioni totali medie regionali del 2023 hanno raggiunto un valore di 891 mm, molto vicino alla media del periodo di riferimento 1991-2020, pari a 889 mm. Tuttavia, nel corso dell'anno, le precipitazioni hanno mostrato un andamento temporale molto intermittente, con conseguenti periodi critici sia in termini di abbondanza sia di scarsità delle risorse. Il 2023 è iniziato in condizioni di siccità, che si sono instaurate a partire dal 2021, e si sono protratte, con brevi interruzioni, fino al termine del 2022. A esclusione di gennaio, le precipitazioni sono state scarse fino a inizio maggio. Tuttavia, grazie soprattutto a un apporto consistente a inizio anno e nonostante la scarsità di precipitazioni ad aprile, il terzo più secco dal 1961, alla fine del primo quadrimestre le cumulate da inizio anno erano di poco inferiori all'intervallo di normale variabilità per il trentennio 1991-2020. Questo lungo periodo di siccità si è concluso con le eccezionali piogge di maggio, pari a 3,3 volte il valore climatico mensile a livello regionale, e con picchi locali sull'Appennino romagnolo superiori alla metà del valore atteso annuo; successivamente, le abbondanti, per quanto spazialmente poco omogenee precipitazioni di giugno hanno consolidato le risorse idriche regionali, a eccezione delle aree occidentali della regione, dove hanno continuato a persistere condizioni di moderata siccità. A luglio le precipitazioni sono risultate scarse: 27,5 mm regionali contro i 42,4 mm attesi, mentre ad agosto, nonostante il valore medio regionale sia stato di poco inferiore alla norma, le piogge si sono principalmente concentrate nelle aree occidentali, permettendo un locale recupero delle risorse idriche ancora segnate da persistenti, seppur moderate, condizioni di siccità idrologica. Settembre è stato nuovamente caratterizzato da scarse precipitazioni, con valori cumulati medi regionali di 31 mm a fronte degli 81 mm attesi, ma a ottobre, in corrispondenza di una nuova fase particolarmente perturbata, le precipitazioni sono risultate di nuovo nettamente superiori ai valori climatici, con anomalie particolarmente pronunciate sulle aree occidentali. L'anno si è concluso con due mesi di precipitazioni nettamente inferiori alla norma. Quindi, nonostante le cumulate annue medie regionali siano risultate prossime alla norma climatica, più della metà delle precipitazioni del 2023 sono da attribuire unicamente ai mesi di gennaio, maggio e ottobre, mentre nel resto dell'anno sono risultate generalmente inferiori alle attese, spesso molto scarse, e frequentemente concentrate in limitate aree della regione.

Bilancio idroclimatico. Le anomalie termiche osservate nella seconda metà dell'anno, in un contesto di precipitazioni confrontabili ai valori climatici, hanno portato, a fine 2023, a valori di bilancio idroclimatico complessivamente negativi, con un valore medio regionale pari a -143 mm. Il valore conferma la presenza di un trend negativo di lungo periodo, senza però avvicinarsi agli estremi osservati negli anni precedenti. Valori annui locali particolarmente bassi, inferiori a -550 mm, sono stati stimati in varie aree della pianura, in particolare nel piacentino e nel parmense.

Evento alluvionale di maggio. Per quanto riguarda la precipitazione risulta evidente il dato anomalo del mese di maggio. Il mese è stato caratterizzato da numerosi ed eccezionali eventi rilevanti. Le piogge del mese hanno raggiunto un valore totale medio regionale di 250,7 mm, superiore di 174,8 mm rispetto al valore medio climatico (+230,2 %), valore più alto dal 1961; anche rispetto al valore mediano, l'anomalia è di circa +173 mm. Dall'1 al 3 maggio, diffuse e persistenti precipitazioni, con valori cumulati oltre 250 mm in alcune zone, hanno interessato in modo significativo la parte centro-orientale della regione, soprattutto dalle aree pedecollinari ai rilievi, provocando piene e rotte di argini con allagamenti, e fenomeni di dissesto idrogeologico.

Tra il 9 e 10 maggio, abbondanti precipitazioni hanno interessato soprattutto la pianura modenese, bolognese e ferrarese insistendo sui suoli già saturi dal precedente evento, nella parte centro-orientale della regione.

E' seguito l'evento del 12-14 maggio, durante il quale gli accumuli più significativi del giorno 12 provocano allagamenti in vari comuni del bolognese e la grandine danneggia le colture nelle province di Bologna e Forlì-Cesena.

L'evento più significativo è stato quello del 16-17 maggio, quando ingenti precipitazioni, diffuse e persistenti - molto simili all'evento dell'1-3 maggio per quantitativi e zone più colpite - hanno interessato in particolare la parte centro-orientale della regione, con significativa insistenza sui rilievi da Bologna a Forlì-Cesena, Ravenna e anche sulla costa del riminese. La media regionale sulle 48 ore è stata di 73,2 mm e il giorno 16 ha registrato massimi giornalieri elevatissimi (205,6 mm nella stazione di Trebbio, nella valle del Lamone)

Nel territorio provinciale di Ravenna la stazione di Brisighella ha fatto registrare per l'anno 2023 nettamente il valore più alto di precipitazione (1014 mm) rispetto a Porto San Vitale e Bisaura che hanno valori simili (714 e 673 mm). Pesa naturalmente il mese di maggio come detto (Brisighella 440 mm, Porto San Vitale 227 mm e Bisaura 252 mm). I mesi più secchi per la Provincia di Ravenna sono stati i mesi di aprile, quelli estivi e dicembre. A confronto con l'anno 2022 a Brisighella abbiamo un +401mm, +211 mm a Porto San Vitale. Bisaura è leggermente più elevata con circa 50mm in più.

Per quanto riguarda la provincia di Rimini, la stazione dell'entroterra riminese di Novafeltria (precipitazione complessiva 1104 mm) ha registrato valori di precipitazioni molto più elevati rispetto alla stazione cittadina di Rimini AUSA (645mm). Maggio e gennaio i mesi più piovosi per entrambe le stazioni. Il mese di luglio per Novafeltria e quelli di aprile, settembre e dicembre per Rimini AUSA quelli meno piovosi. A confronto con l'anno 2022 per l'entroterra vi era la stazione di Pennabilli (686mm) e Riccione Urbana 422mm.

Per quanto riguarda i valori di precipitazione complessiva delle due stazioni della provincia di Forlì, la stazione interna di Castrocaro, 966 mm (per il 2022 era 696 mm) ha fatto registrare valori superiori a quella dell'area urbana di Hera, (698 mm), (per il 2022 era di 501mm), con i minimi di precipitazione nei mesi di luglio e agosto. A maggio per Forlì si riportano i valori di Castrocaro 446 mm e Hera 246 mm.

3.2.3 – Intensità e direzione del vento

In Figura 3.6 sono rappresentate le rose dei venti annuali e stagionali, in termini di direzione ed intensità, relative alle stazioni di Porto San Vitale e Bisaura per Ravenna, le stazioni di Hera e Cesenatico Porto per Forlì e le stazioni di Riccione e Pennabilli per la provincia di Rimini.

Nelle stazioni più prossime alla linea di costa si evidenziano in periodo primaverile ed estivo le direzioni tipiche della brezza di terra-mare. Le **brezze** sono venti leggeri (con tipiche velocità dai 2 ai 6 km/h), e locali, (in quanto assumono un'estensione molto limitata nello spazio geografico). Le brezze, fanno parte dei cosiddetti venti periodici, ovvero che invertono il senso nel quale spirano nel corso di una stessa giornata. Il riscaldamento più veloce della terra rispetto al mare, di giorno, fa sì che l'aria più calda e rarefatta sulla terraferma richiami alle quote basse l'aria più fresca e più densa presente sul mare (brezza di mare). Alle quote alte maggiori i venti sono opposti di notte, il raffreddamento più veloce della terraferma rispetto al mare induce l'invertirsi della brezza con venti a quote basse che spirano dalla terraferma verso il mare (brezza di terra). La tarda primavera e l'inizio dell'estate sono i momenti in cui le brezze tendono a raggiungere la loro massima intensità, a causa della maggiore differenza di temperatura tra il mare e la terra.

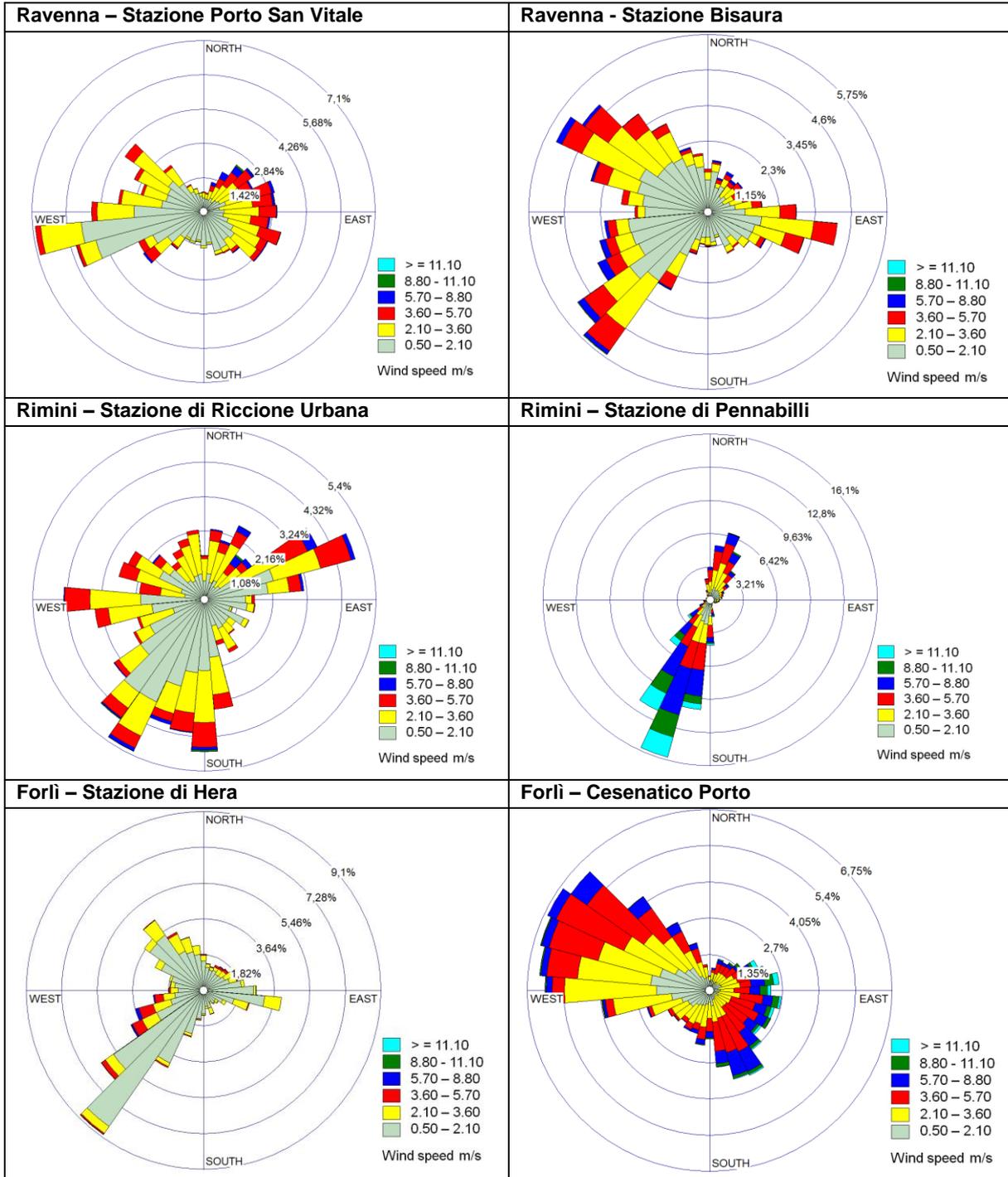
Per la stazione di Porto San Vitale di Ravenna situata sulla costa, si evince che durante le stagioni invernale ed autunnale, prevalgono i venti occidentali, mentre per la stagione primavera – estate, risulta evidente l'influenza delle brezze di mare di direzione E-NE. Per Bisaura durante la stagione primavera-estate la componente dei venti provenienti da est risulta meno evidente.

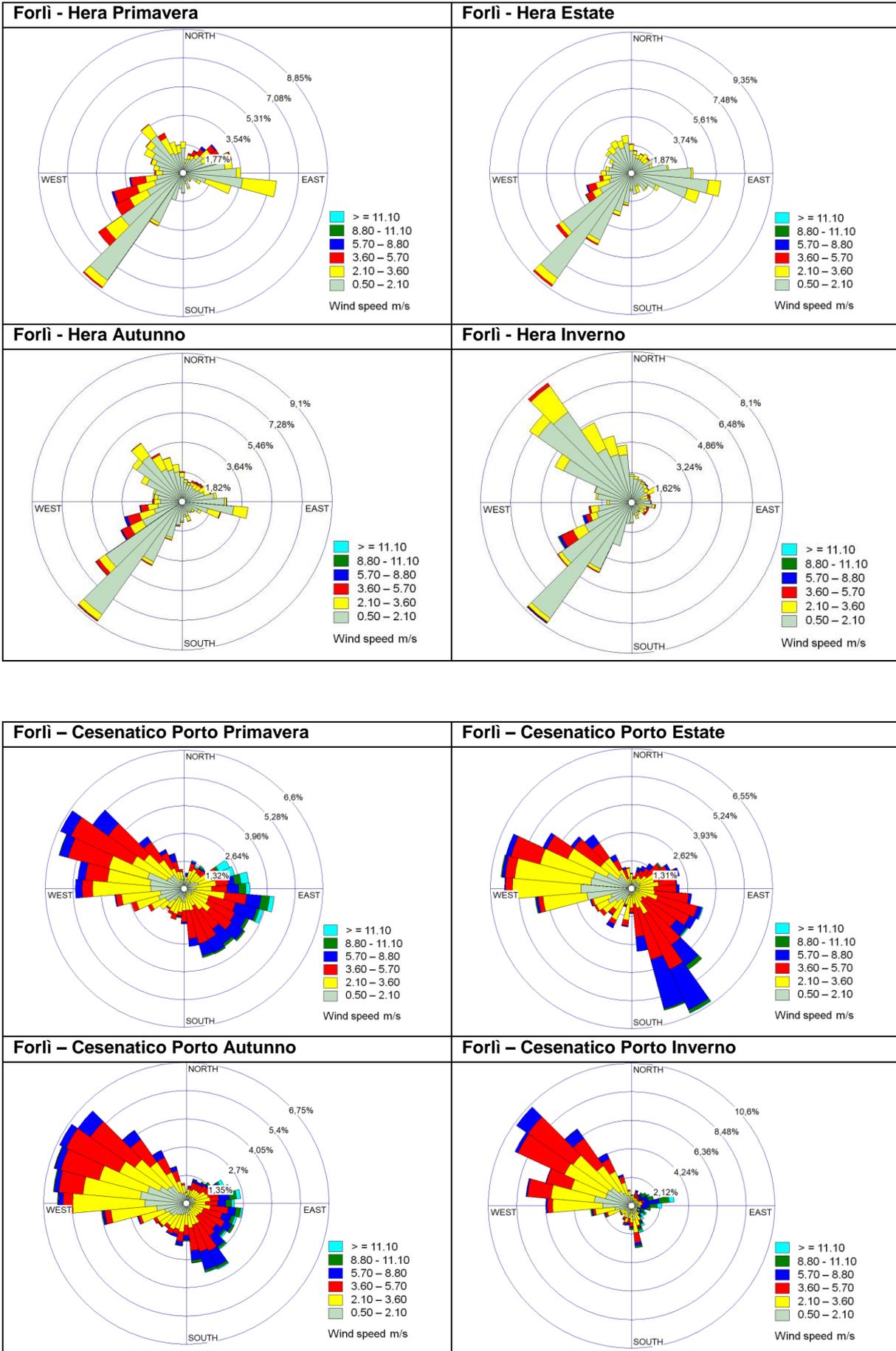
Nella stazione di Riccione la direzione prevalente dei venti è stata Sud-Ovest per le stagioni fredde mentre è evidente l'intensificarsi della provenienza marina durante la primavera e l'estate. Più all'interno della provincia, per la stazione di Pennabilli, è evidente come la direzione del vento si sviluppa lungo l'asse nord-sud con predominanza durante tutto l'arco dell'anno di provenienza meridionale.

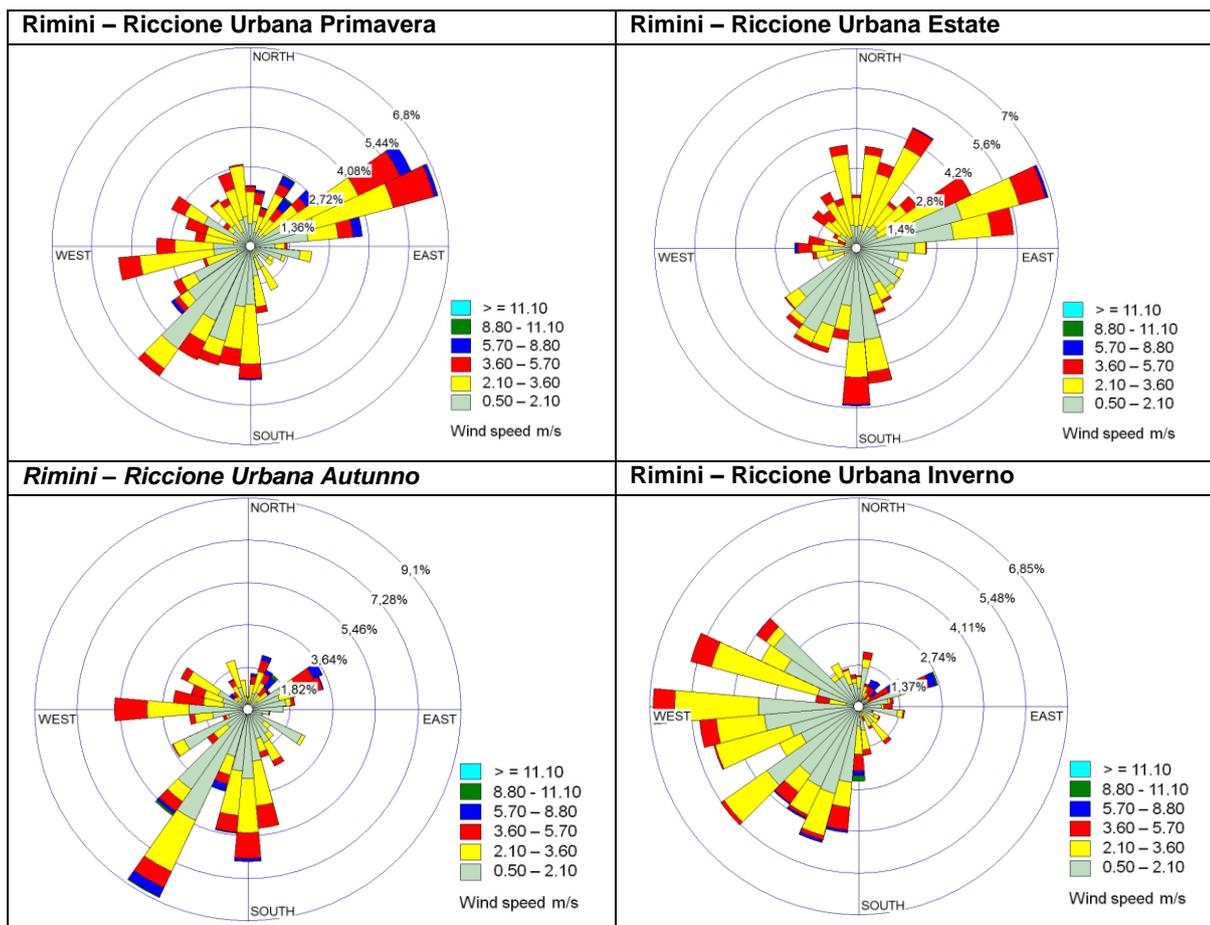
Nella stazione Hera di Forlì i venti durante tutto l'arco dell'anno risultano tendenzialmente bassi, provenienti principalmente da Sud-Est per buona parte dell'anno e anche da nord-ovest durante la stagione invernale.

Per quanto riguarda la stazione di Cesenatico è evidente l'apporto della brezza di mare per buona parte dell'anno ancora di più durante le stagioni primavera-estate.

Rose annuali







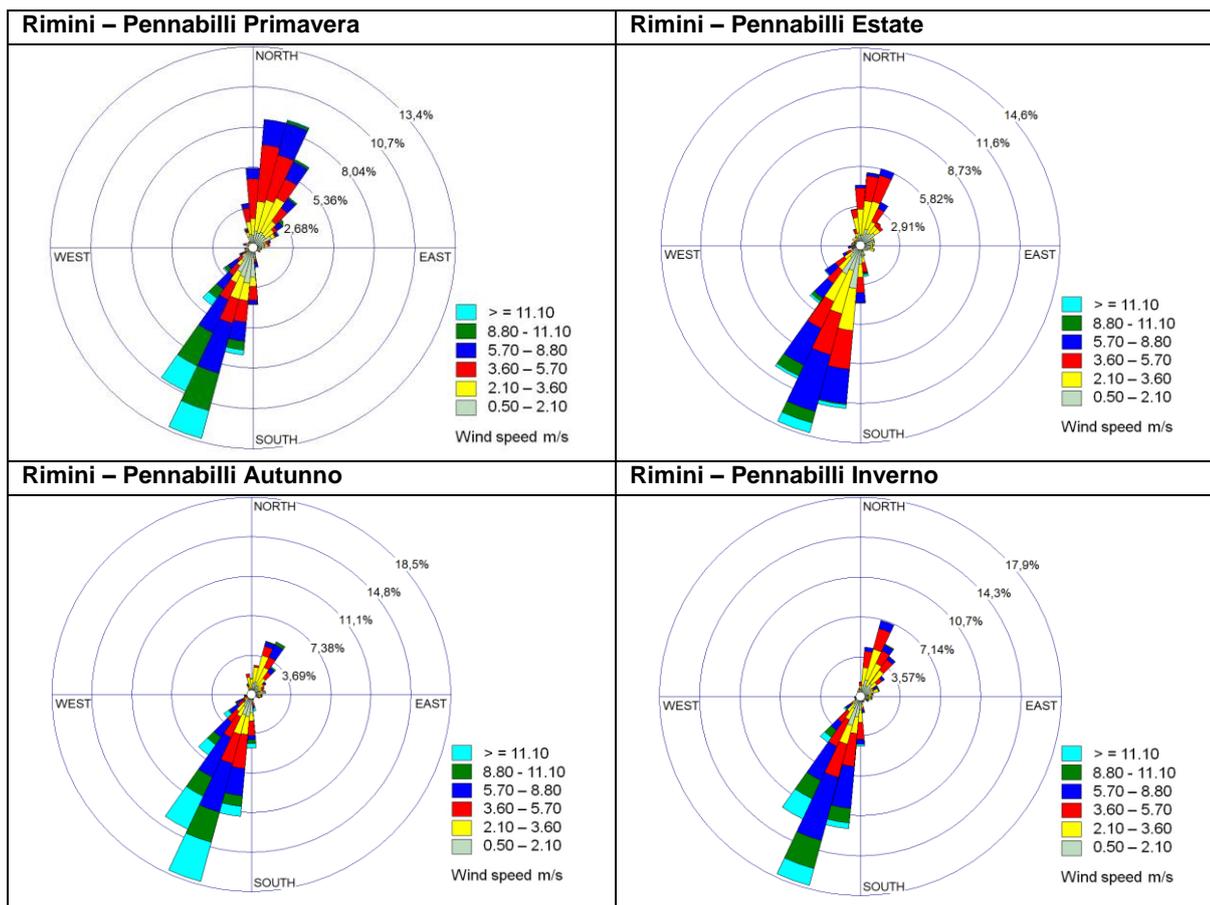


Figura 3.6 - Rose dei venti annuali e stagionali delle stazioni di Porto San Vitale e Bisaura per Ravenna, Hera e Cesenatico Porto per Forlì e Riccione Urbana e Pennabilli per Rimini – Anno 2023

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 delle 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 quasi sempre risultano inferiori al limite di quantificazione strumentale, tanto è vero che è stato deciso di effettuare la rilevazione di questo inquinante – livello regionale – in una unica area, Ravenna, dove è presente un importante polo industriale, con numerose potenziali fonti di emissione di tale inquinante, e un importante porto commerciale che contribuisce, con le emissioni navali, alle concentrazioni diffuse di questo gas.

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione in aria di biossido di Zolfo (SO ₂)	2013 - 2023		

Il biossido di zolfo viene misurato nella stazione di fondo urbano di Caorle e nelle stazioni Locali di Rocca Brancaleone e Porto San Vitale.

Le concentrazioni di biossido di zolfo rilevate nel 2023, così come ormai da parecchi anni, sono molto basse (meno del 2% dei dati supera il limite di quantificazione strumentale, pari a 10 µg/m³), ed i livelli sono notevolmente inferiori rispetto a quelli stabiliti dalla normativa vigente.

Il rispetto dei limiti non rappresenta più un problema per l'area di Ravenna, nonostante la presenza di un'importante area industriale/portuale, e già da oltre 20 anni (dal 1999) non si verificano superamenti dei limiti di legge.

Anche il valore normativo più restrittivo previsto per questo inquinante (20 µg/m³)¹ non è stato raggiunto da almeno venti anni in alcuna postazione.

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. = 10 µg/m³]				Concentrazioni in µg/m³		Limiti normativi			
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	20 µg/m ³		Max 24	Max 3
						Media anno	Media inverno	N° Sup. 350 µg/m ³ orari	N° Sup. 125 µg/m ³ gg
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	100	< 10	70	< 10	< 10	0	0
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	97	< 10	71	< 10	< 10	0	0
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	92	< 10	49	< 10	< 10	0	0

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

L'andamento delle concentrazioni dal 2013 al 2023, 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 10 µg/m³).

Tabella 4.2 - Andamento temporale di SO₂ dal 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in µg/m³)

Stazione: Caorle

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media annuale	5	4	4	2	3	3	1	2	1	3	3
Media inverno	3	5	2	2	3	2	1	1	1	2	3
50°Percentile	5	3	4	1	2	2	0	1	1	3	3
90°Percentile	-	8	9	8	6	7	2	6	3	6	6
95°Percentile	-	10	10	12	8	9	3	8	4	7	6
98°Percentile	11	13	11	19	9	10	5	9	5	8	7
Max	40	45	44	28	73	32	32	36	30	61	70
> 350 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	99	97	95	98	93	96	98	97	98	99	100

Stazione: Rocca Brancaleone

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	6	6	5	2	3	2	3	2	3	3	3
Media inverno	7	7	5	3	3	4	3	2	3	3	1
50°Percentile	6	5	4	0	3	2	3	1	3	2	2
90°Percentile	-	10	11	7	6	5	6	7	8	6	6
95°Percentile	-	11	13	9	7	6	8	8	9	7	10
98°Percentile	13	13	16	11	10	9	9	10	10	10	10
Max	43	74	32	53	56	46	45	53	36	34	71
> 350 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	99	95	94	96	100	99	96	99	97	97	97

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

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	4	5	5	4	4	4	4	4	2	2	2
Media inverno	6	6	4	6	4	4	4	3	2	1	1
50°Percentile	3	4	4	3	3	3	3	3	1	1	1
90°Percentile	-	8	8	8	7	8	8	7	6	6	5
95°Percentile	-	12	11	12	10	10	10	9	8	7	7
98°Percentile	22	19	15	19	16	17	13	11	10	11	9
Max	63	111	61	72	70	65	72	71	75	62	49
> 350 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	93	93	96	98	98	99	99	99	98	99	92

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

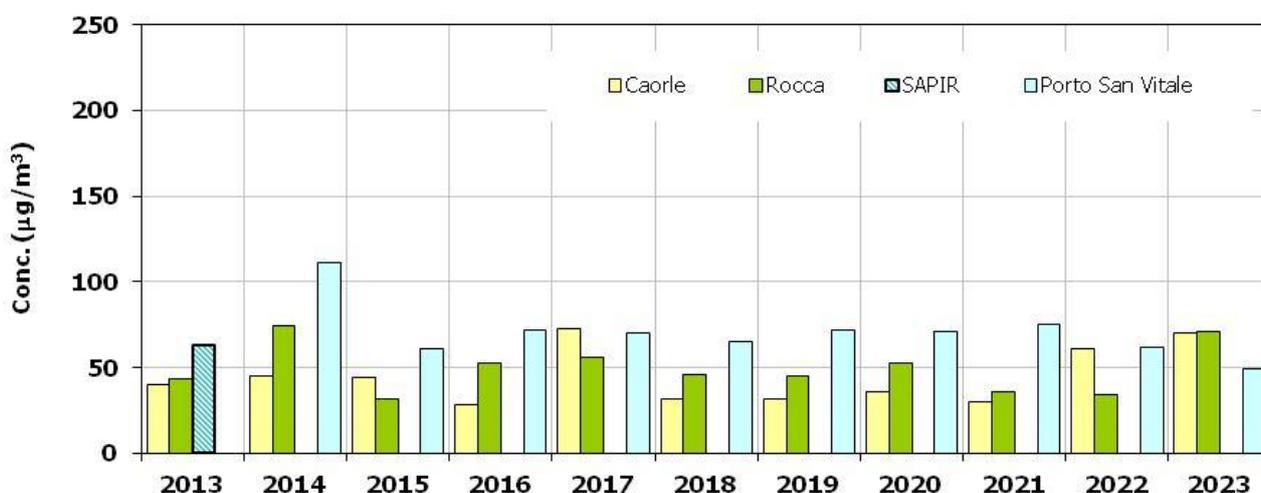


Figura 4.1 - Massimo orario - Area urbana e industriale di Ravenna

SO₂ - 98° perc. - Area urbana e industriale

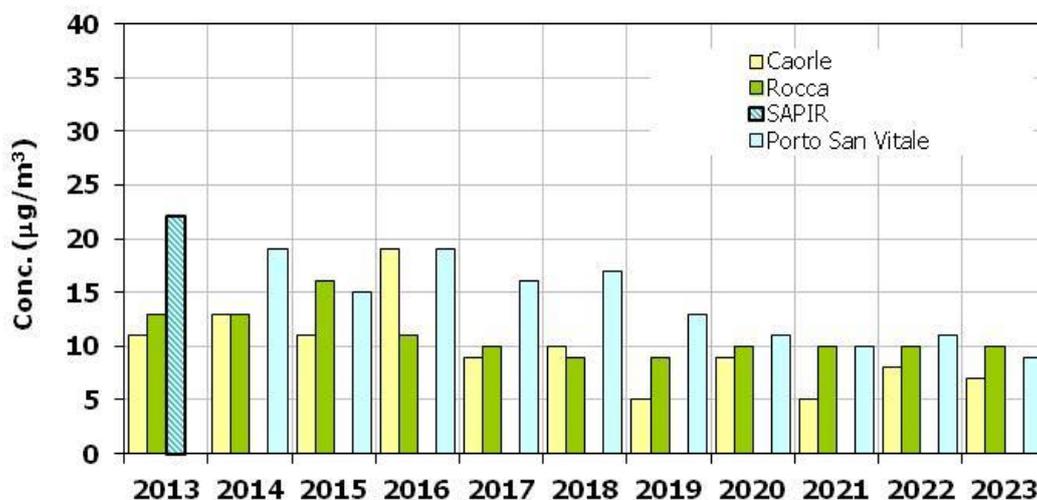


Figura 4.2 - 98° percentile medie orarie - Area urbana e industriale di Ravenna

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.

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione in aria di biossido di azoto (NO ₂)	2013 - 2023		
Superamenti dei limiti di legge per il biossido di azoto (NO ₂)	2013 - 2023		

Il biossido di azoto, inquinante che ha anche importanti interazioni sul ciclo di formazione del particolato e dell'ozono (O₃), viene misurato in tutte le stazioni della Rete (comprese quelle Locali). Il valore limite orario e della media annuale (40 µg/m³) è rispettato in tutte le stazioni della Rete da oltre 10 anni (dal 2010).

È comunque importante mantenere alta l'attenzione su questo inquinante, sia perché l'NO_x è uno dei precursori del particolato secondario e del O₃, sia per le criticità ancora riscontrate a livello regionale, in particolar modo, nelle concentrazioni medie annuali.

NO₂ [L.Q. = 8 µg/m³]				Concentrazioni µg/m³		Limiti Normativi		Valori guida OMS	Valori guida OMS
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	40 µg/m³	Max 18	200 µg/m³	10 µg/m³
						Media anno	N° Sup. 200 µg/m³ h	Max orario	Media anno
Ballirana*	Alfonsine	Fondo Rurale	42	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	96	< 8	54	10	0	54	10
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	100	< 8	85	13	0	85	13
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	99	< 8	77	16	0	77	16
Zalamella	Ravenna	Traffico	100	< 8	92	22	0	92	22
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	98	< 8	91	19	0	91	19
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	96	< 8	72	21	0	72	21

*La stazione di Ballirana è stata gravemente danneggiata dall'alluvione che ha colpito la Romagna nel mese di maggio 2023, pertanto è stato necessario sostituire e/o riparare la strumentazione e gli impianti. Il ripristino completo è avvenuto a fine dicembre 2023, con conseguente perdita di oltre il 50% dei dati dell'intera annualità.

Tabella 4.3 – NO₂: Parametri statistici e confronto con i valori previsti dalla normativa

I limiti di lungo (media annuale) e di breve periodo (massimo della media oraria) del biossido di azoto nell'anno 2023 sono stati rispettati in tutte le stazioni sia in quelle delle Rete Regionale che in quelle della Rete Locale di Ravenna.

Il valore più alto della media annuale è pari a 22 µg/m³, di poco superiore alla metà del limite normativo, ed è stato registrato nella stazione di traffico (Zalamella), così come il massimo orario più alto (92 µg/m³).

Nei grafici delle Figure 4.3A e 4.3B sono rappresentate le concentrazioni medie annue di NO₂, nelle stazioni dell'area urbana ed industriale di Ravenna ed in quelle di fondo sub-urbano e rurale, confrontate con il valore limite del D.Lgs 155/2010 (linea continua fuxia) e con il valore limite dell'OMS-AQG (linea tratteggiata verde).

Il valore limite è sempre rispettato, in tutte le stazioni, nel decennio precedente, e dal 2015 si delinea un trend in diminuzione della media annuale che si è stabilizzato negli ultimi anni.

Il valore dell'OMS non è mai rispettato, neanche nelle stazioni di fondo sub-urbano e rurale (Figura 4.3B) che presentano valori più bassi, rispetto alle stazioni urbane.

Le concentrazioni medie misurate nel 2023, lievemente inferiori all'anno precedente, confermano la stabilità dei valori per la maggior parte delle stazioni.

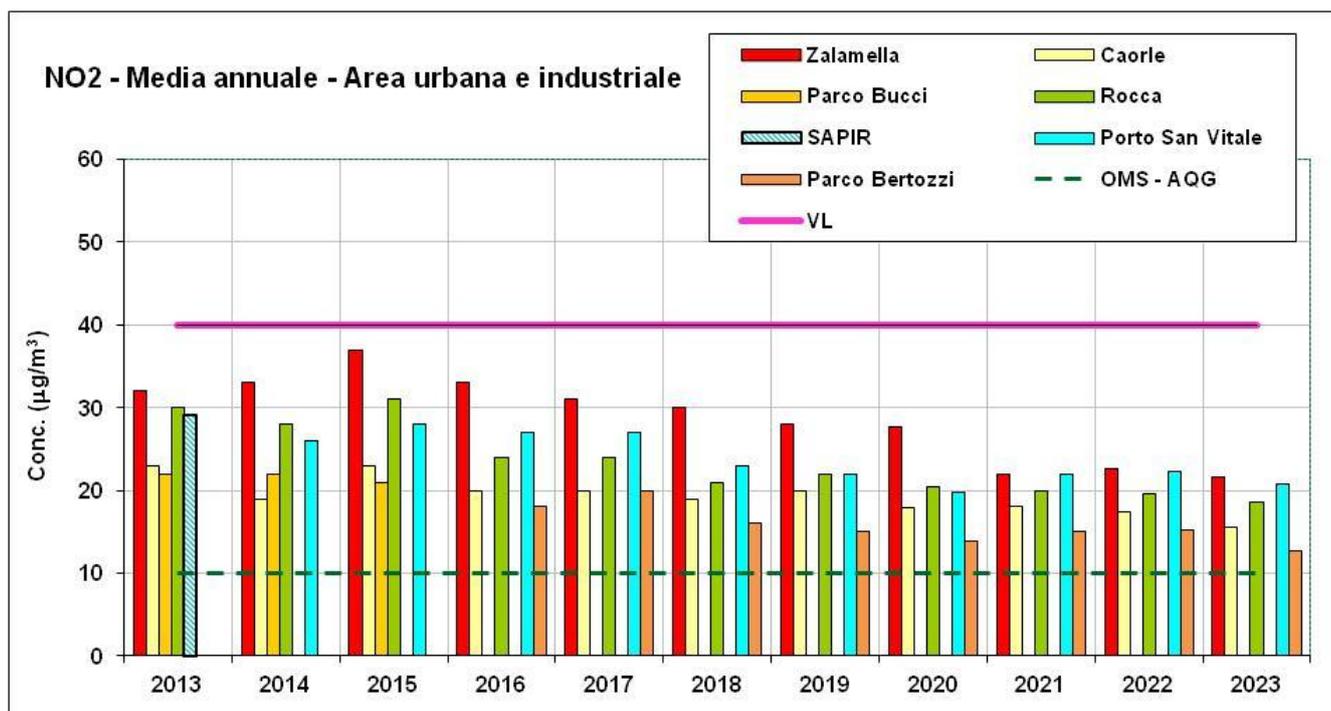


Figura 4.3A – Medie annuali - Area urbana e industriale di Ravenna

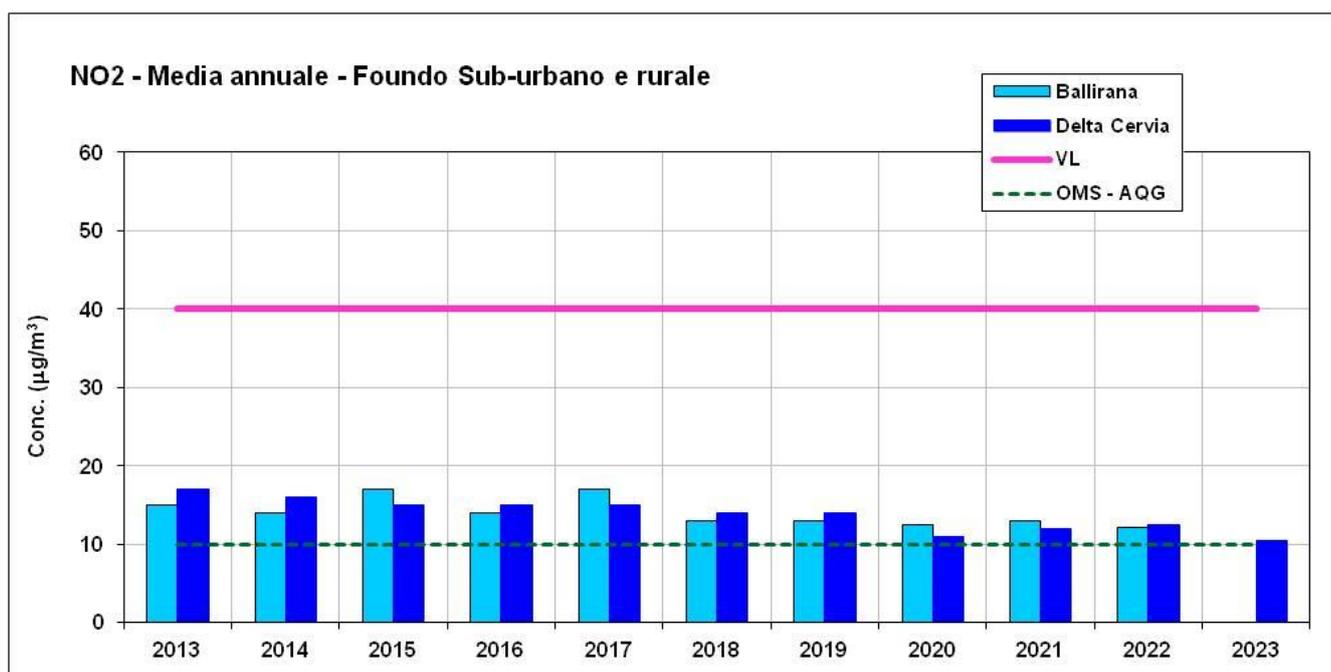


Figura 4.3B – Medie annuali - Stazioni di Fondo sub-urbano e rurale

Nelle Figure 4.4 e 4.5 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2023 per le stazioni in area urbana ed industriale (Figura 4.4) e per le stazioni di fondo sub urbano e rurale (Figura 4.5). L'andamento è simile in tutte le stazioni: le concentrazioni più alte si rilevano nei mesi invernali mentre, in generale, i valori assoluti delle stazioni di fondo sono più bassi.

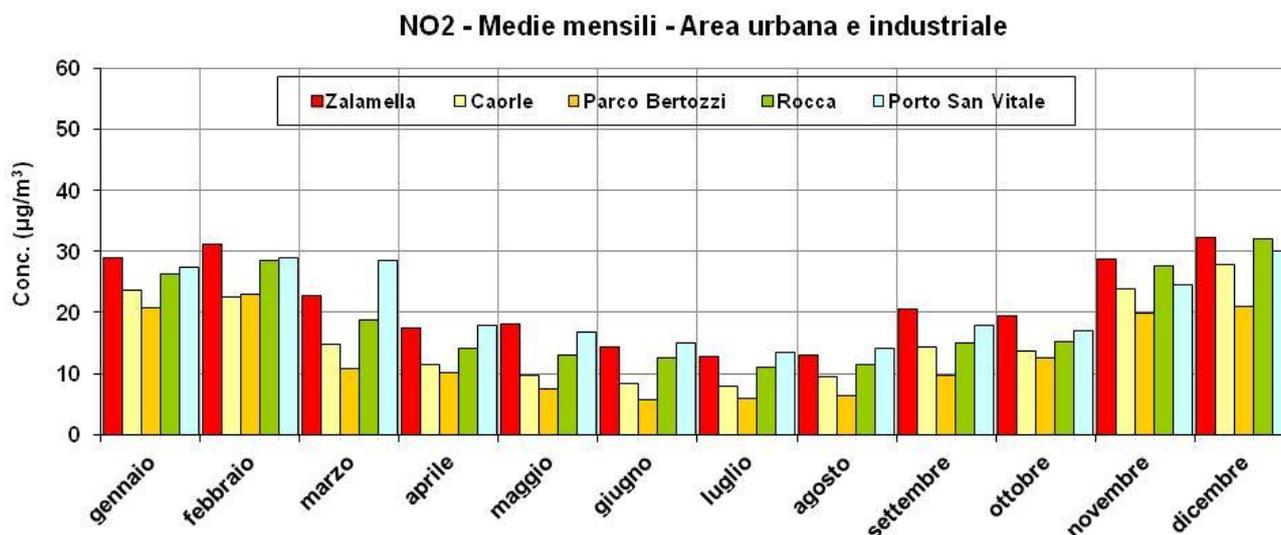


Figura 4.4 Medie Mensili - Area urbana e Industriale

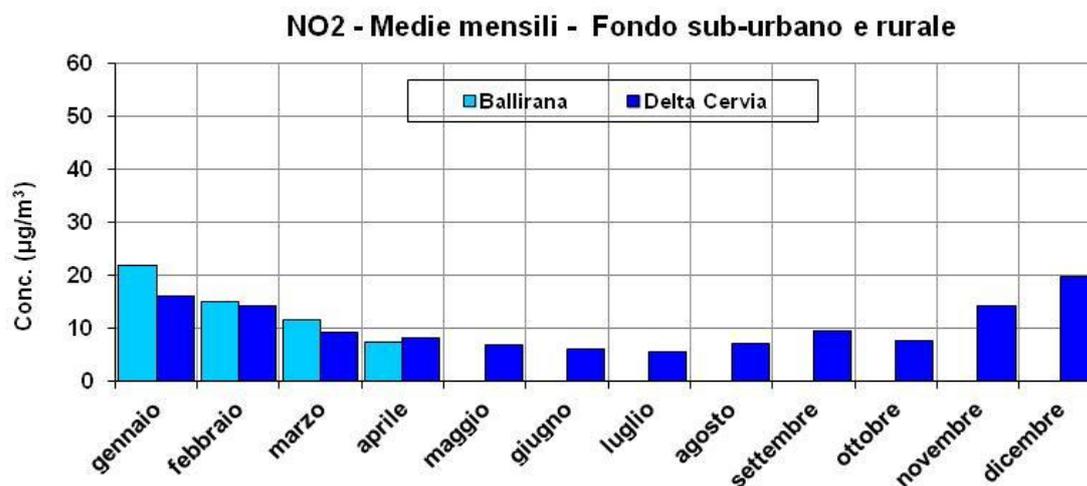
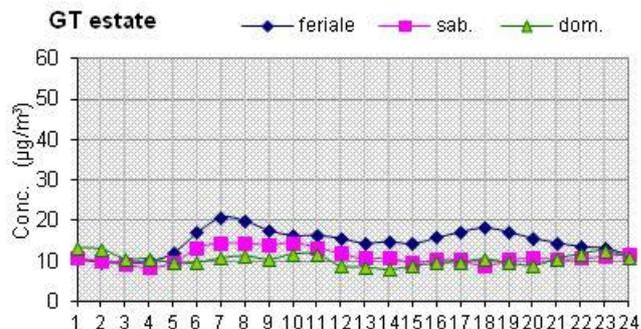
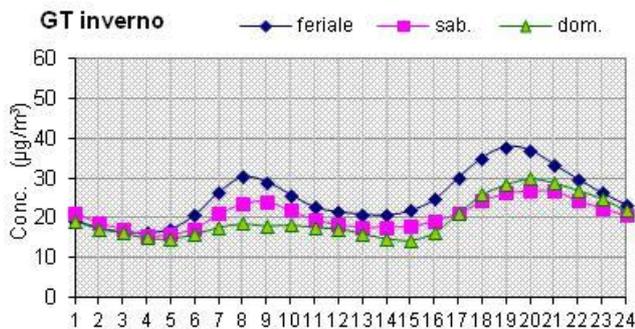
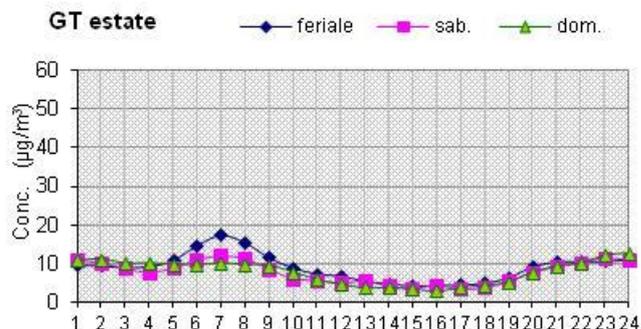
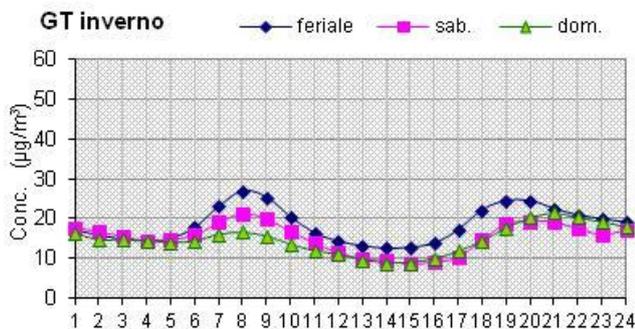


Figura 4.5 Medie Mensili – Fondo Sub-urbano e Rurale

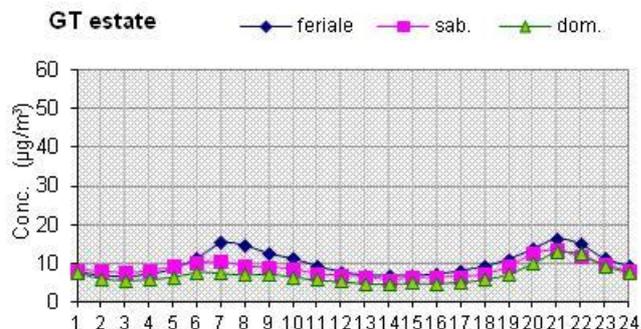
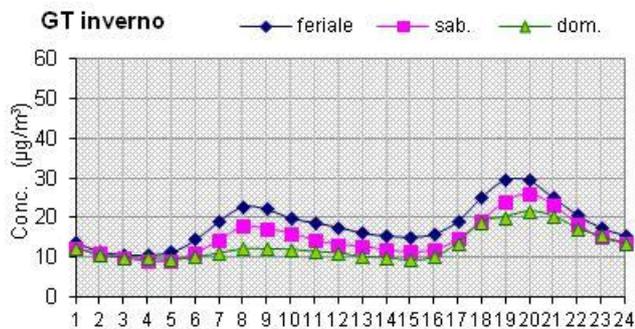
Per visualizzare l'andamento delle concentrazioni orarie di un inquinante che mediamente si riscontrano nella giornata, si può calcolare e rappresentare graficamente il «giorno tipico - GT». Il GT è calcolato effettuando la media dei dati rilevati alla stessa ora del giorno, in un determinato periodo, per tutte le 24 ore della giornata: rappresenta quindi un ipotetico giorno "medio" che permette di evidenziare situazioni di concentrazione dell'inquinante ricorrenti e minimizzare le fluttuazioni casuali. I grafici che seguono (Figura 4.6) sono relativi al GT dell'NO₂ del semestre estivo e del semestre invernale, distinguendo i giorni feriali, prefestivi e festivi.



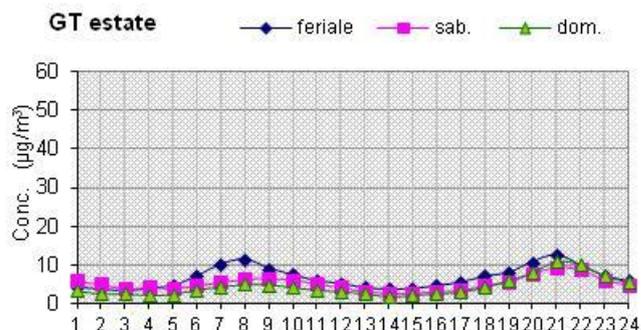
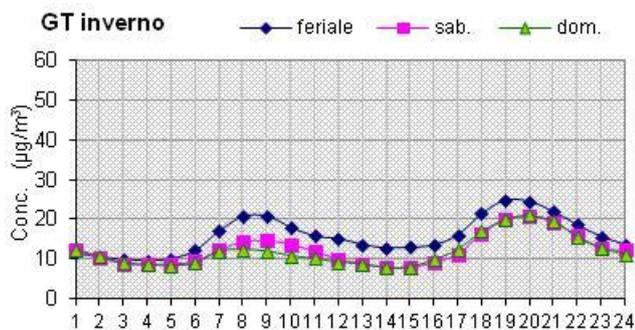
Zalamella – Traffico Urbano (TU) – Area urbana



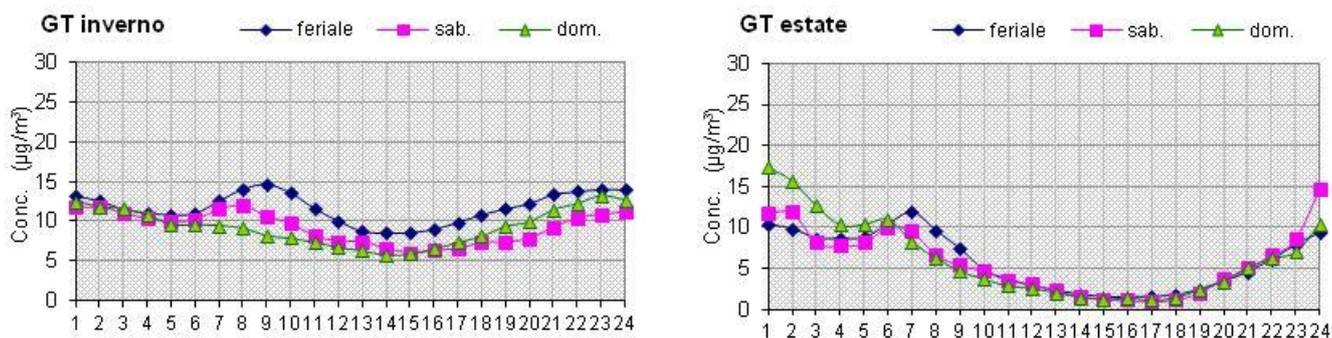
Caorle – Fondo Urbano - Residenziale (FU-Res) – Area urbana



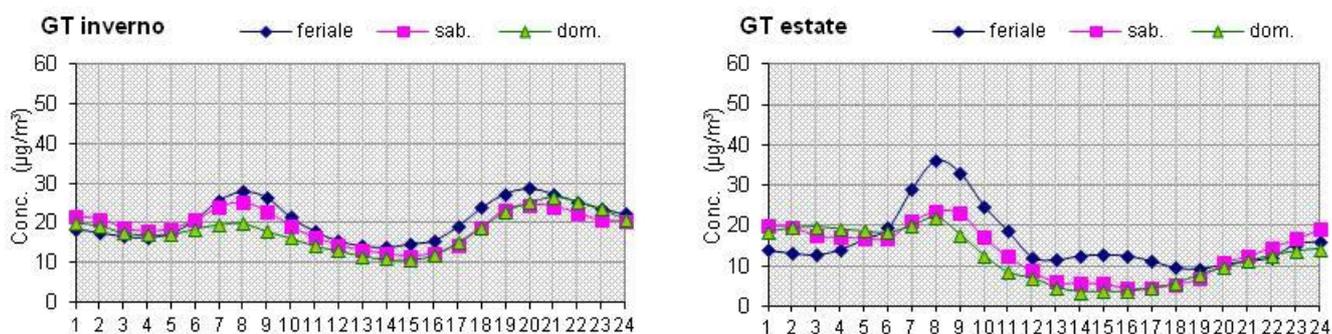
Parco Bertozzi – Fondo Urbano (FU) – Area urbana



Delta Cervia – Fondo Sub – Urbano (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

Infine, in Tabella 4.4, sono riportati alcuni parametri statistici relativi alle concentrazioni orarie per la serie storica dal 2013 al 2023:

Tabella 4.4 - Andamento temporale di NO₂ dal 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in µg/m³)

Stazione: Zalamella

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	32	33	37	33	31	30	28	28	22	23	22
50°Percentile	29	31	33	30	27	27	25	25	19	20	19
90°Percentile	-	55	65	58	59	53	50	49	41	40	39
95°Percentile	-	66	78	70	70	62	59	59	49	48	47
98°Percentile	84	79	96	84	87	73	73	72	58	58	58
Max	161	171	144	133	152	119	119	103	94	100	92
> 200 µg/m³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	97	100	99	96	94	95	95	97	96	98	100

Stazione: Caorle

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	23	19	23	20	20	19	20	18	18	17	16
50°Percentile	17	15	17	16	15	15	15	14	14	14	12
90°Percentile	-	41	49	43	46	42	43	39	39	35	33
95°Percentile	-	47	58	50	54	49	49	47	46	41	40
98°Percentile	65	55	68	58	62	58	57	55	55	50	49
Max	136	120	99	85	103	93	91	82	83	87	77
> 200 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	99	95	94	98	96	95	97	99	99	100	99

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

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	22	22	21	18	20	16	15	14	15	15	13
50°Percentile	17	19	16	13	15	11	11	10	11	12	9
90°Percentile	-	42	44	40	45	38	35	30	33	32	28
95°Percentile	-	48	52	48	54	46	42	37	39	38	35
98°Percentile	63	54	62	56	63	55	49	45	45	45	42
Max	98	100	96	92	121	92	77	76	75	85	85
> 200 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	99	88	86	95	95	95	99	100	100	100	100

Stazione: Ballirana

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	15	14	17	14	17	13	13	13	13	12	nd
50°Percentile	11	12	15	10	14	10	10	10	10	11	nd
90°Percentile	-	28	34	31	35	29	27	26	25	24	nd
95°Percentile	-	33	39	39	42	36	33	32	31	28	nd
98°Percentile	50	37	45	44	48	44	38	41	36	33	nd
Max	92	58	74	70	74	70	51	61	52	53	nd
> 200 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	nd
% dati validi	96	95	90	98	99	99	99	98	95	99	42

nd= non determinato per mancanza di dati sufficienti, essendo la stazione stata danneggiata nell'alluvione di Maggio.

Stazione Delta Cervia

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	17	16	15	15	15	14	14	11	12	12	10
50°Percentile	13	13	12	12	11	11	11	8	10	11	8
90°Percentile	-	36	36	32	37	32	30	25	27	26	23
95°Percentile	-	42	42	39	44	38	36	31	32	30	28
98°Percentile	52	48	48	46	50	45	41	39	37	36	33
Max	92	73	72	71	85	69	56	70	53	54	54
> 200 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	93	92	94	97	97	99	99	98	95	100	96

Stazione: Rocca Brancaleone

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	30	28	31	24	24	21	22	20	20	20	19
50°Percentile	27	25	27	20	20	18	18	15	15	16	15
90°Percentile	-	49	59	46	50	43	47	46	41	37	37
95°Percentile	-	57	66	55	58	51	55	54	51	44	45
98°Percentile	71	71	74	64	67	57	65	64	61	54	54
Max	130	149	110	101	118	122	99	102	105	91	91
> 200 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	99	93	98	94	97	95	94	99	95	98	98

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

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	29	26	28	27	27	23	22	20	22	22	21
50° Percentile	26	25	26	26	24	21	19	18	21	20	18
90° Percentile	-	45	51	51	52	43	42	36	42	41	39
95° Percentile	-	51	58	57	59	50	48	41	47	47	45
98° Percentile	70	57	67	64	67	58	54	47	54	56	51
Max	130	98	106	118	98	82	77	67	83	97	72
> 200 µg/m³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	93	94	96	99	92	96	98	99	100	100	96

Per gli ossidi di azoto (NO_x) la normativa indica 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 quella di fondo rurale denominata “Ballirana” i cui dati però, per il 2023, non sono disponibili secondo la copertura minima definiti dalla normativa in quanto la stazione ha subito gravi danni a seguito dell'alluvione che nel mese di maggio ha colpito la Romagna. Per una valutazione indicativa del rispetto del valore limite per la protezione della vegetazione, per il 2023 si è utilizzata la stazione di Fondo Sub-Urbano di Delta Cervia, che per quanto più vicina agli agglomerati e alle aree urbane rispetto a Ballirana e quindi con valori di ossidi di azoto maggiori presenta valori della media annua di NO_x della metà rispetto al limite per la protezione della vegetazione (Tabella 4.5).

NO_x	Riferimenti normativi		Delta Cervia
D.Lgs. 155/2010	Protezione della vegetazione Media annuale	30 µg/m ³	15 µg/m ³

Tabella 4.5 - NO_x: media annuale 2023

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.

Valutazione in sintesi

Indicatore	Copertura temporale	Stato attuale indicatore	Trend
Concentrazione in aria di monossido di carbonio (CO)	2013 - 2023		

L'attuale configurazione della Rete Regionale prevede la misura del monossido di carbonio (CO) nella sola postazione di traffico urbano, dove potenzialmente la concentrazione di tale inquinante è più elevata: pertanto nel nostro caso il CO è rilevato nella stazione Zalamella.

A Ravenna, tale inquinante viene misurato anche nelle due stazioni Locali: Rocca Brancaleone (industriale/urbana) e Porto San Vitale (industriale).

I valori di monossido di carbonio mostrano una continua diminuzione nell'ultimo decennio, in tutte le postazioni ed il valore limite per la protezione della salute umana è ampiamente rispettato in tutte le stazioni della rete di Ravenna già da parecchi anni.

CO [L.Q. = 0.4 mg/m ³]				Concentrazioni in mg/m³			Limiti Normativi	Valori guida OMS	
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	Media	Max Media 8 ore	Max Media 1 ora	Max Media 8 ore
							10 mg/m ³	35 mg/m ³	10 mg/m ³
Zalamella	Ravenna	Traffico	100	< 0.4	3.2	0.5	0.8	3.2	0.8
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	99	< 0.4	2.4	0.4	0.6	2.4	0.6
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	96	< 0.4	1.4	0.4	0.6	1.4	0.6

Tabella 4.6 – CO: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalla normativa

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/m³ - non è mai stato superato neppure nel 2023.

Il valore più alto della media oraria è pari a 3.2 mg/m³, registrato nella stazione di Traffico di Zalamella; inoltre in tutte le postazioni, la maggior parte dei dati è minore o uguale al limite di quantificazione strumentale (0.4 mg/m³): 59% a Zalamella, 54% a Rocca Brancaleone; 61% a Porto San Vitale.

I dati degli ultimi anni (Tabella 4.7) confermano che le concentrazioni sono molto basse e decisamente inferiori al limite di legge. Tale andamento, ormai consolidato, fa presupporre che anche in futuro questo inquinante non presenterà particolari criticità.

Tabella 4.7 - Andamento temporale di CO dal 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in mg/m³)

Stazione: Zalamella

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
50°Percentile	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4
90°Percentile	-	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.7
95°Percentile	-	1.1	1.2	1.1	1.1	0.9	1.0	1.1	0.8	0.9	0.9
98°Percentile	1.5	1.3	1.6	1.4	1.3	1.1	1.2	1.3	1.0	1.1	1.1
Max	4.4	2.9	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	3.8	2.9	2.8	3.2
Max media 8 h	3.3	0.6	0.8	0.7	0.8	1.2	1.0	0.5	0.7	1.0	0.8
% dati validi	98	100	99	100	98	100	98	100	100	100	100

Stazione: Rocca Brancaleone

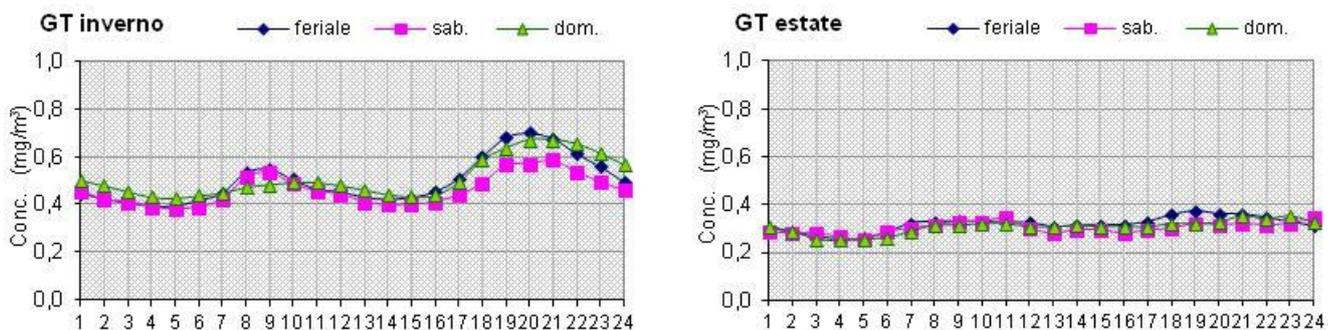
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4
50°Percentile	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
90°Percentile	-	0.5	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
95°Percentile	-	0.6	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8
98°Percentile	1.0	0.8	1.1	1.0	1.1	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9
Max	2.4	2.2	2.6	2.1	2.1	2.9	2.0	1.6	1.7	1.7	2.4
Max media 8 h	1.9	0.3	0.5	0.6	0.6	0.8	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6
% dati validi	100	98	99	100	100	97	98	100	99	100	99

Stazione: Porto San Vitale

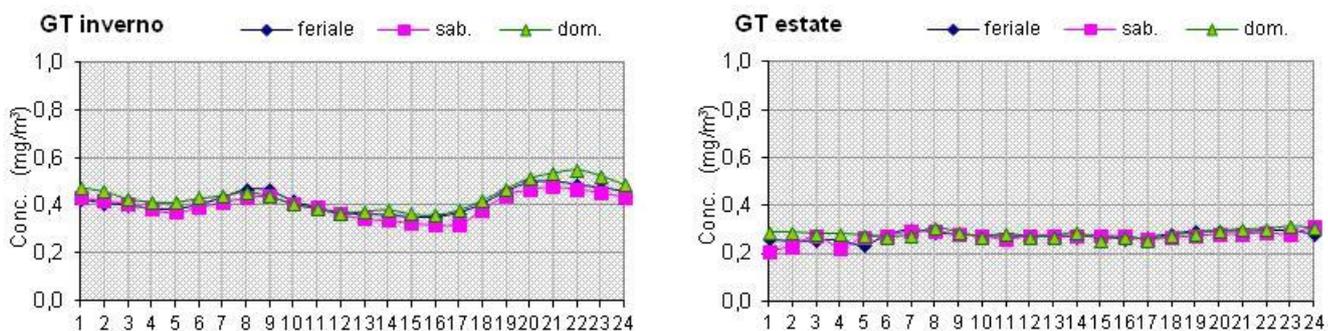
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	-	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
50°Percentile	-	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
90°Percentile	-	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6
95°Percentile	-	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6
98°Percentile	-	0.8	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0.7	0.7
Max	-	1.3	1.8	3.2	2.8	2.6	1.3	2.3	4.0	3.2	1.4
Max media 8 h	-	0.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.6	0.3	0.6	0.6	0.6
% dati validi	-	94	96	99	98	99	99	99	99	100	96

I grafici successivi (Figura 4.7) mostrano i giorni tipici feriali, prefestivi e festivi, suddivisi per il periodo invernale (gen-mar e ott-dic) ed estivo (apr-set). Le concentrazioni sono maggiori nel periodo invernale, ma restano sempre molto contenute.

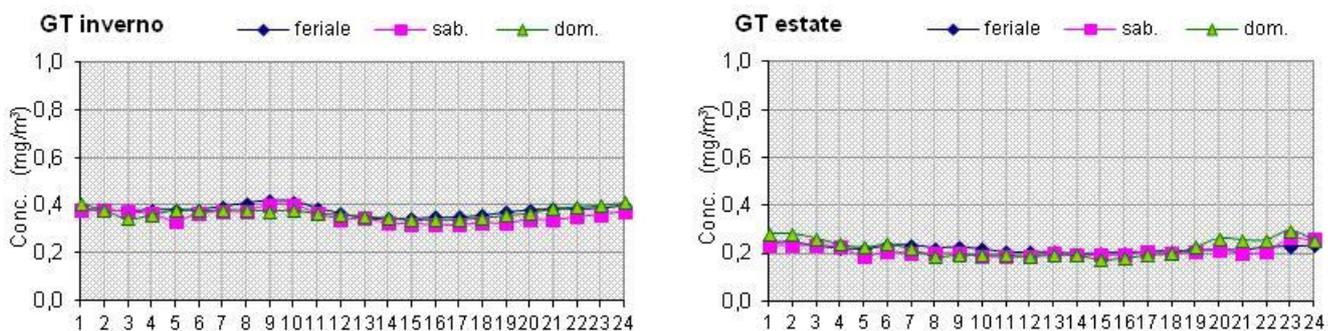
Nel grafico invernale della stazione di traffico (Zalamella) si evidenziano due "picchi": uno intorno alle 8 e l'altro intorno alle 20, in corrispondenza degli orari di punta del traffico cittadino. Agli stessi orari sono presenti concentrazioni mediamente più alte anche a Rocca Brancaleone, sebbene la variazione – come si vede nel grafico corrispondente - sia meno pronunciata anche perché la stazione è più distante dalla strada.



Zalamella – Traffico Urbano – Area urbana



Rocca Brancaleone – LOCALE - Industriale/Urbana – Area urbana



Porto San Vitale – LOCALE Industriale – Area industriale

Figura 4.7 – Monossido di carbonio - Giorni tipici – anno 2023

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 uno strato protettivo che filtra i raggi ultravioletti del sole, mentre negli 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 origini 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.

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione in aria a livello del suolo di Ozono	2013 – 2023		
Superamento dei valori obiettivo previsti dalla normativa per l'Ozono	2013 – 2023		

L'ozono viene misurato nelle stazioni di Fondo: urbano, sub-urbano e rurale, dove è previsto che le concentrazioni siano più elevate, in virtù dell'origine esclusivamente secondaria di questo inquinante. A Ravenna si effettuano misure di ozono anche nelle stazioni Locali di Rocca Brancaleone (industriale/urbana) e Porto San Vitale (industriale).

I valori di ozono misurati nel 2023 presentano un lieve decremento rispetto al 2022, in linea con il 2021, infatti non si sono registrati superamenti della soglia di informazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in nessuna stazione, mentre lo scorso anno questo valore era stato superato nella stazione di Delta Cervia. La soglia di allarme ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) non è mai stata superata.

Il superamento del valore obiettivo per la protezione della salute umana, per il 2023, (superamento della media massima giornaliera su 8 ore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 25 giorni, calcolata come media degli ultimi tre anni) è stato rilevato nella sola stazione di Delta Cervia.

Sebbene il trend storico registri una stabilizzazione in termini di concentrazione di questo inquinante negli ultimi anni, occorre sottolineare che è comunque un inquinante critico per l'intero territorio regionale in quanto i livelli di ozono sono riconducibili all'origine fotochimica e alla natura esclusivamente secondaria di questo inquinante, caratteristiche che rendono la riduzione delle concentrazioni di ozono più complessa rispetto a quella di altri inquinanti primari. Infatti, spesso i precursori dell'ozono sono prodotti anche a distanze notevoli rispetto al punto in cui vengono misurate le concentrazioni maggiori di questo inquinante, e questo rende decisamente più difficile intervenire e pianificare azioni di risanamento/mitigazione.

O_3 [L.Q. = $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$]				Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Soglia informazione		Soglia allarme	Valori guida OMS
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$		$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
						ore di Sup.	giorni di Sup.	ore di Sup	Max Media 8 ore
Ballirana*	Alfonsine	Fondo Rurale	41	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	96	< 8	180	0	0	0	158
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	99	< 8	155	0	0	0	131
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	100	< 8	155	0	0	0	137
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	100	< 8	149	0	0	0	131
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	96	< 8	137	0	0	0	124

O_3	Valori obiettivo per la protezione della salute umana e della vegetazione										AOT 40 ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$)	
	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)										18000 media 5 anni	
Stazione	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	Anno	Media 3 anni	Anno	Media 5 anni
Ballirana*	0	0	nd	nd	nd	nd						
Delta Cervia**	0	0	1	9	8	9	6	4	37	36	nd	nd
Parco Bertozzi	0	0	0	1	3	2	2	0	8	15	14175	17220
Caorle	0	0	0	5	3	7	3	0	18	21	20018	21502
Rocca Brancaleone	0	0	0	2	2	1	1	0	6	5	13773	14507
Porto San Vitale	0	0	0	1	0	0	0	0	1	9	9928	16179

1 - Accumulated exposure Over Threshold of 40 ppb → valuta la qualità dell'aria tramite la somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 ppb per l'Ozono) e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rilevate da maggio a luglio in orario 8-20.

* La stazione di Ballirana è stata gravemente danneggiata dall'alluvione che ha colpito la Romagna nel mese di maggio 2023, pertanto è stato necessario sostituire e/o riparare la strumentazione e gli impianti. Il ripristino completo è avvenuto a fine dicembre 2023, con conseguente perdita di oltre il 50% dei dati dell'intera annualità.

** La stazione di Delta Cervia a seguito dei danni causati dell'alluvione ha subito diversi distacchi di corrente con conseguente perdita di dati nel periodo estivo pertanto non è stato raggiunto il limite di efficienza normativo per il calcolo della AOT40

Tabella 4.8 – O_3 : parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme

Il D.Lgs. 155/2010, oltre agli obiettivi a lungo termine per la protezione della salute umana e della vegetazione, fissa:

- la soglia di informazione (media oraria > $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$): 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 (media oraria > 240 µg/m³ per tre ore consecutive): 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.

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

Per questo motivo, le stazioni in cui si misura l'ozono sono 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 Ballirana

A Ravenna l'ozono viene rilevato anche nelle due stazioni Locali, in quanto tali postazioni sono vicine o sottovento alla zona industriale, quindi a fonti potenzialmente significative di inquinanti precursori.

La formazione dell'ozono dipende anche dall'intensità della radiazione solare, pertanto 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) ed un caratteristico andamento giornaliero, con il massimo di concentrazione in corrispondenza delle ore di maggiore insolazione (ore 13 ÷ 14 - Figura 4.10).

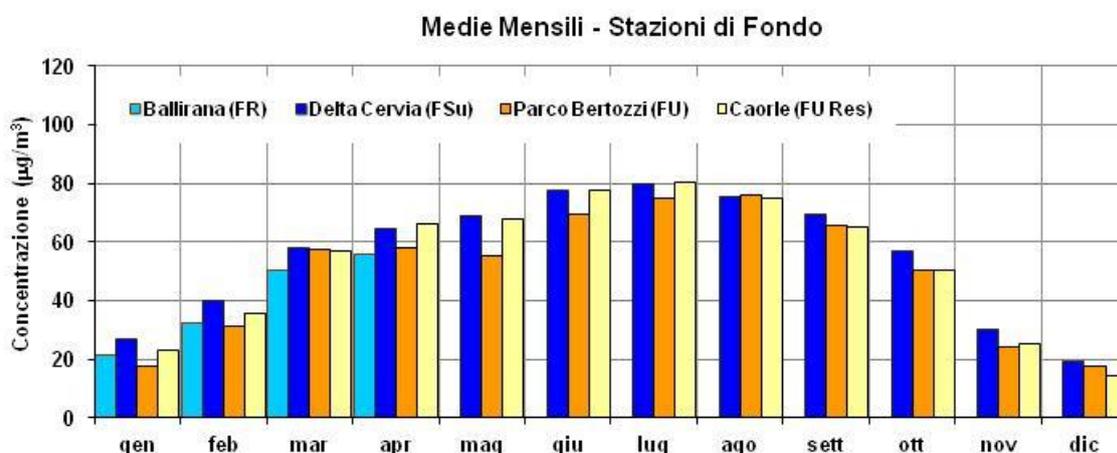


Figura 4.8 Concentrazioni medie mensili Stazioni di Fondo – anno 2023

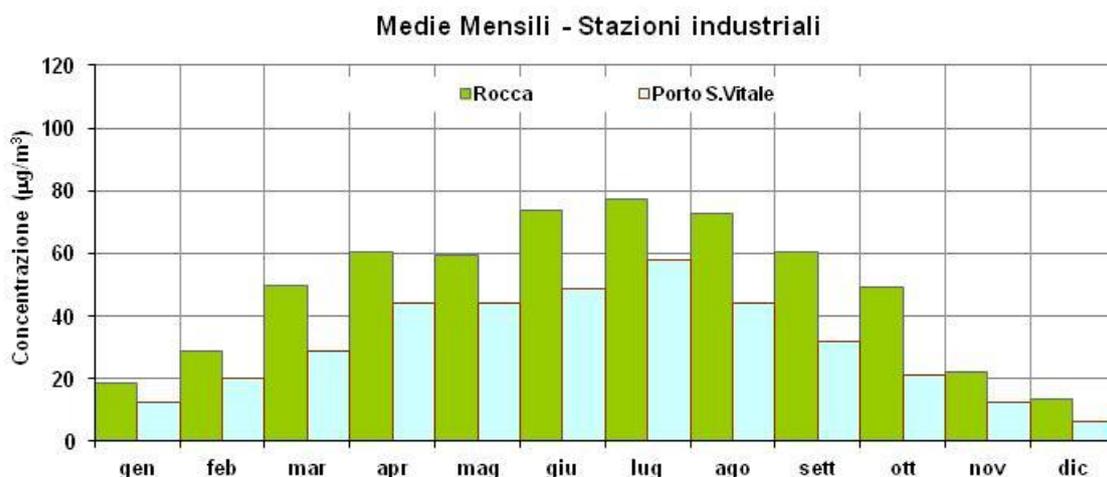
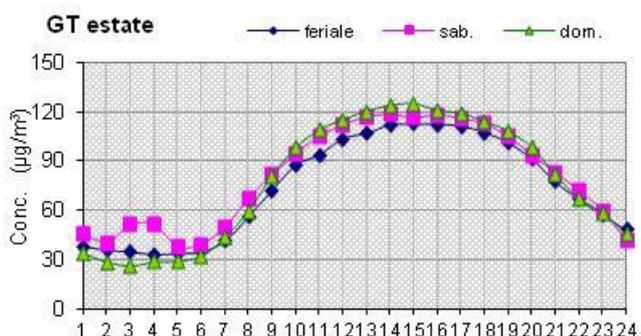


Figura 4.9 Concentrazioni medie mensili Stazioni LOCALI Industriali – anno 2023

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

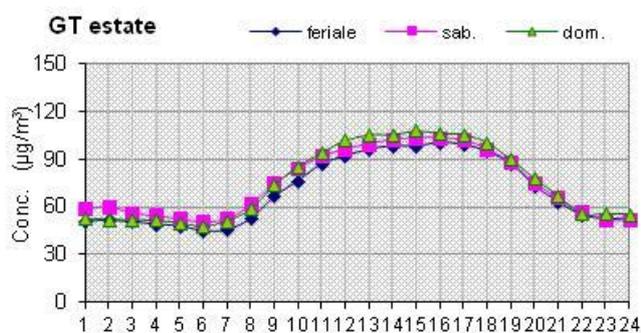
Stazioni di Fondo



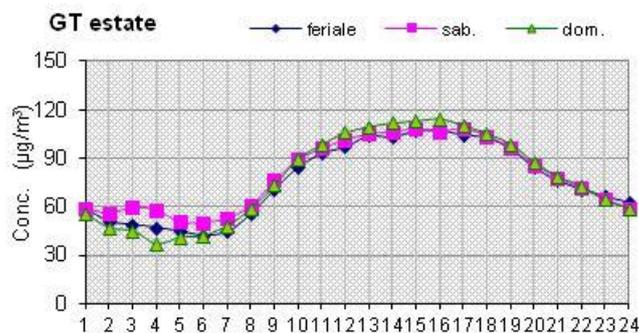
Delta Cervia (FSubU)

Ballirana (FR) Non Disponibile

Stazione di Fondo Urbano



Parco Bertozzi (FU)



Caorle (FU Res)

Stazioni LOCALI Industriali

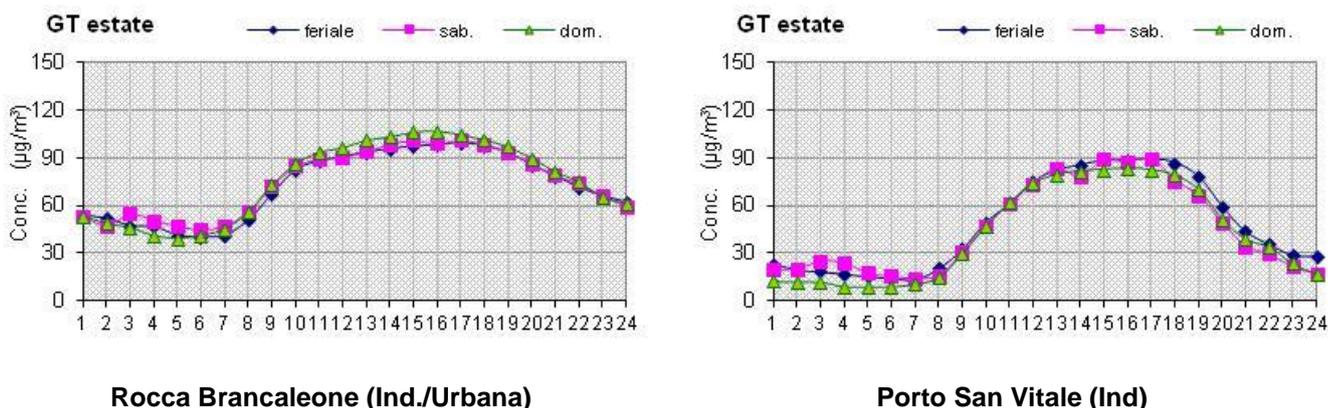


Figura 4.10 - Ozono: giorni tipici estivi – anno 2023

Il valore obiettivo per la protezione della salute umana (superamenti della media su 8 ore di 120 µg/m³ per più di 25 giorni, calcolati come media degli ultimi tre anni), nel triennio 2021-2023, è stato superato nella stazione di fondo sub-urbano di Delta Cervia (36 superamenti).

Il numero di giorni di superamento dei 120 µg/m³ dal 2013 al 2023, per ogni singolo anno, è riportato in Figura 4.11.

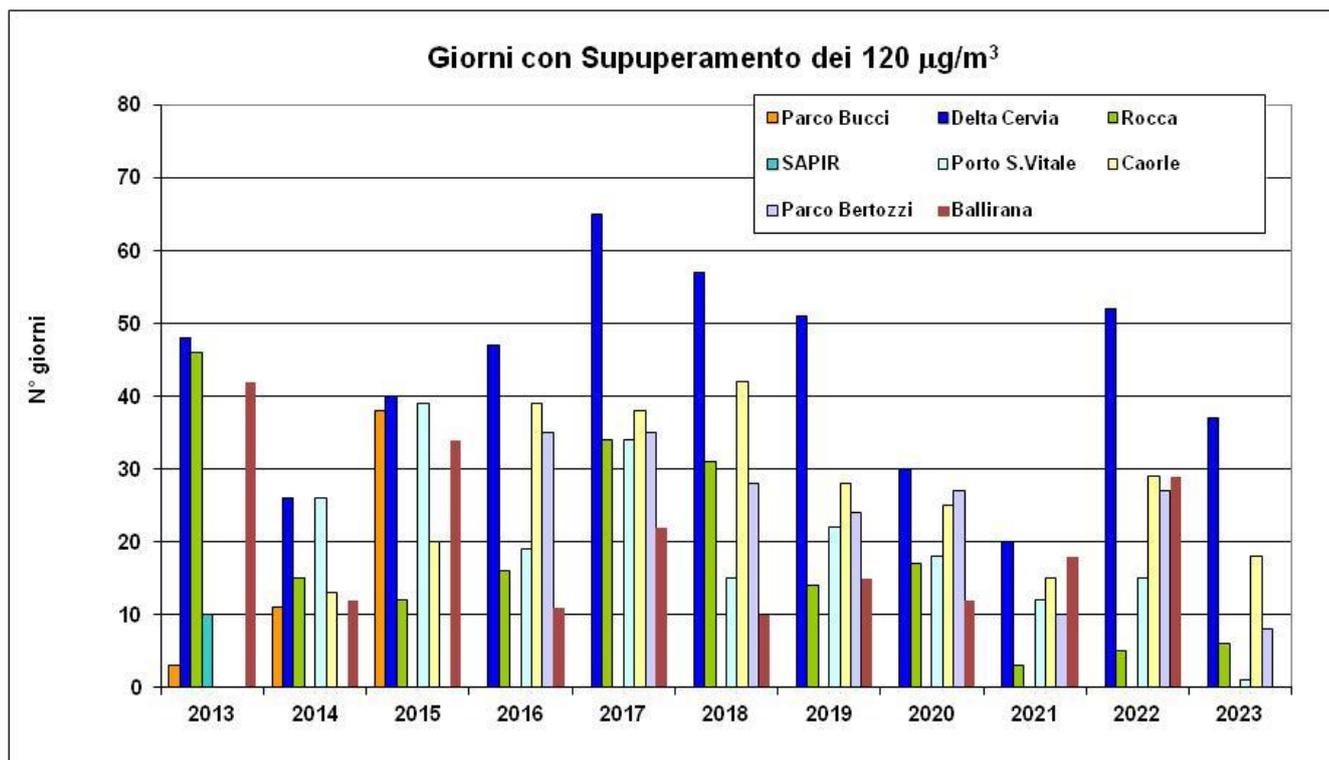


Figura 4.11 Giorni con superamento dei 120 µg/m³ - periodo 2013 - 2023

Per quanto riguarda gli episodi acuti, la soglia di informazione (180 µg/m³) nell'anno 2023 non è mai stata superata così come non è mai stata superata la soglia d'allarme (240 µg/m³).

Infine, si riportano in Tabella 4.9 alcuni parametri statistici relativi all'ozono, calcolati nel periodo dal 2013 al 2023.

Tabella 4.9 - Andamento temporale dell'ozono dal 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

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

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	-	39	43	49	51	48	48	49	47	50	50
50°Percentile	-	32	34	45	48	44	45	47	45	47	49
90°Percentile	-	86	99	98	100	98	96	97	92	102	94
95°Percentile	-	100	115	112	113	112	110	110	103	115	105
98°Percentile	-	114	133	128	130	127	123	124	114	126	116
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	140	164	187	178	180	173	165	166	158	175	155
N° giorni sup 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3	11	38	35	35	28	24	27	10	27	8
N° giorni sup 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N° giorni sup 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	98	97	95	99	99	98	98	100	100	100	99

Stazione: Ballirana

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	-	41	41	39	41	36	42	42	45	46	nd
50°Percentile	-	34	31	32	34	28	35	34	38	37	nd
90°Percentile	-	92	99	88	93	87	92	92	97	103	nd
95°Percentile	-	103	114	101	106	100	105	103	108	115	nd
98°Percentile	-	114	128	113	122	113	119	115	121	126	nd
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	190	180	171	156	182	156	204	156	172	165	nd
N° giorni sup 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	42	12	34	-	22	10	15	12	18	29	nd
N° giorni sup 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	nd
N° giorni sup 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	nd
% dati validi	98	94	90	98	99	99	97	96	100	95	41

nd= non determinato per mancanza di dati sufficienti, essendo la stazione stata danneggiata nell'alluvione di Maggio.

Stazione: Delta Cervia

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	-	47	49	51	56	52	53	49	52	54	55
50°Percentile	-	40	43	46	50	45	47	44	48	46	51
90°Percentile	-	102	105	106	114	111	109	101	101	112	108
95°Percentile	-	113	119	120	126	123	121	113	111	122	119
98°Percentile	-	125	133	133	141	134	133	127	120	133	130
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	214	190	196	167	198	185	216	170	171	182	180
N° giorni sup 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	48	26	40	47	65	52	51	30	20	52	37
N° giorni sup 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6	1	1	0	4	1	2	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	96	96	94	93	94	95	96	99	98	100	96

Stazione: Caorle

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	-	46	47	51	54	53	52	53	52	54	53
50°Percentile	-	44	44	49	53	50	50	53	52	51	53
90°Percentile	-	94	96	104	107	107	101	101	97	106	99
95°Percentile	-	104	109	116	118	119	113	112	106	116	109
98°Percentile	-	118	123	130	135	133	127	124	118	126	119
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	177	198	187	190	174	198	173	152	175	155
N° giorni sup 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	13	20	39	38	42	28	25	15	26	18
N° giorni sup 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	0	1	2	2	0	3	0	0	0	0
N° giorni sup 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	-	98	96	96	93	97	97	99	100	100	100

Stazione: Rocca Brancaleone

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	-	47	42	45	48	48	48	48	45	44	49
50°Percentile	-	44	37	40	45	43	46	46	43	42	48
90°Percentile	-	97	91	94	100	101	97	96	88	91	93
95°Percentile	-	107	103	106	111	114	107	107	98	100	102
98°Percentile	-	119	115	120	127	128	119	118	107	108	113
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	205	181	187	181	179	170	184	170	143	153	149
N° giorni sup 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46	15	12	16	34	31	14	17	3	5	6
N° giorni sup 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
N° giorni sup 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	98	98	99	99	100	99	98	99	99	100	100

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

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	-	36	37	32	34	30	32	34	33	34	31
50°Percentile	-	21	21	19	16	12	15	18	17	13	19
90°Percentile	-	93	97	88	95	89	93	95	91	96	84
95°Percentile	-	110	116	103	111	104	108	108	103	110	96
98°Percentile	-	127	134	122	130	119	122	121	117	120	108
Max orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	170	203	211	180	203	161	192	187	160	179	137
N° giorni sup 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10	26	39	19	34	15	22	18	12	15	1
N° giorni sup 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	3	2	0	1	0	2	1	0	0	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	90	96	99	97	99	98	99	99	96	96

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, detergenti, 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.

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione media annuale di Benzene (C ₆ H ₆)	2013 – 2023		

Il benzene è classificato dalla IARC come cancerogeno di classe 1, pertanto, a scopo cautelativo, viene rilevato in tutte le stazioni dell'area urbana di Ravenna. In particolare, nella stazione di traffico urbano (Zalamella) ed in quella Locale industriale (Porto San Vitale) viene eseguito un monitoraggio in continuo con dati orari, mentre nella stazione di fondo urbano (Caorle) e in quella Locale industriale-urbana (Rocca Brancaleone) il monitoraggio è settimanale, eseguito con campionatori passivi, anche se per alcuni problemi causati dall'alluvione e gestionali, nel 2023 non si sono riusciti ad effettuare i campioni tutte le settimane nel periodo estivo (che è comunque quello meno critico) ma in ogni caso sono state garantite almeno due settimane di campionamento al per ogni mese.

I valori più elevati registrati nel 2023, come previsto, sono stati rilevati nella stazione di traffico.

Le concentrazioni medie annue del benzene sono inferiori ai limiti normativi, in tutte le stazioni, come oramai da diversi 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.

Benzene C₆H₆ [L.Q. = 0,1 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>Max Media giornaliera</i>	<i>Max Media settimanale</i>	5 µg/m ³
								<i>Media annuale</i>
Zalamella	Ravenna	Traffico	98	< 0.1	9.1	4.0	2.5	0.9
Caorle (*)	Ravenna	Fondo Urb. Res	84	-	-	-	2.3	0.8
Rocca Brancaleone(*)	Ravenna	Locale Ind/Urbano	82	-	-	-	2.2	0.8
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	98	< 0.1	5.0	2.2	1.6	0.5

Tabella 4.10 – C₆H₆: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalla normativa – strumentazione in continuo e campionatori passivi^(*)

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

In Tabella 4.10 sono riportati i parametri statistici relativi alle concentrazioni di benzene misurate a Ravenna: monitoraggio con strumentazione in continuo e campionatori passivi.

Infatti, 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 a cadenza settimanale nelle altre due postazioni di Ravenna: fondo urbano residenziale (Caorle), industriale/urbano (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 tramite gascromatografia capillare accoppiata a spettrometro di massa come rivelatore (GC/MS), dopo recupero degli analiti stessi tramite desorbimento termico. Dalla quantità totale di composti organici volatili rilevati, noto il volume d'aria "campionata", possono essere determinate le concentrazioni in atmosfera, espresse µg/m³, di diversi COV, 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 concentrazione del benzene è inferiore al limite normativo, con valori medi annui che oscillano fra 0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a Zalamella e 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a Porto San Vitale, in linea con quelli registrati negli anni precedenti.

Anche nelle postazioni in cui la misura è integrata sulla settimana, le concentrazioni medie annuali si attestano, già da qualche anno, su valori prossimi a 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

In Figura 4.12 sono rappresentate le concentrazioni medie annuali a partire dal 2013: il valore limite, entrato in vigore nel 2010, è sempre stato rispettato e, dallo stesso anno, la concentrazione annuale è stabilmente inferiore a 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

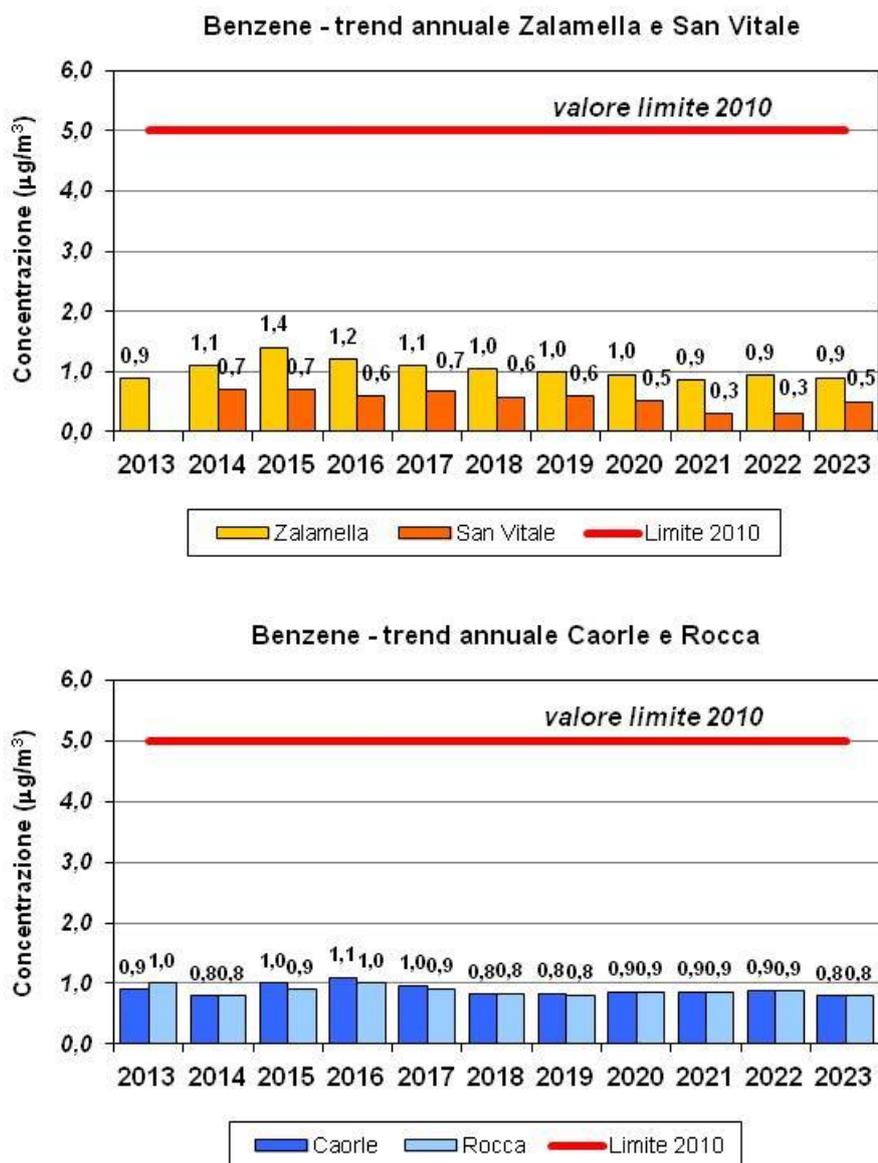


Figura 4.12 - Confronto con i valori limite- D.Lgs. 155/10

I grafici successivi (Figure 4.13 e 4.14) riportano le concentrazioni medie mensili: valori molto prossimi ai 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono stati rilevati solo a Zalamella nei mesi di gennaio e dicembre, periodo in cui anche gli altri inquinanti (ad esclusione dell'ozono) registrano le concentrazioni più elevate.

Il trend annuale delle concentrazioni è comunque simile sia nelle postazioni con analizzatori in continuo che in quelle con campionatori passivi.

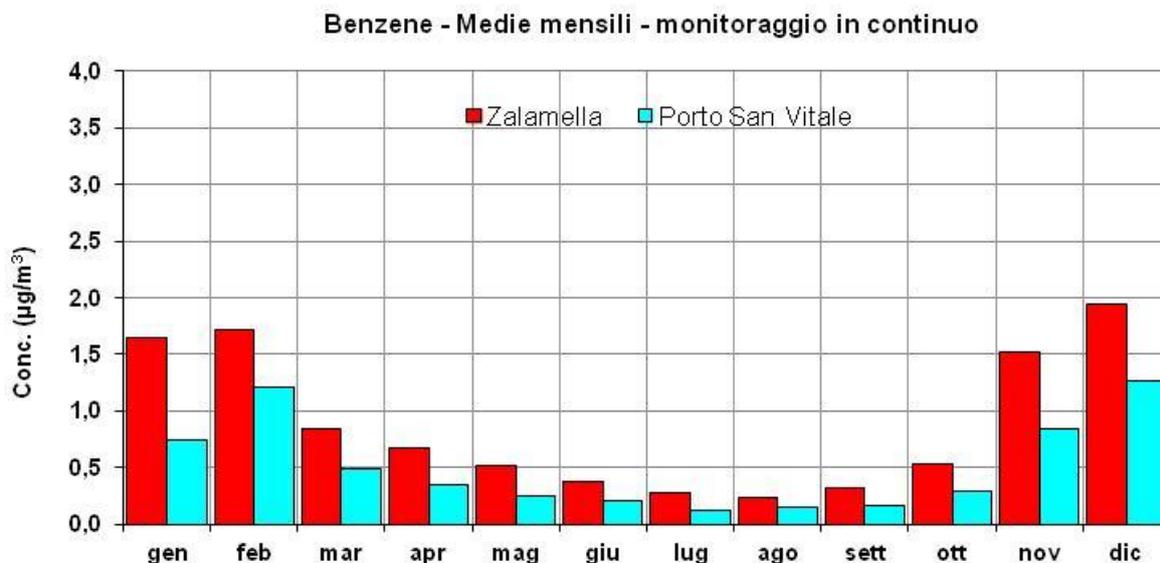


Figura 4.13 - Concentrazioni medie mensili: Zalamella e Porto San Vitale - monitoraggio continuo - Anno 2023

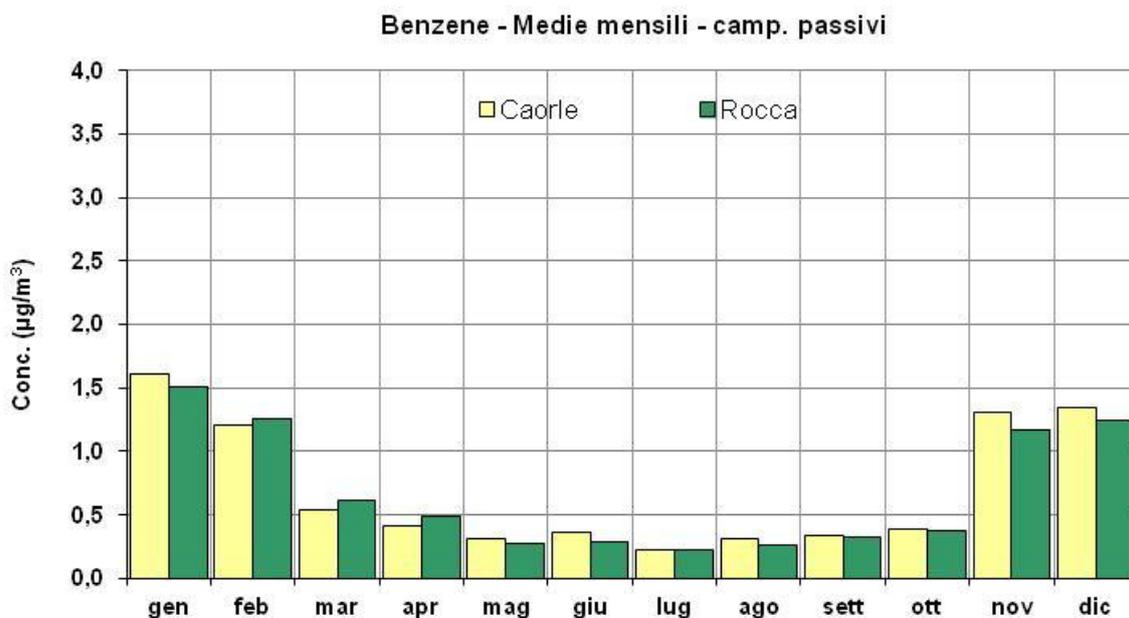


Figura 4.14 - Concentrazioni medie mensili: Caorle e Rocca - campionatori passivi - Anno 2023

La Tabella 4.11 riporta alcuni parametri statistici delle concentrazioni di benzene a partire dal 2013. Si osserva, negli anni, una progressiva diminuzione della concentrazione e, ad oggi, il dato risulta stabile su valori contenuti. Tale riduzione è essenzialmente riconducibile alla limitazione del contenuto massimo di benzene e degli idrocarburi aromatici nelle benzine².

² 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 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.

Tabella 4.11 - Andamento temporale di Benzene dal 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Caorle (campionatori passivi)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
% dati validi	100	100	100	100	100	100	100	75	100	94	84
Media annua	0.9	0.8	1.0	1.1	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8
Max settimana	2.9	1.9	3.0	3.5	2.9	2.3	2.4	2.0	2.3	2.9	2.3

Stazione: Rocca Brancaleone (campionatori passivi)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
% dati validi	100	100	100	100	100	100	100	75	100	98	82
Media annua	1.0	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8
Max settimana	3.1	1.9	3.0	2.5	2.7	2.4	2.1	2.0	2.3	3.0	2.2

Stazione: Zalamella

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	1.3	1.1	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
50°Percentile	0.8	0.7	0.9	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5
90°Percentile	-	2.3	2.9	2.5	2.7	2.3	2.2	2.2	1.9	2.0	2.0
95°Percentile	-	2.9	3.9	3.4	3.6	2.8	3.0	2.9	2.5	2.5	2.6
98°Percentile	5.1	3.9	5.3	4.5	4.7	3.6	3.8	3.8	3.2	3.2	3.5
Max	16.8	12.3	48.7	10.7	18.7	10.4	8.5	20.6	11.5	10.4	9.1
N° giorni > 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N° giorni > 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	91	95	95	96	94	95	93	99	99	99	98

Stazione: Porto San Vitale

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	-	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.3	0.3	0.5
50°Percentile	-	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
90°Percentile	-	1.6	1.8	1.7	1.7	1.5	1.5	1.2	0.58	0.7	1.2
95°Percentile	-	1.9	2.4	2.2	2.3	1.9	1.9	2.0	1.0	0.8	1.6
98°Percentile	-	2.2	3.0	2.8	2.9	2.3	2.6	3.0	1.4	1.0	2.0
Max	-	4.0	39.2	7.2	8.7	6.6	4.2	5.7	4.0	6.4	5.0
N° giorni > 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N° giorni > 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	-	98	96	94	94	95	94	98	96	99	98

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)
10,0 mg/kg

1,0% (v/v) Tenore di zolfo:

Tenore di piombo: 0,005 g/l

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.

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione media annuale di toluene (C ₇ H ₈) e xileni (C ₈ H ₁₀)	2013 – 2023		

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.

Toluene e xileni vengono misurati nelle stesse stazioni in cui si effettua la misura del benzene quindi: nella stazione di traffico urbano (Zalamella), in quella di fondo urbano (Caorle) e nelle stazioni Locali di Porto San Vitale e Rocca Brancaleone.

Nel 2023 i valori di toluene e xileni misurati in tutte le postazioni hanno concentrazioni massime ben al di sotto di valori guida dell'OMS.

In modo analogo al benzene, a partire dal 2009-2010 le concentrazioni di entrambi gli inquinanti sono progressivamente diminuite in tutte le stazioni.

<i>Toluene C₇H₈</i>				<i>Concentrazioni in µg/m³</i>				<i>Valori guida OMS</i>
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Massimo orario</i>	<i>Max Medie giornaliere</i>	<i>Max Medie settimanali</i>	<i>Media annuale</i>	<i>260 µg/m³</i>
								<i>Media settimanale</i>
Zalamella	Ravenna	Traffico	98	85.4	9.7	6.8	2.6	6.8
Caorle (*)	Ravenna	Fondo Urbano Res	84	-	-	4.4	1.6	4.4
Rocca Brancaleone (*)	Ravenna	Locale Ind/Urbano	82	-	-	4.1	1.5	4.1
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	98	39.3	10.0	3.4	1.2	3.4
<i>Xileni C₈H₁₀</i>				<i>Concentrazioni in µg/m³</i>				<i>Valori guida OMS</i>
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Massimo orario</i>	<i>Media Max giornaliera</i>	<i>Media Max settimanale</i>	<i>Media annuale</i>	<i>4800 µg/m³</i>
								<i>Media 24 ore</i>
Zalamella	Ravenna	Traffico	99	49.8	14.3	6.1	1.9	14.3
Caorle (*)	Ravenna	Fondo Urbano Res	84	-	-	2.3	0.8	-
Rocca Brancaleone (*)	Ravenna	Locale Ind/Urbano	82	-	-	2.8	0.8	-
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	98	16.5	4.7	2.4	0.8	4.7

Tabella 4.12 – toluene e xileni: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme – strumentazione in continuo e campionatori passivi^(*)

Per i dati di xileni, si precisa che nel monitoraggio in continuo e nella determinazione analitica sui campionatori passivi, si misurano 3 isomeri: m-xilene, p-xilene e o-xilene.

La Tabella 4.12 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 nell'ultima colonna in Tabella 4.12).

Toluene e xileni presentano un andamento stagionale meno marcato rispetto al benzene, ma comunque si registrano anche per questi inquinanti valori più alti in inverno e più contenuti in estate.

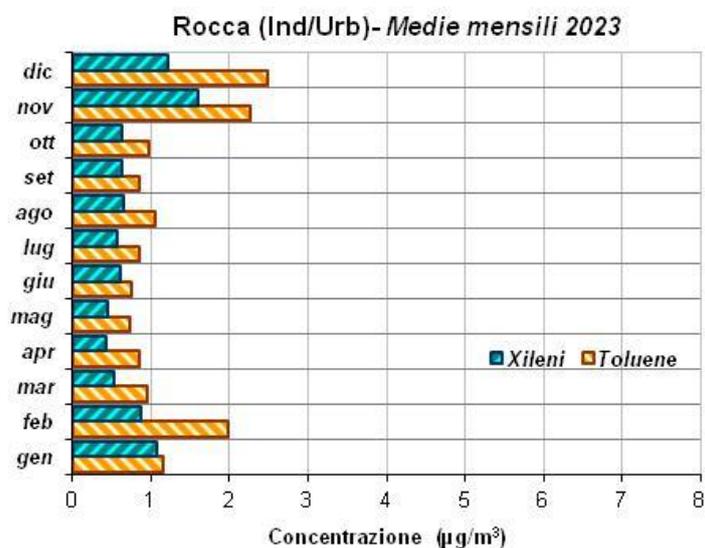
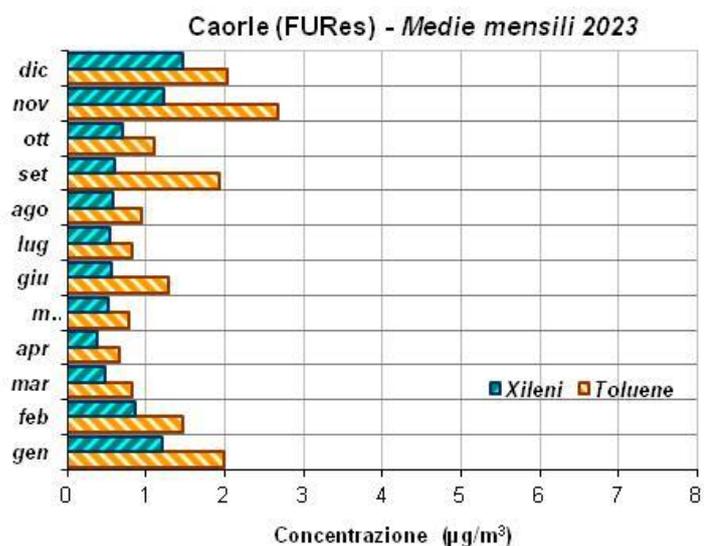
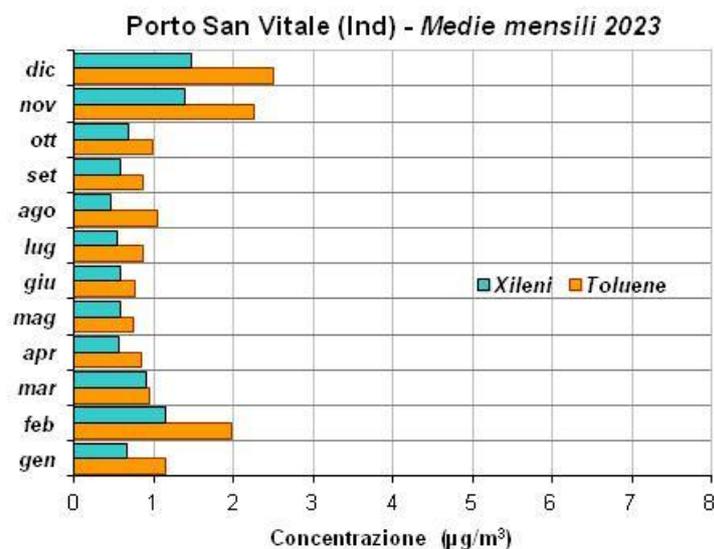
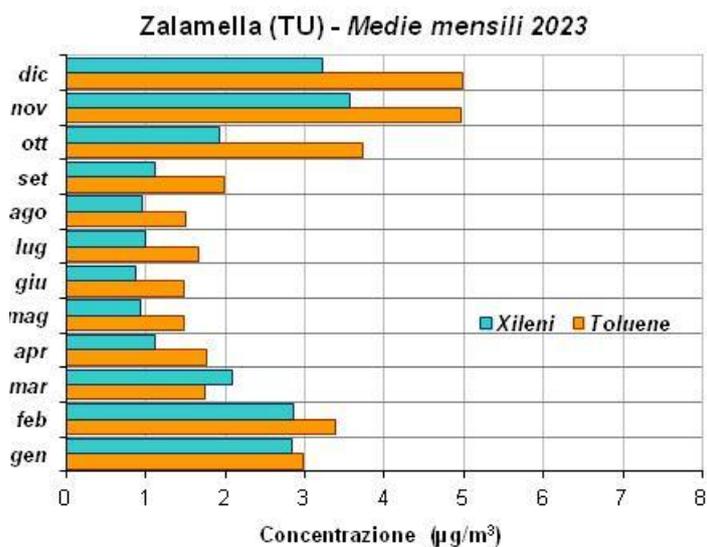


Figura 4.15 – Toluene e Xileni: concentrazioni medie mensili – anno 2023

In Tabella 4.12-bis sono riportati alcuni parametri statistici relativi a toluene e xileni per la serie storica dal 2013 al 2023

Tabella 4.12 bis - Andamento temporale di toluene e xileni dal 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Zalamella

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Toluene											
% dati validi	94	89	95	95	96	94	95	93	97	99	98
Media	3.8	3.4	3.4	2.7	3.4	3.5	3.5	3.3	3.2	2.9	2.6
Max orario	162.8	86.0	61.6	51.9	178.4	274.6	70.8	47.5	129.8	98.4	85.4
Xileni											
% dati validi	94	91	95	95	96	94	95	93	97	99	99
Media	1.9	1.6	2.1	1.7	2.0	1.9	2.3	2.2	1.6	1.8	1.9
Max orario	34.3	31.7	28.2	35.4	26.7	51.4	32.5	43.4	33.2	29.7	49.8

Stazione: Caorle (campionatori passivi)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Toluene											
% dati validi	100	100	100	100	100	100	100	100	75	100	84
Media annua	2.7	3.0	2.4	2.0	2.3	2.9	2.5	1.6	2.0	2.0	1.6
Max settimana	25.7	8.0	6.0	5.8	7.1	28.1	10.8	3.4	5.7	7.2	4.4
Xileni											
% dati validi	100	100	100	100	100	100	100	100	75	100	84
Media annua	1.4	1.7	1.5	1.3	1.6	2.0	1.8	1.3	1.3	1.0	0.8
Max settimana	3.7	6.2	4.0	3.9	3.9	5.9	4.2	2.8	2.3	3.1	2.3

Stazione: Rocca Brancaleone (campionatori passivi)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Toluene											
% dati validi	100	100	100	100	100	100	100	100	75	100	82
Media annua	2.7	2.2	2.2	4.5	2.5	2.3	1.9	1.6	1.8	2.0	1.5
Max settimana	7.4	5.0	6.1	112.1	10.3	6.6	9.5	3.4	3.1	10.9	4.1
Xileni											
% dati validi	100	100	100	100	100	100	100	100	75	100	82
Media annua	1.6	1.4	1.3	1.7	1.9	1.6	1.4	1.4	1.3	0.9	0.8
Max settimana	5.9	4.0	4.0	4.9	4.7	3.9	2.7	6.5	2.4	2.1	2.8

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

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Toluene											
% dati validi	100	100	100	96	94	94	95	94	98	96	98
Media annua	2.2	2.0	1.8	1.9	1.6	1.7	1.2	1.2	1.1	0.7	1.2
Max orario	-	-	42.1	122.3	82.9	97.1	46.0	29.7	26.6	13.8	39.3
Xileni											
% dati validi	100	100	100	96	94	94	95	94	93	96	98
Media annua	1.7	1.5	1.5	1.7	1.8	1.5	1.2	1.3	1.2	0.5	0.8
Max orario	-	-	54.4	38.1	305.0	59.1	17.0	57.7	20.8	21.4	16.5

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 PM10 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 PM10: 20 µg/m³ come media annuale e 50 µg/m³ come media sulle 24 ore), pone l'obiettivo di raggiungere «le più basse concentrazioni di PM possibile».

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione media annuale di particolato PM10	2018 – 2023		
Numero superamenti del limite giornaliero per particolato PM10	2018 – 2023		

Il PM10 viene misurato in tutte le stazioni della rete, ad esclusione della stazione di fondo rurale (Ballirana), dove si misura solo PM2.5.

Nel 2023 il limite della media annuale del PM10 (40 µg/m³) è rispettato in tutte le stazioni della provincia di Ravenna. Il limite giornaliero (media giornaliera di 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte in un anno) è stato superato solo nella stazione Locale Industriale di Porto San Vitale ubicata nell'area portuale-industriale, ed è quindi rispettato in tutte le stazioni della Rete Regionale e nella stazione Locale di Rocca Brancaleone. I Valori guida dell'OMS (15 µg/m³ come media annuale e 45 µg/m³ come concentrazione massima sulle 24 ore) sono stati superati in tutte le stazioni.

La media annuale, già da diversi anni, si attesta attorno al valore di 30 µg/m³, quindi al di sotto del limite di legge (40 µg/m³), tuttavia il PM10 resta un inquinante critico sia per i diffusi superamenti del limite di breve periodo sia per gli importanti effetti negativi che, come dimostrato, ha sulla salute umana. Considerata la classificazione data a questo inquinante dallo IARC e le

concentrazioni significative misurate, soprattutto in periodo invernale, la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

PM10 [L.Q. = 3 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>	<i>40 µg/m³</i> <i>Valori guida</i> <i>OMS: 15 µg/m³</i>	<i>Max 35</i> <i>Valori guida</i> <i>OMS: 45 µg/m³ da non superare mai</i>
						<i>Media anno</i>	<i>N° giorni Sup. 50 µg/m³</i>
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	93	< 3	68	25	17 (OMS 29)
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	96	6	77	22	7 (OMS 11)
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	99	3	70	23	16 (OMS 27)
Zalamella	Ravenna	Traffico	99	3	89	26	28 (OMS 40)
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	98	3	81	25	26 (OMS 36)
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	99	7	93	36	73 (OMS 93)

Tabella 4.13 – PM10: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle normativa

In relazione ai dati riportati in Tabella 4.13 si può osservare che nel 2023 il limite della media annuale è stato rispettato in tutte le postazioni, mentre il limite giornaliero (media giornaliera di 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte in un anno) è stato superato solo nella stazione Locale Industriale di Porto San Vitale (73 superamenti) ed è quindi rispettato in tutta la Rete Regionale.

Le Figure 4.16 e 4.17 riportano rispettivamente, l'andamento negli ultimi sei anni della media annuale, evidenziando i limiti normativi del D.Lgs 155/2010 (linea fuxia continua) e OMS (linea verde tratteggiata) e del numero di giorni con concentrazioni superiori a 50 µg/m³. Dalla lettura dei grafici si può affermare che nel 2023 la media annuale è in linea con quella degli anni precedenti, mentre il numero di superamenti è inferiore ai quattro anni precedenti ed in linea con il 2018.

In area industriale (Figura 4.18), i due parametri (media annuale e superamenti) nel 2023 sono superiori ai tre anni precedenti (2022-2021-2020) ciò può essere riconducibile alla riduzione delle attività nell'area negli anni della pandemia, mentre se li confrontiamo con il biennio 2018-2019 si nota che i due parametri di cui sopra sono per l'anno in esame allineati o inferiori.

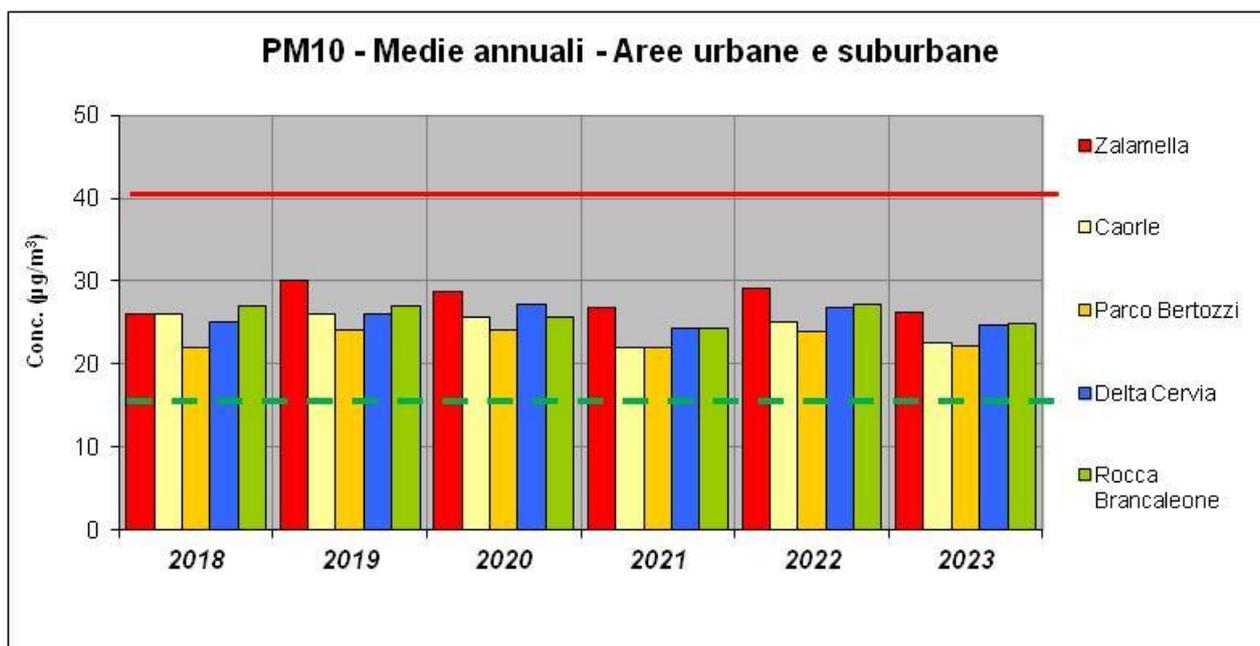


Figura 4.16 – PM10 medie annuali Area Urbana e Sub Urbana – Stazioni RRQA + Stazione Locale di Rocca Brancaleone (Ind/Urb)

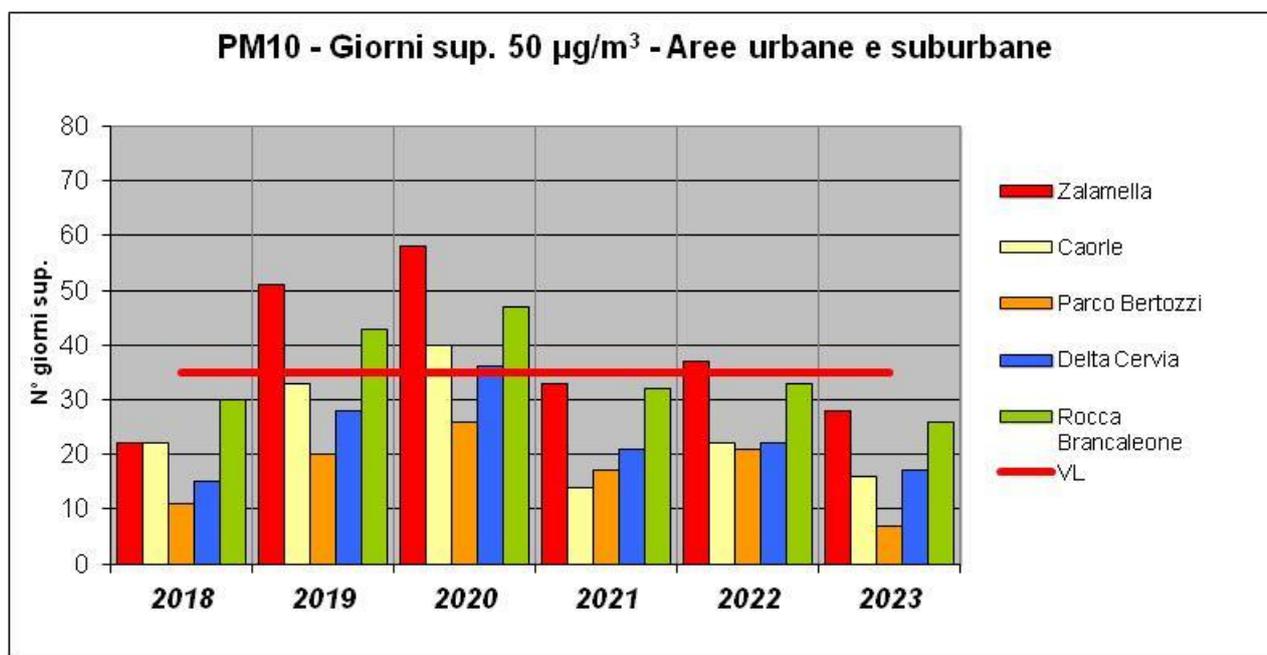


Figura 4.17 – PM10 giorni con superamento dei 50 µg/m³ - Area Urbana e Sub Urbana Stazioni RRQA + Stazione Locale di Rocca Brancaleone (Ind/Urb)

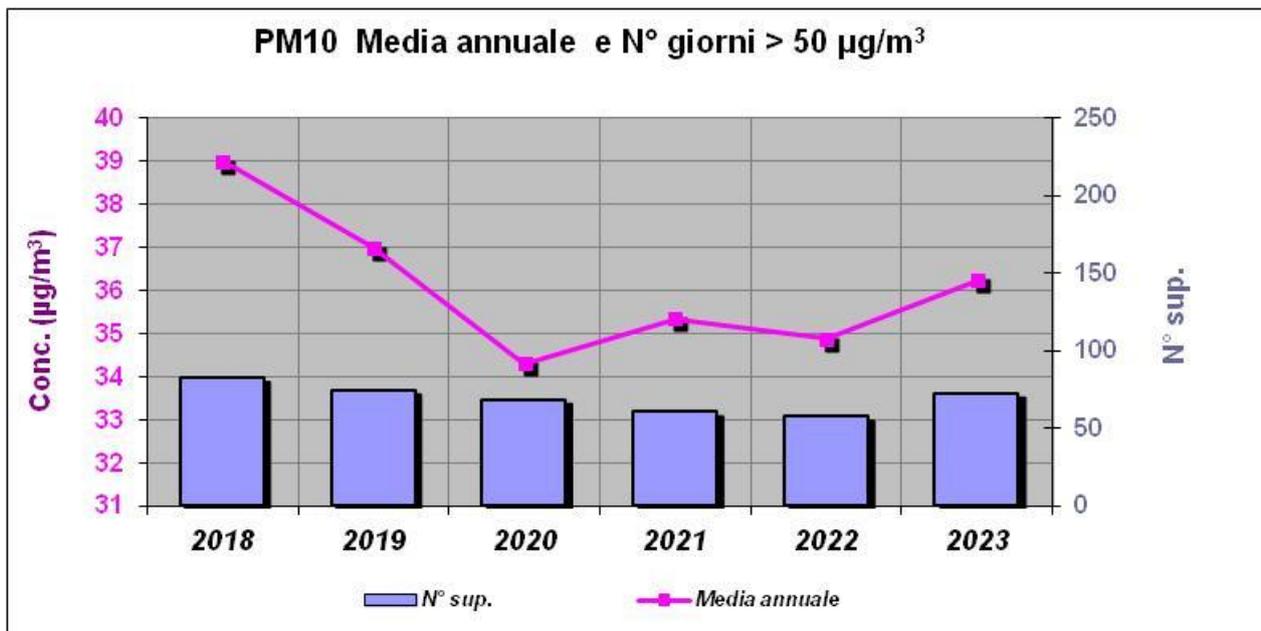


Figura 4.18 – PM10 medie annuali e giorni con superamento dei 50 µg/m³ – Area industriale – Stazione Locale - Porto San Vitale

Il grafico di Figura 4.19 (superamenti cumulati) consente di visualizzare fino a quale giorno dell'anno, nelle diverse stazioni, il limite di breve periodo (VL) è stato rispettato; nel 2023 il limite è stato rispettato in tutte le stazioni della Rete Regionale e nella stazione Locale di Rocca Brancaleone.

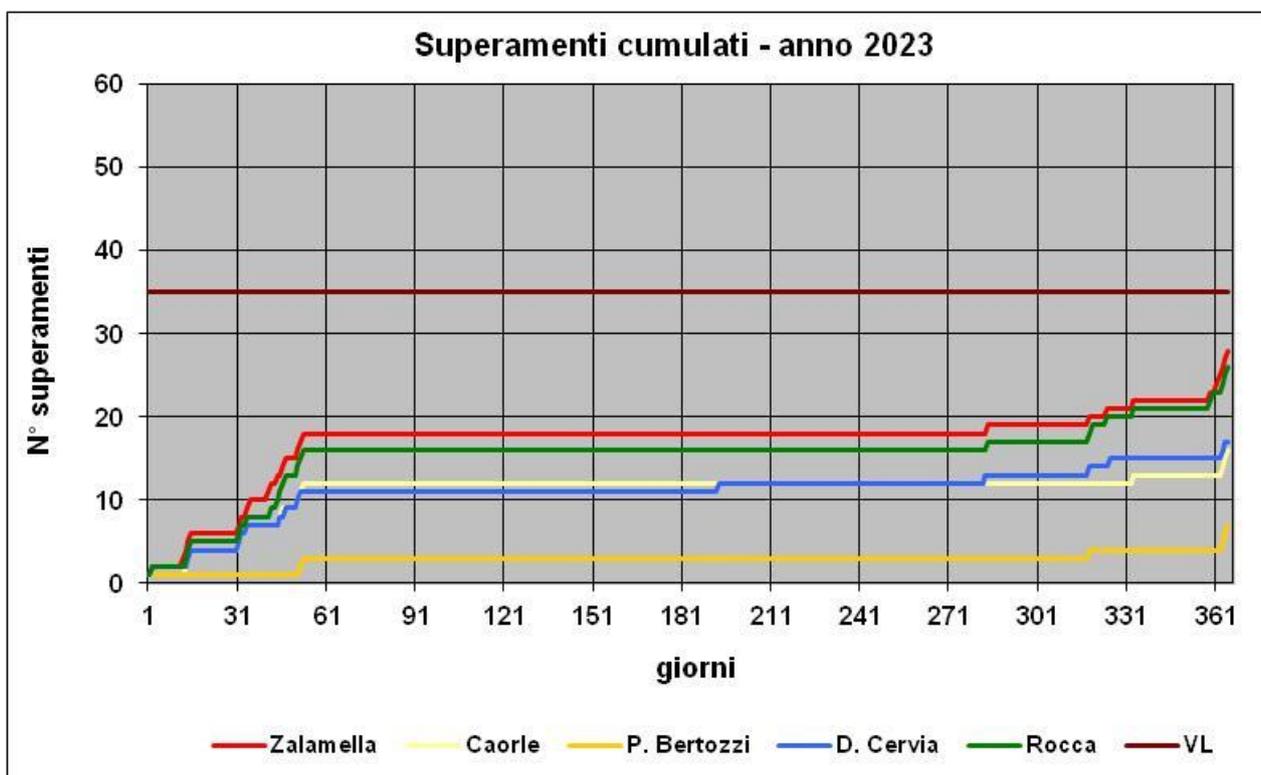


Figura 4.19 – PM10 Superamenti cumulati - Area Urbana e Sub Urbana Stazioni RRQA + Stazione Locale di Rocca Brancaleone (Ind/Urb)

Le medie mensili di PM10 (Figure 4.20 e 4.21), come previsto, sono più elevate nei mesi invernali, con concentrazioni superiori a 40 µg/m³ nella stazione di Traffico, nei mesi di febbraio e dicembre. In generale le concentrazioni più basse, sono state misurate a Caorle (fondo urbano-residenziale), Parco Bertozzi (fondo urbano) e Rocca Brancaleone (industriale/urbano) nei mesi primaverili-estivi.

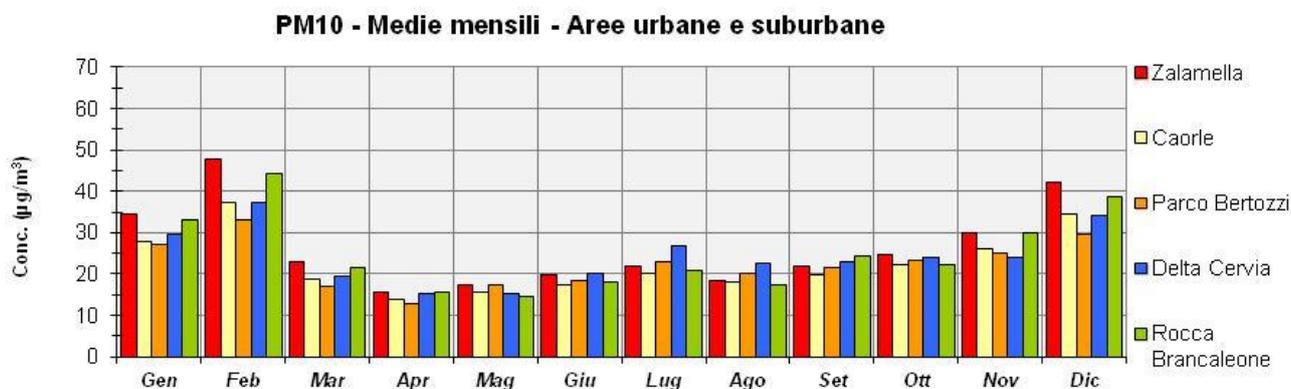


Figura 4.20 – PM10 medie mensili Area Urbana e Sub Urbana – Stazioni RRQA + Stazione Locale di Rocca Brancaleone (Ind/Urb) anno 2023

Anche in area portuale (Porto San Vitale - Figura 4.21) si evidenzia una certa “stagionalità” della concentrazione di particolato: l’andamento è simile a quello della stazione Locale urbana/industriale di Rocca Brancaleone anche se la diminuzione è meno evidente in quanto il contributo delle emissioni legate alle attività insediate nel porto (costanti nel corso dell’anno), si sovrappone alla variabilità legata alla meteorologia.

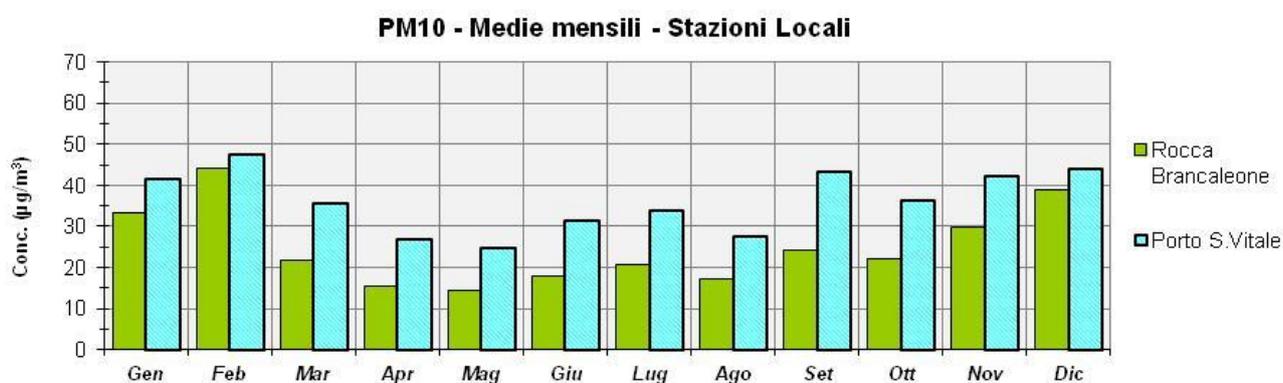


Figura 4.21 – PM10 medie mensili Area Industriale/Portuale – Stazioni Locali Industriali – anno 2023

Infine, la Tabella 4.14 riporta alcuni parametri relativi al PM10, calcolati a partire dal 2018.

Tabella 4.14 - Andamento temporale PM10 dal 2018 al 2023 (dati giornalieri in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Zalamella

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	26	30	29	27	29	26
50°Percentile	23	25	20	22	25	22
90°Percentile	46	58	63	49	51	49
95°Percentile	55	68	74	59	60	59
98°Percentile	62	76	89	69	66	69
Max	83	88	124	92	76	89
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22	51	58	33	37	28
% dati validi	98	99	99	99	99	99

Stazione: Caorle

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	26	26	26	22	25	23
50°Percentile	23	22	19	18	22	19
90°Percentile	45	50	51	42	43	40
95°Percentile	55	57	64	49	52	49
98°Percentile	64	68	75	59	58	57
Max	87	79	117	81	62	70
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22	33	40	14	22	16
% dati validi	96	94	98	99	98	99

Stazione: Parco Bertozzi

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	22	24	24	22	24	22
50°Percentile	20	20	19	18	21	20
90°Percentile	37	41	44	40	39	35
95°Percentile	47	53	59	50	51	42
98°Percentile	58	60	77	62	59	50
Max	75	73	110	100	73	77
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11	20	26	17	21	7
% dati validi	95	96	97	96	98	96

Stazione: Delta Cervia

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	25	26	27	24	27	25
50°Percentile	23	23	22	21	25	21
90°Percentile	43	46	51	43	44	42
95°Percentile	49	59	62	52	52	50
98°Percentile	59	68	77	63	58	59
Max	82	79	112	97	75	68
> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15	28	36	17	22	17
% dati validi	97	98	98	96	97	93

Stazione: Rocca Brancaleone

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	27	27	26	24	27	25
50°Percentile	23	22	17	20	24	20
90°Percentile	47	53	58	46	48	46
95°Percentile	58	64	71	57	56	57
98°Percentile	72	70	86	66	61	65
Max	89	81	128	90	76	81
> 50 µg/m ³	30	43	47	32	33	26
% dati validi	99	97	99	98	99	98

Stazione: Porto San Vitale

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	39	37	34	35	35	36
50°Percentile	37	32	29	31	33	32
90°Percentile	60	61	60	59	58	62
95°Percentile	71	72	72	73	63	71
98°Percentile	81	85	82	90	67	81
Max	113	188	112	136	77	93
> 50 µg/m ³	83	75	69	61	58	73
% dati validi	99	98	99	99	99	99

4.8 Particolato PM2.5

Con il termine particolato fine 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».

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione media annuale di Particolato ultrafine (PM2.5)	2018 – 2023		

Il PM2.5, data la sua origine prevalentemente secondaria, si misura nelle stazioni di fondo urbano e rurale. A Ravenna viene misurato anche nella stazione Locale industriale di Porto San Vitale.

Nel 2023 il valore limite della media annuale del PM2.5 (25 µg/m³) è stato rispettato in tutte le postazioni, così come il “limite indicativo” (20 µg/m³): situazione da consolidare, e possibilmente migliorare anche nei prossimi anni, considerato l'impatto che l'inquinante ha sulla salute.

I valori più elevati si sono registrati nella stazione di Porto San Vitale e a Caorle (influenzata anche dalle ricadute dell'area portuale/industriale) anche se per il 2023 manca il dato di Ballirana (Fondo Rurale) poiché la stazione è stata gravemente danneggiata dall'alluvione che a maggio ha interessato tutta la Romagna.

La stagione più critica per il PM2.5 è sempre quella invernale, quando le concentrazioni 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 – nonostante il rispetto del limite - non può essere considerata positiva.

PM2.5 [L.Q. = 3 µg/m³]				Concentrazioni in µg/m³		Limite Normativo	Limite Indicativo
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza%	Minimo	Massimo	25 µg/m³ <i>Valori guida OMS: 5 µg/m³</i>	20 µg/m³
						Media anno	Media anno
Ballirana*	Alfonsine	Fondo Rurale	38	nd	nd	nd	nd
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	97	<3	56	12	12
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	98	<3	59	14	14
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	99	<3	49	15	15

* La stazione di Ballirana è stata gravemente danneggiata dall'alluvione che ha colpito la Romagna nel mese di maggio 2023, pertanto è stato necessario sostituire e/o riparare la strumentazione e gli impianti. Il ripristino completo è avvenuto a fine dicembre 2023, con conseguente perdita di oltre il 50% dei dati dell'intera annualità.

Tabella 4.15 – PM2.5: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalla normativa

Nelle stazioni della Rete Regionale di Ravenna il PM2.5 viene monitorato nelle centraline di fondo urbano (Parco Bertozzi), fondo urbano residenziale (Caorle) e fondo rurale (Ballirana), oltre che nella Stazione Locale industriale (Porto San Vitale).

Il D.Lgs. 155/2010, relativamente al PM 2.5, contempla due Fasi:

- Fase 1: a partire dal 1/1/ 2015, il un valore limite della media annuale del PM2.5 è 25 µg/m³;
- Fase 2: dal 1/1/2020, doveva essere raggiunto un “Valore limite da stabilire con successivo decreto ai sensi dell’articolo 22, comma 6, tenuto conto del valore indicativo di 20 µg/m³ e delle verifiche effettate dalla Commissione europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull’ambiente, la fattibilità tecnica e l’esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri”. Tale decreto, ad oggi, non è stato emanato e pertanto il valore di 20 µg/m³ è di seguito riportato come “limite indicativo”.

Nel 2023, in tutte le stazioni della rete di Ravenna, è rispettato sia il valore limite della media annuale (25 µg/m³), sia il “limite indicativo” (20 µg/m³). Non è invece rispettato in nessuna postazione il valore guida dell'OMS-AQG, molto più restrittivo (5 µg/m³).

Di seguito si riporta il grafico con le medie mensili (Figura 4.22): solo in alcuni mesi primaverili-estivi (aprile, maggio, giugno, luglio) le concentrazioni nelle stazioni di fondo sono inferiori a 10 µg/m³ e comunque sempre superiori ai valori guida dell'OMS. Nei mesi invernali da dicembre a febbraio le concentrazioni sono maggiori dei 20 µg/m³.

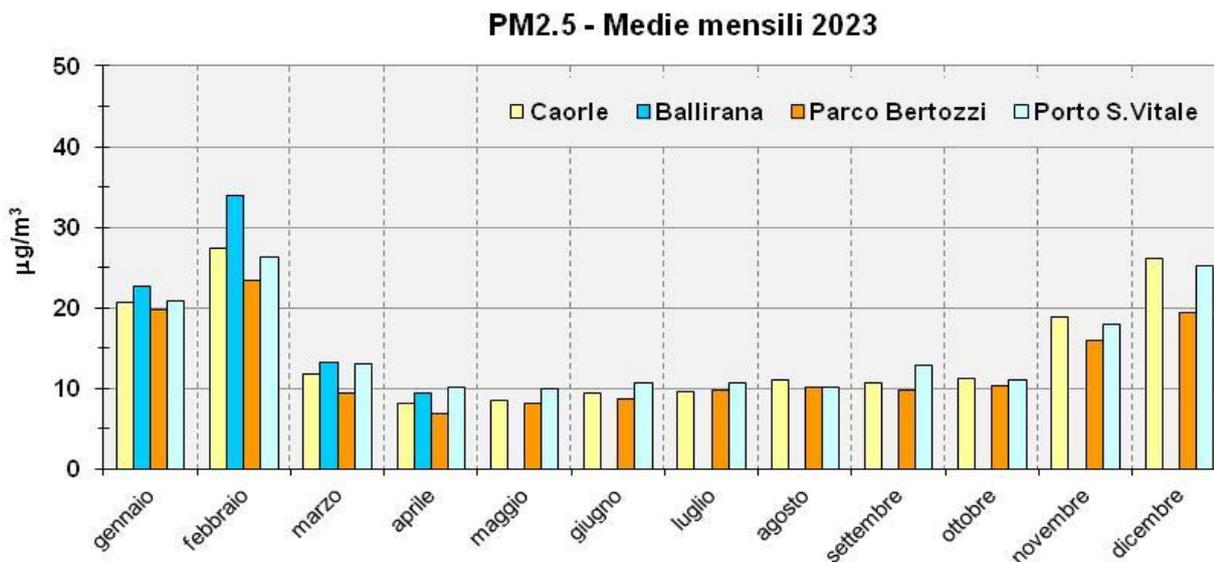


Figura 4.22 – PM2.5: medie mensili 2023

In Figura 4.23 sono riportate le medie annuali rilevate dal 2018 al 2023 nelle stazioni provinciali della RRQA, messe a confronto con il limite previsto dalla normativa ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – linea rossa), il valore indicativo della fase 2 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – linea blu) e il valore guida dell’OMS-AQG ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - linea verde). Negli ultimi anni, nessuna stazione ha superato né il limite normativo né quello indicativo, mentre il valore dell’OMS-AQG continua ad essere superato abbondantemente in tutte le postazioni. Significativo, anche se non costituisce un limite di legge, è il numero di superamenti della media giornaliera proposta dall’OMS-AQG. Fino al 2020 tale valore guida si attestava a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre dal 2021 è stato ristretto a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi per l’anno 2023 il numero di superamenti è maggiore rispetto gli anni precedenti (2018-2019-2020) nei quali il riferimento era $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anche ed è inferiore ai due anni precedenti nei quali era in vigore già il valore di $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 4.23).

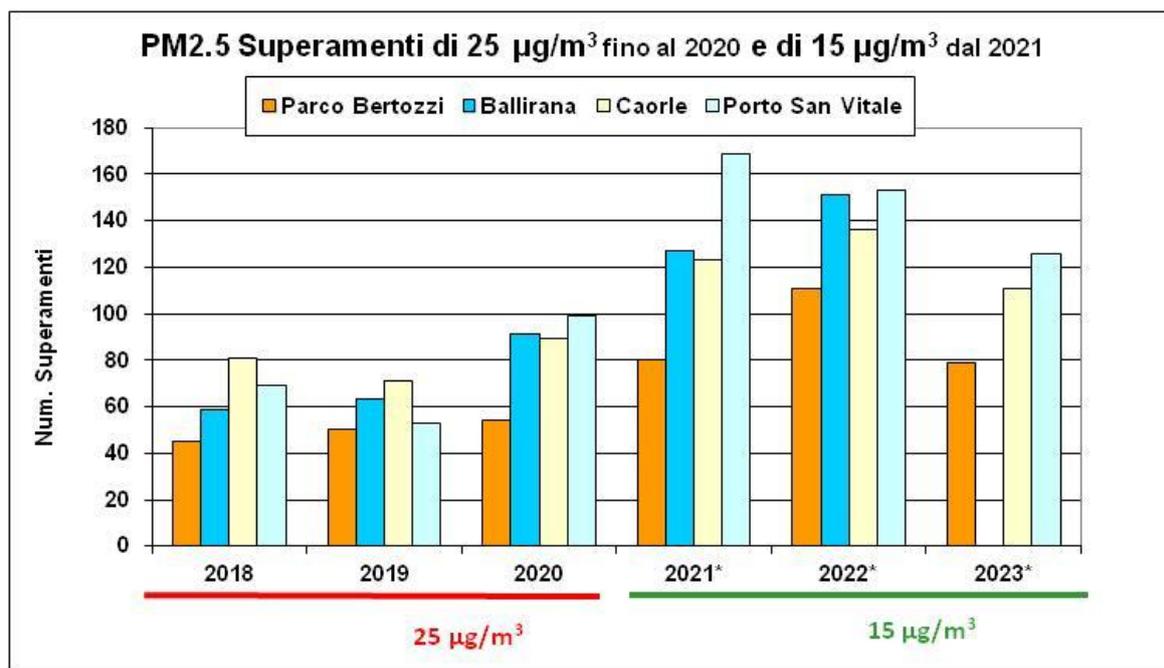


Figura 4.23 – PM2.5: medie annuali e superamenti della media giornaliera di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nell’intervallo 2018 – 2023
*dal 2021 il limite OMS-AQG è stato ristretto a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Nelle stazioni di Parco Bertozzi, Caorle e Porto San Vitale lo stesso strumento permette la contestuale misurazione di particolato PM10 e PM2.5 (SWAM – DualChannel): dal rapporto percentuale giornaliero delle concentrazioni delle due frazioni granulometriche, PM2.5/PM10, per ogni stazione è stata calcolata, e riportata in grafico, la media mensile (Figura 4.24).

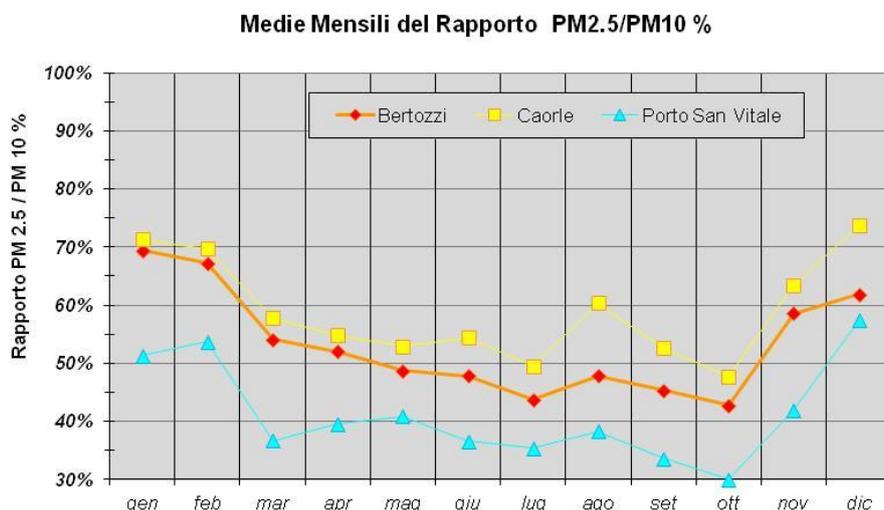


Figura 4.24 Rapporto PM2.5/PM10: medie mensili 2023 (quale % del PM10 è PM2.5)

Dagli andamenti del rapporto si osserva una spiccata stagionalità, più marcata, nelle stazioni di fondo urbano (Caorle e Parco Bertozzi): la quota di particolato fine (PM2.5) è maggiore nei mesi invernali quando oltre il 70% del PM10 è costituito da PM2.5.

Il PM10 è generato, per una quota significativa, per azione meccanica, mentre il particolato più fine (PM2.5) deriva prevalentemente dalla combustione e/o è di origine secondaria, cioè prodotto in atmosfera a partire da precursori gassosi quali ossidi di azoto (nitrati), ossidi di zolfo (solfati), ammoniaca e 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;
- l'incremento della componente secondaria legata ad una maggiore presenza di precursori in atmosfera.

Per la stazione di Caorle, nella quale il rapporto è maggiore, la lettura di questo grafico induce a supporre che in questa stazione, al PM2.5 primario (che si produce in zona portuale) si sovrapponga una significativa componente secondaria che si origina sempre in ambito industriale/portuale da precursori qui emessi.

Infine, la Tabella 4.15 bis riporta alcuni parametri statistici relativi al PM2.5, calcolati a partire dal 2018.

Tabella 4.15 bis – Andamento temporale PM2.5 dal 2018 al 2023 (dati giornalieri in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Parco Bertozzi

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	15	15	15	13	14	12
50°Percentile	12	12	10	10	11	10
90°Percentile	30	31	33	25	27	23
95°Percentile	35	41	42	33	35	31
98°Percentile	44	47	54	42	41	37
Max	61	65	87	60	52	56
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2017-2020)	45	50	54	-	-	-
> 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dal 2021)	-	-	-	80	111	79
% dati validi	95	96	98	96	98	97

Stazione: Ballirana

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	16	17	18	15	17	nd
50°Percentile	14	14	12	11	13	nd
90°Percentile	31	36	40	31	32	nd
95°Percentile	37	43	46	37	40	nd
98°Percentile	45	51	55	44	45	nd
Max	58	58	72	59	56	nd
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2017-2020)	59	63	91	-	-	-
> 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dal 2021)	-	-	-	127	151	nd
% dati validi	98	99	99	99	99	38

nd= non determinato per mancanza di dati sufficienti, essendo la stazione stata danneggiata nell'alluvione di Maggio.

Stazione: Caorle

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	19	19	19	15	16	14
50°Percentile	16	14	13	11	12	11
90°Percentile	36	40	44	31	33	30
95°Percentile	45	51	53	40	38	37
98°Percentile	55	60	64	46	46	44
Max	72	68	90	72	55	59
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2017-2020)	81	71	89	-	-	-
> 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dal 2021)	-	-	-	123	137	111
% dati validi	96	94	98	99	98	98

Stazione Porto S. Vitale

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	18	17	20	18	17	15
50°Percentile	17	15	15	15	14	12
90°Percentile	30	30	41	34	32	28
95°Percentile	36	37	48	41	38	34
98°Percentile	42	44	60	48	44	43
Max	62	57	82	59	54	49
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2017-2020)	69	53	99	-	-	-
> 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dal 2021)	-	-	-	169	153	126
% dati validi	99	98	99	99	99	99

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 PM10 e PM2.5 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, monitoraggio effettuato 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.

Invece, per quanto riguarda la determinazione di PCB, Diossine e Furani, il metodo di riferimento è EPA 1613, utilizzando uno spettrometro di massa in alta risoluzione per le diossine e furani, mentre si utilizza un metodo interno del Laboratorio Multisito di Ravenna per l'analisi dei PCB.

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'Agencia 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.

Valutazione in sintesi

<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	2019 - 2023		

Nel 2023 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.

Le concentrazioni dell'ultimo quinquennio (2019-2023) sono stabili e contenute, pertanto la criticità segnalata non è relativa alle concentrazioni rilevate quanto alla classificazione dell'inquinante come accertato cancerogeno.

<i>IPA</i> <i>Concentrazione di inquinante nella frazione PM10</i>				<i>Medie mensili di benzo(a)pirene in ng/m³</i>		<i>Limiti Normativi</i>
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza%</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	<i>1 ng/m³</i> <i>Media annuale Benzo(a)pirene</i>
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	97	<0.1	0.7	0.1
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	98	<0.1	0.7	0.2
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	98	<0.1	0.7	0.1
Zalamella	Ravenna	Traffico	99	<0.1	1.2	0.2
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	99	<0.1	0.8	0.2
San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	99	<0.1	0.6	0.1

Tabella 4.16 – 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 2023 sono più alte rispetto alle annualità precedenti solo nelle stazioni di Zalamella e Rocca Brancaleone e sono invece inferiori nelle stazioni di Caorle, Porto San Vitale, Parco Bertozzi e Delta Cervia.

In generale, comunque, i valori sono in linea con quelli degli anni precedenti e sempre abbondantemente inferiori al limite normativo di 1 ng/m³.

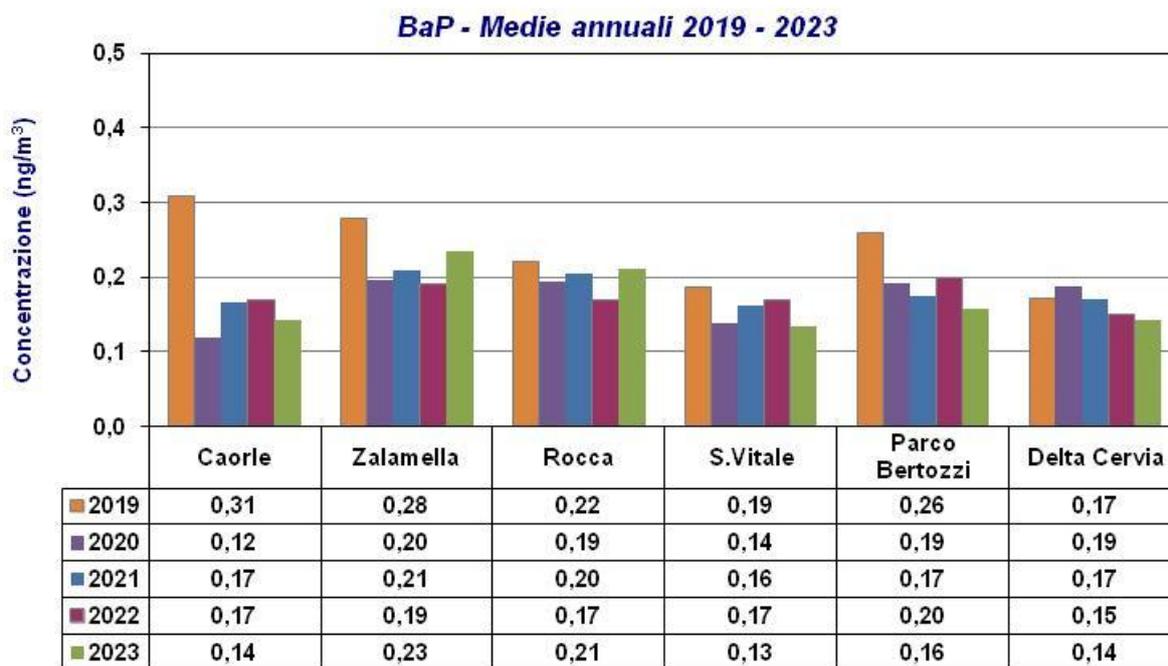


Figura 4.25 – Concentrazioni medie annuali BaP – anni 2019 – 2023

L'istogramma delle concentrazioni medie mensili di BaP (Figura 4.26) mostra un marcato andamento stagionale, come avviene anche per il particolato, con valori anche al di sotto della sensibilità analitica nei mesi estivi e valori apprezzabili nel periodo invernale.

Le medie mensili più alte si sono registrate per le stazioni della rete urbana nel mese di dicembre a Zalamella (1.15 ng/m³) e a Parco Bertozzi (0.67 ng/m³) mentre nelle stazioni locali industriali il valore maggiore è stato rilevato a gennaio nella stazione di Rocca Brancaleone (0.80 ng/m³).

Le basse concentrazioni nei mesi estivi sono riconducibili alla concomitanza di diversi fattori: la riduzione delle sorgenti attive (minor uso dell'auto, riscaldamento spento,...), la presenza di condizioni meteorologiche più favorevoli alla 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.

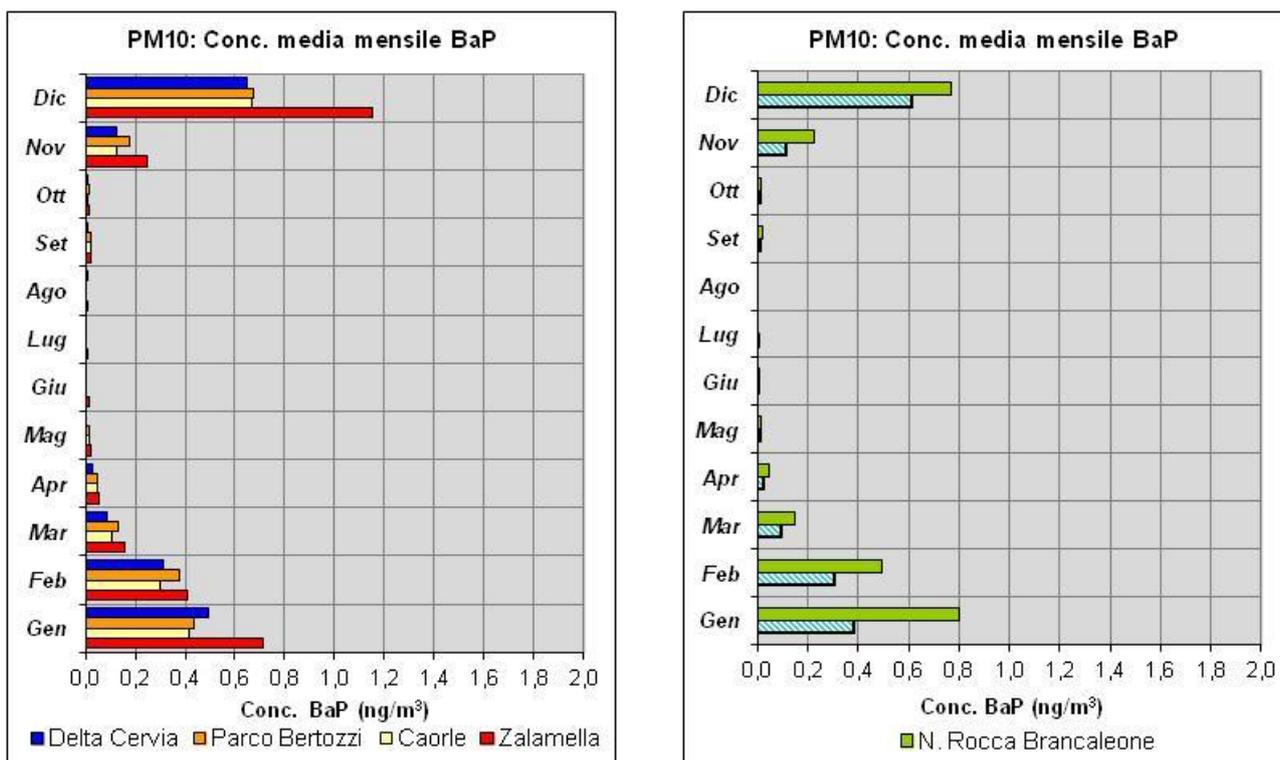


Figura 4.26 – Andamento temporale delle concentrazioni medie mensili di BaP nel PM10 nel 2023 - Stazioni urbane e di fondo (a sinistra) e in stazioni locali industriali (a destra)

Il grafico di Figura 4.27 riporta le concentrazioni medie annuali degli IPA richiamati dal D.Lgs 155/2010: i congeneri a concentrazione maggiore sono il benzo[b+j]fluorantene, classificato dallo IARC come possibile cancerogeno per l'uomo (1B) soprattutto nella stazione di Caorle e l'indeno(1,2,3-cd)pirene, anch'esso classificato cancerogeno per l'uomo (1B) nella stazione di Zalamella, gli altri composti si attestano su valori più bassi.

Particolarmente basse, in tutte le postazioni, sono le concentrazioni di dibenzo(a,h+a,c)antracene, anch'esso classificato dallo IARC come 2B.

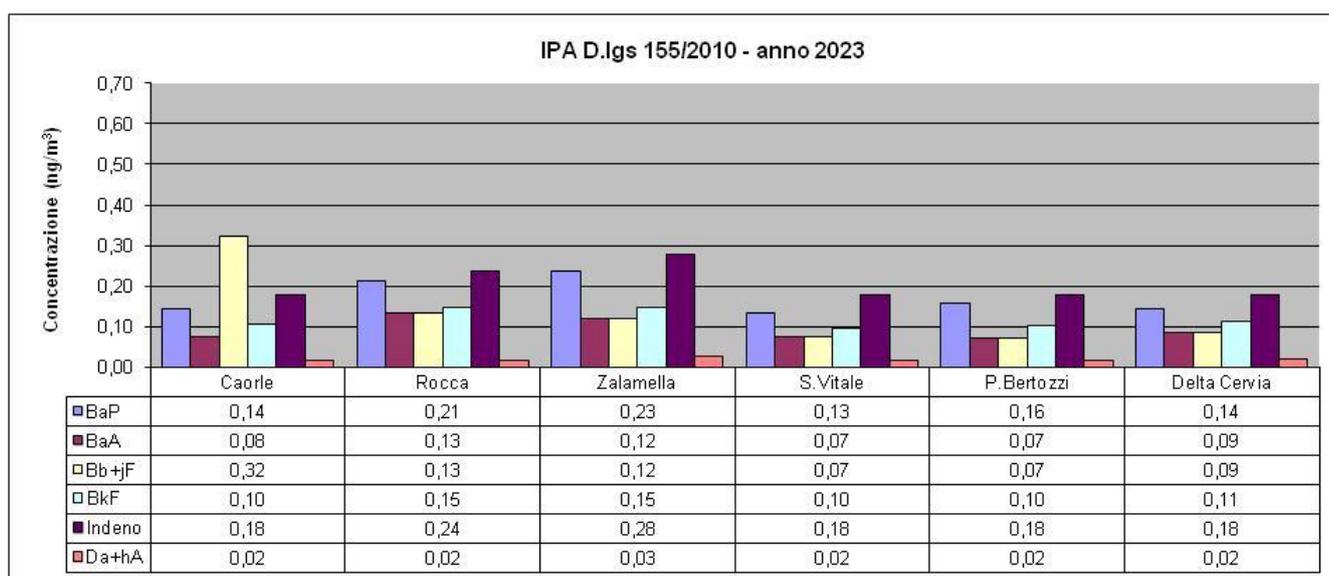


Figura 4.27 – Media annuale sul particolato PM10 (2023) degli IPA indicati dal D.Lgs. 155/2010

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

Dal 2009 gli IPA vengono rilevati anche sul particolato PM2.5: inizialmente solo a Ballirana (dove si misura solo il PM2.5) e a Parco Bertozzi (dove si rileva anche il PM10) poi, dal 2014, anche nelle stazioni di Caorle e Porto San Vitale dove si misura sia il PM10 che il PM2.5. Purtroppo per l'anno 2023 i dati della stazione di Ballirana sono disponibili solo per i primi 3 mesi perché la stazione è stata gravemente danneggiata dall'alluvione che a maggio ha interessato la Romagna.

La Figura 4.28 riporta, per l'anno 2023, la concentrazione media mensile di B(a)P nel PM2.5 nelle quattro stazioni. La concentrazione media mensile più alta (0.71 ng/m³) si registra nel mese di dicembre a Caorle.

Anche per il PM2.5 - come per il PM10 - le medie mensili di BaP hanno un andamento stagionale, con concentrazioni maggiori nel periodo invernale e concentrazioni quasi sempre inferiori al limite di quantificazione nel periodo estivo.

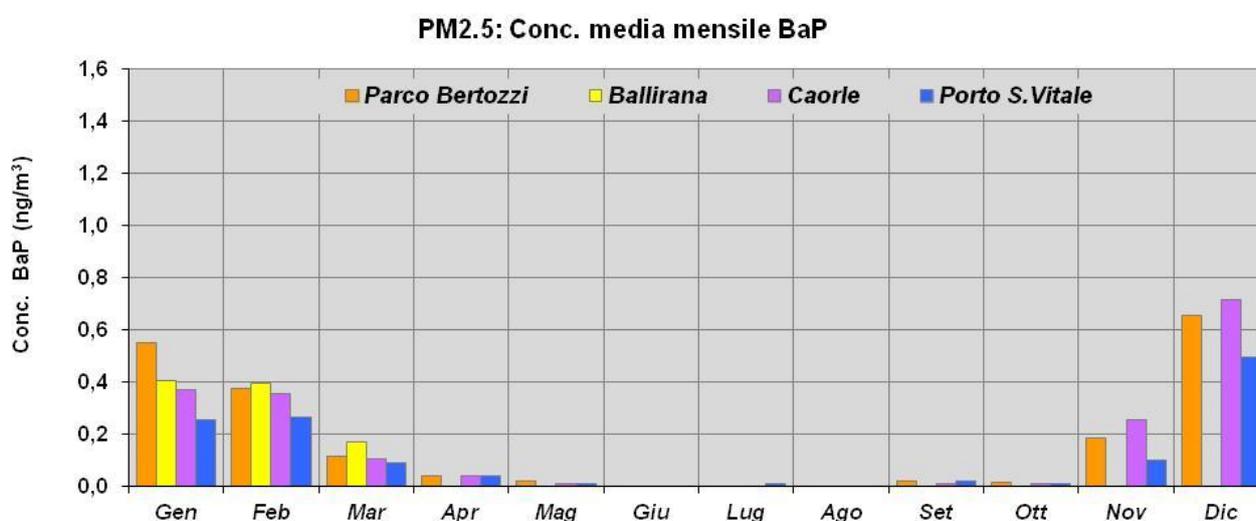


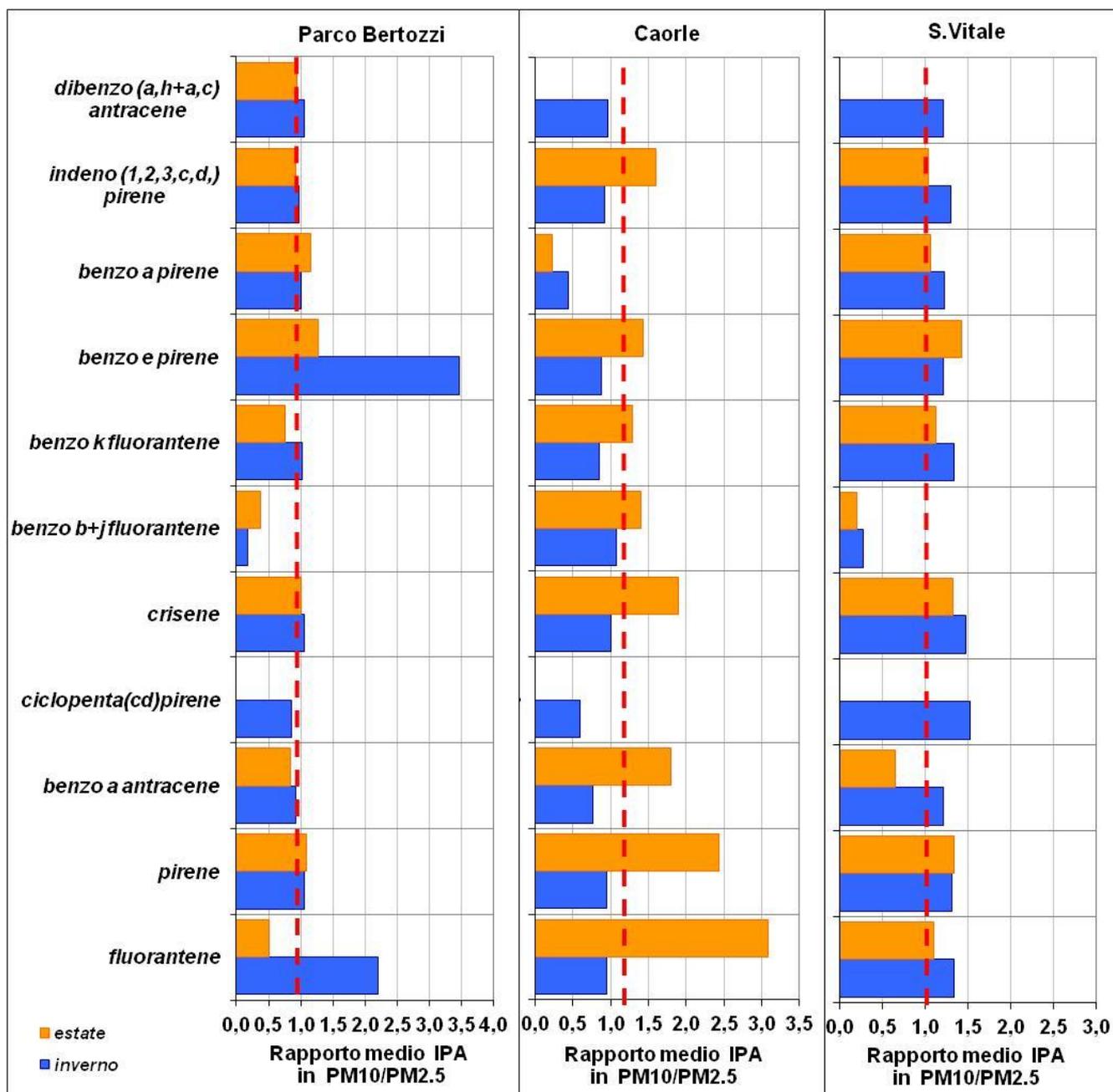
Figura 4.28 – Andamento temporale delle concentrazioni medie mensili di BaP sul PM2,5 Anno 2023

Per le stazioni in cui si misura contestualmente PM10 e PM2.5 (Parco Bertozzi, Caorle e Porto 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. Quando il rapporto è 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 2023, ed in generale si può affermare che nella maggior parte dei casi, si evidenzia un adsorbimento maggiore sul particolato PM10 sia nel periodo invernale sia in quello estivo nella stazione Locale Industriale di Porto San Vitale mentre l’andamento è un po’ diverso nelle stazioni di Fondo Urbano: a Caorle c’è un maggior adsorbimento nel PM10 d’estate mentre d’inverno è l’opposto invece a Parco Bertozzi nella maggior parte casi il rapporto è attorno ad 1. In dettaglio:

- nella stazione di Fondo Urbano di Faenza, Parco Bertozzi, si rilevano valori circa uguali ad 1 o leggermente superiori nei mesi invernali, ad eccezione del benzo b+j fluorantene e ciclo penta(cd)pirene e benzo a antracene;

- nella stazione di Fondo Urbano di Caorle i valori di tutti i composti sono maggiori 1 in estate ad esclusione del benzo(a)pirene, mentre sono inferiori o prossimi a 1 in inverno;
- nella stazione Locale di Porto San Vitale (area industriale), il rapporto è sempre maggiore di 1 in inverno ad esclusione del benzo b+j fluorantene, mentre nel periodo estivo è maggiore o uguale a uno per tutti gli iPa ad esclusione del benzo b+j fluorantene e benzo a antracene



Nota: non sono riportati i dati relativi al periodo estivo (istogramma arancione), del *dibenzo(a,h+a,c)antracene* per le stazioni di Caorle e Porto San Vitale come per *ciclopenta(cd)pirene* in tutte e tre le stazioni in quanto inferiori ai limiti di quantificazione strumentale

Figura 4.29 – Rapporto “ng IPA per ogni g PM10 / ng IPA per ogni g PM2.5” - Anno 2023

4.9.1.2 Rapporti diagnostici

In questo paragrafo è 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 4.17, con riferimento all'anno 2023 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	
Fluorene/(fluorene + pyrene)	0.35-0.70	Diesel emissions	Rogge et al. (1993a,b); Mandalakis et al. (2002); Fang et al. (2004); Ravindra et al. (2006a, b)
	>0.5	Diesel	
B[a]P/(B[a]P + chrysene)	<0.5	Gasoline	Khalili et al. (1995); Guo et al. (2003)
	0.5	Diesel	
Benzo[b]fluoranthene/benzo[k]fluoranthene	0.73	Gasoline	Pandey et al. (1999); Park et al. (2002)
	>0.5	Diesel	
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)
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		
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 4.17– Esempi di rapporti diagnostici (Ravindra et. al., atm environment (2008) doi:10,1016/j.atmosenv.2007.12.010).

Di seguito si riportano i valori dei rapporti, calcolati per l'anno 2023 a Ravenna, di:

- $\text{indeno}(1,2,3, c,d) \text{ pirene} / (\text{indeno}(1,2,3,c,d)\text{pirene} + \text{benzo}(g,h,i)\text{perilene})$
- $\text{BaP} / (\text{BaP} + \text{crisene})$.

(evidenziati in rosso nella tabella 4.18).

Per ogni rapporto è stata calcolata la media annua e la media dei soli mesi autunnali ed invernali (gennaio-marzo e ottobre-dicembre), escludendo il semestre estivo (aprile – settembre) perché gli IPA - per effetto dell'insolazione - subiscono reazioni di degradazione, diverse come modalità e intensità fra i vari composti, e questo modificherebbe il valore del rapporto diagnostico.

Rapporto medio					
		$I(1,2,3,c,d)P / I(1,2,3c,d)P + B(g,h,i)Pe$		$BaP / (BaP + crisene)$	
Stazione		2023	autunno ed inverno 2023	2023	autunno ed inverno 2023
Rocca	PM10	0,46	0,46	0,56	0,57
Caorle	PM10	0,48	0,48	0,56	0,57
	PM2.5	0,48	0,48	0,59	0,60
Zalamella	PM10	0,49	0,50	0,58	0,59
P. Bertozzi	PM10	0,49	0,48	0,59	0,59
	PM2.5	0,49	0,49	0,60	0,60
Ballirana *	PM2.5	nd	nd	nd	nd
Cervia	PM10	0,47	0,47	0,57	0,59
San Vitale	PM10	0,51	0,52	0,56	0,54
	PM2.5	0,47	0,47	0,59	0,60

* La stazione di Ballirana è stata gravemente danneggiata dall'alluvione che ha colpito la Romagna nel mese di maggio 2023, pertanto è stato necessario sostituire e/o riparare la strumentazione e gli impianti. Il ripristino completo è avvenuto a fine dicembre 2023, con conseguente perdita dei dati dell'intera annualità.

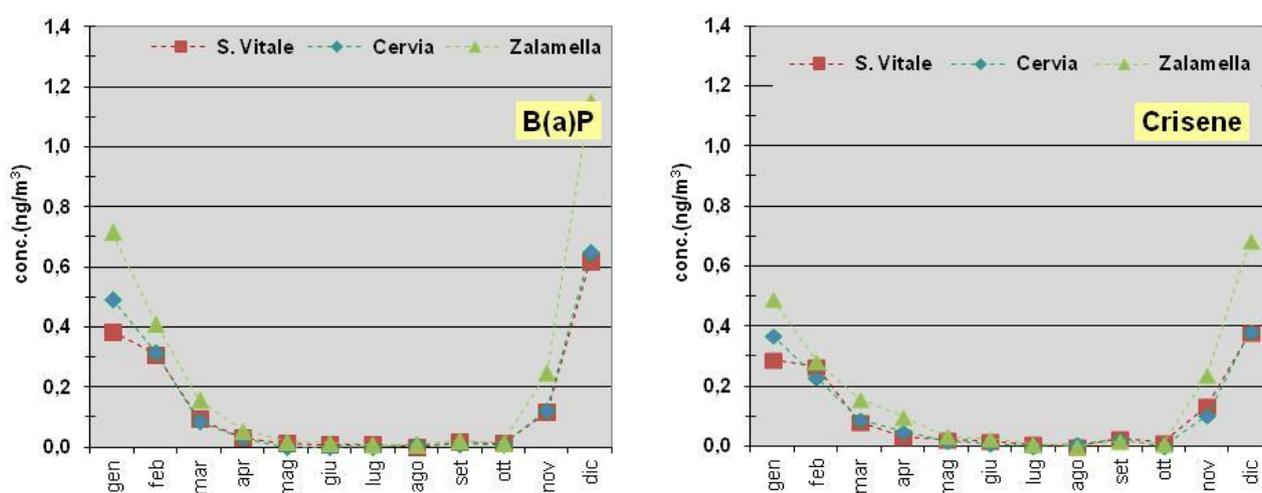
Tabella 4.18 – Rapporti diagnostici calcolati per le postazioni della provincia di Ravenna 2023

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

Il rapporto $I(123cd)P / [I(123cd)P + B(ghi)Pe]$ è stabile e si riscontrano valori compresi nel range di riferimento tipico delle emissioni da traffico veicolare, sia nell'anno sia in inverno.

Anche il rapporto $BaP / [(BaP + crisene)]$ non varia significativamente: è simile in tutte le postazioni e i valori sono compresi fra quelli tipici di emissioni da veicoli a benzina e veicoli diesel.

Per gli IPA considerati nei rapporti diagnostici (benzo(a)pirene, crisene, indeno(1,2,3,c,d)pirene e benzo(g,h,i)perilene,) si riportano le medie mensili in tre stazioni di riferimento: postazione di traffico urbano (Zalamella), industriale (Porto San Vitale) e fondo suburbano (Delta Cervia) (Figura 4.30).



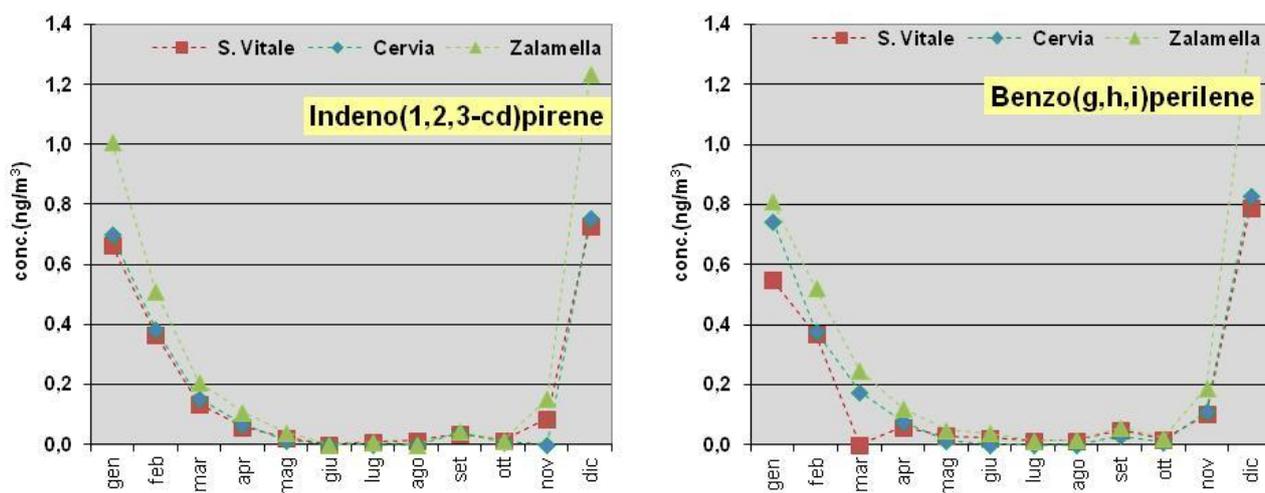


Figura 4.30 – Medie mensili degli IPA considerati nei rapporti diagnostici 2023

I due rapporti diagnostici del semestre invernale degli ultimi cinque anni – calcolati per le tre stazioni Zalamella, Delta Cervia e Porto San Vitale - sono riportati, come istogrammi, in Figura 4.31. Il primo rapporto risulta stabile intorno a 0,5. Il rapporto BaP/(BaP+Crisene) per il 2023 risulta superiore a 0.5 in tutte e tre le stazioni e si assesta su un valore di 0.6 a Zalamella e Delta Cervia mentre al Porto San Vitale è 0.55. 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).

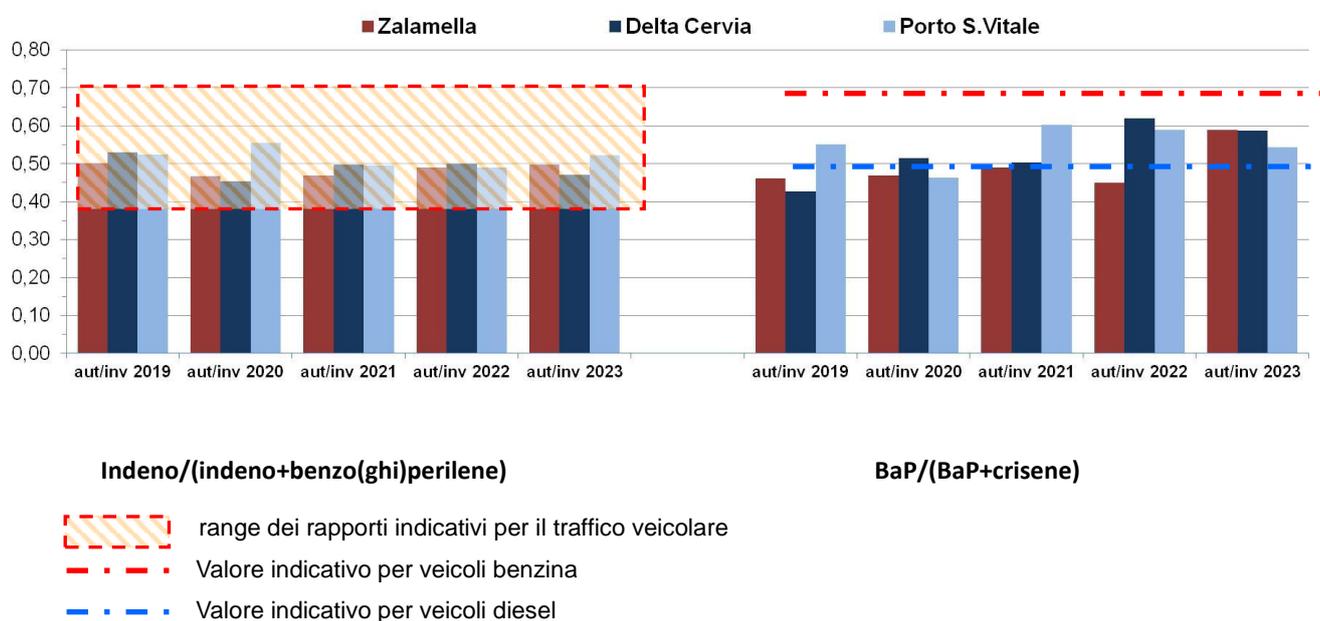


Figura 4.31 – Rapporti diagnostici, mesi invernali e autunnali 2019 – 2023

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).

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato attuale indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione in aria di Metalli Pesanti (As, Cd, Ni, Pb)	2019 - 2023		

Per tutti i metalli che vengono analizzati nel particolato per l'anno 2023, le concentrazioni medie risultano in linea o inferiori ai dati rilevati negli anni precedenti (2019-2022) e comunque inferiori ai limiti di legge. 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 per tutti i metalli) la valutazione dell'indicatore non può essere, in generale, positiva e suggerisce la continuazione di tale monitoraggio.

Metalli Concentrazione di inquinante nella frazione PM10				Valore obiettivo Media annuale nella frazione PM 10			Valore limite
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Arsenico (As) 6.0 ng/m ³	Cadmio (Cd) 5.0 ng/m ³	Nichel (Ni) 20.0 ng/m ³	Piombo (Pb) (0.5 µg/m ³) ³ 500 ng/m ³
Delta Cervia	Cervia	Fondo Sub-urb	93	0.3	0.1	1.3	2.5
Parco Bertozzi	Faenza	Fondo Urbano	96	0.3	0.1	0.9	2.2
Caorle	Ravenna	Fondo Urbano Res	99	0.3	0.1	0.8	2.3
Zalamella	Ravenna	Traffico	99	0.2	0.1	0.8	3.0
Rocca Brancaleone	Ravenna	Locale Ind/Urbano	98	0.2	0.1	2.2	2.8
Porto San Vitale	Ravenna	Locale Industriale	99	0.4	0.1	2.1	2.8

Tabella 4.19 – Metalli sul particolato PM10 espressi in ng/m³: parametri statistici e confronto con i limiti normativi

Per la determinazione dei metalli sul particolato PM10 e PM2.5 viene utilizzato il metodo UNI EN 14902:2005. Una porzione delle membrane campionate viene mineralizzata tramite sistema a microonde ULTRAWAVE. La determinazione analitica del liquido di digestione del campione è effettuata con un sistema ICP/MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)". I dati al di sotto del Limite di Rilevabilità (LR) sono stati considerati pari alla metà del limite stesso.

I risultati delle analisi evidenziano come metalli e non metalli siano sempre presenti nel particolato campionato, con percentuali massime sulla massa del particolato atmosferico del 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 ai 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).

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

Nelle Figure 4.31 – 4.32 – 4.33 sono riportate le medie annuali dei metalli ricercati sul particolato PM10 e PM2.5 delle stazioni della Provincia di Ravenna.

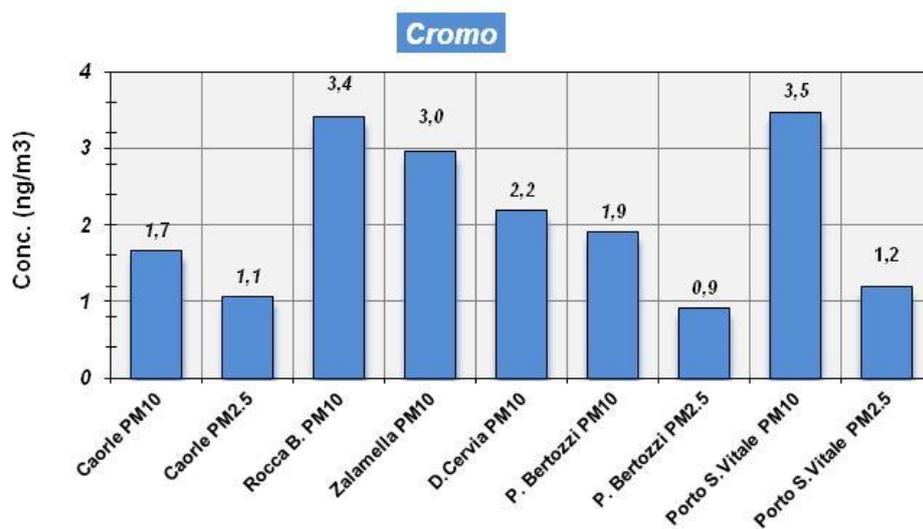
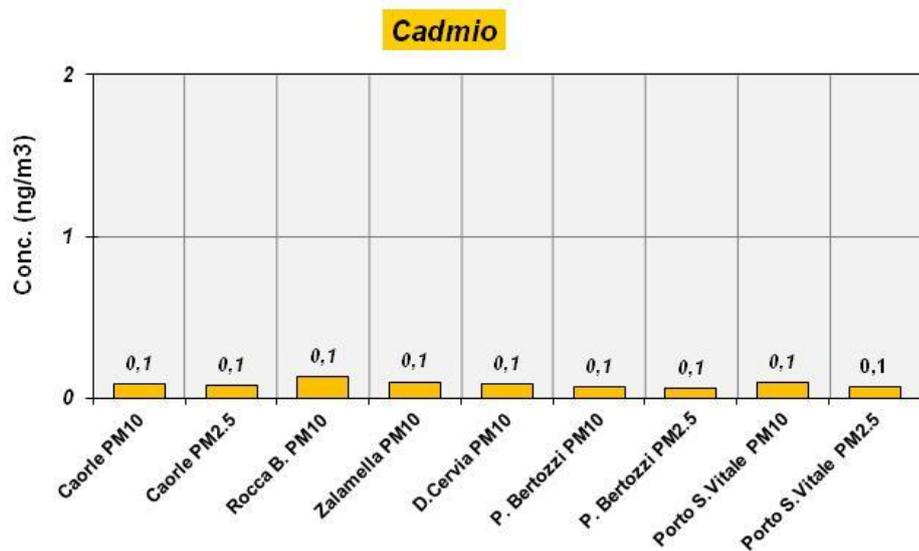
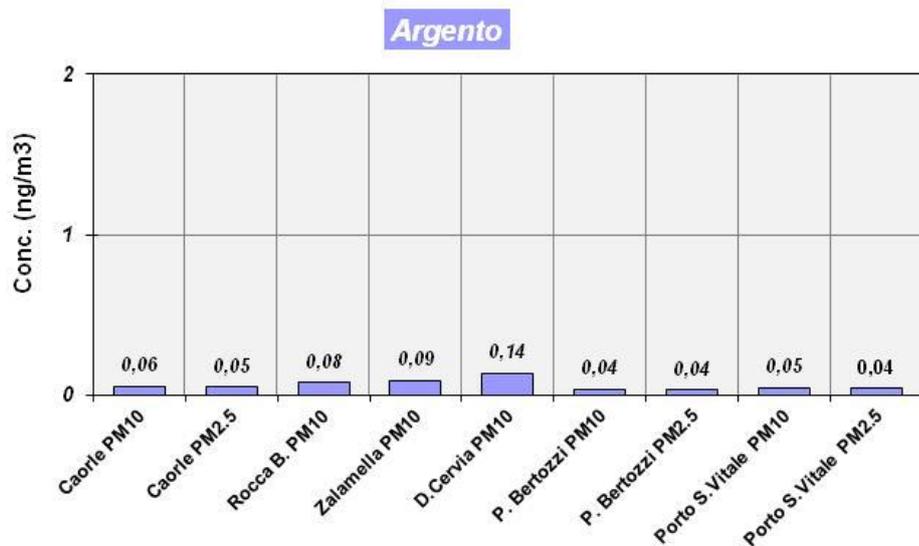


Figura 4.31 Metalli:
concentrazione media
annuale sul
particolato PM10 e
PM2.5

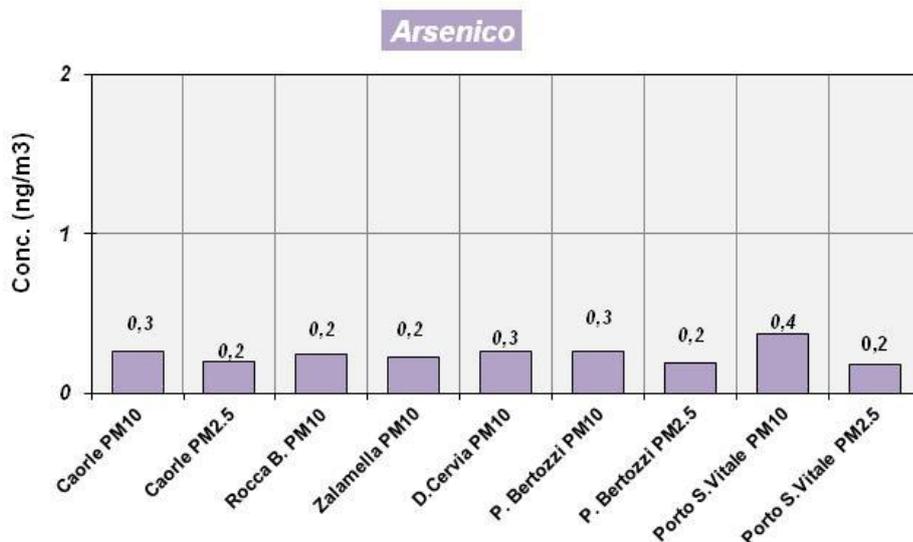
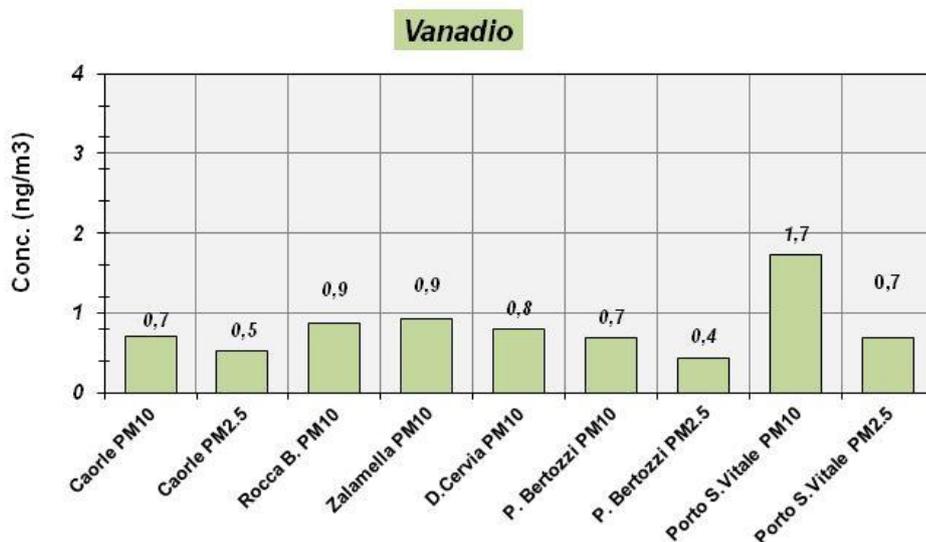
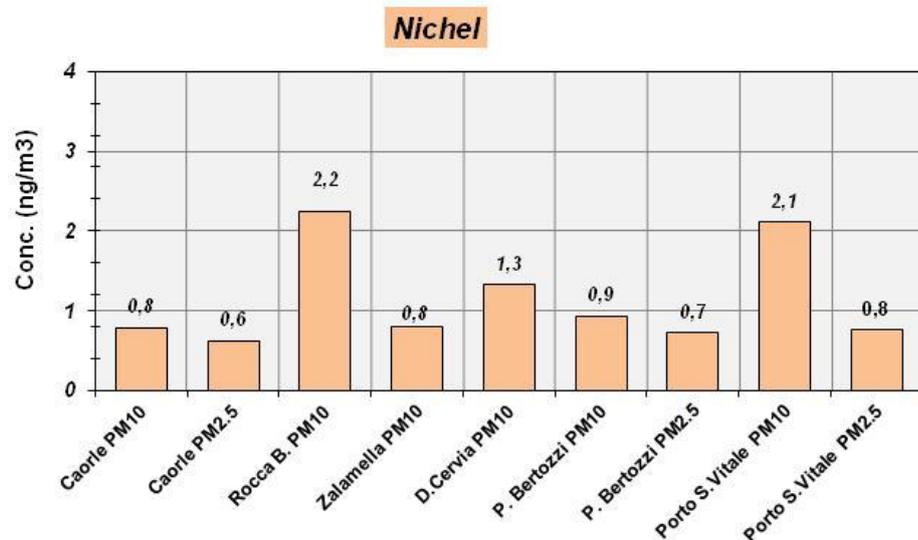


Figura 4.32
Metalli:
concentrazione media
annuale sul
particolato PM10 e
PM2.5

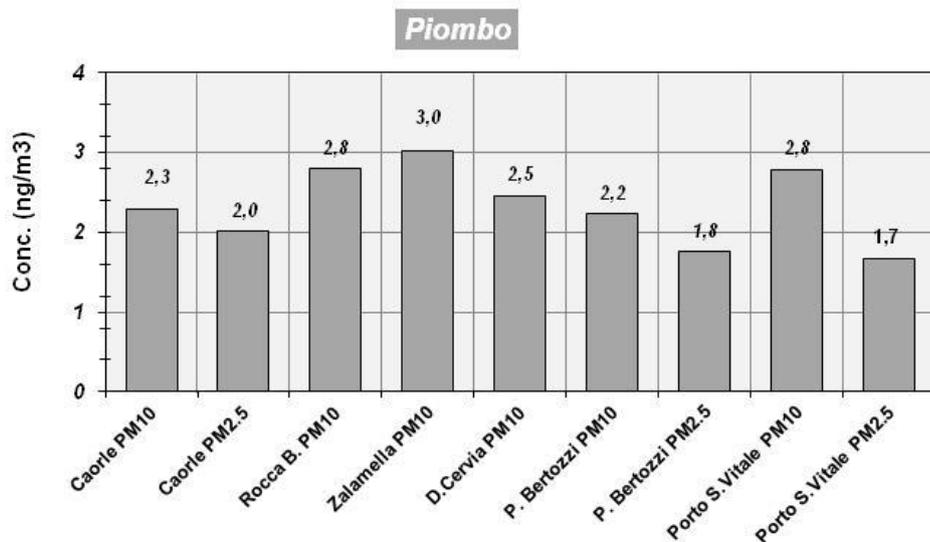


Figura 4.33
Metalli:
concentrazione media
annuale sul
particolato PM10 e
PM2.5

Come prevedibile, nelle stazioni in cui viene misurato sia il PM10 che il PM2.5, le concentrazioni di metalli sono superiori nella frazione granulometrica più grossolana (PM10).

Nelle Figure 4.34 (a) e 4.34 (b) sono riportati gli andamenti mensili di tutte le stazioni della Rete Regionale e le Locali.

Il valore massimo del Piombo (Pb) è stato rilevato a Zalamella (Traffico Urbano) a dicembre mentre il Cadmio (Cd) ha il massimo a settembre nella stazione di Rocca Brancaleone (Locale industriale/urbana). I valori di Cromo e Vanadio risultano più elevati, nella stazione di Porto San Vitale (Locale industriale) a febbraio (Cr) e a maggio (V) mentre il Nichel ha un picco (14,9 ng/m³) nella stazione di Rocca Brancaleone nel mese di maggio.

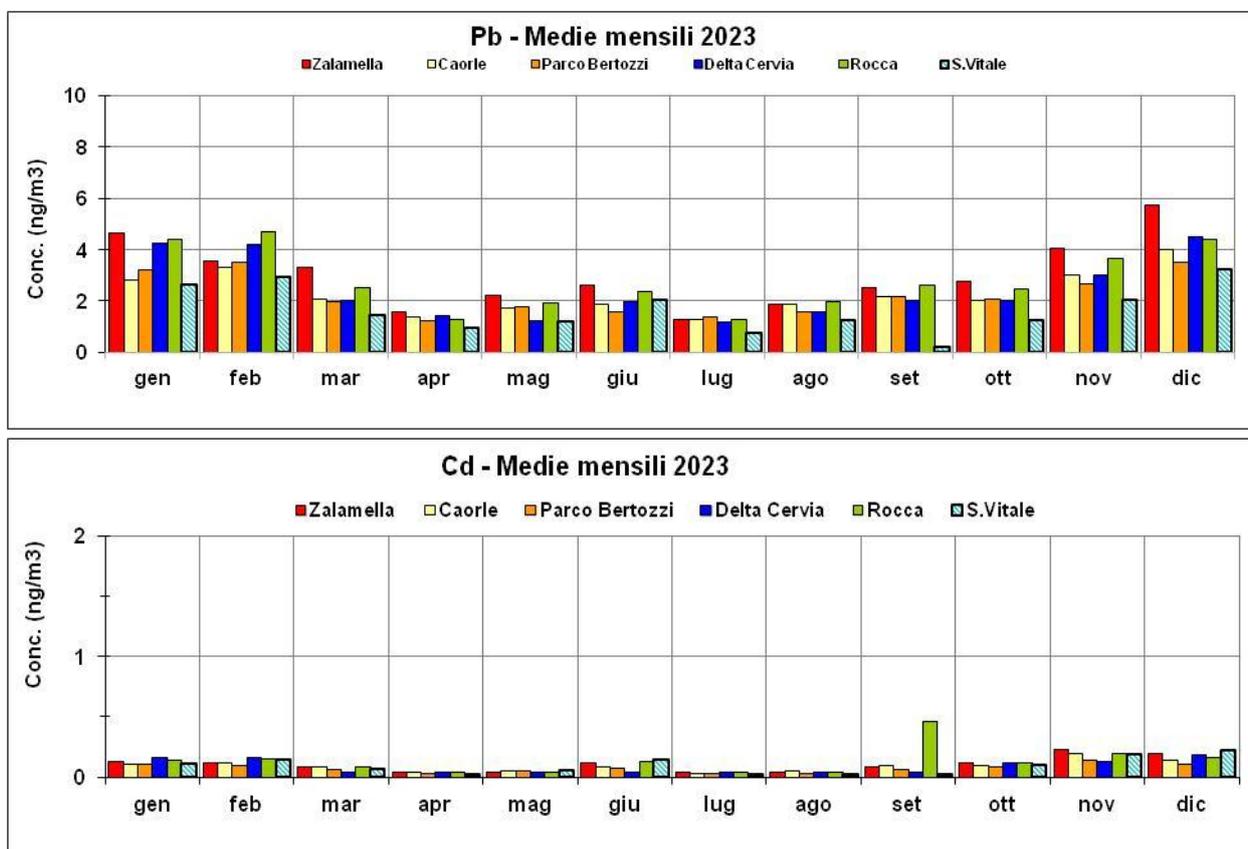


Figura 4.34 (a) – Medie mensili di piombo e cadmio nel particolato PM10 – Anno 2023

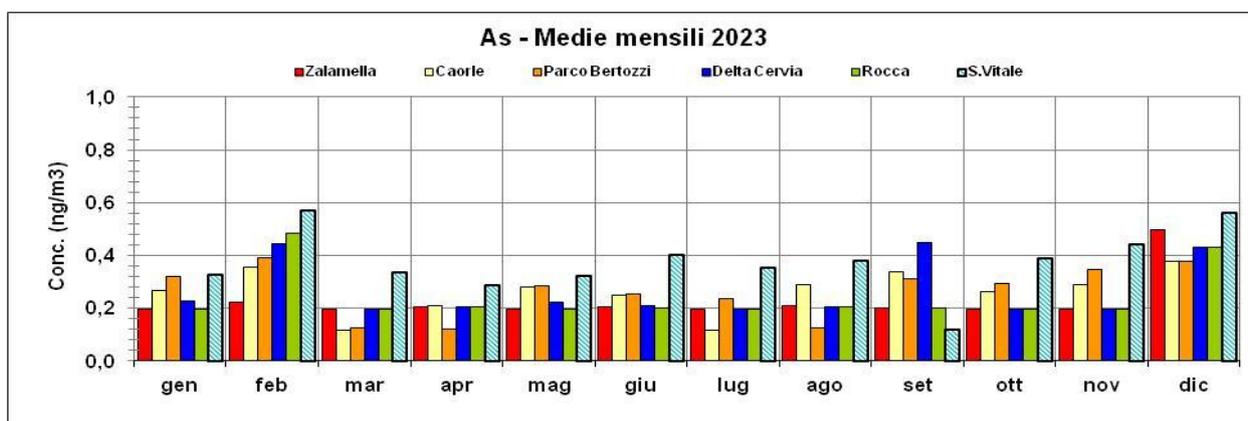
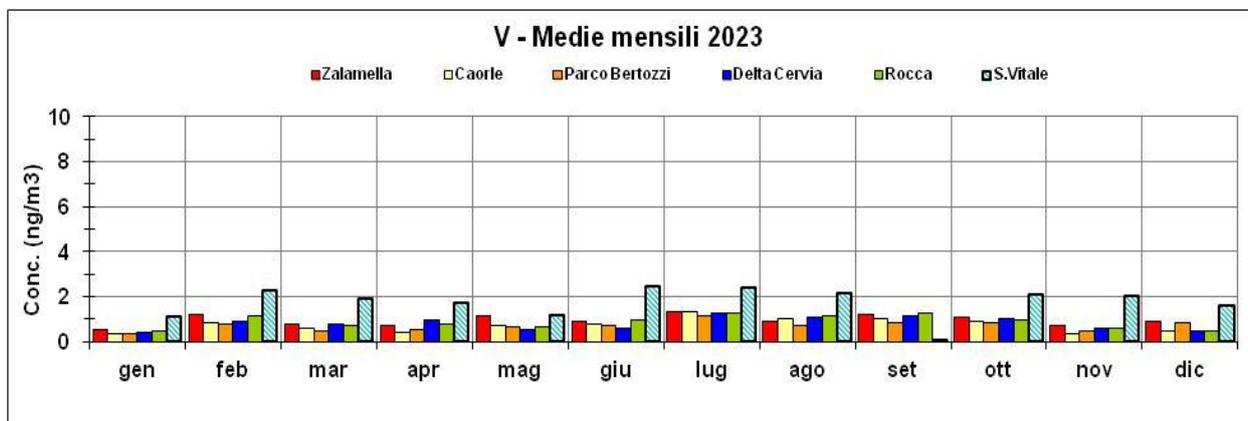
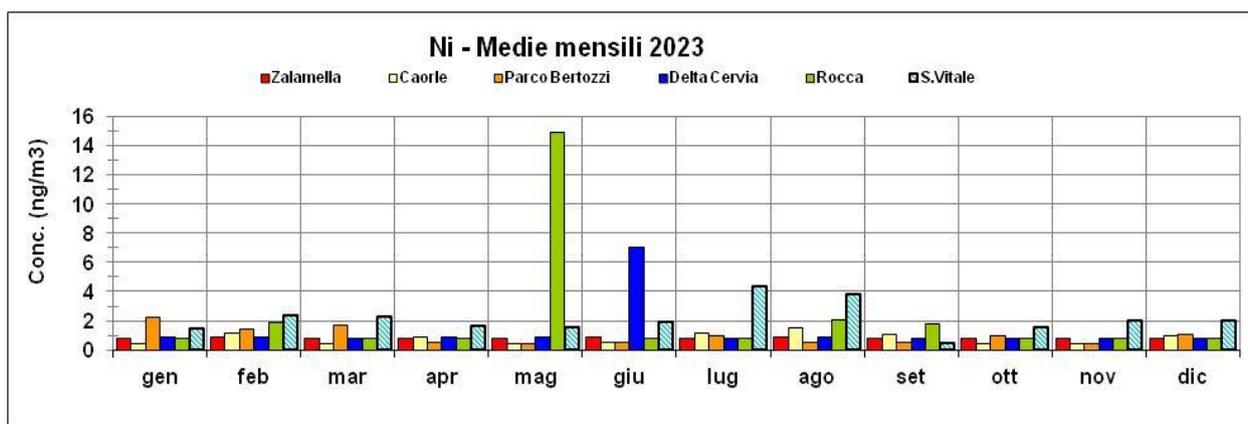
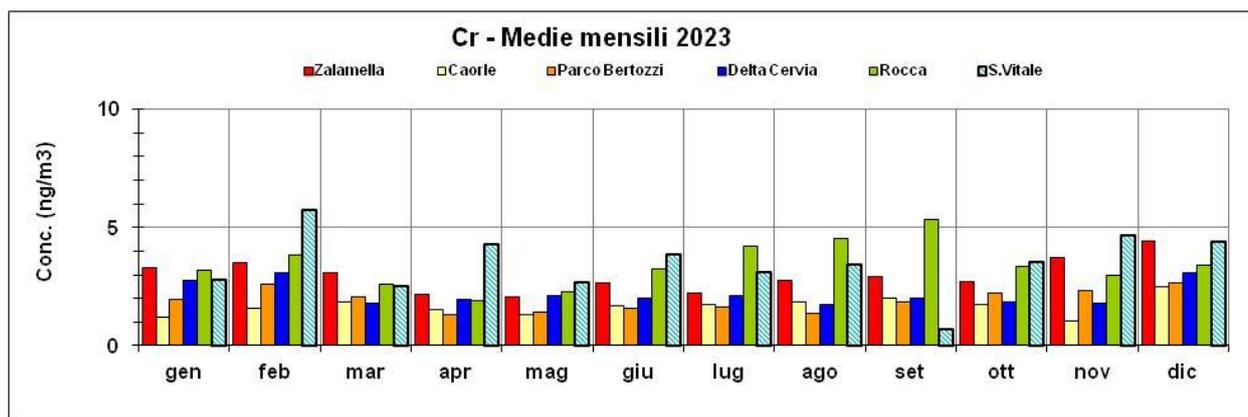


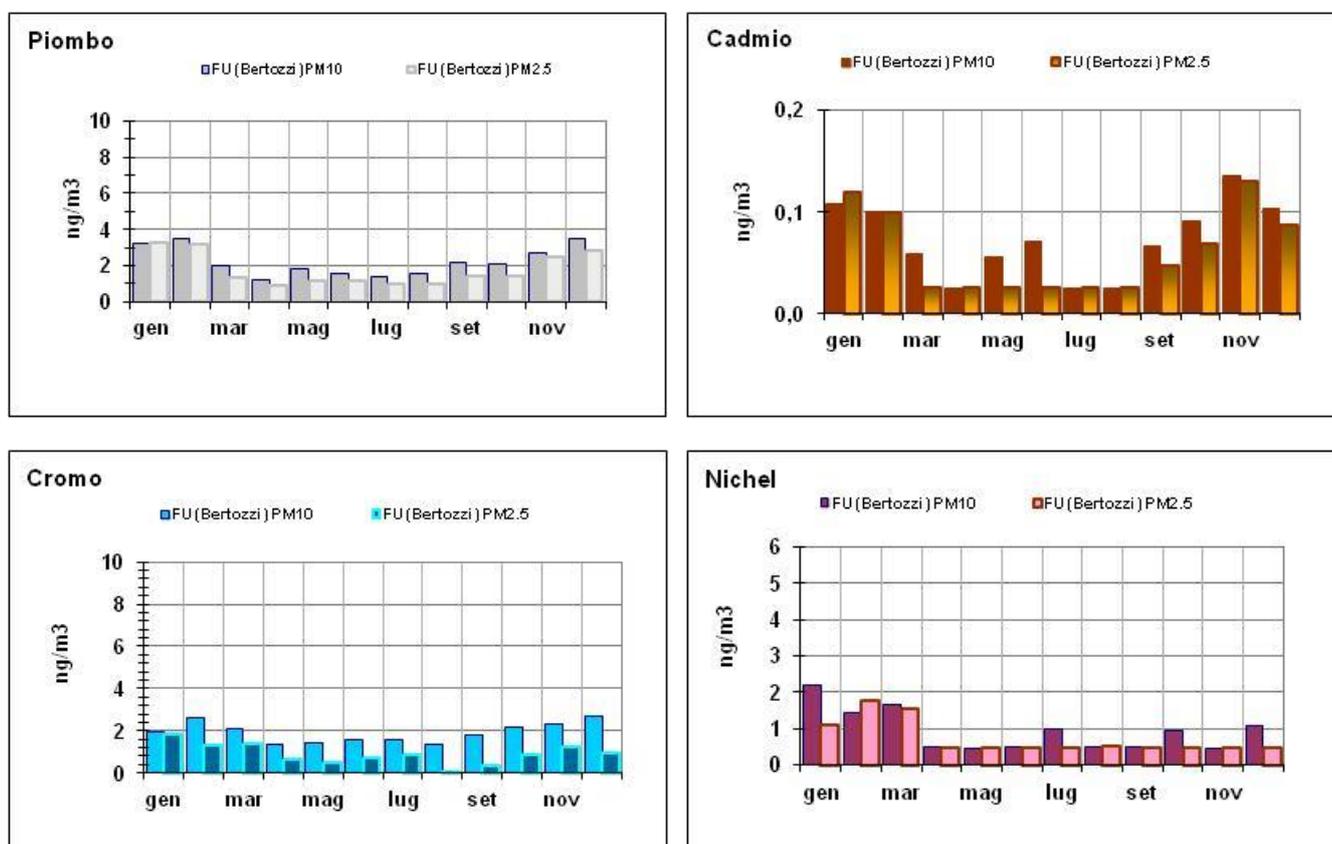
Figura 4.34 (b) – Medie mensili di cromo, nichel, vanadio e arsenico nel particolato PM10 – Anno 2023

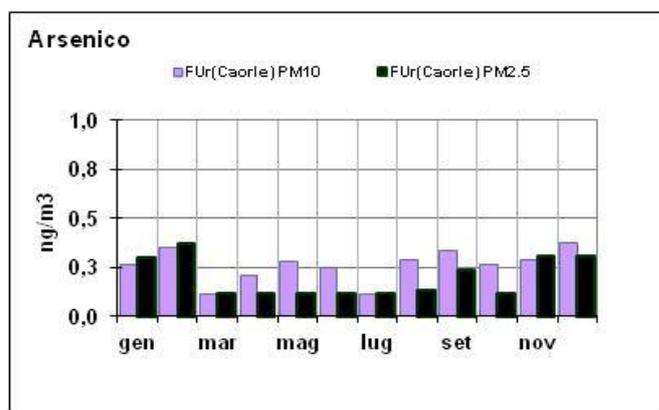
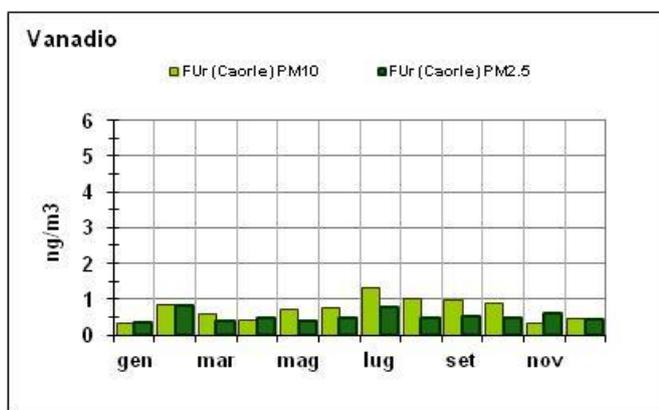
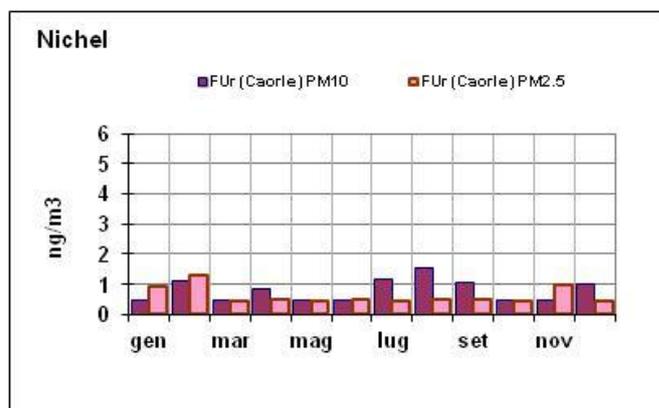
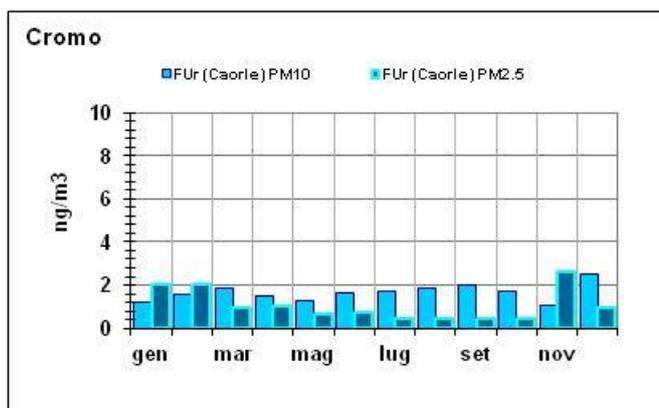
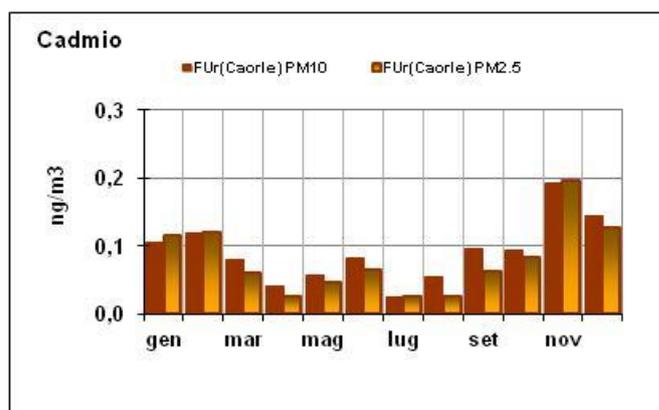
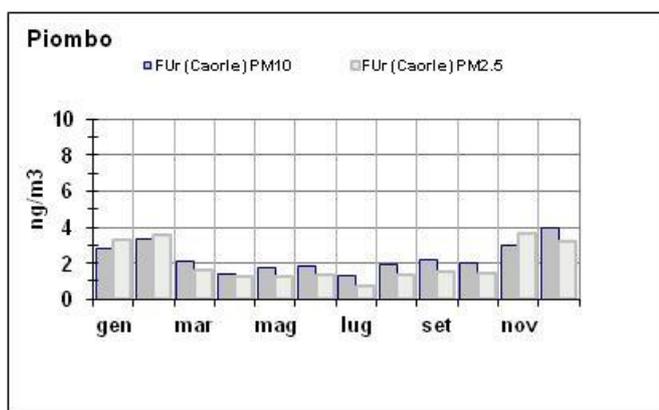
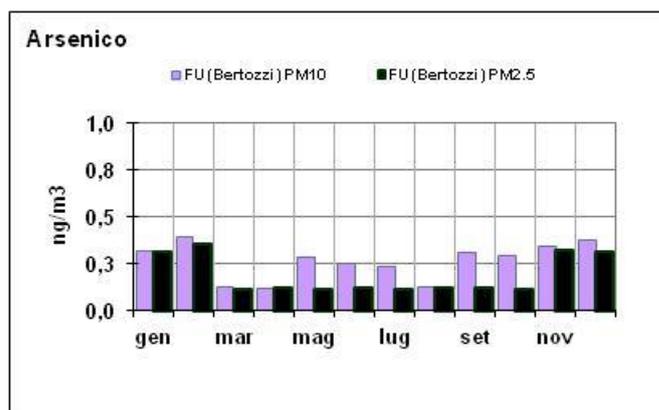
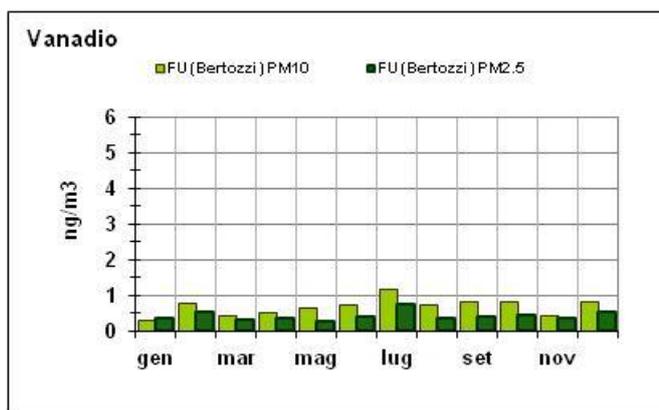
Le concentrazioni misurate sul PM10 delle stazioni di Ravenna (RRQA e Stazioni Locali) confrontate con i dati storici pubblicati dall'ISS (2004) e con i campionamenti effettuati nell'area urbana di Bologna (2004-2005) mostrano una diminuzione generalizzata di tutte le concentrazioni che negli ultimi 20 anni ed in particolare per Piombo, Arsenico e Nichel. Mentre se confrontiamo i dati medi annuali di Ravenna (di tutte le stazioni) del 2023 con i dati con i dati più recenti (2022), misurati sul PM10 della stazione di Fondo Urbano di Bologna (Giardini Margherita) si può notare che i dati sono delle stesso ordine di grandezza per tutti i metalli normati (Tabella 4.21).

<i>Metallo</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>V</i>	<i>Pb</i>
Concentrazione (ng/m ³) ISS Anno 2004	-	4,8	1,7	0,3	-	10
Concentrazione (ng/m ³) sul PM10 Bologna Anni 2004-2005	3,1	4,0	1,4	0,6	1,5	18
Concentrazione (ng/m ³) sul PM10 Bologna stazione di fondo urbano Anno 2022	-	1,1	0,3	0,1	-	2,5
Concentrazione (ng/m ³) media a Ravenna (sul PM10 di tutte le stazioni) Anno 2023	2,6	1,4	0,3	0,1	1,0	2,6

Tabella 4.21 Confronto concentrazioni medie annuali in ng/m³ di alcuni metalli rilevate a Bologna (2004-2005) e anno 2022, dati ISS 2004,

Gli istogrammi delle concentrazioni medie mensili di metalli nel particolato PM10 e PM2.5 rilevate nelle stazioni di Parco Bertozzi (Fondo Urbano), Caorle (Fondo Urbano Residenziale) e Porto San Vitale (Stazione Locale Industriale/Portuale) sono riportati in Figura 4.35.





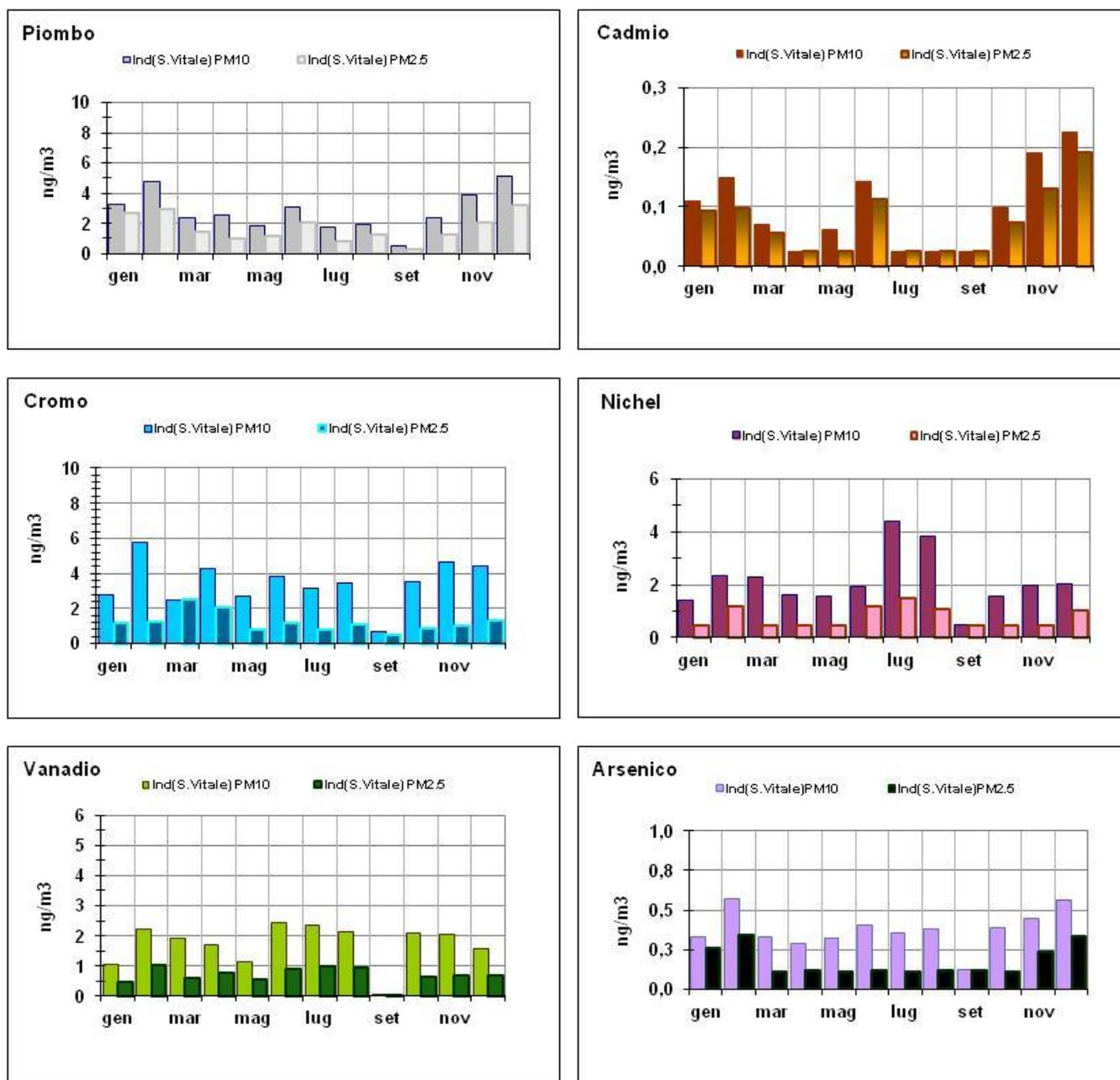


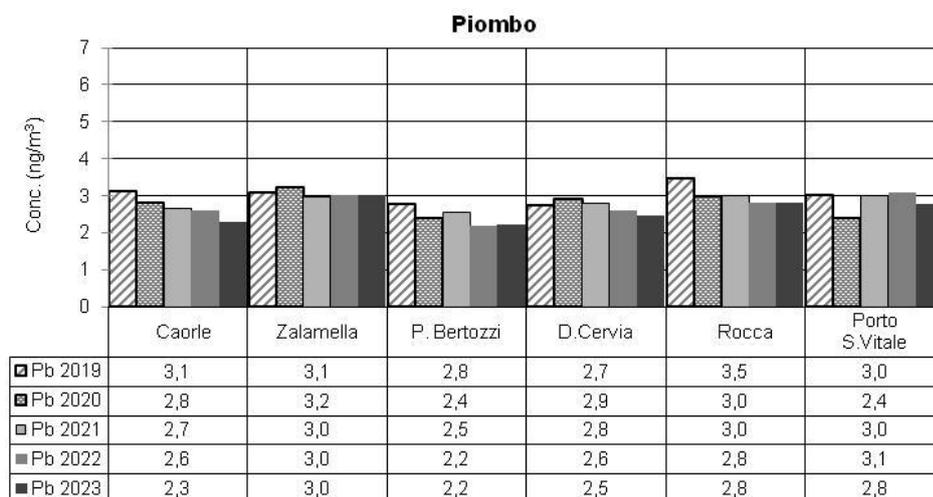
Figura 4.35 – Medie mensili di alcuni metalli nel particolato PM10 e PM2.5 – Anno 2023

Seguono i grafici (Figura 4.36 e 4.37) delle concentrazioni medie annuali dal 2019 al 2023:

- le concentrazioni di Piombo nel 2023 sono leggermente in calo o uguali all'anno precedente e in diminuzione rispetto al triennio 2019-2021
- il Cadmio, nel 2023, presenta concentrazioni analoghe o minori rispetto gli anni precedenti;
- Cromo e Nichel, nella maggior parte delle stazioni, presentano concentrazioni analoghe rispetto agli anni precedenti.
- il Vanadio presenta valori analoghi ai tre anni precedenti, che se confrontati con il 2019 risultano quasi dimezzati in tutte le stazioni

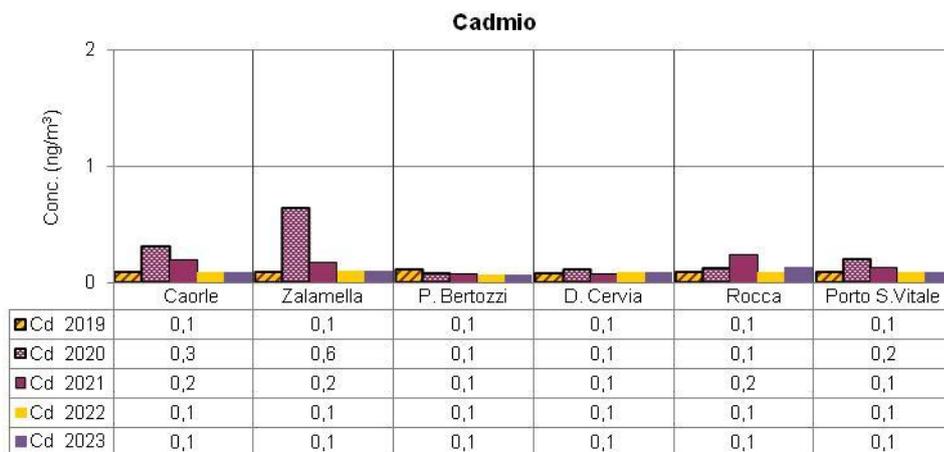
In sintesi, nel 2023 i valori obiettivo (per Arsenico, Cadmio e Nichel) e il valore limite (per il Piombo) previsti dalla normativa sono ampiamente rispettati.

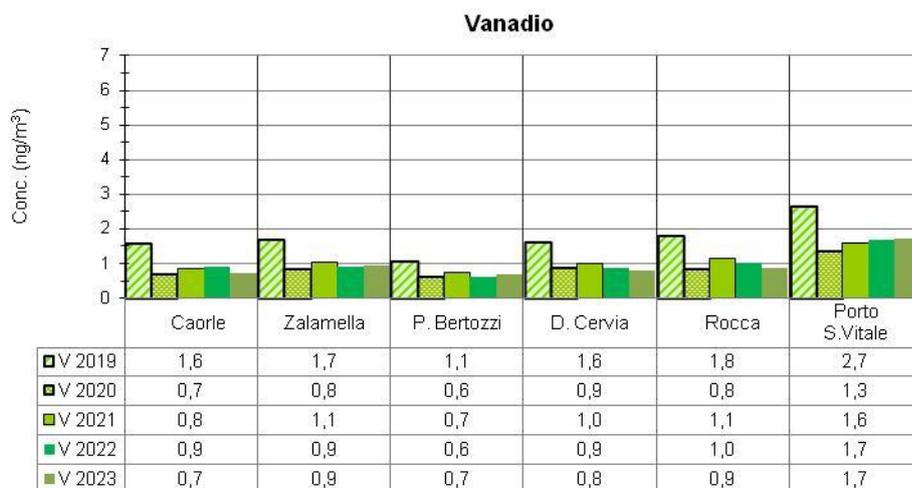
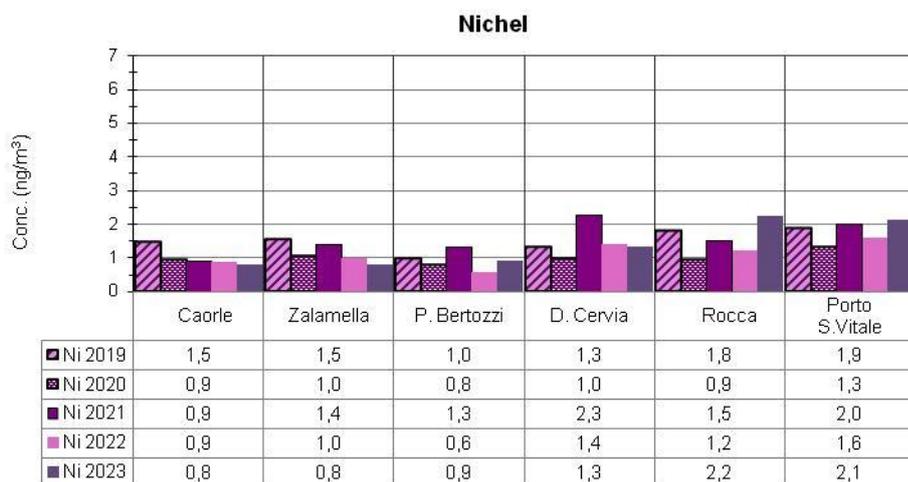
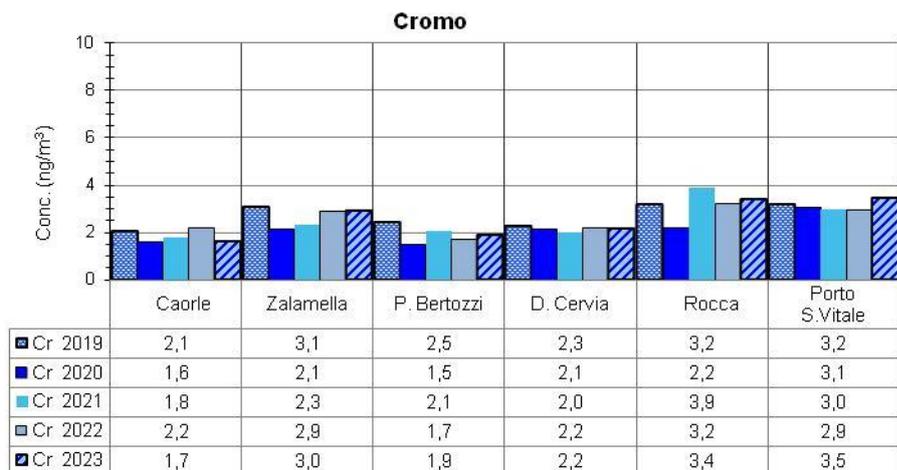
I dati di Vanadio e Cromo, per i quali non sono stati fissati dalla normativa valori obiettivo, vengono confrontati con i dati indicati dall'OMS, e mostrano concentrazioni in linea con quelle che si trovano in letteratura per le grandi aree urbane, ad esclusione della stazione industriale del Porto che presenta valori leggermente superiori anche se inferiori rispetto gli anni precedenti.



**Figura 4.36 –
Andamento medie
annuali di alcuni
metalli nel
particolato PM10 –**

Anni 2019 ÷ 2023





**Figura 4.37 –
Andamento medie
annuali di alcuni
metalli nel
particolato PM10**

Anni 2019 ÷ 2023

4.9.3 Diossine, Furani e Policlorobifenili nel particolato PM10, PM2.5

Diossine (**PCDD**) - Furani (**PCDF**) e Policlorobifenili (**PCB**), 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, erano prodotti a scopo industriale, 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 altri POPs sono stati vietati o sottoposti a restrizioni d'uso in molti paesi, tra cui l'Italia.

Il termine **Diossine - Furani** 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, ad esempio incendi. ISPRA, nella pubblicazione del 2006 (Quaderni APAT ISBN 88-448-0173-6), riporta una stima UE: gli incendi accidentali, con il 21% del totale, sono al secondo posto (dopo la produzione di pesticidi) fra le attività antropiche e naturali per il rilascio di diossine e furani sul suolo.

Generalmente le diossine vengono rilevate, nelle diverse matrici ambientali, come sommatoria dei diversi congeneri. Da sottolineare che non tutti i congeneri sono tossici, e 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 ed esprimono 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 in "tossicità equivalente" (TEQ) 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: quello introdotto in sede NATO/CCMS nel 1988, denominato sistema i-TEQ (International Toxicity Equivalent), e quello proposto per la prima volta dall'Organizzazione Mondiale della Sanità nel 1998 (Van den Berg, 1998), denominato sistema WHO-TEQ 1998, che ha incluso i fattori di tossicità anche per i 12 congeneri di PCB-DL. Nel 2005 il sistema WHO-TEQ è stato aggiornato modificando alcuni fattori di tossicità equivalente: tale sistema è riconosciuto come WHO-TEQ 2005 (Van den Berg, 2006).

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 TEF dal WHO. In particolare, 12 PCB hanno proprietà tossicologiche molto simili a quelle delle diossine e per questo motivo vengono chiamati PCB-DL (Dioxin Like). 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 TEF possono essere sommati a 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 indica, per la concentrazione in aria (seduta del 12/02/1988), un livello di azione per PCDD e PCDF pari a 40 fg/m³ in unità I-TEQ (espresso in tossicità equivalente utilizzando i Fattori di Tossicità NATO del 1988, I-TEQ), mentre l'OMS, per esposizioni prolungate nel tempo a concentrazioni maggiori o uguali di 300 fg WHO-TEQ/m³, suggerisce "di indagare la presenza di sorgenti da porre sotto controllo". Un ulteriore riferimento è il limite di 150 fg/m³ WHO-TEQ stabilito dal Comitato Federale tedesco per il controllo dell'inquinamento atmosferico (LAI, 2004).

Valutazione in sintesi

<i>Indicatore</i>	<i>Copertura temporale</i>	<i>Stato indicatore</i>	<i>Trend</i>
Concentrazione in aria di PCDD, PCDF e PCB	2019-2023		

Nel 2023 le concentrazioni medie dei congeneri ricercati risultano inferiori ai valori limite consigliati dalla Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale ed ai valori di fondo riportati in letteratura. Non si sono riscontrati particolari criticità ed in molti casi, le concentrazioni sono inferiori al limite di quantificazione strumentale³.

Per quanto riguarda il trend, nel periodo monitorato, le concentrazioni non presentano variazioni significative, tranne per la classe dei policlorobifenili (PCB), per i quali si sono rilevate concentrazioni inferiori rispetto all'annualità precedente ed inferiori rispetto ai limiti di quantificazione.

La valutazione dell'indicatore, date le caratteristiche di questi composti, non viene comunque classificata positiva, mentre lo è quella del trend (sostanzialmente invariato).

Anche in considerazione della necessità di avere valori di riferimento locali in casi di eventi incidentali (es. incendi), si sottolinea l'importanza di mantenere un sistematico controllo dei POP's e, quindi, della prosecuzione delle attività di monitoraggio con le modalità ad oggi implementate.

<i>PCDD, PCDF e PCB-DL</i>				<i>Concentrazione nelle frazioni PM10 e PM2.5 Medie annuali (TEQ)</i>			
<i>Stazione industriale</i>	<i>Frazione granulometrica</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>PCDD L. Q. 2 fg/m³</i>	<i>PCDF L. Q. 1 fg/m³</i>	<i>PCB-DL L. Q. 3 fg/m³</i>	<i>TOTALE fg/m³</i>
Germani	PM10	Industriale	99	< 2	2	< 3	4.5
	PM2.5	Industriale	99	< 2	3	< 3	5.5
Marani	PM10	Industriale	98	2	3	< 3	6.5
	PM2.5	Industriale	98	< 2	3	< 3	5.5
Agip29	PM10	Industriale	94	2	4	< 3	7.5
	PM2.5	Industriale	94	2	4	< 3	7.5

Tabella 4.22 – Diossine (PCDD), Furani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB) sul particolato PM10 e PM2.5: medie annuali (concentrazioni espresse come TEQ)

Il monitoraggio dei **POPs** adsorbiti sul particolato PM10 e PM2.5 della rete di Ravenna viene effettuato analizzando i campioni raccolti in tre delle stazioni della Rete Industriale Privata, gestita dal Consorzio

³ Il metodo e la strumentazione analitica utilizzata consentono di determinare concentrazioni dell'ordine di qualche femtogrammo [fg = 10⁻¹⁵ g], cioè di qualche milionesimo di miliardesimo di grammo → Limite di Quantificazione [L.Q.]

di Imprese “Ravenna Sistemi Industriale” (RSI): Germani, Marani e Agip29 (Fig.4.38). La scelta è ricaduta su queste tre postazioni in quanto sottovento rispetto alla zona industriale dove si stimano più significative le ricadute delle emissioni di questi macrosettori.

Le analisi per la ricerca dei microinquinanti sono eseguite nel Laboratorio Multisito Arpae di Ravenna. In Tabella 4.22 sono riportate le medie annuali di Diossine, Furani e PCB rilevate sulle frazioni PM10 e PM2.5 delle tre stazioni della rete industriale.

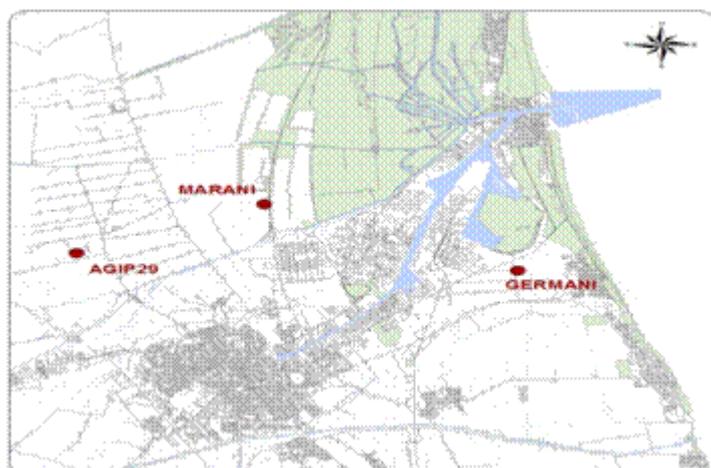


Figura 4.38 – Localizzazione sul territorio delle tre stazioni RSI in cui viene monitorato il particolato per la ricerca di POPs

In Figura 4.39 sono rappresentate le concentrazioni medie annuali di diossine (esprese in femtogrammo su metro cubo [fg/m³]) adsorbite sul particolato (PM10 e PM2.5) raccolto in corrispondenza delle tre stazioni di monitoraggio. La concentrazione media annuale di diossine (media annuale Σ) è calcolata come somma delle concentrazioni delle sette diossine congeneri indicate in legenda: l'altezza di ogni segmento colorato all'interno di ciascuna barra è proporzionale alla concentrazione media annuale con cui il congenere contribuisce alla media annuale somma delle sette diossine indicate.

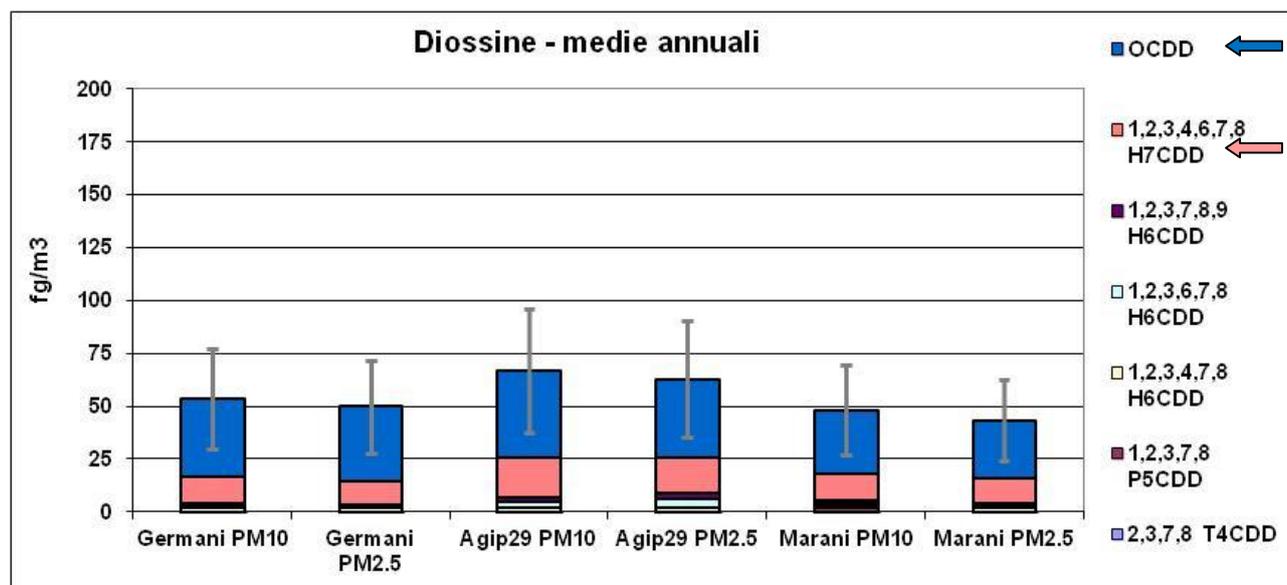


Figura 4.39 – Concentrazioni medie annuali di diossine nel particolato – Anno 2023

Nel 2023 le concentrazioni medie Σ sono generalmente basse e si attestano fra circa 43 e 67 fg/m³, valori inferiori a quelli riportati in letteratura.

In generale, i congeneri che concorrono maggiormente sono OCDD e 1,2,3,4,6,7,8 H7CDD, congeneri caratterizzati da un TEF (fattore di tossicità equivalente) pari, rispettivamente, a 0.001 e

0.01. Infatti, la concentrazione dei POPs adsorbiti sul particolato viene calcolata tenendo conto anche della tossicità relativa (rispetto alla TCDD - 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina): ogni congenere viene moltiplicato per il proprio «fattore di tossicità equivalente (TEF)» definito in riferimento alla diossina TCDD, per la quale si assume un TEF uguale a 1.

Di seguito si riportano:

- I fattori di tossicità equivalente (TEF) per Diossine e Furani proposti dalla classificazione internazionale (**I-TFE**) e quelli indicati dall'Organizzazione mondiale della sanità (**WHO-TFE**) (Tabella 4.23). Le due classificazioni (rispetto ai 17 congeneri considerati) differiscono solo per il peso dato al 1,2,3,7,8 P5CDD: il WHO attribuisce a tale composto lo stesso fattore della 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina (WHO-TEF = 1), mentre la classificazione internazionale gli attribuisce un I-TFE, rispetto alla TCDD uguale a 0,5 (I-TEF = 0,5).

PCDD e PCDF (Diossine e Furani)		I-TEF (NATO/CCMS, 1988)	WHO-TEF (2005)
Diossine	2,3,7,8- TCDD	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	0,0003
Furani	2,3,7,8 T4CDF	0,1	0,1
	1,2,3,7,8 P5CDF	0,05	0,03
	2,3,4,7,8 P5CDF	0,5	0,3
	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	0,0003	

Tabella 4.23 – TEF relativi per diossine e furani. I singoli composti risultano avere un fattore di tossicità equivalente compreso fra 0,5 (50%) e 0.0001 (0.01%)

- I fattori di tossicità equivalente (TEF) per i Policlorobifenili (PCB), proposti dal WHO (2005), espressi in riferimento alla diossina TCDD (Tabella 4.24). I PCB risultano decisamente meno tossici della TCDD: da un decimo (PCB 126 – I-TEF = 0,1) a 0,3 milioni.

PCB	WHO-TEF (2005)
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 4.24 – TEF di alcuni PCB (in riferimento alla diossina TCDD ⇒ PCB-DL)

Utilizzando i relativi TEF è possibile valutare la “tossicità equivalente” anche dei PCB (PCB-DL cioè PCB-Dioxin Like) e calcolare la tossicità del particolato tenendo conto dei POPs presenti, sommando quindi Diossine, Furani e Policlorobifenili.

In Tabella 4.25 sono riportate le percentuali di TCDD rilevate nel particolato rispetto alla somma delle sette diossine (PCDD) congeneri (prima riga) e dei diciassette congeneri diossine e furani (PCDD + PCDF – seconda riga): la percentuale di TCDD sul totale delle diossine (PCDD - riga 1 della Tabella 4.25) si attesta intorno ad un valor medio di 1.17%, mentre – se si considerano anche i furani (riga 2 in tabella) – tale percentuale quasi si dimezza.

	Germani PM10	Germani PM2.5	Agip29 PM10	Agip29 PM2.5	Marani PM10	Marani PM2.5
% di TCDD su tot PCDD	1.14%	1.21%	0.98%	1.04%	1.21%	1.41%
% di TCDD su tot PCDD+PCDF	0.74%	0.76%	0.58%	0.62%	0.72%	0.78%

Tabella 4.25 – % di TCDD nelle concentrazioni medie annuali nel particolato – Anno 2023 – rispetto alla sommatoria di sole diossine e diossine e furani (senza tener conto del «fattore di tossicità equivalente» I-TEF)

I dati bibliografici sulle concentrazioni in aria ambiente di POPs sono piuttosto scarsi. Di seguito (Tabella 4.26) si riportano:

- i valori di fondo di PCDD e PCDF rilevati in diverse località del Nord America, rappresentativi di zone lontane da potenziali sorgenti emmissive, ricavati dal documento Apat, 2006;
- le concentrazioni in aria ambiente di PCB totali riportati dall'Istituto Superiore di Sanità;
- i valori di fondo per diossine, furani e policlorobifenili (sommati TEQ-WHO 2005) risultati di uno studio condotto nel territorio veneto da ARPAV nel 2015 (ARPAV, Diossine, furani e PCB-DL in Veneto. Valutazione dei livelli di alcuni microinquinanti organici in aria ambiente su tutto il territorio regionale. Allegato alla Relazione annuale Qualità dell'Aria, 2015).

	Area	PCDD/PCDF WHO-TEQ [fg/m ³]		PCB totali [pg/m ³]
Apat 2006	Urbana, Nord America	120 ± 94	range: 30 - 200	
	Rurale, Nord America	13	range: 4 - 20	
ISS	Rurale, Nord America			2 - 70
	Urbana/Ind. Germania			3300
	Rurale, Germania			3
	Urbana/Ind. Parigi			60 - 200
	Traffico intenso, Roma			1900 – 5400
ARPAV (2015)		range Somma di PCDD/PCDF e PCB-DL WHO-TEQ (2005) [fg/m ³]		
	Belluno			4-15
	Padova			6-74
	Rovigo			8-71
	Treviso			6-56
	Venezia			7-95
	Verona			5-60
	Vicenza			7-46

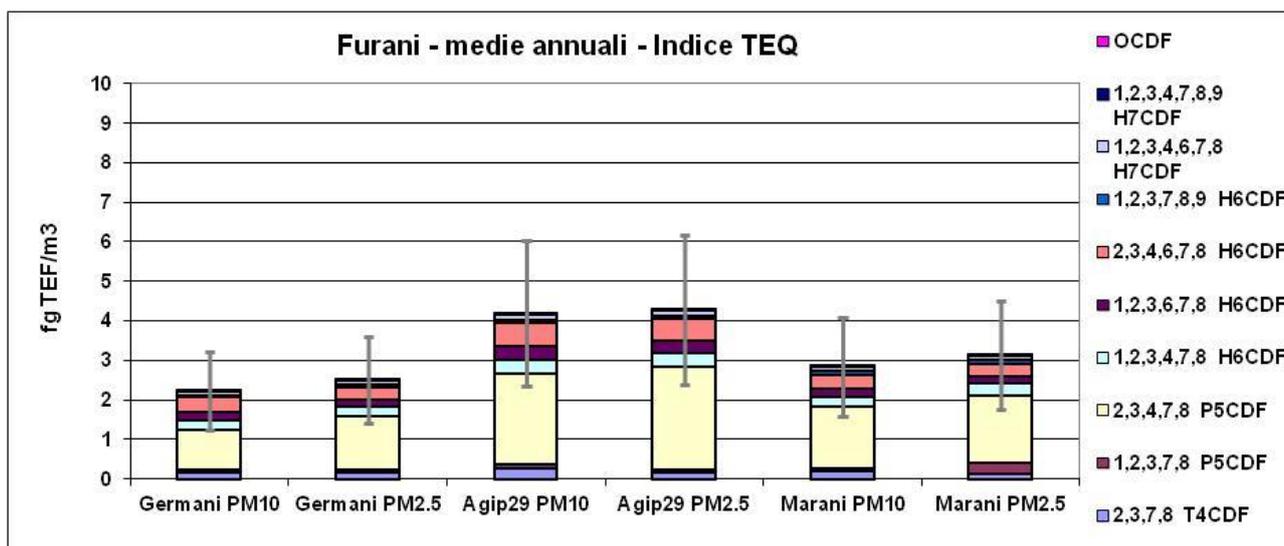
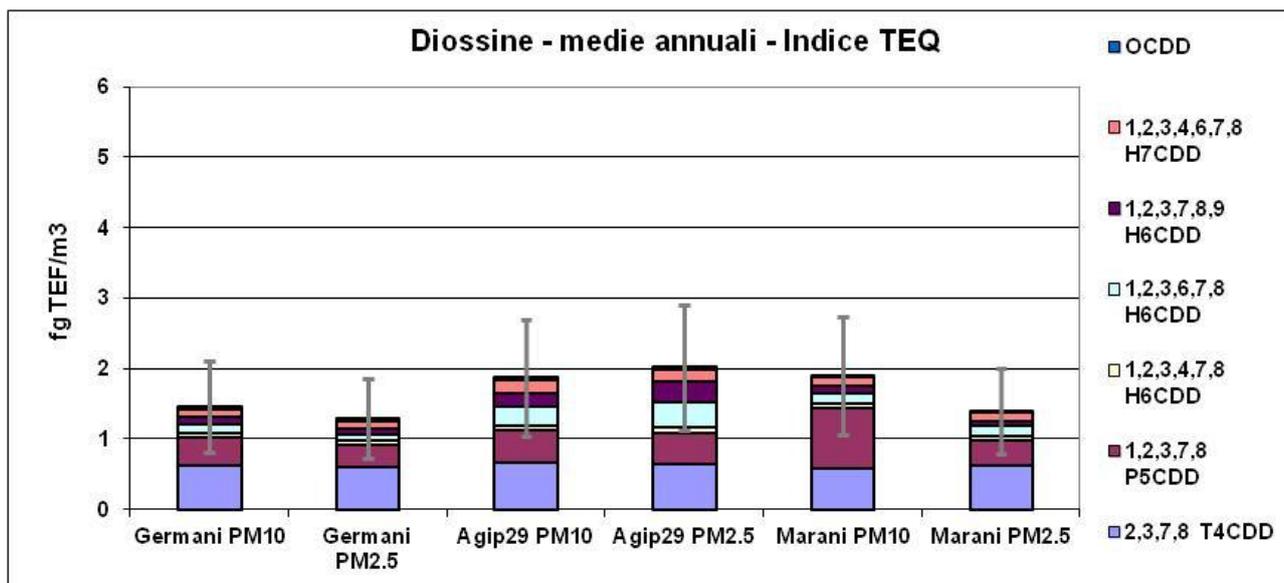
Tabella 4.26 – Concentrazioni di fondo di PCDD/PCDF e di PCB totali

Alla luce di quanto esposto relativamente alla diversa tossicità dei composti analizzati, è utile considerare le concentrazioni medie annuali di diossine, furani e policlorobifenili adsorbite sul particolato, tenendo conto del rispettivo fattore di tossicità equivalente (TEF) (Figura 4.40).

Le concentrazioni totali TEF raggiungono valori da 10 a 100 volte più bassi rispetto alle concentrazioni tal quali. I valori vanno infatti da poco più di 6 (Marani) a meno di 11 (Agip29) fg-TEQ/m³, valori in linea con i valori prossimi al limite inferiore dei range di valori riscontrati nello studio Arpav per il Veneto.

In generale, i congeneri che danno il contributo più significativo alla concentrazione totale TEQ sono:

- per le PCDD → 2,3,7,8 T4CDD, 1,2,3,7,8 P5CDD e 1,2,3,6,7,8 H6CDD;
- per i PCDF → 2,3,4,7,8 P5CDF, 2,3,4,6,7,8 H6CDF e 1,2,3,4,6,7,8 H6CDF;
- per i PCB-DL → PCB 126 e PCB 169.



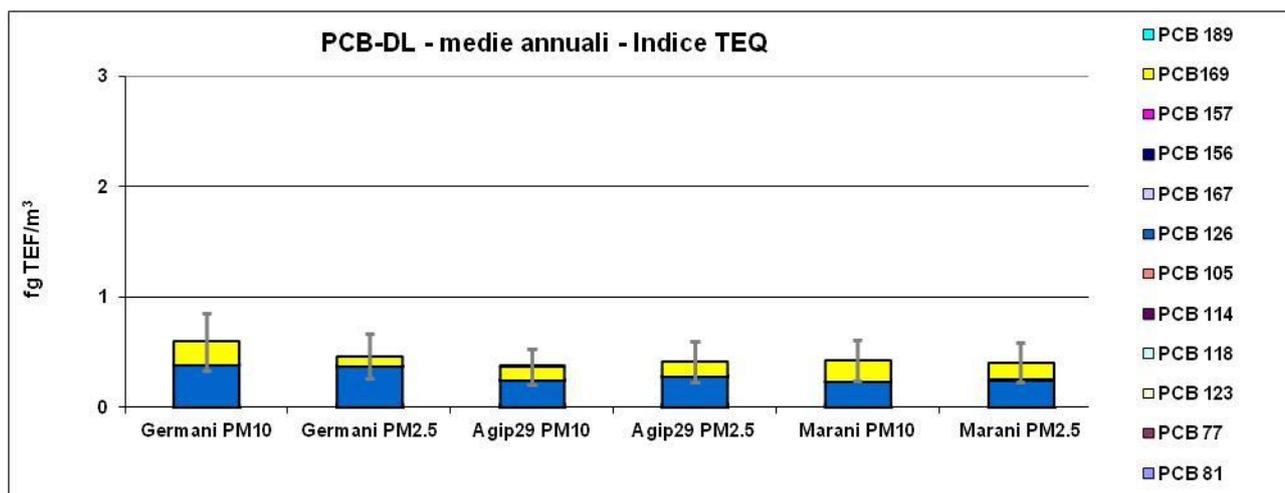


Figura 4.40 – PCDD, PCB e PCDF medie annuali 2023 in Tossicità Equivalente (TEQ)

Sono state calcolate le medie mensili delle concentrazioni totali di PCDD, PCDF e PCB sia come concentrazioni in aria (Figura 4.41, concentrazione espressa in fg-TEQ/m³) sia come concentrazione sulla massa di particolato PM10 e PM2.5 (Figura 4.42, concentrazione espressa in fg-TEQ/μg di particolato) per valutare la variabilità della concentrazione di congeneri in aria e adsorbita sul particolato in funzione della stagionalità e della granulometria.

Sia in aria che sul particolato, le concentrazioni medie mensili risultano più alte nei mesi invernali, con un abbassamento consistente - al di sotto del limite di rilevabilità strumentale - nei mesi estivi. Sono osservabili alcune eccezioni nel mese di giugno per la stazione AGIP29.

Il grafico di Figura 4.42 evidenzia come l'adsorbimento dei POPs sul particolato sia, in periodo invernale, maggiore sulla frazione PM2.5 rispetto al PM10.

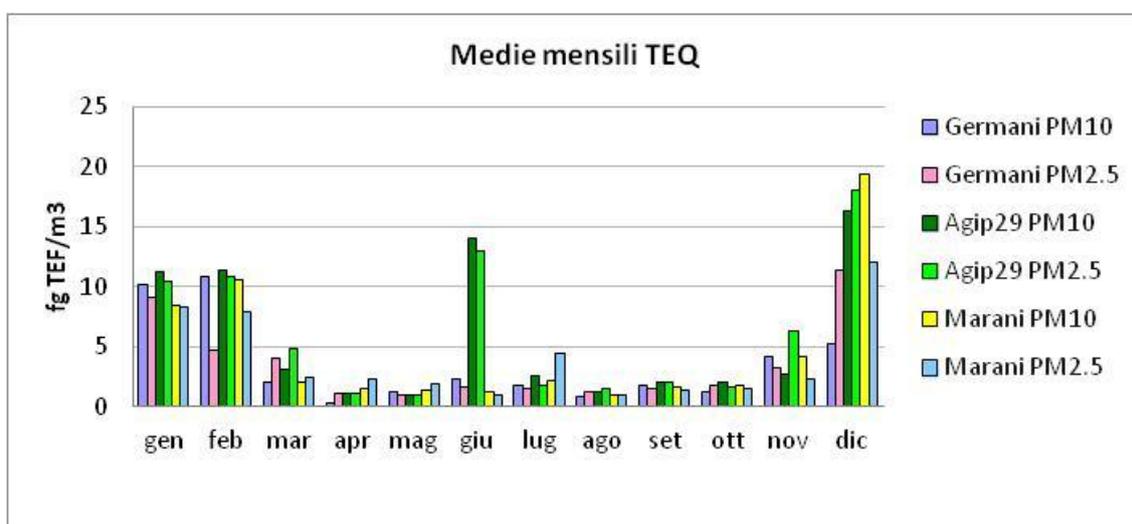


Figura 4.41 – Tossicità equivalente per sommatoria di PCDD, PCDF, PCB - medie mensili 2023

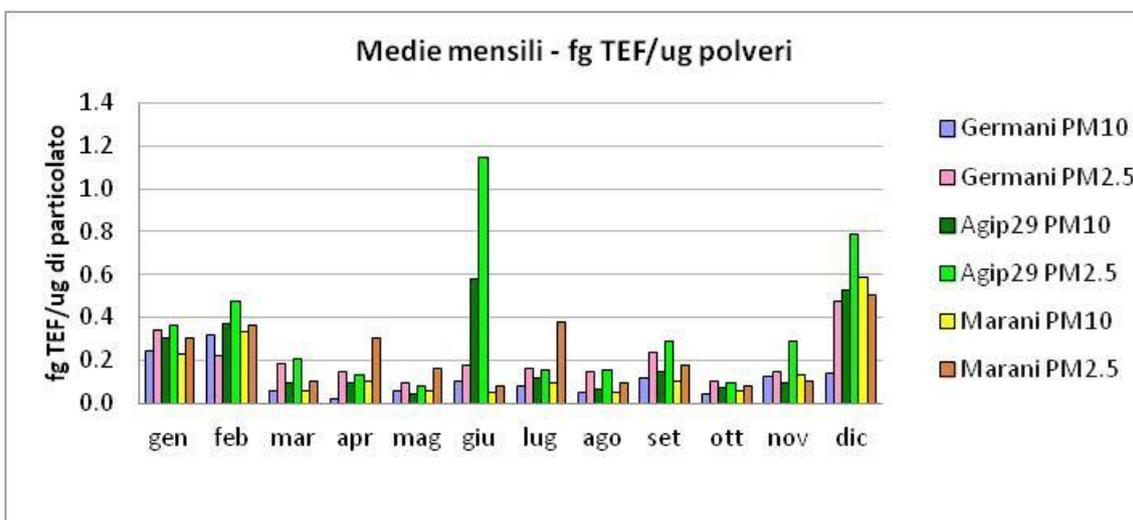


Figura 4.42 – Rapporto fra tossicità equivalente per sommatoria di PCDD, PCDF, PCB e particolato raccolto sui filtri - medie mensili 2023

Per rappresentare l'andamento negli ultimi 5 anni di PCDD, PCDF e PCB-DL, in Figura 4.43 sono riportate le concentrazioni medie annuali per ogni stazione, espresse in termini di tossicità equivalente TEF.

Per tutte le tre classi di composti le medie annuali sono molto contenute (dell'ordine di qualche femtogrammo/m³, cioè di qualche milionesimo di miliardesimo di grammo (10⁻¹⁵ g/m³), così come le variazioni da un anno all'altro.

La concentrazione annuale media delle diossine (Figura 4.43a) nel 2023 è inferiore rispetto all'annualità precedente e in linea con quelle del 2020 e 2021. Sono analoghe le considerazioni anche per i furani (Figura 4.43 b).

Per i PCB-DL (Figura 4.43 c) le concentrazioni sono inferiori superiori rispetto al periodo 2019-2022 e, per la quasi totalità dei casi, inferiori al limite di quantificazione strumentale.

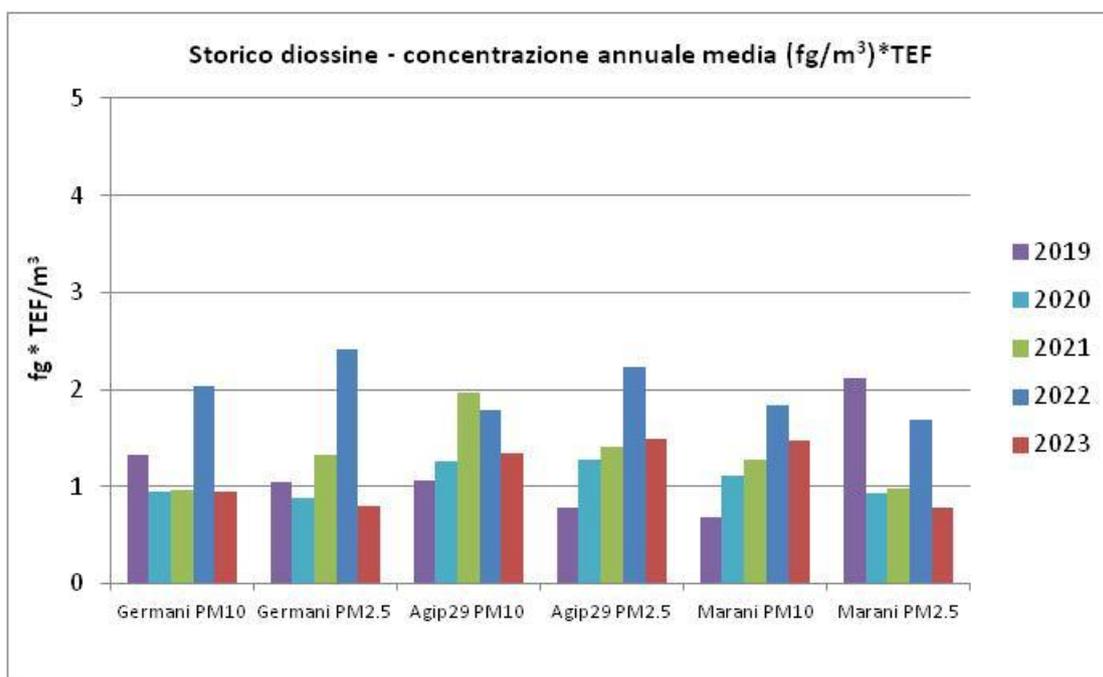


Figura 4.43 a – Trend medie annuali per PCDD

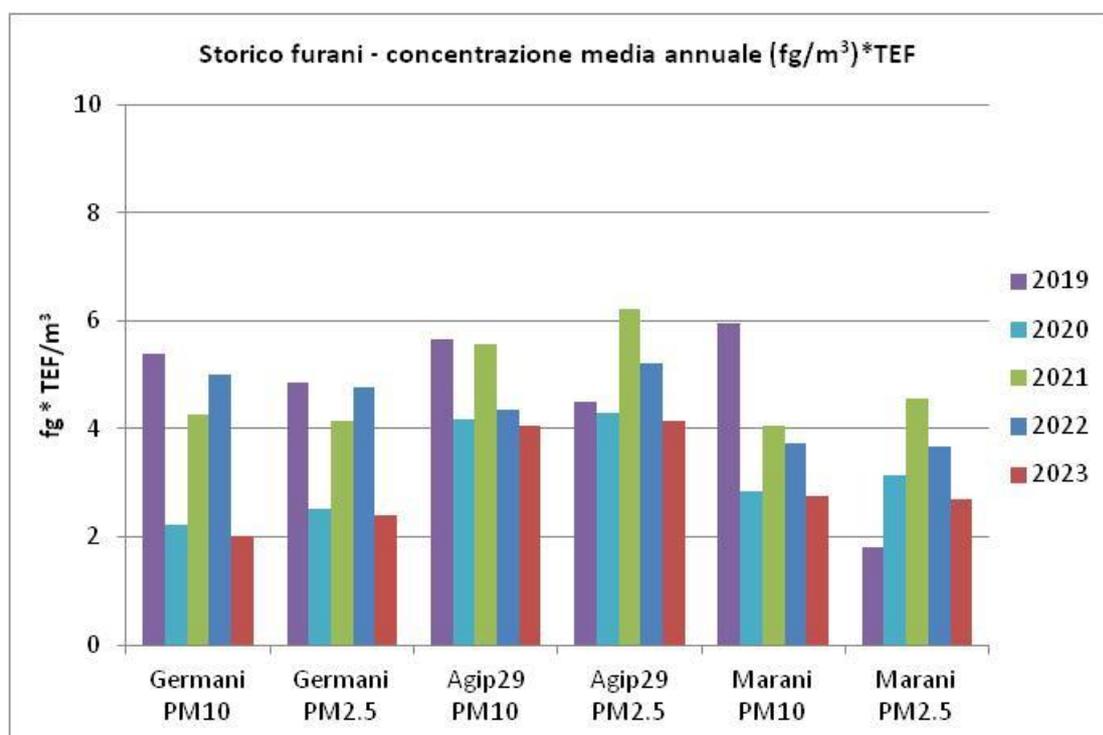


Figura 4.43 b – Trend medie annuali per PCDF

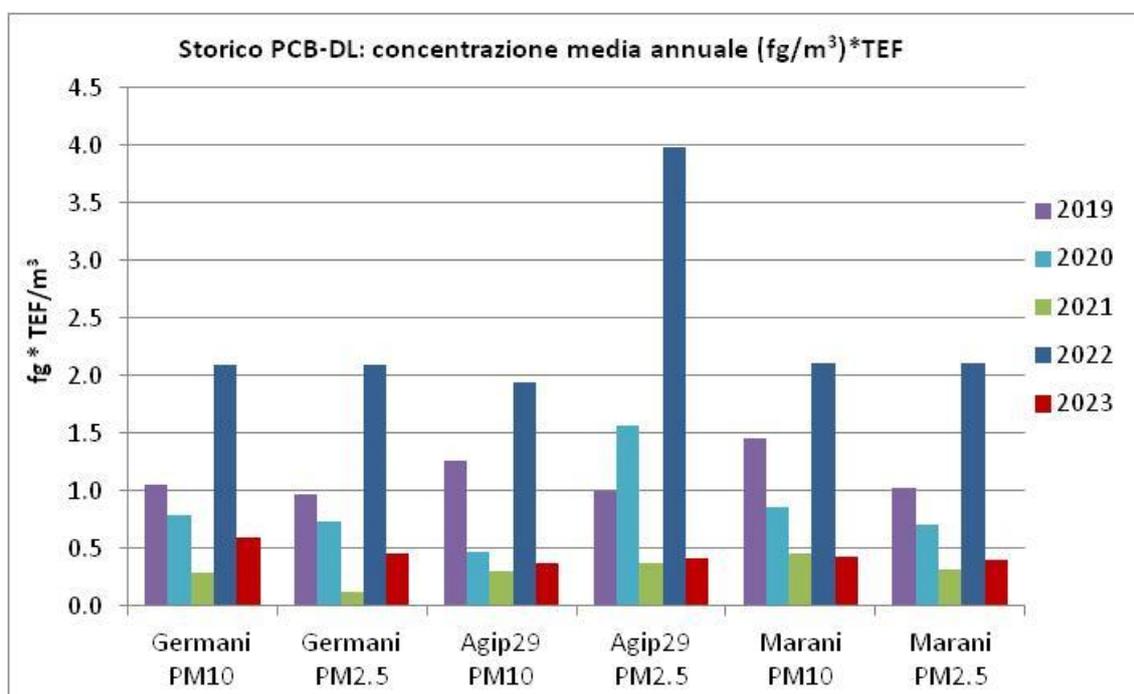


Figura 4.43 c – Trend medie annuali per PCB-DL

5. CONCLUSIONI

Si riporta di seguito una descrizione sintetica dell'andamento dei principali inquinanti per l'anno 2023 in relazione al rispetto o meno dei limiti normativi.

Biossido di Zolfo SO₂

Il biossido di zolfo viene misurato della stazione di Fondo Urbano di Caorle (stazione della Rete Regionale di Qualità dell'aria: RRQA) e nelle due stazioni Locali di Rocca Brancaleone (Industriale/Urbana) e Porto San Vitale (Industriale/Portuale). Le concentrazioni di biossido di zolfo rilevate nel 2023, così come ormai da parecchi anni, sono molto basse (meno del 2% dei dati supera il limite di quantificazione strumentale, pari a 10 µg/m³), ed i livelli sono notevolmente inferiori rispetto a quelli stabiliti dalla normativa vigente.

Il rispetto dei limiti non rappresenta più un problema per l'area di Ravenna, nonostante la presenza di una importante area industriale/portuale: da oltre 20 anni (dal 1999) non si verificano superamenti dei limiti di legge. Anche il valore normativo più restrittivo previsto per questo inquinante (20 µg/m³ come media annuale o media del periodo invernale) non è stato raggiunto da almeno venti anni in nessuna postazione.

Biossido di Azoto NO₂

Il biossido di azoto viene misurato in tutte le stazioni della Rete di Ravenna, sia RRQA che Locali. Il valore limite orario (200 µg/m³) e della media annuale (40 µg/m³), nel 2023, sono rispettati in tutte le stazioni. Dal 2015 si delinea un trend in diminuzione della media annuale che si è stabilizzato negli ultimi anni. Le concentrazioni medie misurate nel 2023, lievemente inferiori all'anno precedente, confermano la stabilità dei valori per la maggior parte delle stazioni.

Il valore più alto della media annuale per il 2023 è pari a 22 µg/m³, di poco superiore alla metà del limite normativo, ed è stato registrato nella stazione di Traffico (Zalamella), così come il massimo orario più alto (92 µg/m³).

Il valore dell'OMS (10 µg/m³) non è mai rispettato, neanche nelle stazioni di fondo sub-urbano e rurale che presentano valori più bassi, rispetto alle stazioni urbane.

È importante mantenere alta l'attenzione su questo inquinante, sia perché l'NO_x è uno dei precursori del particolato secondario e del O₃, sia per le criticità ancora riscontrate a livello regionale, in particolar modo, nelle concentrazioni medie annuali.

Monossido di Carbonio CO

I valori di monossido di carbonio misurati nella stazione di Traffico Urbano di Zalamella e nelle due stazioni Locali (Rocca e Porto San Vitale) mostrano una continua diminuzione nell'ultimo decennio, in tutte le postazioni ed il valore limite per la protezione della salute umana (media massima giornaliera su otto ore pari a 10 mg/m³) è ampiamente rispettato in tutte le stazioni della rete di Ravenna già da parecchi anni e non è mai stato superato neppure nel 2023. Tale andamento, ormai consolidato, fa presupporre che anche in futuro questo inquinante non presenterà particolari criticità.

Il valore più alto della media oraria è pari a 3,2 mg/m³, registrato a Zalamella; inoltre in tutte le postazioni, la maggior parte dei dati è minore o uguale al limite di quantificazione strumentale (0,4 mg/m³): 59% a Zalamella, 54% a Rocca Brancaleone; 61% a Porto San Vitale.

Ozono O₃

L'ozono viene misurato nelle stazioni di Fondo: Urbano, Sub-Urbano e Rurale, dove è previsto che le concentrazioni siano più elevate, in virtù dell'origine esclusivamente secondaria di questo inquinante. A Ravenna si effettuano misure di ozono anche nelle stazioni Locali di Rocca Brancaleone (Industriale/Urbana) e Porto San Vitale (Industriale/Portuale).

I valori di ozono misurati nel 2023 presentano un lieve decremento rispetto al 2022, in linea con il 2021, infatti non si sono registrati superamenti della soglia di informazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in nessuna stazione, mentre lo scorso anno questo valore era stato superato nella stazione di Fondo Sub-Urbano di Delta Cervia. La soglia di allarme ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) non è mai stata superata.

Il superamento del valore obiettivo per la protezione della salute umana, per il 2023, (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 rilevato nella sola stazione di Delta Cervia.

Sebbene il trend storico registri una stabilizzazione in termini di concentrazione di questo inquinante negli ultimi anni, occorre sottolineare che è comunque un inquinante critico per l'intero territorio regionale in quanto i livelli di ozono sono riconducibili all'origine fotochimica e alla natura esclusivamente secondaria di questo inquinante, caratteristiche che rendono la riduzione delle concentrazioni di ozono più complessa rispetto a quella di altri inquinanti primari. Infatti, spesso i precursori dell'ozono sono prodotti anche a distanze notevoli rispetto al punto in cui vengono misurate le concentrazioni maggiori di questo inquinante, e questo rende decisamente più difficile intervenire e pianificare azioni di risanamento/mitigazione.

Benzene C₆H₆

Il benzene è classificato dalla IARC come cancerogeno di classe 1, pertanto, a scopo cautelativo, viene rilevato in tutte le stazioni dell'area urbana di Ravenna. In particolare, nella stazione di Traffico Urbano (Zalamella) ed in quella Locale Industriale/Portuale (Porto San Vitale) viene eseguito un monitoraggio in continuo con dati orari, mentre nella stazione di Fondo Urbano (Caorle) e in quella Locale Industriale-Urbana (Rocca Brancaleone) il monitoraggio è settimanale, eseguito con campionatori passivi. Le concentrazioni medie annue del benzene sono inferiori al limite normativo di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in tutte le stazioni, come oramai da diversi anni. I valori più elevati registrati nel 2023, come previsto, sono stati rilevati nella stazione di Traffico dove il dato della media annuale è pari a $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Particolato PM10

Il PM10 viene misurato in tutte le stazioni della rete di Ravenna, ad esclusione della stazione di Fondo Rurale (Ballirana). Nel 2023 il limite della media annuale del PM10 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è rispettato in tutte le stazioni. Il limite giornaliero (media giornaliera di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte in un anno) è stato superato solo nella stazione Locale di Porto San Vitale (73 superamenti), ed è quindi rispettato in tutte le altre stazioni. I valori più elevati per la RRQA sono stati registrati, nella stazione di Traffico Urbano: media annuale pari a $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e numero di superamenti del limite giornaliero pari a 28. La stagione più critica è quella invernale.

I Valori guida dell'OMS ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione massima sulle 24 ore) sono stati superati in tutte le stazioni.

Analizzando il trend storico di questo inquinante possiamo affermare che la media annuale, già da diversi anni, si attesta attorno al valore di $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi al di sotto del limite di legge ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

(ma che è quasi il doppio del valore guida dell'OMS), mentre il limite giornaliero è stato superato di sovente negli anni precedenti, pertanto il PM10 resta un inquinante critico per il nostro territorio sia per i diffusi superamenti del limite di breve periodo sia per gli importanti effetti negativi che, come è stato dimostrato, ha sulla salute umana.

Particolato PM2.5

Il PM2.5, data la sua origine prevalentemente secondaria, si misura nelle stazioni di Fondo Urbano (Caorle e Parco Bertozzi) e Fondo Rurale (Ballirana). A Ravenna viene misurato anche nella stazione Locale industriale di Porto San Vitale.

Nel 2023 il valore limite della media annuale del PM2.5 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato rispettato in tutte le postazioni, così come il "limite indicativo" ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). I valori più elevati si sono registrati nella stazione di Porto San Vitale ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e per la RRQA a Caorle ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$), influenzata anche dalle ricadute dell'area portuale/industriale (anche se per il 2023 manca il dato di Ballirana poiché la stazione è stata gravemente danneggiata dall'alluvione che a maggio ha interessato tutta la Romagna). La stagione più critica per il PM2.5 è sempre quella invernale, da dicembre a febbraio le concentrazioni sono maggiori ai $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quando le concentrazioni rappresentano oltre il 70% di quelle di PM10.

In nessuna postazione c'è il rispetto del il valore guida dell'OMS-AQG, molto più restrittivo ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pertanto considerata anche la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS possiamo affermare che il PM2.5 resta un inquinante critico per il nostro territorio.