

LA QUALITÀ DELL'ARIA IN PIEMONTE

PM₁₀

NO_x

PM₁₀



ARIA

RAPPORTO 2023

Redazione a cura di:

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Stefano Bande, Manuela Bernardi, Francesca Bissardella, Daniele Gandini, Federica Libanoro, Salvatore Magri, Mariaelena Nicoletta

Dipartimento Territoriale di Alessandria e Asti (Piemonte Sud Est)

Cristina Otta, Cristina Littera

Dipartimento Territoriale di Biella, Novara, Vercelli e VCO (Piemonte Nord Est)

Loretta Badan, Evelina Ballato

Dipartimento Territoriale di Cuneo (Piemonte Sud Ovest)

Luisella Bardi

Dipartimento Territoriale di Torino (Piemonte Nord Ovest)

Milena Sacco

Hanno collaborato alla gestione del sistema modellistico regionale:

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Massimo Muraro, Stefania Ghigo, Cinzia Cascone, Marilena Maringo

Hanno collaborato alla gestione della rete di monitoraggio, all'acquisizione dei dati e alle attività analitiche:

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Roberto Almasio, Flora Garofalo, Silvio Bo

Dipartimento Territoriale di Alessandria e Asti (Piemonte Sud Est)

Donatella Passuello

Dipartimento Territoriale di Biella, Novara, Vercelli e VCO (Piemonte Nord Est)

Adriano Brusco, Diego Colla, Antonello Iovino, Mario Fassi, Roberta Nicolini, Fabio Santoro

Dipartimento Territoriale di Cuneo (Piemonte Sud Ovest)

Lorenzo Giordano, Sara Martini, Paola Molineri, Luca Pascucci, Marco Tosco

Dipartimento Territoriale di Torino (Piemonte Nord Ovest)

Elisa Calderaro, Francesco Romeo, Roberto Sergi, Anna Scibelli

Laboratorio specialistico strumentale (Piemonte Nord Ovest)

Sabina Bertero, Carla Bugnone, Michele Carrera, Iacopo Coretti, Giuseppina Gallina, Laura Milizia, Roberto Mua, Francesco Pitasi, Paola Rosina, Daniela Simondi,

Struttura Radiazioni Non Ionizzanti e Servizio tarature (Dipartimento Rischi Fisici e Tecnologici)

Patrizia Bongiovanni, Gabriella Ippolito, Daniela Rossi, Luca Sartoris

CSI Piemonte

Il personale tecnico della Sala Ambiente di Regione Piemonte presso il CSI Piemonte

Ottobre 2024

Immagine di copertina realizzata da Bianco Tangerine s.r.l.

Sommario

1	Introduzione	6
2	Inquadramento Normativo.....	7
3	Gli strumenti di valutazione.....	10
3.1	Il Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA)	10
3.2	L'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (IREA)	12
3.3	Il Sistema Modellistico Regionale e la valutazione modellistica di qualità dell'aria per l'anno 2023 13	
4	Considerazioni sulla meteorologia del 2023.....	15
5	Il quadro regionale.....	20
5.1	Particolato sospeso: PM10	20
5.2	Particolato sospeso: PM2.5	32
5.3	Biossido di azoto (NO ₂)	37
5.4	Ozono (O ₃)	44
5.5	Benzo(a)pirene nel PM10	54
5.6	Benzene	58
5.7	Monossido di carbonio e biossido di zolfo	58
5.8	Metalli nel PM10	61
6	Il dettaglio per provincia.....	66
6.1	Città Metropolitana di Torino.....	66
6.2	Provincia di Alessandria.....	80
6.3	Provincia di Asti	90
6.4	Provincia di Biella.....	98
6.5	Provincia di Cuneo	107
6.6	Provincia di Novara.....	117
6.7	Provincia di Verbania	126
6.8	Provincia di Vercelli	135
7	Approfondimenti	143
7.1	Il black carbon in Piemonte	143
7.2	Analisi delle concentrazioni di ammoniaca in Piemonte.....	152
7.3	Valutazione del contributo dovuto al trasporto di polveri desertiche alle concentrazioni di PM10 in Piemonte	156
7.4	Ozono: analisi degli eventi di superamento verificatisi nel mese di ottobre 2023.	161
8	Appendice A1.....	169
9	Appendice A2.....	172

Glossario

As: Arsenico

BC: Black Carbon

Cd: Cadmio

CO: Monossido di carbonio

CO₂: Biossido di carbonio

CTM: *Chemical Transport Models* (modelli di chimica e trasporto)

EMEP: *European Monitoring and Evaluation Programme*

IPA: Idrocarburi Policiclici Aromatici

IREA: Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera

Ni: Nichel

NH₃: Ammoniaca

NMVOC: *Non-methane Volatile Organic Compounds* (Composti organici volatili non metanici)

NO_x: ossidi di azoto

NO₂: biossido di azoto

O₃: ozono

Pb: Piombo

PRQA: Piano Regionale Qualità dell'Aria

SNAP: *Selected Nomenclature for Air Pollution*

SO₂: biossido di zolfo

SRRQA: Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria

PM_{2.5}: materiale particolato con diametro aerodinamico $\leq 2.5 \mu\text{m}$

PM₁₀: materiale particolato con diametro aerodinamico $\leq 10 \mu\text{m}$

Zona UE: Porzione del territorio identificata, ai fini della gestione della qualità dell'aria, dalla zonizzazione di Regione Piemonte

1 Introduzione

La Relazione Annuale sulla Qualità dell'Aria – Rapporto 2023 di Arpa Piemonte ha l'obiettivo di fornire una descrizione aggiornata dello stato di qualità dell'aria a livello regionale. A tal fine vengono utilizzate le informazioni provenienti dagli strumenti che il D.Lgs. 155/2010 prevede per la valutazione e la gestione della qualità dell'aria ambiente, ovvero:

- la rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria, costituita dalle stazioni di monitoraggio dislocate sul territorio per la misura degli inquinanti,
- l'inventario regionale delle emissioni, i cui dati vengono utilizzati nelle simulazioni modellistiche di qualità dell'aria,
- il sistema modellistico regionale.

Il rapporto fornisce inizialmente un breve inquadramento normativo sulla qualità dell'aria, seguito dalla descrizione degli strumenti di valutazione sopra citati. Dopo una sintetica caratterizzazione meteorologica dell'anno in esame, con una particolare attenzione verso i parametri che maggiormente influenzano l'accumulo e la dispersione degli inquinanti, si ha l'illustrazione dello stato di qualità dell'aria a livello regionale per l'anno 2023, nel quale – per ognuno degli inquinanti normati – vengono riportati i risultati ottenuti dal sistema modellistico (ove utilizzato) ed esaminati i dati acquisiti dalle stazioni della rete di monitoraggio regionale, confrontandoli con gli indicatori di legge e valutandone l'andamento nel corso degli anni. I paragrafi successivi sono dedicati al dettaglio a livello provinciale, con approfondimenti ed elaborazioni mirate ad analisi più specifiche. Infine, completa il rapporto una sezione dedicata ad approfondimenti e commenti su tematiche specifiche.

Le concentrazioni misurate nel corso del 2023 dalle stazioni della rete di monitoraggio regionale della qualità dell'aria sono state in media le più basse di tutta la serie storica di misura, anche per gli inquinanti a maggiore criticità sul territorio regionale (particolato, biossido di azoto ed ozono). In riferimento ai limiti previsti D.Lgs. 155/2010 possiamo infatti osservare che:

- gli inquinanti quali monossido di carbonio, biossido di zolfo, benzene, metalli pesanti confermano, come ormai da molti anni, la piena conformità ai limiti normativi;
- il valore limite per la media annuale di PM₁₀, PM_{2.5} ed il valore obiettivo per il Benzo(a)pirene sono rispettati su tutto il territorio regionale;
- Il valore limite per la media annuale del biossido di azoto è rispettato su tutto il territorio regionale, tranne che in una stazione di traffico collocata nella città di Torino (Torino – Rebaudengo); per quanto riguarda i superamenti del valore limite orario non vi sono criticità su tutta la regione;
- permangono criticità, con il mancato rispetto del limite normativo, per la media giornaliera del PM₁₀: tuttavia, nel 2023, il numero di stazioni in superamento si è ridotto di molto (il 16% del totale, contro il 32% dell'anno precedente ed il 68% del 2010), in particolare nei siti di fondo;
- per l'ozono il non rispetto del valore obiettivo (sia a breve che a lungo termine) per la protezione della salute umana permane su tutto il territorio regionale, nonostante una marcata riduzione delle concentrazioni misurate in tutte le stazioni di monitoraggio.

Il quadro meteorologico osservato nel 2023 ha sicuramente contribuito alla riduzione delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici: i frequenti episodi di fohen e la ventilazione superiore alla media, il ridotto numero dei giorni con marcata inversione termica e, per l'ozono, l'aumento delle precipitazioni nel periodo estivo rispetto all'anno precedente, hanno creato condizioni sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti in atmosfera.

Per confermare i progressi registrati nel corso del 2023, risulta quindi necessario proseguire l'impegno, a tutti i livelli, nel porre in atto misure per la riduzione delle emissioni al fine di pervenire al rispetto di tutti i valori limite ed obiettivo previsti dalla normativa vigente, anche in considerazione della prossima emanazione della nuova Direttiva Europea di qualità dell'aria che stabilirà limiti ancora più stringenti alle concentrazioni di inquinanti in atmosfera.

2 Inquadramento Normativo

La legislazione in materia di qualità dell'aria si pone come prioritario obiettivo il miglioramento della qualità dell'aria, attraverso la progressiva riduzione delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici, per salvaguardare l'ambiente e la salute dei cittadini.

L'articolata normativa europea di riferimento si concretizza con la Direttiva 2008/50/CE, recepita in Italia con il Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa". Il decreto, istituendo un quadro normativo unitario, garantisce l'applicazione di metodi e criteri comuni, per la valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente, su tutto il territorio nazionale e stabilisce valori di riferimento per gli inquinanti più rilevanti (elencati in Tabella 1), sia in relazione al rischio sanitario che ambientale e per i quali sussiste l'obbligo di monitoraggio. Il più recente Decreto legislativo 30 maggio 2018, n. 81, di recepimento della Direttiva Comunitaria 2016/2284/UE (cosiddetta direttiva NEC – National Emission Ceiling), assume come finalità generale il miglioramento della qualità dell'aria e la salvaguardia della salute umana e dell'ambiente, mirando così a consolidare il raggiungimento degli obiettivi del D.Lgs.155/2010 medesimo e a perseguire un avanzamento verso l'obiettivo a lungo termine dei livelli di qualità dell'aria, sempre più stringenti, raccomandati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. La nuova direttiva NEC impone la riduzione delle emissioni antropogeniche degli inquinanti biossido di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici, ammoniaca e materiale particolato PM2.5. A ciascuno Stato è assegnato un target di riduzione da raggiungere entro il 2020 e 2030, così da garantire una riduzione generalizzata dell'inquinamento atmosferico sul territorio dell'Unione Europea. Per perseguire tale finalità, ai sensi dell'articolo 4, comma 3, del D.Lgs. 30 maggio 2018, n. 81, la Presidenza del Consiglio dei ministri, con il DPCM 23 dicembre 2021, ha approvato il "Programma nazionale di controllo dell'inquinamento atmosferico" (PNCIA) che si inserisce tra le riforme da attuarsi ai sensi del "Piano nazionale di ripresa e resilienza" (Missione 2, Componente 4-3, Riforma 3.1). L'attuazione delle misure del programma sarà a cura delle Autorità competenti (Stato, Regioni, Enti locali) che dovranno adottare gli strumenti necessari alla sua realizzazione, integrando il compimento dei piani di qualità dell'aria con lo sviluppo di politiche coerenti in altri settori pertinenti quali il clima, l'energia, l'agricoltura, l'industria e i trasporti.

Nella stessa ottica si colloca la proposta di nuova direttiva europea¹ sulla qualità dell'aria, pubblicata dalla Commissione Europea lo scorso 26/10/2022, che sostituirà e unificherà le attuali direttive 2008/50/EC e 2004/107/EC. Con questa proposta la Commissione dà seguito all'impegno preso nell'ambito del "Green Deal Europe", per il miglioramento della qualità dell'aria e il progressivo allineamento degli standard di qualità alle raccomandazioni dell'OMS del 2021 (air quality guideline level). Il percorso è quello avviato nel 2013 con il programma "Aria pulita per l'Europa", proseguito nel 2021 con l'adozione del "Piano d'azione per l'inquinamento zero", con l'ambizioso obiettivo di ridurre, entro il 2050, l'inquinamento atmosferico a livelli non considerati dannosi per la salute umana e gli ecosistemi naturali. Nel corso del 2023 la Commissione Europea ha dato seguito alle attività di revisione della Direttiva arrivando, dopo un intenso confronto con gli Stati Membri, alla proposta provvisoria che il Parlamento ha adottato in via definitiva nell'aprile del 2024. La legge deve ora essere formalmente adottata dal Consiglio Europeo, prima di essere pubblicata nella Gazzetta ufficiale dell'UE ed entrare in vigore 20 giorni dopo. Gli Stati Membri avranno successivamente due anni di tempo per applicare le nuove norme.

A livello regionale, l'atto normativo di riferimento, per la gestione e il controllo della qualità dell'aria, rimane la legge regionale del 7 aprile 2000, n. 43 "Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento atmosferico. Prima attuazione del piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria". La legge stabilisce una serie di disposizioni in materia di inquinamento atmosferico, le modalità per la realizzazione e la gestione degli strumenti a servizio della valutazione e gestione della qualità dell'aria e definisce le funzioni proprie degli Enti territoriali e i compiti di Arpa Piemonte. Arpa Piemonte rappresenta il soggetto tecnico che garantisce il funzionamento omogeneo e

¹ COM (2022) 542 final "Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe" Brussels, 26.10.2022.

coordinato, su tutto il territorio regionale, del Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA).

Il Piano per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria, ora denominato ai sensi del D. Lgs.155/2010 *Piano Regionale della Qualità dell'Aria (PRQA)*, è lo strumento di riferimento per la programmazione, il coordinamento ed il controllo in materia di inquinamento atmosferico a livello regionale. Il PRQA vigente è stato approvato dal Consiglio regionale, con Delibera del Consiglio Regionale del 25 marzo 2019, n. 364-6854. Nelle more di quanto previsto dal PRQA, con la Delibera del Consiglio Regionale del 27 giugno 2023, n. 284–15266, la Regione Piemonte ha approvato Il Piano Stralcio Agricoltura, volto a ridurre le emissioni di ammoniaca e più in generale a migliorare l'impiego dei fertilizzanti organici. A seguito dell'emanazione del decreto legge 12 settembre 2023, n. 121" Misure urgenti in materia di pianificazione della qualità dell'aria e limitazioni della circolazione stradale" convertito, con modificazioni, dalla legge n. 155 del 6 novembre 2023, la Regione Piemonte ha avviato negli ultimi mesi del 2023 il processo di aggiornamento del PRQA. Il nuovo PRQA, la cui proposta di aggiornamento è stata adottata dalla Giunta regionale, con DGR n. 1-156 del 12 settembre 2024, è attualmente in attesa di approvazione da parte del Consiglio Regionale.

Inquinante	Periodo di mediazione	Tipo di limite	Valore	
Biossido di zolfo (SO₂)	1 ora	Valore limite per la protezione della salute umana	350 µg/m ³	da non superare più di 24 volte per anno civile
	1 giorno	Valore limite per la protezione della salute umana	125 µg/m ³	da non superare più di 3 volte per anno civile
	Superamento per 3 ore consecutive	Soglia di allarme	500 µg/m ³	in stazione con rappresentatività > 100 Km ² o intera zona
	Anno civile e inverno (1ottobre-31 marzo)	Livelli critici annuale/invernale per la protezione della vegetazione	20 µg/m ³	
Biossido di azoto (NO₂)	1 ora	Valore limite per la protezione della salute umana	200 µg/m ³	da non superare più di 18 volte per anno civile
	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	40 µg/m ³	
	Superamento per 3 ore consecutive	Soglia di allarme	400 µg/m ³	in stazione con rappresentatività > 100 Km ² o intera zona
Ossidi di azoto (NO_x)	Anno civile	Livello critico per la vegetazione	30 µg/m ³	
PM₁₀	1 giorno	Valore limite per la protezione della salute umana	50 µg/m ³	da non superare più di 35 volte per anno civile
	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	40 µg/m ³	
PM_{2.5}	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	25 µg/m ³	dal 01/01/2020 valore limite da stabilire con successivo decreto ai sensi dell'articolo 22, comma 6
Benzene (C₆H₆)	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	5.0 µg/m ³	
Monossido di carbonio (CO)	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore consecutive	Valore limite per la protezione della salute umana	10 mg/m ³	
Piombo (Pb)	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	0.5 µg/m ³	tenore totale presente nella frazione PM ₁₀ del materiale particolato
Arsenico (As)	Anno civile	Valore obiettivo	6.0 ng/m ³	tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM ₁₀ del materiale particolato
Cadmio (Cd)	Anno civile	Valore obiettivo	5.0 ng/m ³	
Nichel (Ni)	Anno civile	Valore obiettivo	20.0 ng/m ³	
Benzo(a)pirene (B(a)P)	Anno civile	Valore obiettivo	1.0 ng/m ³	
Ozono (O₃)	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore consecutive	Valore obiettivo per la protezione della salute umana	120 µg/m ³	da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni
	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore consecutive nell'arco di un anno civile	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	120 µg/m ³	
	Da maggio a luglio, calcolato sulla base dei valori di 1 ora	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	18000 µg/m ³ *h	AOT40 ² come media su cinque anni
	Da maggio a luglio, calcolato sulla base dei valori di 1 ora	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	6000 µg/m ³ *h	AOT40
	1 ora	Soglia di informazione	180 µg/m ³	
	1 ora	Soglia di allarme	240 µg/m ³	

Tabella 1: Valori di riferimento previsti dal Decreto Legislativo 155/2010 e s.m.i

² AOT40 (espresso in µg/m³*h) si intende la somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ e 80 µg/m³ 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 (CET)

3 Gli strumenti di valutazione

La valutazione della qualità dell'aria, secondo l'articolo 1, comma 4, del decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155, deve essere condotta utilizzando determinati siti fissi di campionamento e determinate tecniche di valutazione; essa si considera idonea a rappresentare la qualità dell'aria all'interno dell'intera zona o dell'intero agglomerato di riferimento qualora la scelta dei siti e delle altre tecniche sia operata in conformità alle disposizioni del medesimo decreto legislativo 155/2010.

Coerentemente con tale quadro normativo, nel corso degli ultimi anni le attività di valutazione della qualità dell'aria sul territorio della regione Piemonte sono state effettuate nell'ottica di una progressiva integrazione dei tre principali strumenti informativi disponibili:

- a. il Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA);
- b. l'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (IREA);
- c. il sistema modellistico regionale.

3.1 Il Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA)

Il sistema regionale di rilevamento della qualità dell'aria in Piemonte è attualmente composto da 58 stazioni fisse, delle quali 4 di proprietà privata situate in prossimità di impianti industriali (in particolare un termovalorizzatore, una centrale termoelettrica a metano ed una azienda chimica), finalizzate alla valutazione dell'eventuale impatto locale delle stesse sull'aria ambiente.

Nelle stazioni sono installati sia analizzatori automatici - che forniscono dati in continuo ad intervalli regolari di tutti i parametri monitorati, con cadenza generalmente oraria - sia campionatori. Solo per il particolato PM10 e PM2.5 sono utilizzati sia analizzatori automatici sia campionatori per la gravimetria: i primi producono dati orari o giornalieri, mentre i secondi solo giornalieri. I dati di IPA³ e metalli, determinati analiticamente sui filtri di particolato PM10 giornalieri, sono forniti con cadenza mensile. La successiva Tabella 2 riporta l'elenco completo delle stazioni del SRRQA e la loro dotazione strumentale, mentre la Figura 1 ne illustra la collocazione spaziale.

I punti di misura sono dislocati sul territorio regionale in funzione della zonizzazione del territorio, effettuata⁴ ai sensi dell'art. 3 del decreto 155/2010, della densità abitativa e altri parametri, in modo da garantire una valutazione della qualità dell'aria rappresentativa per ciascuna zona (Agglomerato torinese IT0118, Zona di Pianura IT0119, Zona di Collina IT0120, Zona di montagna IT0121 e Zona regionale - escluso l'Agglomerato - per l'ozono IT0122).

Più in dettaglio, le stazioni di traffico sono collocate in posizione tale da misurare prevalentemente gli inquinanti provenienti da emissioni veicolari; le stazioni di fondo rilevano livelli di inquinamento non direttamente influenzati da singole sorgenti ma riferibili al loro contributo integrato, mentre quelle industriali rilevano l'eventuale contributo connesso alle limitrofe attività produttive.

I punti di misura possono essere descritti in relazione alla loro collocazione per tipo di zona (urbana/suburbana/rurale) o per tipo di stazione (traffico/fondo/industriale).

³ Benzo(a)pirene; Benzo(a)antracene, Benzo(b+j+k)fluorantene, Indeno(1,2,3-cd)pirene

⁴ Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 24-903

La dotazione strumentale delle stazioni della rete regionale al 31/12/2023

Agglomerato (IT0118)		Pianura (IT0119)		Collina (IT0120)		Montagna (IT0121)												
PROVINCIA	STAZIONE	Tipo stazione	zona	SO ₂	CO	CO ₂	NO _x	O ₃	BTX	PM ₁₀	PM _{2,5}	As, Cd, Ni, Pb	IPA	NMHC	HCl, HF	NH ₃	BC	CH ₄
TO	Borgaro T. - Caduti	FS	IT0118				•	•	•	•	•	•	•					
TO	Baldissero (ACEA) - Parco	FR	IT0118		•		•	•		•	•					•		
TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS	IT0118				•					•	•					
TO	Chieri - Bersezio	FS	IT0118				•	•		•	•							
TO	Collegno - Francia	TU	IT0118				•			•								
TO	Druento - La Mandria	FR	IT0118				•	•		•		•	•					
TO	Leini (ACEA) - Grande Torino	FS	IT0118		•		•			•	•					•		
TO	Orbassano - Gozzano	FS	IT0118				•	•										
TO	Settimo T. - Vivaldi	TU	IT0118				•		•	•	•		•					
TO	Torino - Consolata	TU	IT0118	•	•		•		•			•	•					
TO	Torino - Grassi	TU	IT0118				•					•	•					
TO	Torino - Lingotto	FU	IT0118				•	•		•	•	•	•	•		•	•	
TO	Torino - Rebaudengo	TU	IT0118	•	•		•		•	•	•	•	•					
TO	Torino - Rubino	FU	IT0118				•			•	•	•	•					
TO	Vinovo - Volontari	FS	IT0118				•	•	•	•	•							
AL	Alessandria - D'Annunzio	TU	IT0119				•			•			•					
AL	Alessandria - Volta	FU	IT0119				•	•			•		•					
AL	Alessandria-Spinetta (Solvay)	IS	IT0119												•			
AL	Casale M. - Castello	FU	IT0119				•				•							
AL	Novi Ligure - Gobetti	TU	IT0119				•			•								
AL	Tortona - Carbone	TU	IT0119				•			•								
AT	Asti - Baussano	TU	IT0119	•	•		•			•			•					
AT	Asti - D'Acquisto	FU	IT0119				•	•		•	•							
BI	Biella - Lamarmora	TU	IT0119				•			•		•	•					
BI	Biella - Sturzo	FU	IT0119				•	•		•	•		•					
CN	Bra - Madonna dei Fiori	TU	IT0119				•				•	•	•					
CN	Cavallermaggiore	FS	IT0119							•	•	•	•			•		
CN	Cuneo - Alpini	FU	IT0119			•	•	•		•	•		•					
CN	Revello - Staffarda	FR	IT0119				•	•		•	•							
NO	Cerano - Bagno	FS	IT0119	•			•					•	•					•
NO	Novara - Arpa	FU	IT0119				•	•		•	•		•					
NO	Novara - Roma	TU	IT0119	•	•							•	•					
NO	Treccate - Verra	FU	IT0119	•			•		•		•							
TO	Carmagnola - I Maggio	TS	IT0119				•					•	•					
VC	Cigliano - Autostrada	TR	IT0119	•	•				•		•							
VC	Vercelli - CONI	FS	IT0119				•	•		•		•	•					
VC	Vercelli - Gastaldi	TU	IT0119				•			•	•							
AL	Arquata Scrivia - Minzoni	IS	IT0120	•						•		•	•					
AL	Dernice - Costa	FR	IT0120				•				•		•					
AT	Vinchio - San Michele	FR	IT0120				•	•			•		•					
BI	Cossato - Pace	FU	IT0120				•			•			•					
CN	Alba - Tanaro	FU	IT0120				•	•					•					
CN	Mondovì - Aragno	TU	IT0120		•		•			•	•	•						
CN	Saliceto - Moizo	FR	IT0120				•	•		•			•					
NO	Borgomanero - Molli	TU	IT0120		•		•				•		•					
NO	Castelletto T. - Fontane	FR	IT0120				•	•										
TO	Ivrea - Liberazione	FS	IT0120				•	•		•	•		•					
TO	Pinerolo - Alpini	FU	IT0120							•								
TO	Susa - Repubblica	FS	IT0120				•	•				•	•					
VB	Omegna - Crusinallo	TU	IT0120				•											
VB	Verbania - Gabardi	FU	IT0120		•		•	•	•	•	•		•					
VC	Borgosesia - Tonella	FU	IT0120				•			•	•		•					
BI	Trivero - Ronco	FS	IT0121				•	•		•	•		•					
TO	Ceresole Reale - Diga	FR	IT0121				•					•						
TO	Oulx - Roma	TS	IT0121		•					•		•	•					
VB	Baceno - Alpe Devero	FR	IT0121				•				•							
VB	Domodossola - Curotti	FS	IT0121				•	•		•			•				•	
VB	Pieve Vergonte - Industria	FS	IT0121	•			•	•	•									
	DOTAZIONE COMPLESSIVA			9	11	1	54	31	15	54	34	21	38	1	1	4	2	1
Legenda	TU = Stazione di Traffico Urbano																	
	FU = Stazione di Fondo Urbano																	
	FS =Stazione di Fondo Suburbano																	
	FR = Stazione di Fondo Rurale																	
	IS = Stazione Industriale di Fondo																	
	TR = Stazione di Traffico Rurale																	

Tabella 2 - Stazioni del SRRQA e la loro dotazione strumentale.

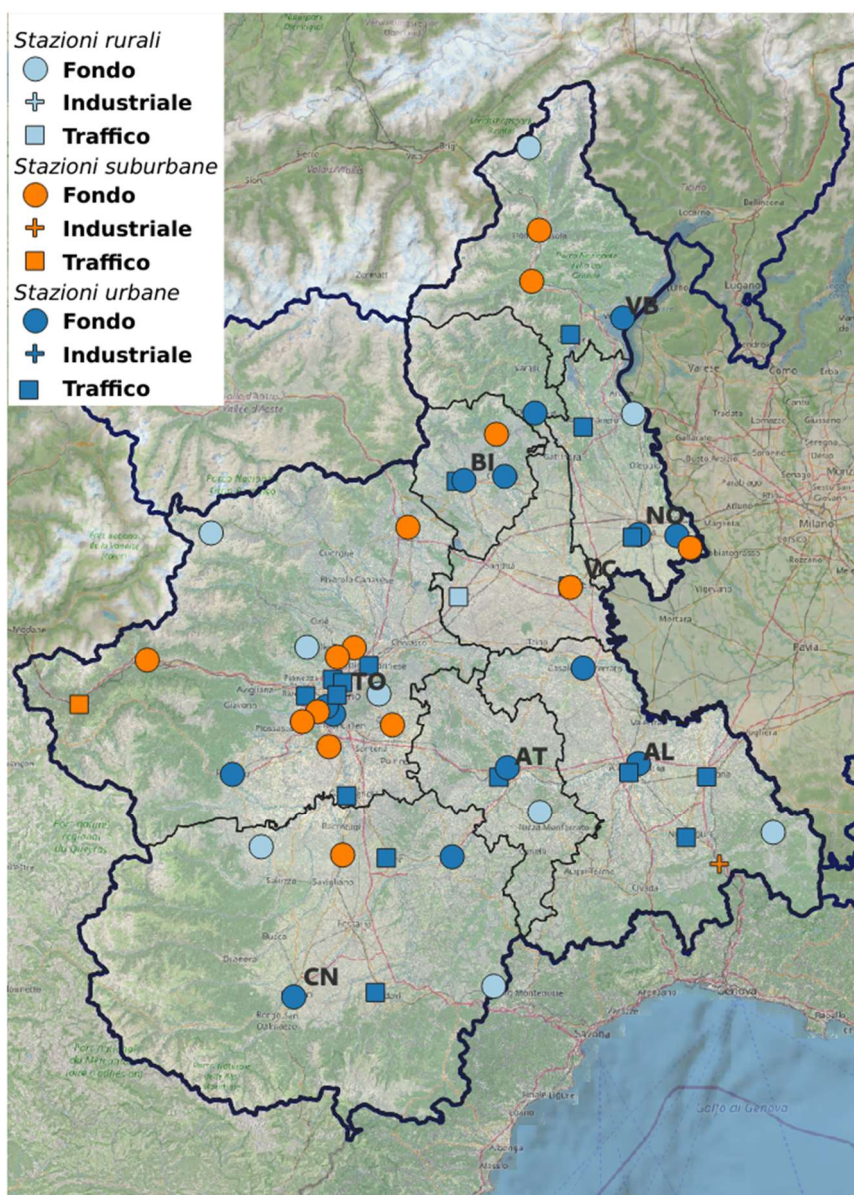


Figura 1: Localizzazione delle stazioni del SRRQA, differenziate per tipologia di stazione (fondo/traffico/industriali) e per tipologia di zona (urbana/suburbana/rurale).

3.2 L'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (IREA)

Il settore Emissioni e Rischi Ambientali della Direzione Ambiente, Energia e Territorio della Regione Piemonte realizza periodicamente (attraverso l'impiego del sistema INEMAR, basato sulla metodologia EMEP-CORINAIR⁵) l'inventario regionale piemontese, stimando le emissioni totali annuali di macro e microinquinanti, disaggregate per attività emissiva ai vari livelli di classificazione SNAP. L'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (IREA) raccoglie su scala comunale le emissioni inquinanti prodotte da circa 200 attività antropiche e biogeniche presenti sul territorio regionale. Attualmente, l'ultima versione rilasciata dell'IREA fa riferimento all'anno 2019.

La Figura 2 rappresenta, in modo sintetico, il contributo percentuale alle emissioni dei principali inquinanti da parte dei differenti comparti emissivi in IREA2019. Il comparto riscaldamento incide per il 50% sulle emissioni di PM10 primario, seguito dal comparto trasporti stradali (30%). Per quanto riguarda le emissioni degli ossidi di azoto il maggior contributo è dato dai trasporti stradali (53%), a

⁵ <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>

cui seguono i trasporti off-road (13%), la combustione nell'industria (11%) e il riscaldamento non industriale (10%). Le emissioni di NMVOC derivano principalmente dalle sorgenti biogeniche sia del comparto natura e foreste (44%), sia del comparto agricoltura e allevamento (22%); quest'ultimo comparto incide per il 92% sulle emissioni di NH₃. Il settore industriale è la principale sorgente emissiva per il biossido di zolfo con un contributo del 20% relativo alla combustione e del 51% legato ai processi produttivi. Per quanto riguarda il biossido di carbonio (CO₂), invece, il contributo maggiore è dato da tutte le tipologie di combustioni, sia del comparto industriale (60%) sia dei comparti riscaldamento (24%) e traffico (37%).

rappresenta, in modo sintetico, il contributo percentuale alle emissioni dei principali inquinanti da parte dei differenti comparti emissivi in IREA2019. Il comparto riscaldamento incide per il 50% sulle emissioni di PM₁₀ primario, seguito dal comparto trasporti stradali (30%). Per quanto riguarda le emissioni degli ossidi di azoto il maggior contributo è dato dai trasporti stradali (53%), a cui seguono i trasporti off-road (13%), la combustione nell'industria (11%) e il riscaldamento non industriale (10%). Le emissioni di NMVOC derivano principalmente dalle sorgenti biogeniche sia del comparto natura e foreste (44%), sia del comparto agricoltura e allevamento (22%); quest'ultimo comparto incide per il 92% sulle emissioni di NH₃. Il settore industriale è la principale sorgente emissiva per il biossido di zolfo con un contributo del 20% relativo alla combustione e del 51% legato ai processi produttivi. Per quanto riguarda il biossido di carbonio (CO₂), invece, il contributo maggiore è dato da tutte le tipologie di combustioni, sia del comparto industriale (60%) sia dei comparti riscaldamento (24%) e traffico (37%).

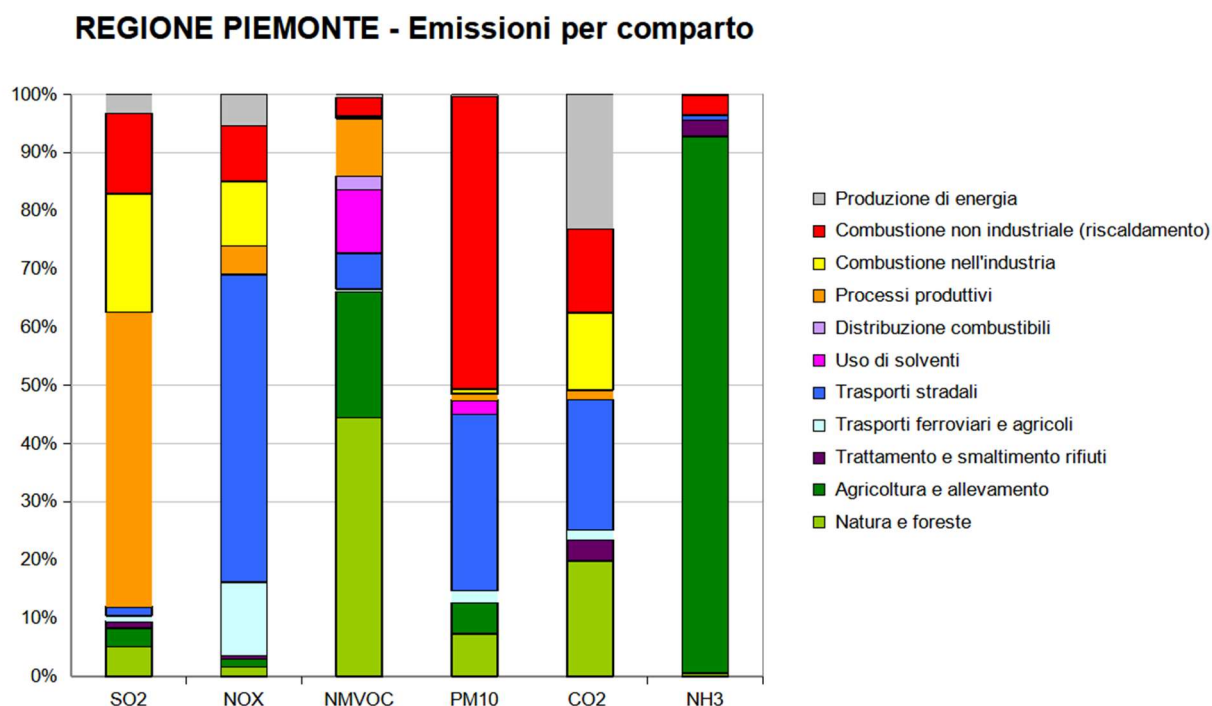


Figura 2: Contributo percentuale ai principali inquinanti per comparto emissivo (Macrosettore SNAP) – IREA2019.

3.3 Il Sistema Modellistico Regionale e la valutazione modellistica di qualità dell'aria per l'anno 2023

Arpa Piemonte ha sviluppato e implementato una catena modellistica operativa, basata sull'applicazione dei modelli euleriani di chimica e trasporto (i modelli *CTM*, *Chemical Transport Models*), in grado di riprodurre la complessa serie di reazioni chimiche che avvengono in atmosfera e simulare le concentrazioni dei principali inquinanti atmosferici – primari e secondari - su tutto il territorio regionale. Il sistema modellistico è un sistema multi scala, che permette di simulare le dinamiche di dispersione, trasporto e trasformazione degli inquinanti nei domini target considerando allo stesso tempo anche gli effetti delle sorgenti emissive localizzate al loro esterno e descrivendo meglio i fenomeni di accumulo caratterizzati da più grandi scale spaziali (ad esempio legati allo smog fotochimico).

Il sistema modellistico regionale è stato utilizzato per realizzare la valutazione modellistica di qualità dell'aria per l'anno 2022 in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa nazionale (articolo 5 del D.lgs 155/2010) e comunitaria (decisione 2011/850/CE IPR "*Implementing Provision on Reporting*"). Le simulazioni sono condotte dal 01/01/2022 al 31/12/2022 con frequenza oraria sul dominio regionale (alla risoluzione orizzontale di 4 km), su un dominio a scala sovraregionale di bacino (risoluzione orizzontale di 8 km) e su un sottodominio target a scala regionale ad alta risoluzione (1 km) descritti in Figura 3. Le simulazioni del modello di qualità dell'aria (FARM⁶) sono guidate dai campi meteorologici del modello di previsione numerica COSMO-I5⁷, sono inizializzate ai bordi del dominio di calcolo con i dati messi a disposizione dalla banca dati Prev'Air⁸ e/o dal sistema FORAIR-IT sviluppato da ENEA⁹ ed utilizzano come dati emissivi di ingresso l'inventario IREA per il territorio piemontese (anno 2019), integrato con le informazioni riguardanti gli inventari delle regioni confinanti e comprese nel dominio di calcolo.

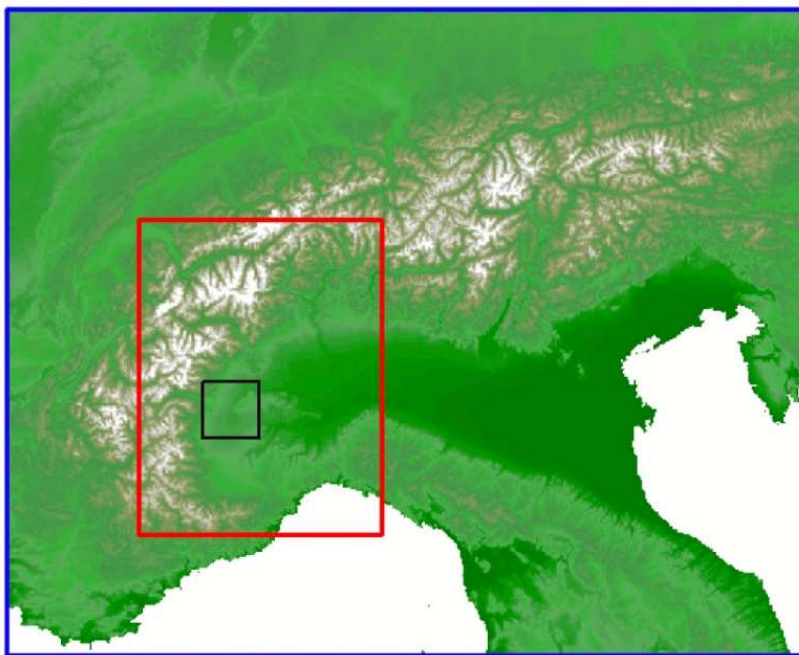


Figura 3: Domini di applicazione del sistema modellistico regionale

Il sistema modellistico regionale fornisce su tutto il dominio di simulazione le concentrazioni orarie dei principali inquinanti atmosferici (O_3 , NO_2 , NO_x , PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO , SO_2 , benzene), descrivendo lo stato di qualità dell'aria anche nelle zone del territorio non coperte dalle stazioni del SRRQA e completando quindi il quadro informativo necessario per la valutazione del rispetto dei valori limite previsti dalla normativa vigente. Per gli inquinanti a maggiore criticità, ovvero il particolato PM_{10} e $PM_{2.5}$, il biossido di azoto e l'ozono, i risultati delle simulazioni sono integrati con le misure della rete di rilevamento della qualità dell'aria attraverso una procedura di assimilazione geostatistica¹⁰: si ottiene in tal modo una mappatura della qualità dell'aria corretta con le osservazioni. La base dati osservativa con cui eseguire la procedura di assimilazione è stata costruita, per ciascuno degli inquinanti considerati, selezionando dall'intera rete regionale del SRRQA e dalle reti di rilevamento delle regioni limitrofe (Lombardia e Valle d'Aosta) le stazioni con una rappresentatività spaziale congruente con la risoluzione di 4 km alla quale sono condotte le simulazioni, con una percentuale di dati validi nel corso del 2023 non inferiore al 85% dei dati acquisiti e tali da garantire nel loro insieme una copertura sufficientemente omogenea del territorio regionale.

⁶ Flexible Air quality Regional Model, <http://www.farm-model.org/>

⁷ Consortium for Small-scale Modeling, <http://www.cosmo-model.org/>

⁸ <http://www2.prevaire.org/>

⁹ FORAIR - IT è un progetto del Laboratorio di Inquinamento Atmosferico, sviluppato in collaborazione con Arianet s.r.l., per la previsione dell'inquinamento atmosferico a breve termine (3 giorni) sull'Italia.

¹⁰ È stato utilizzato il kriging in deriva esterna (*Kriging with external drift*), con la deriva costituita dal modello di qualità dell'aria e dall'altezza orografica del terreno.

4 Considerazioni sulla meteorologia del 2023

L'anno 2023 è stato caratterizzato da una temperatura media annuale di circa 11.2°C, superiore di 1.3 °C rispetto al periodo climatico di riferimento (il trentennio 1991-2020, con una media climatica di circa 9.9°C, Figura 4), posizionandosi al secondo posto tra gli anni più caldi dopo il 2022 nella distribuzione storica compresa tra il 1958 e il 2023.

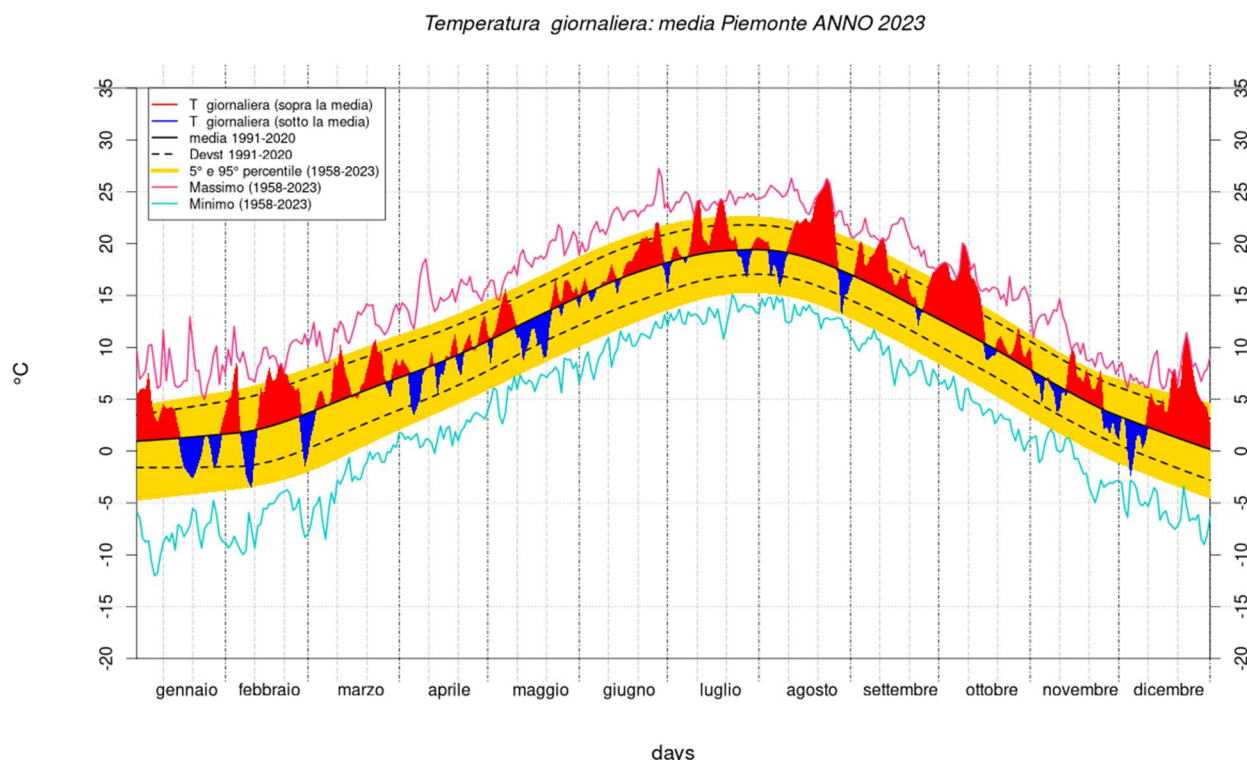


Figura 4 – Andamento della temperatura media giornaliera in Piemonte nell'anno 2023 con anomalia termica rispetto alla climatologia del periodo 1991 – 2020.

L'anno è cominciato con un'anomalia termica di oltre 5 °C al 5 gennaio ma la distribuzione delle temperature non è stata uniforme nel corso dell'annata, in particolare abbiamo avuto tre maggiori ondate di calore, la prima nella seconda metà di agosto (dal 17 al 28 agosto), un'altra importante tra la fine di settembre e l'inizio di ottobre e infine intorno al solstizio d'inverno.

Il giorno più caldo dell'anno è stato il 23 agosto che è anche il terzo giorno più caldo sul Piemonte dal 1958, alla pari con l'11 agosto 2003 e dietro il 27 e 28 giugno 2019. Sempre il 23 agosto si è registrato. Il picco termico massimo mensile a Nizza Monferrato (AT) con 40.9°C. Ottobre e dicembre si sono posizionati al secondo posto tra i mesi più caldi nella rispettiva distribuzione, l'8 ottobre 2023 e il 23 dicembre 2023 sono risultati i giorni più caldi della serie storica dal 1958 per ottobre e dicembre, rispettivamente. Rilevante anche il contributo di settembre allo scostamento positivo con la terza posizione; soltanto aprile e maggio hanno registrato una lieve anomalia negativa rispetto al periodo 1991-2020 (Tabella 3).

Temperatura media	Media (°C)	Anomalia (°C)	Posizione	Media in pianura (°C)
Gennaio 2023	2.0	+0.8	13° più caldo	3.7
Febbraio 2023	4.2	+2.0	7° più caldo	5.5
Marzo 2023	6.8	1.2	9° più caldo	9.7
Aprile 2023	8.6	-0.1	nella norma	12.1
Maggio 2023	12.8	-0.2	nella norma	15.9
Giugno 2023	17.8	+0.9	11° più caldo	21.1
Luglio 2023	20.4	+1.1	9° più caldo	23.8
Agosto 2023	20.4	+1.3	7° più caldo	23.5
Settembre 2023	17.2	+2.4	3° più caldo	19.5
Ottobre 2023	13.4	+3.1	2° più caldo	15.6
Novembre 2023	5.7	+0.4	14° più caldo	7.2
Dicembre 2023	4.5	+2.6	2° più caldo	5.2
Anno 2023	11.2	+1.3	2° più caldo	13.6

Tabella 3: Temperature medie mensili in Piemonte nell'anno 2023. Per ciascun mese è riportata la temperatura media sul Piemonte, l'anomalia delle temperature medie mensili in °C rispetto alla media 1991-2020, la posizione relativa rispetto al corrispondente mese più caldo o più freddo dell'intera serie storica ed il valore medio sulle località pianeggianti. In rosa (caldo) o azzurro (freddo) i mesi nelle prime dieci posizioni storiche, in grassetto quelli tra i primi tre.

Dal punto di vista delle precipitazioni cumulate annuali in Piemonte, il 2023 ha registrato una precipitazione media di 943.8 mm, con una lieve anomalia negativa dell'8% rispetto alla norma del periodo 1991-2020, pari a 1028.8 mm. Maggio è risultato il mese più piovoso dell'anno con 233.8 mm; buono il contributo pluviometrico di ottobre e agosto con rispettivamente, 125.5 e 123.4 mm. Invece febbraio è stato il mese più povero di precipitazioni con soli 9.7 mm medi sul Piemonte (Tabella 4). I fenomeni precipitativi invece sono stati scarsi fino ad aprile con una cumulata di soli 77 mm al 19 aprile, per poi riassetarsi sulla media a metà giugno con 423 mm. L'estate ha avuto precipitazioni convettive sporadiche con diversi eventi molto intensi e localizzati con temporali a supercella che hanno causato anche danni ingenti (Figura 2). L'anomalia pluviometrica rispetto alla norma è stata relativamente contenuta (-8%) ma ci sono state significative differenze nella distribuzione territoriale con surplus precipitativi sulle Alpi occidentali e sulle zone pedemontane adiacenti, sul settore più orientale dell'Appennino alessandrino al confine con Liguria ed Emilia-Romagna e infine sulle creste delle Alpi Pennine e Lepontine confinanti con Svizzera e Valle d'Aosta. Ma buona parte del settore centrale del Piemonte ha registrato un deficit precipitativo di 100-200 mm (Figura 6).

Gli episodi di nebbia sono risultati inferiori rispetto alla climatologia recente del periodo 2004-2022, con 89 giorni di nebbia ordinaria (visibilità inferiore a 1 km) e una diminuzione del 26% rispetto ai 121 giorni annuali attesi. Ancora più marcata è stata la riduzione degli episodi di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m) con soli 7 giorni annuali, un terzo dei 21 calcolati dalla media climatica. È stato l'anno con il minor numero di eventi annuali di nebbia ordinaria da quando è attiva la rete dei visibilometri ARPA (2004), mentre solo il 2018 ha avuto un numero inferiore di episodi di nebbia fitta (si veda la Tabella 14).

Precipitazione	Anomalia pluviometrica (%)	Posizione nella distribuzione storica	Valore medio (mm)
Gennaio 2023	-50	22° meno piovoso	23.1
Febbraio 2023	-78	7° meno piovoso	9.7
Marzo 2023	-35	25° meno piovoso	41.4
Aprile 2023	-50	12° meno piovoso	54.1
Maggio 2023	+90	4° più piovoso	233.8
Giugno 2023	+1	20° più piovoso	103.7
Luglio 2023	-31	18° meno piovoso	45.8
Agosto 2023	+62	7° più piovoso	123.4
Settembre 2023	-23	nella norma	78.0
Ottobre 2023	+8	23° più piovoso	125.5
Novembre 2023	-55	21° meno piovoso	59.5
Dicembre 2023	-20	31° meno piovoso	45.8
Anno 2023	-8	27° meno piovoso	943.8

Tabella 4: Precipitazioni cumulate medie mensili in Piemonte. In arancione (secco) o blu (piovoso) i mesi nelle prime dieci posizioni storiche, in grassetto quelli tra i primi tre

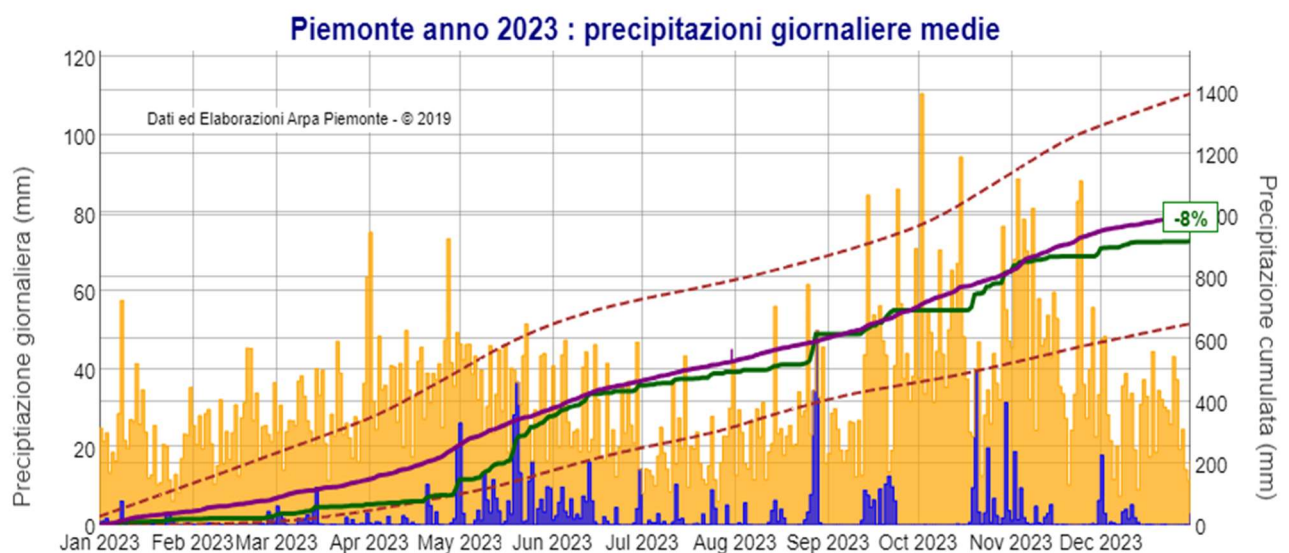


Figura 5 – Andamento della precipitazione cumulata giornaliera media sul Piemonte nell'anno 2023 (linea verde), confrontata con la precipitazione cumulata media nel periodo 1991 – 2020 (linea viola); le barre blu rappresentano la precipitazione media giornaliera, le barre gialle il valore massimo giornaliero nel periodo 1958 – 2023.

Anomalie annuali di Precipitazione (mm) anno 2023

Periodo di riferimento 1991–2020

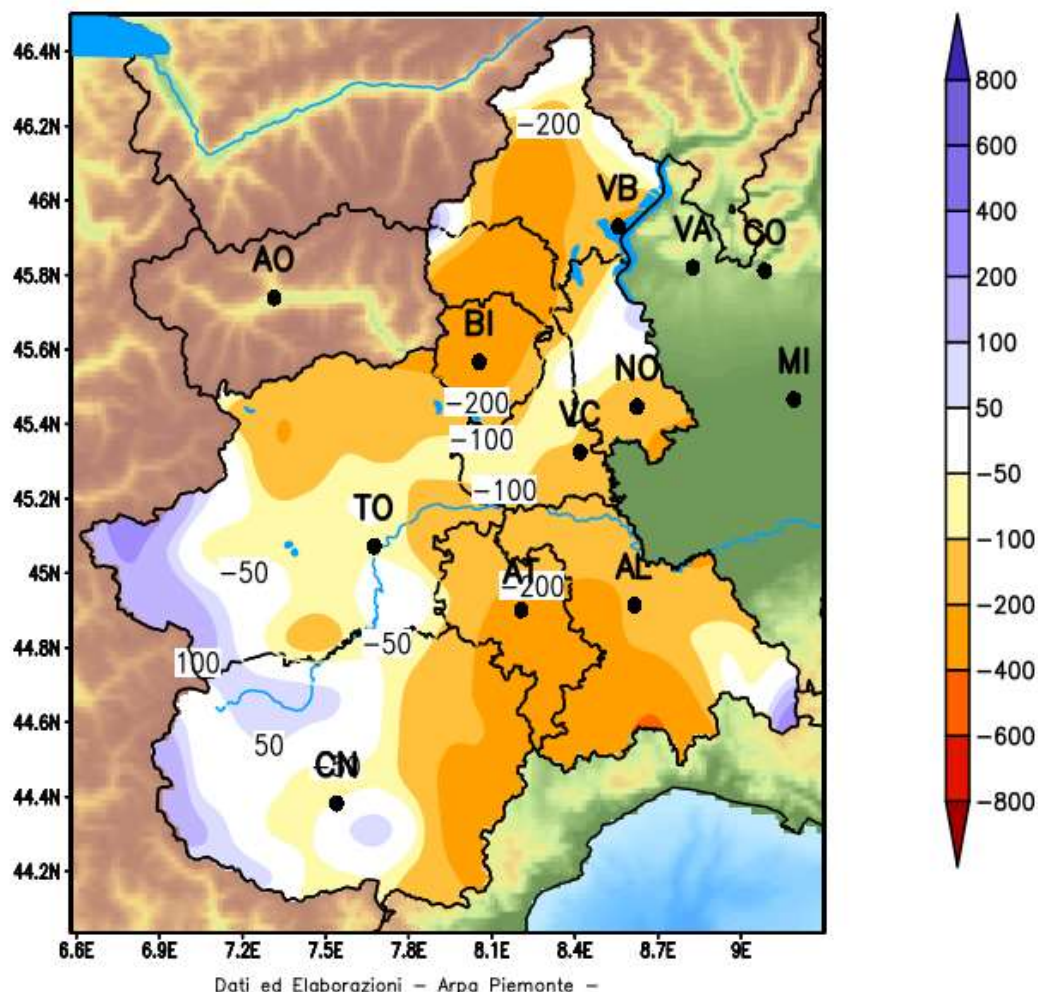


Figura 6 – Anomalia delle precipitazioni per l'anno 2022 rispetto al periodo di riferimento 1991 – 2020

Gli episodi di foehn annuali (Tabella 6) sono risultati 92, decisamente superiori ai 66 della media annuale del periodo 2000-2020 e rappresentano anche il numero annuale massimo dal 2000; l'episodio più intenso più intenso dell'anno è avvenuto il 22 dicembre 2023

La caratterizzazione delle condizioni meteo dispersive nell'anno 2023 è stata realizzata anche calcolando l'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10". Tale indice, la cui rappresentatività spaziale è limitata all'agglomerato torinese, analizza in forma semplificata le interazioni tra la meteorologia ed i fenomeni di trasporto, trasformazione chimica e dispersione degli inquinanti, con la finalità di identificare i giorni in cui si determinano condizioni di stagnazione favorevoli alla formazione di PM10.

In Figura 7 sono riportati i valori mensili dell'indice calcolati per l'anno 2023, confrontati con i massimi e i minimi mensili della climatologia del periodo 2006-2022. I valori dell'indice mostrano un anno con caratteristiche meteo dispersive mediane rispetto al periodo di riferimento, in particolare nei mesi di gennaio, febbraio, novembre e dicembre; nei mesi di marzo, ottobre e settembre il numero di giorni critici si attesta invece su valori di poco superiori ai minimi del periodo.

	Giorni nebbia ordinaria 2023 (vis < 1 km)	Climatologia giorni nebbia ordinaria (vis < 1 km)	Giorni nebbia fitta 2023 (vis < 100 m)	Climatologia giorni nebbia fitta (vis < 100 m)
Gennaio	15	19	1	5
Febbraio	10	16	2	4
Marzo	10	9	0	1
Aprile	3	5	0	0
Maggio	0	3	0	0
Giugno	0	1	0	0
Luglio	2	2	0	0
Agosto	0	1	0	0
Settembre	2	6	0	0
Ottobre	13	19	0	3
Novembre	13	19	3	4
Dicembre	21	21	1	4
Anno	89	121	7	21

Tabella 5 – Giorni di nebbia ordinaria e fitta registrati in Piemonte nell'anno 2023, comparati con le medie del periodo 2004-2022.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
2023	12	4	10	11	1	2	6	8	1	7	18	12
Media 2000-2020	9	7	8	4	5	3	4	4	4	5	5	8

Tabella 6 – Numero di episodi di foehn mensile in Piemonte comparati con le medie del periodo 2000-2020.

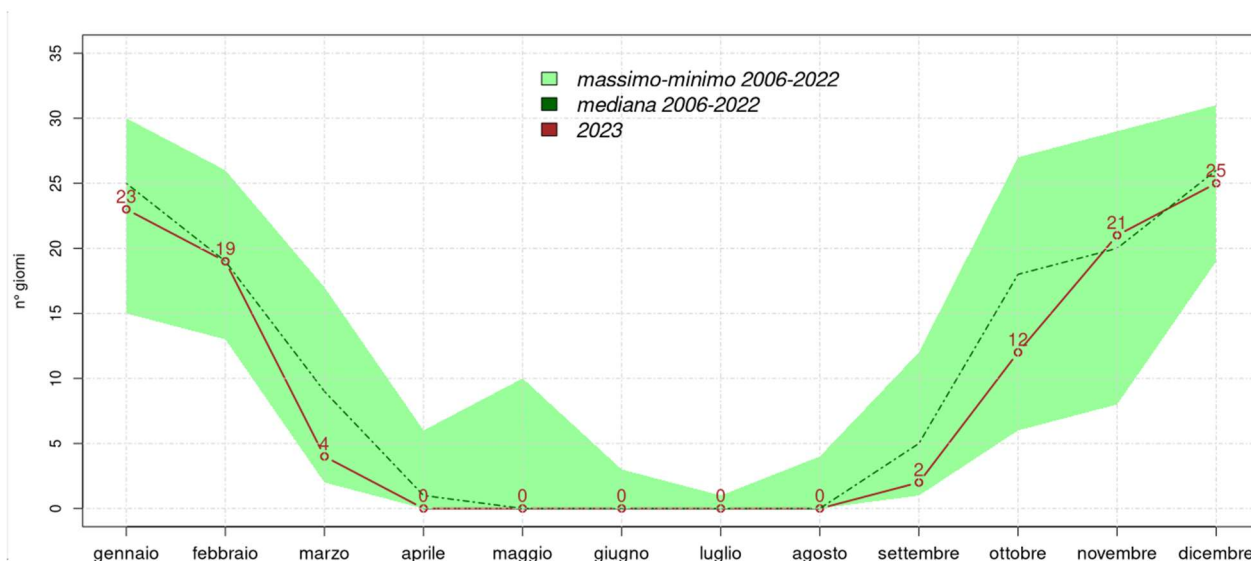


Figura 7 – Andamento mensile dell'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10" sull'agglomerato urbano di Torino nell'anno 2023, confrontato con i massimi ed i minimi mensili del periodo di riferimento 2006-2022.

5 Il quadro regionale

5.1 Particolato sospeso: PM10

5.1.1 Media annua

Nel corso del 2023, su tutto il territorio regionale è stato rispettato il valore limite medio annuo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come si può osservare dalla Figura 8. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, in cui sono rappresentati in mappa sia i valori delle concentrazioni misurate presso le stazioni della rete regionale (a destra), sia i campi prodotti nella valutazione modellistica di qualità dell'aria con il sistema modellistico regionale. Le concentrazioni maggiori sono stimate in corrispondenza dei principali centri urbani (l'area metropolitana di Torino, Alessandria, Asti); si evidenziano concentrazioni relativamente elevate anche nelle zone di pianura del torinese, cuneese, astigiano, alessandrino. La zona pedemontana e le aree pianeggianti adiacenti mostrano concentrazioni generalmente inferiori a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre le aree montuose alpine e quelle appenniniche ai confini con l'Emilia-Romagna si mantengono al di sotto di $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con valori relativamente più alti nella zona di Domodossola. Si conferma quindi la distribuzione spaziale delle misure della rete di monitoraggio della qualità dell'aria, seppur con una lieve tendenza alla sottostima nelle stazioni di traffico di alcuni centri urbani (Torino, Alessandria, Asti), dove diventano importanti effetti locali non riproducibili alla risoluzione della simulazione.

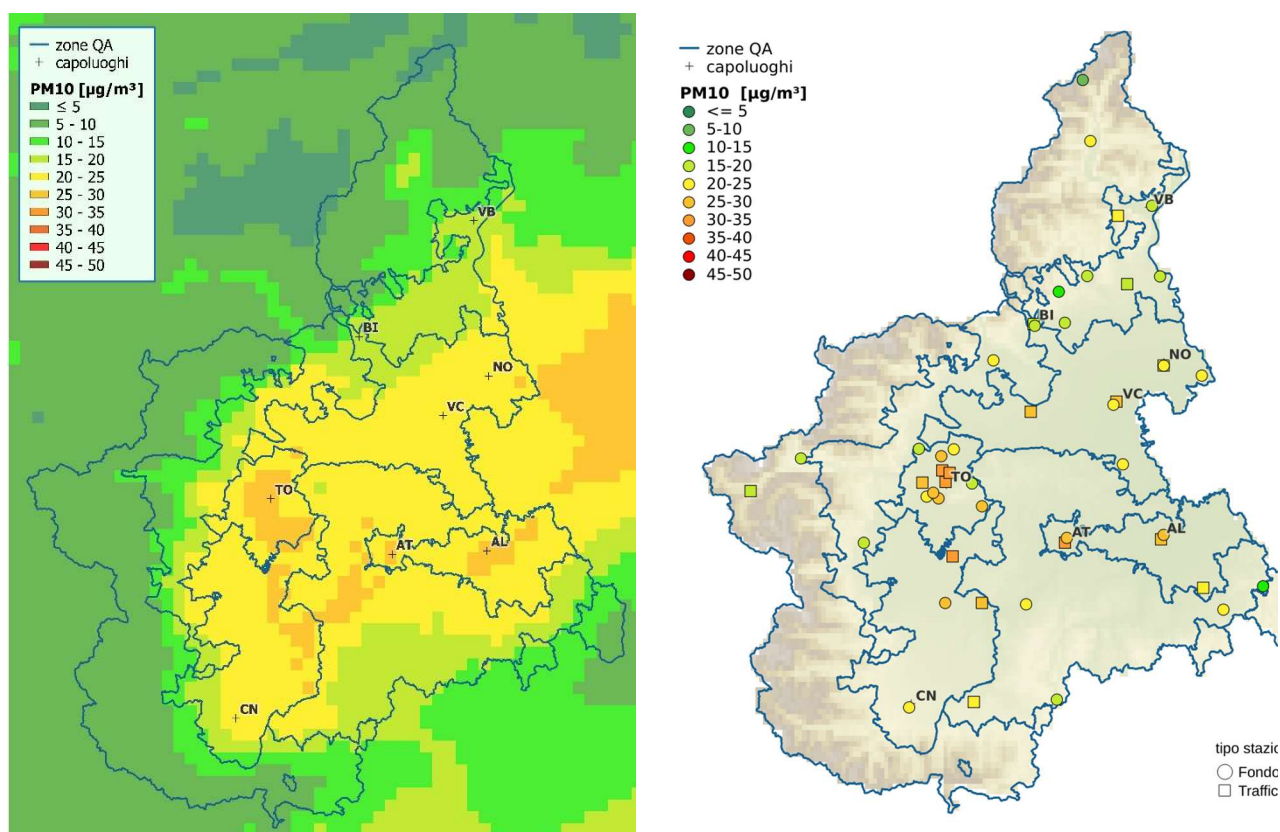


Figura 8: PM10: concentrazioni medie per l'anno 2023: stimate dal sistema modellistico (a sinistra) e valori misurati presso le stazioni del SRRQA (a destra). La scala di colori utilizzata è la medesima.

Il confronto fra i valori registrati presso le stazioni di monitoraggio, riportato in

Figura 9, mostra che le concentrazioni maggiori si hanno presso le stazioni di traffico delle maggiori aree urbane, quali Torino – Grassi ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Torino – Rebaudengo ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Torino-Consolata ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Asti – Baussano e Carmagnola I maggio ($31 \mu\text{g}/\text{m}^3$), e Alessandria D'Annunzio ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Per quanto riguarda le stazioni di fondo, i valori di media annuale più elevati si osservano nelle stazioni urbane di Alessandria - Volta, Torino – Lingotto, Torino – Rubino ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e nella stazione suburbana di Cavallermaggiore – Galilei e Chieri - Bersezio ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

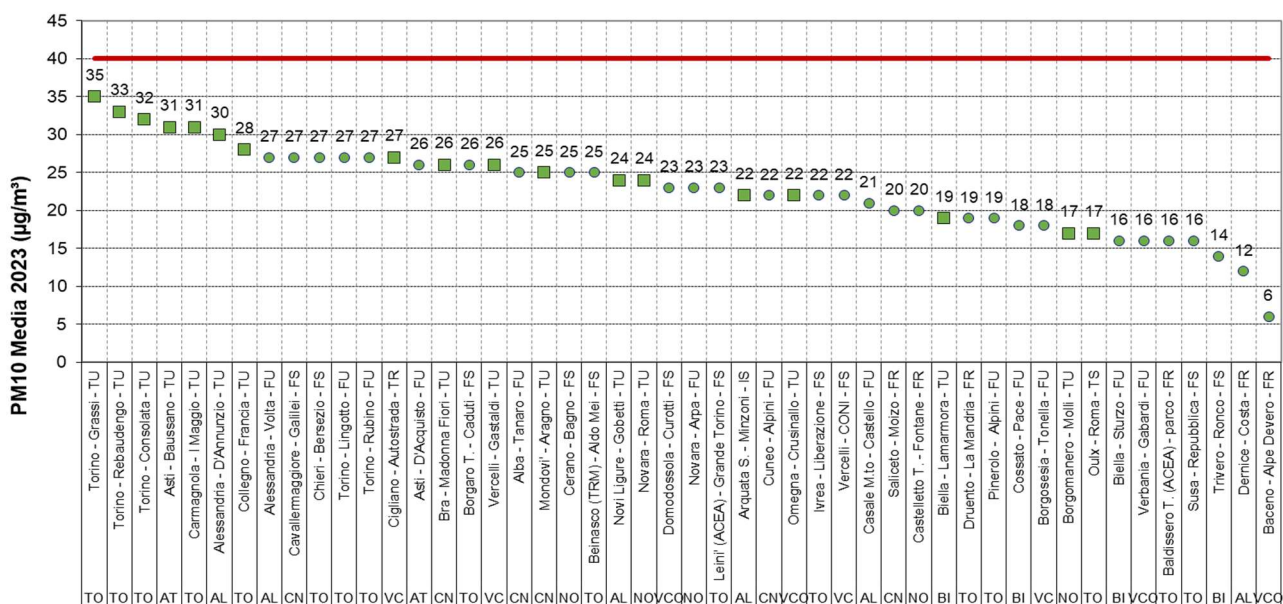


Figura 9: PM10: concentrazioni medie per l'anno 2023: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde). Le medie sono calcolate stazioni della rete regionale che presentano una percentuale di dati validi superiore 85% dal 2023, in conformità alle indicazioni europee.

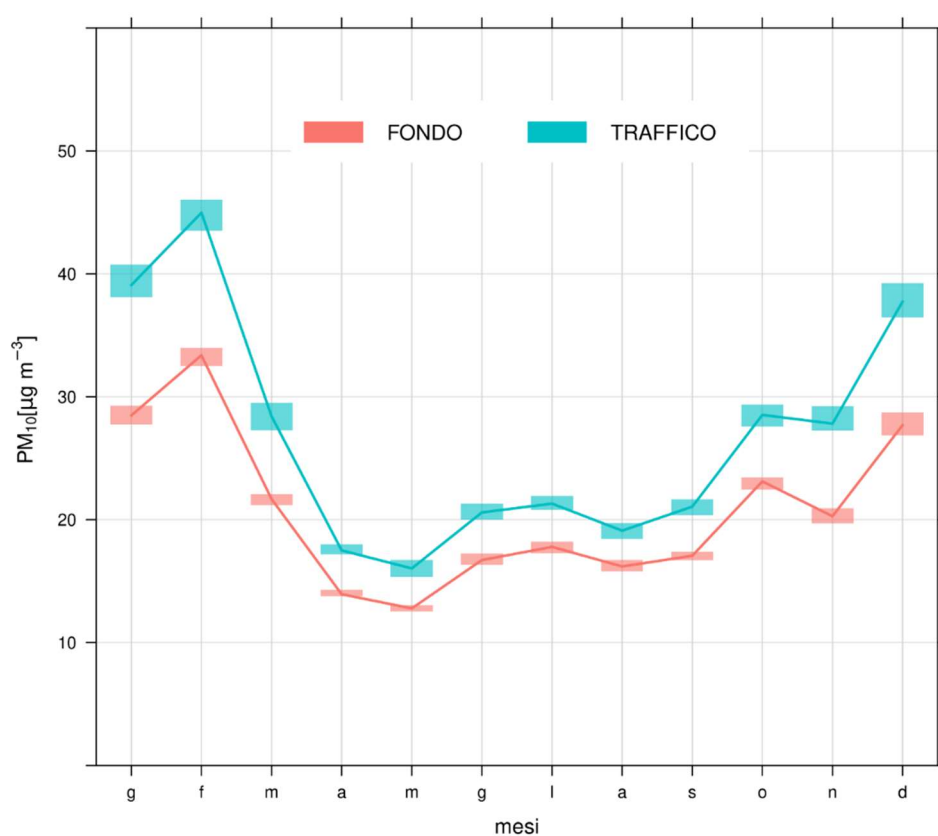


Figura 10: PM10: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2023 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

Il grafico illustrato in

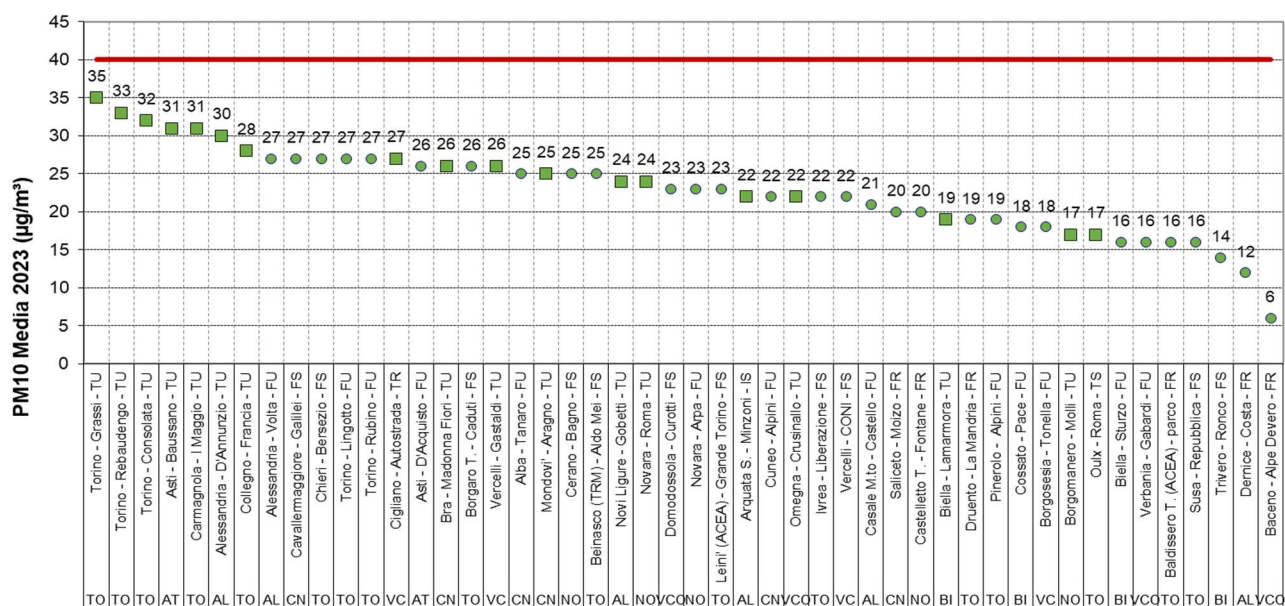


Figura 9 descrive l'andamento per l'anno 2023 della media mensile di tutte le stazioni della rete regionale, suddivise in stazioni di fondo e di traffico. Il profilo temporale presenta valori più elevati nei mesi di gennaio e febbraio e, in misura minore, dicembre: i primi due mesi dell'anno sono stati caratterizzate da un lungo periodo di "giornate secche" con deficit pluviometrico e quindi favorevoli all'accumulo degli inquinanti; nei mesi di marzo, ottobre, novembre le concentrazioni medie mensili si sono attestate su valori inferiori rispetto a quelle corrispondenti dell'anno precedente, in particolare nelle stazioni di fondo, grazie ad un aumento della ventosità (nel mese di marzo e novembre) e della piovosità (ottobre).

La Tabella 7 permette di avere una visione d'insieme negli anni e nelle varie stazioni e quindi di valutare come si collocano le concentrazioni di PM10 registrate nell'anno 2023 rispetto agli anni precedenti (a partire dal 2010): i valori medi annui misurati presso le stazioni di monitoraggio sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori tiene invece conto delle soglie di valutazione inferiore e superiore e del valore limite previsti dal D.Lgs 155/2010. Si conferma una generale riduzione delle concentrazioni medie annue nel corso degli anni, attribuibile all'applicazione di politiche di riduzione delle emissioni ma anche influenzata dalle condizioni meteorologiche, in particolare per le oscillazioni degli ultimi anni. Infatti, a fronte di un 2022 con concentrazioni medie annue lievemente superiori, nel 2023 si osserva una diminuzione dei livelli di concentrazione favorita anche da condizioni meteorologiche più favorevoli alla dispersione degli inquinanti. L'andamento decrescente delle concentrazioni è stato registrato in tutte le stazioni della rete.

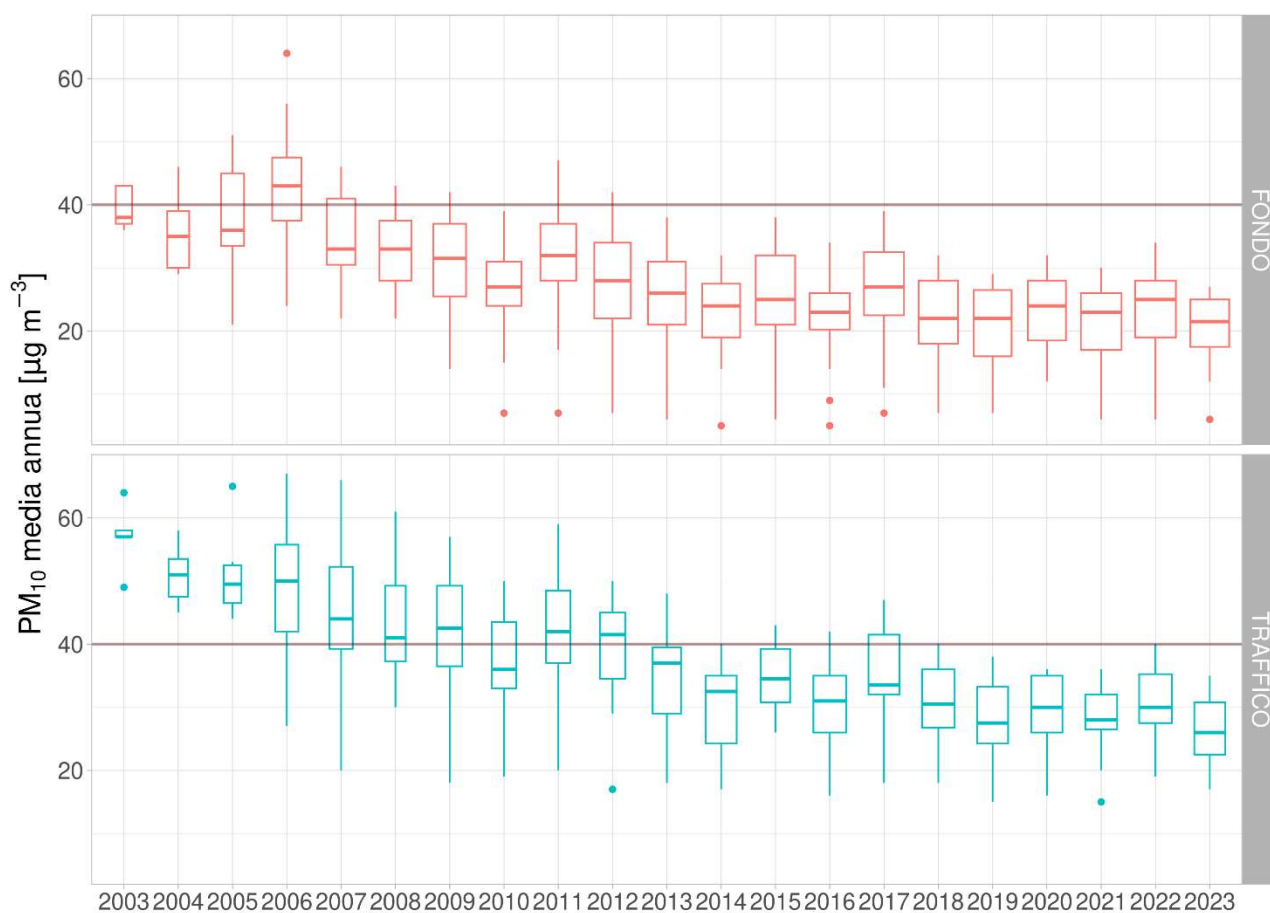


Figura 11: PM₁₀: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2023 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

PM10 - Media annuale (Valore limite: 40 µg/m3)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	20	23	21	17		17	14	11	8		22	20	18	16
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				33	30	33	29	36	28	27	28	27	29	25
		Borgaro T. - Caduti	FS	37	43	42	35	31	35	31	38	30	26	30	28	31	26
		Chieri-Bersezio	FS											28	28	31	27
		Collegno - Francia	TU				36	32	36	32	40	33	30	35	32	36	28
		Druento - La Mandria	FR	27	31	28	24	19	23	21	27	22	19	21	21	21	19
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS		36	33	29	25	36	30	34		26	29	26	27	23
		Settimo T. - Vivaldi	TU		44	39	34	39	35			36	34	35	31	35	
		Torino - Consolata	TU	43	50	48	40	35	40	35	43	33	28	36*		33	32
		Torino - Grassi	TU	50	59		48			42	47	40	38		36	40	35
		Torino - Lingotto	FU	36	44	42	38	32	38	34	39	28	27	30	26	34	27
		Torino - Rebaudengo	TU					40	43	37	46	39	34	36	33	37	33
		Torino - Rubino	FU	39	47	40	35	31	36	32	38	29	28	32	30	32	27
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS	34	32	30	27	24		31	32	29	25	26	28	26	22
		Dernice - Costa	FR	15	17	18	14	14	15	14	16	15	12	12	14	13	12
	AT	Vinchio - San Michele	RF	27	32	29	29	27	30	26	29	26	21	25	25	26	
	BI	Cossato - Pace	FU	28	33	27	24	21	25	23	26	22		23	22	23	18
	CN	Alba - Tanaro	FU	33	39	38	31	28	30	26	30	28	26	27	26	26	25
		Mondovì - Aragno	TU					26	29	26	29	25	22	23	27	28	25
	NO	Saliceto - Moizo	FR	29	29	26	23	21	23	21	24	22	22	22	22	23	20
		Borgomanero - Molli	TU				22	20	26	21	23	21	19	20	20	20	17
	TO	Castelletto T. - Fontane	FR					20	25	22	25	20	19	21	21	23	20
		Ivrea - Liberazione	FS	28	35	34	27	23	28	26	31	25	24	25	23	26	22
		Pinerolo - Alpini	FU	28	32	29	26		21	23	26	21	19	18	17	19	19
	VB	Susa - Repubblica	FS	22	23	21	18	16	18	17	22	18	15	16	17	18	16
		Omegna - Crusinallo	TU					23	30	25	27	23	23	24	24	26	22
	VC	Verbania - Gabardi	FU	19	22	22	17	14	17	15	18	15	14	14	15	18	16
		Borgosesia - Tonella	FU	23	29	26	23	19	24	21	24	19	19	17	17	21	18
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			19	16	14	18	15	18	15	14	14	15	16	14
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	7	7	7	6	5	7	9	11	11	9		10	11	
		Oulx - Roma	TS	19	20	17	18	17		16	18	18	15	16	15	19	17
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR						6	5	7	7	7		6	8	6
Planura	AL	Domodossola - Curotti	FS					25	29	23	27	20	22	24	23	25	23
		Alessandria - D'Annunzio	TU	32	50	49	41	38	39	36	42	37	35	32	35	35	30
		Alessandria - Volta	FU	36	38	39	35	32	34	27	37	32	29	30	30	30	27
		Casale M.to - Castello	FU				26	27	32	27	31	28			26	25	21
	AT	Novi Ligure - Gobetti	TU						31	29	33	31	27	27	27	29	24
		Tortona - Carbone	TU	38	41	43	38	36		28	32	28			28	30	
		Asti - Baussano	TU	44	47	41	38	35	40	34	40	36	30	32	32	37	31
		Asti - D'Acquisto	FU	26	37	28	32	26	24	23	29	31	29	29	29	29	26
	BI	Biella - Lamarmora	TU	30	36	29	28	25	31	26		26	25	26	23	23	19
		Biella - Sturzo	FU	25	28	22	20	17	22	20	22	18	15	17	17	19	16
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	36	42	42	37	33	33	28	33	28	24	28	29	29	26
		Cuneo - Alpini	FU	27	28	28	22	20	23	23	26	21	17	19	23	24	22
		Cavallermaggiore-Galilei	FS												30	32	27
	NO	Cerano - Bagno	FS	33	36	37	31	28	33	26	33	26	27	28	29	31	25
		Novara - Roma	TU	35	38	37	30	23	29	26	33	27	27	26	26	29	24
		Novara - Arpa	FU	27	32	31	26	24		25	30	24	24	25	24	27	23
	TO	Novara - Arpa	FU	27	32	31	26	24		25	30	24	24	25	24	27	23
		Carmagnola - I Maggio	TU	44	44	50	42	36	41	37	45	36	35	36	33	37	31
		Cigliano-Autostrada	TR					26	31	31	34	36		35	28	30	27
	VC	Vercelli - CONI	FS	29	37	34	28	25	30	26	33	25	27	26	24	26	22
		Vercelli - Gastaldi	TU			36	37	34	37	33	38	30	31	32	28	30	26

Legenda
 TU = Stazione di Traffico Urbano
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS = Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale
 IS = Stazione Industriale di Fondo
 TR = Stazione di Traffico Rurale

PM10 - media (µg/m3)

<= 10	<= 20
> 10	<= 28
> 20	<= 40
> 28	
> 40	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all'80% fino al 2022 e all'85% dal 2023
 n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022
 * Stazione con percentuale dati validi pari a 79% . I dati mancanti sono in un periodo in cui normalmente non si verificano superamenti

Tabella 7: PM10: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023. Gli indicatori relativi al PM10 sono calcolati sulle stazioni della rete regionale che presentano una percentuale di dati validi superiore all'80% fino al 2022 e all'85% dal 2023 in poi, in conformità alle indicazioni europee

L'andamento decrescente delle concentrazioni è evidenziato anche dalle elaborazioni in Figura 11 e in Figura 12.

Nella prima sono riportati i box plot¹¹ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni dell'intera rete SRRQA dal 2003 al 2023. Anche in questo caso è ben evidente la riduzione delle concentrazioni nel corso degli anni: a partire dal 2013 in nessuna stazione di fondo si registrano superamenti del valore limite di 40 µg/m³ per la media annua ed anche nelle stazioni di traffico i valori mediani delle distribuzioni annuali si attestano stabilmente al di sotto del valore limite già a partire dal 2013. Il 2023, sia nelle stazioni di fondo che in quelle di traffico, è caratterizzato dai valori mediani (e massimi) inferiori di tutta la serie storica.

Il trend di riduzione per la media annuale di ciascuna stazione è stato infine valutato numericamente¹² tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair¹³. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati sono mostrati in Figura 12 dove è riportato, per ogni stazione in cui è statisticamente significativo, il valore del trend (espresso in µg/m³ all'anno) ed il relativo intervallo di confidenza. In nessuna stazione è stato calcolato un trend in aumento, tranne in quella di Ceresole che presenta una tendenza lievemente positiva seppure in un contesto di concentrazioni molto basse. In generale, nella totalità delle stazioni analizzate ad eccezione di Chieri – Bersezio e Mondovì - Aragno, la diminuzione è risultata essere statisticamente significativa.

¹¹ Ciascun box è delimitato in alto e in basso dal primo e dal terzo quartile (25° e 75° percentile rispettivamente), al centro è presente una barra orizzontale che rappresenta la mediana (50° percentile: valore superiore al 50% dei dati considerati); le barre verticali che escono dal box rappresentano il minimo e il massimo e sono calcolate sulla base del range interquartile (IQR, differenza tra il terzo e il primo quartile) moltiplicato per un fattore (1.5)

¹² Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni medie giornaliere, è stata stimata la pendenza media della retta di regressione, con il relativo intervallo di confidenza, tramite lo stimatore Theil-Sen. È stata valutata la significatività statistica della regressione con tre livelli di confidenza, 90%, 95% e 99%. Le serie temporali sono state destagionalizzate e sono stati considerati solo gli anni con almeno il 75% di dati validi.

¹³ Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair - an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

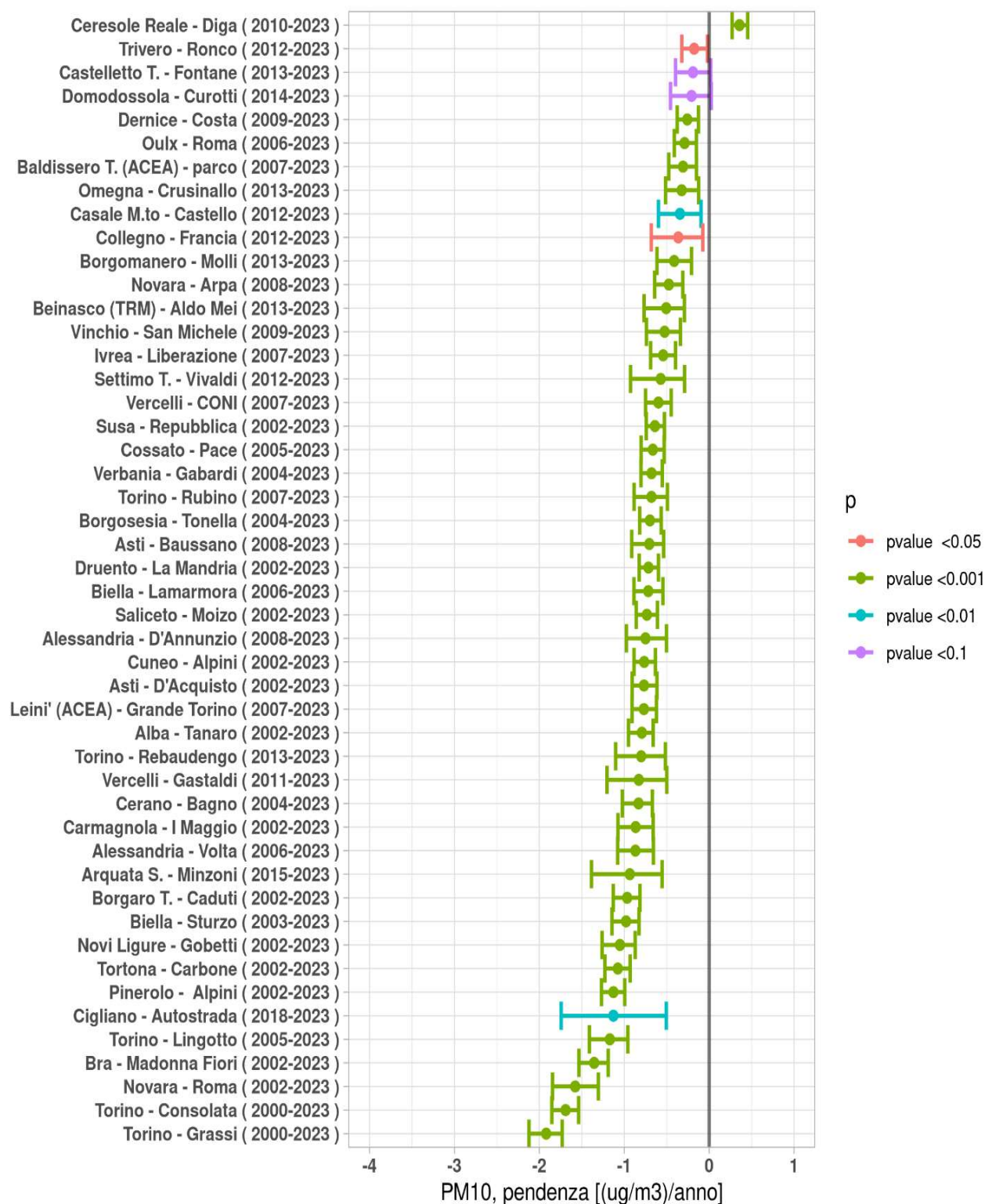


Figura 12: PM10: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue di PM10, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione per l'anno 2023. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (verde al 99,9%, blu al 99%, rosso al 95% e viola al 90%).

5.1.2 Superamenti del valore limite giornaliero

L'anno 2023 ha registrato in alcune stazioni superamenti del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera del particolato PM10 in numero maggiore a quanto consentito dalla normativa, ovvero 35 superamenti per anno solare. La Figura 13, rappresenta in mappa il numero dei superamenti, sia quelli registrati presso le stazioni del SRRQA (a destra), sia quelli stimati nella valutazione modellistica (a sinistra): si nota come questi siano localizzati esclusivamente nell'agglomerato di Torino, nelle città di Asti, Alessandria e Carmagnola (le ultime due solo a livello di stazione di monitoraggio). Sia le stazioni di fondo (pallini) che quelle di traffico (quadrati) sono generalmente ben rappresentate dalla valutazione modellistica, fatta eccezione per qualche stazione di traffico nell'Agglomerato di Torino e Alessandria e per Domodossola Curotti nell'alto Verbano.

La Figura 14 illustra il numero dei superamenti registrati nel 2023 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria. I superamenti che eccedono il limite di legge si hanno solamente nelle stazioni di traffico della Città Metropolitana di Torino, della città di Asti (Asti – Baussano) e di Alessandria (Alessandria – D'Annunzio) e nella stazione di fondo di Torino – Rubino. Nelle province di Vercelli, Biella, Novara, Cuneo e Verbano-Cusio-Ossola non si osservano superamenti del limite giornaliero in numero superiore al limite di legge.

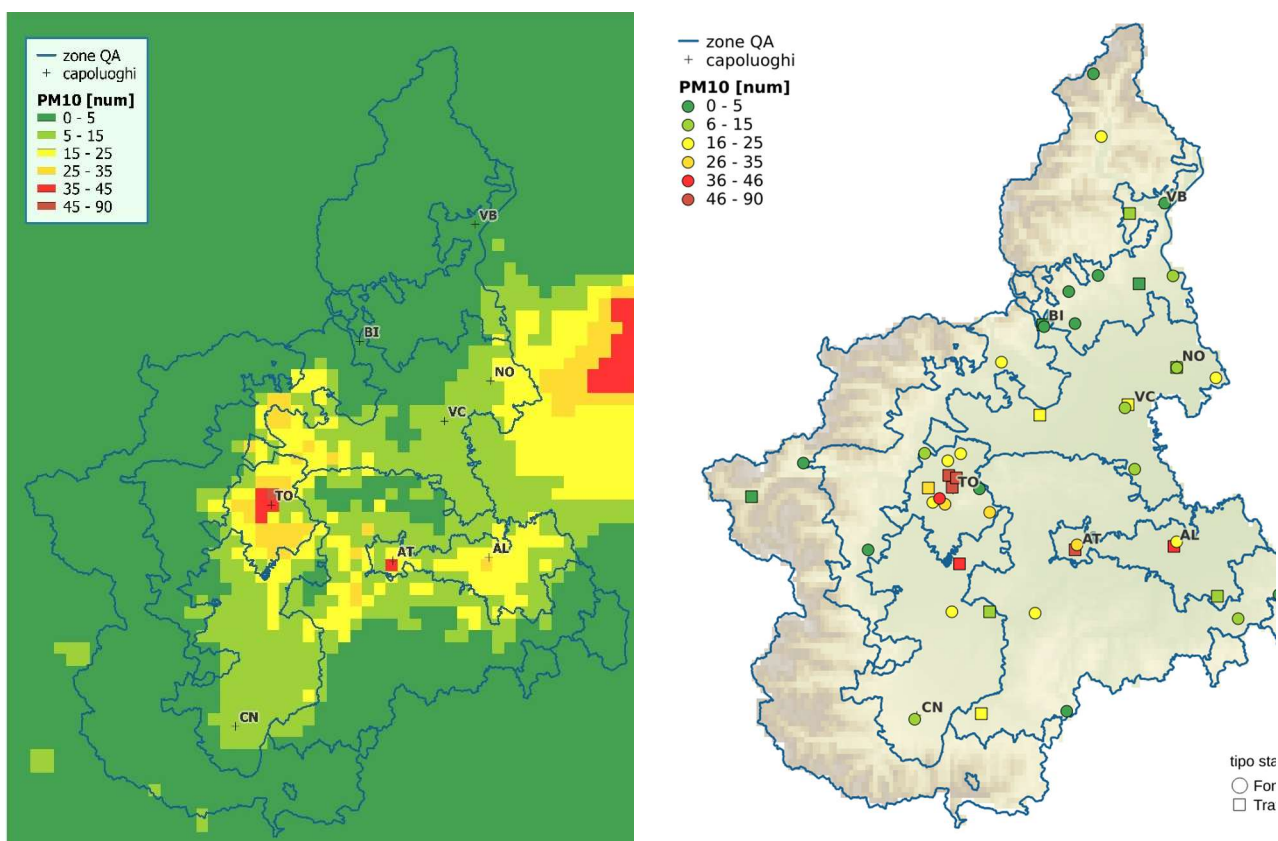


Figura 13: PM10: numero superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera per l'anno 2023: stimati dal sistema modellistico (a sinistra) e valori misurati presso le stazioni del SRRQA (a destra). La scala di colori utilizzata è la medesima

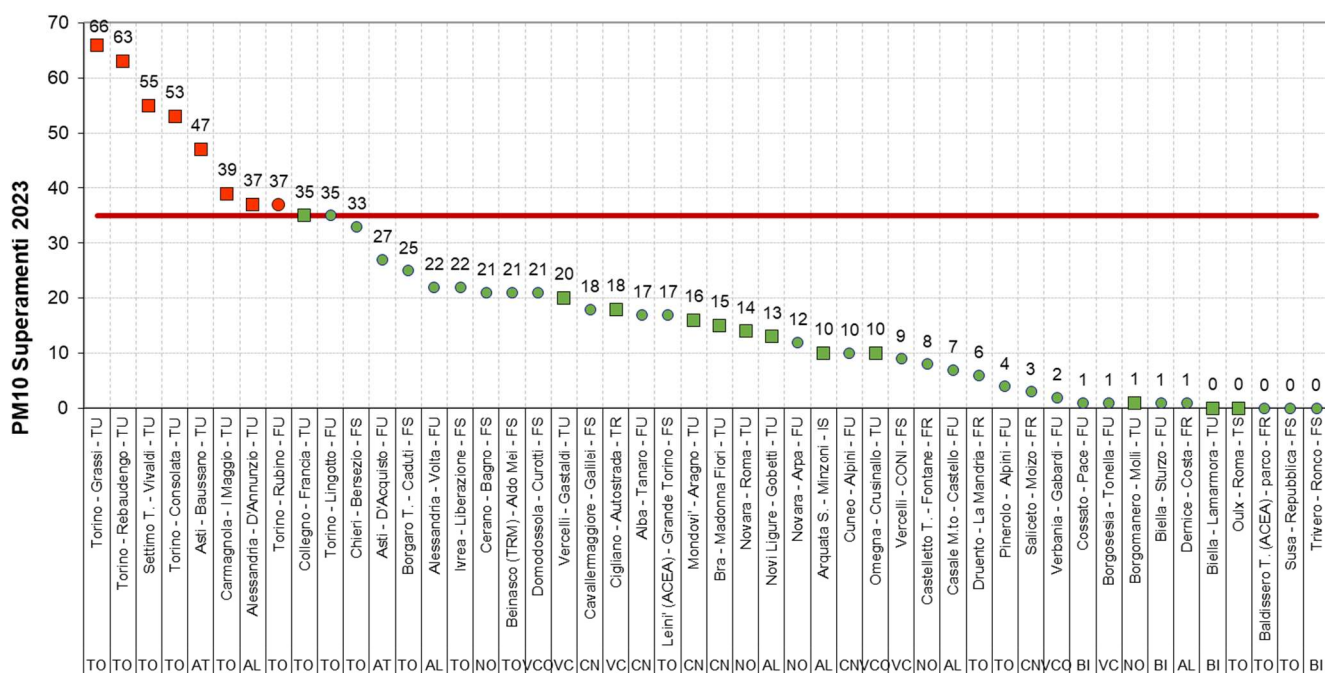


Figura 14: PM10: numero superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera per l'anno 2023: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente per il numero di superamenti. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

La Tabella 8 permette di avere una visione d'insieme negli anni e nelle varie stazioni e quindi di valutare come si collocano i superamenti del valore limite giornaliero registrati nell'anno 2023 rispetto agli anni precedenti (a partire dal 2010): la tabella riporta il numero di superamenti misurato presso le stazioni di monitoraggio, suddivise per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori evidenzia, con gradazioni di rosso, il non rispetto dei limiti previsti dal D.Lgs 155/2010. Nonostante un numero non trascurabile di stazioni, principalmente di traffico e localizzate nella zona Agglomerato, permanga al di sopra dei limiti di legge, si evidenzia una generale tendenza alla riduzione del numero di superamenti: da circa il 68% di stazioni sopra il limite nel 2010 al 16% nel 2023 (meno della metà dell'anno precedente, il 2022, in cui erano il 38%).

Per il particolato PM10 quindi, anche nel 2023 il numero di superamenti del valore limite giornaliero risulta essere sicuramente l'indicatore a maggiore criticità e le politiche di riduzione delle emissioni adottate negli ultimi anni non sembrano essere ancora del tutto sufficienti a garantire il rispetto completo dei limiti stabiliti dalla vigente normativa.

In Appendice A1 è riportata, per completezza d'informazione, una tabella contenente i valori del 90.41° percentile⁽¹⁴⁾ delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 rilevate negli anni dal 2010 al 2023 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria aventi almeno l'85% dei dati validi nel 2023.

¹⁴ Corrisponde alla 36-esima media giornaliera più alta dell'anno, quando questo valore è inferiore o uguale a 50 µg/m³ il limite normativo di 35 superamenti per anno solare è rispettato, viceversa quando è superiore a 50 µg/m³

PM10 - Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (Valore limite: 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte per anno civile)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	13	33	17	9		8	1	1	0		22	15	9	0
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				70	47	68	52	88	41	49	59	39	36	21
		Borgaro T. - Caduti	FS	83	107	90	75	44	71	54	90	42	28	51	37	39	25
		Chieri - Bersezio	FS											55	40	48	33
		Collegno - Francia	TU				83	61		61	102	56	50	85	57	74	35
		Druento - La Mandria	FR	38	63	45	29	11	23	22	41	15	10	11	7	10	6
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS		74	66	59	35	84	57	79		44	59	38	33	17
		Settimo T. - Vivaldi	TU			111	88	81	98	70		65	63	83	55	77	55
		Torino - Consolata	TU	102	134	118	100	75	93	75	108	55	45	84*		57	53
		Torino - Grassi	TU	131	158		126			89	112	76	83		75	98	66
		Torino - Lingotto	FU	80	106	94	89	59	86	62	101	39	48	67	40	66	35
		Torino - Rebaudengo	TU					94	101	74	118	87	71	88	65	86	63
		Torino - Rubino	FU	83	111	83	87	58	84	65	97	33	46	66	57	58	37
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS	71	57	39	32	17		51	56	35	22	31	37	26	10
		Dernice - Costa	FR	5	9	9	4	6	6	3	10	1	1	1	6	1	1
	AT	Vinchio - San Michele	FR	45	56	57	47	40	50	38	59	26	15	36	31	19	
	BI	Cossato - Pace	FU	49	65	41	33	16	32	28	44	19		22	16	13	1
	CN	Alba - Tanaro	FU	64	83	90	61	40	48	38	57	33	24	44	24	23	17
		Mondovì - Aragno	TU					25	30	32	44	21	10	19	27	26	16
	NO	Saliceto - Moizo	FR	41	50	38	20	16	14	15	26	13	11	17	18	10	3
		Borgomanero - Molli	TU				22	8	28	18	30	12	8	21	12	11	1
	TO	Castelletto T. - Fontane	FR					14	29	20	29	10	9	25	13	22	8
		Ivrea - Liberazione	FS	53	82	71	52	30	55	41	60	28	29	48	33	41	22
	VB	Pinerolo - Alpini	FU	29	57	54	33		11	15	40	11	5	12	10	9	4
		Susa - Repubblica	FS	21	24	15	10	1	11	10	27	6	1	3	5	4	0
	VC	Omegna - Crusinallo	TU					13	68	30	37	14	17	26	14	25	10
		Verbania - Gabardi	FU	14	23	18	4	2	4	8	17	3	1	6	5	4	2
Montagna	BI	Borgosesia - Tonella	FU	29	52	34	27	6	21	24	35	8	9	7	7	5	1
	TO	Trivero - Ronco	FS			7	6	4	10	6	18	3	4	5	4	1	0
		Ceresole Reale - Diga	FR	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1		3	0	
	VB	Oulx - Roma	TS	7	11	3	6	5		0	8	1	0	1	0	1	0
Pianura	AL	Baceno - Alpe Devero	FR						0	0	0	0	0		3	2	0
		Domodossola - Curotti	FS					34	54	30	50	12	11	40	19	24	21
		Alessandria - D'Annunzio	TU	76	125	123	92	86	84	69	102	59	66	64	67	63	37
		Alessandria - Volta	FU	87	87	95	83	55	82	46	90	57	50	54	54	43	19
	AT	Casale M.to - Castello	FU				40	39	72	37	64	26				17	7
		Novi Ligure - Gobetti	TU						49	44	65	41	33	42	28	31	13
		Tortona - Carbone	TU	91	92	100	87	67		46	70	29			36	42	
		Asti - Baussano	TU	97	117	97	79	66	92	71	98	55	58	69	59	79	47
	BI	Asti - D'Acquisto	FU	57	86	58	70	33	41	50	51	33	39	54	45	43	27
		Biella - Lamarmora	TU	39	77	50	44	22	46	29		25	19	24	18	17	0
		Biella - Sturzo	FU	30	49	26	15	7	16	21	33	11	4	10	8	7	1
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	95	102	106	86	61	62	43	65	31	20	42	38	31	15
		Cuneo - Alpini	FU	31	36	40	18	12	13	23	29	11	3	9	10	13	10
		Cavallermaggiore-Galilei	FS												40	40	18
		Cerano - Bagno	FS	68	77	82	62	41	70	45	68	30	37	51	44	51	21
	NO	Novara - Roma	TU	74	84	84	60	17	42	37	72	25	25	36	34	43	14
		Novara - Arpa	FU	34	70	69	45	26		35	59	19	25	41	34	27	12
		Carmagnola - I Maggio	TU	118	87	137	109	82	107	73	122	69	69	81	49	82	39
		Cigliano-Autostrada	TR					20	53	41	67	44		54	32	28	18
	VC	Vercelli - CONI	FS	49	90	66	63	32	52	43	67	18	30	40	25	25	9
		Vercelli - Gastaldi	TU			79	86	60	82	50	82	29	48	53	31	31	20

Legenda
 TU = Stazione di Traffico Urbano
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS =Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale
 IS = Stazione Industriale di Fondo
 TR = Stazione di Traffico Rurale

PM10 n. superamenti

<= 5	<= 20
> 5	<= 35
> 20	<= 50
> 35	<= 50
> 50	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all'80% fino al 2022 e all'85% dal 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

* stazione con percentuale dati validi pari a 79%. I dati mancanti sono in un periodo in cui normalmente non si verificano superamenti

Tabella 8: PM10: numero di superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

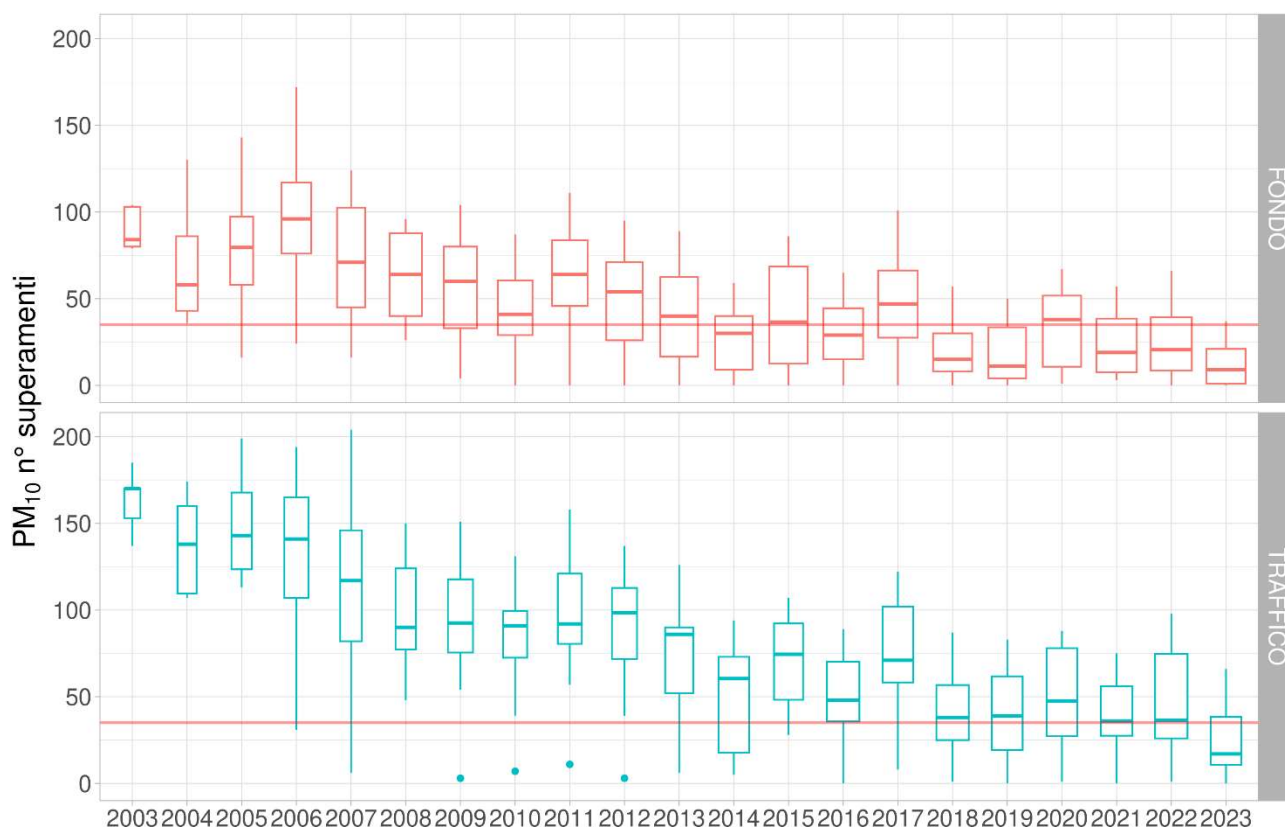


Figura 15: PM10: box plot delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2023 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

L'andamento temporale decrescente delle concentrazioni medie giornaliere è evidenziato anche dalla elaborazione di Figura 15 in cui sono riportati i box plot¹⁵ delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite giornaliero misurati da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2003-2023, suddivise per tipologia di stazione (di fondo e di traffico). Si può osservare, per entrambe le tipologie di stazioni, una generale tendenza alla decrescita, abbastanza evidente nella prima parte del periodo e più lenta negli ultimi anni, nei quali le distribuzioni non sembrano variare di molto se non per oscillazioni principalmente dovute in maggior parte alle variazioni interannuali delle condizioni meteorologiche.

La tendenza di riduzione delle medie giornaliere di ciascuna stazione è stata infine valutata numericamente¹⁶ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair¹⁷, considerando il percentile 90.41 della distribuzione annuale delle medie giornaliere. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati, sono mostrati in Figura 16 dove è riportato, per ogni stazione in cui è statisticamente significativo, il valore del trend (espresso in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno)

¹⁵ Ciascun box è delimitato in alto e in basso dal primo e dal terzo quartile (25° e 75° percentile rispettivamente), al centro è presente una barra orizzontale che rappresenta la mediana (50° percentile: valore superiore al 50% dei dati considerati); le barre verticali che escono dal box rappresentano il minimo e il massimo e sono calcolate sulla base del range interquartile (IQR, differenza tra il terzo e il primo quartile) moltiplicato per un fattore (1.5)

¹⁶ Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliere, è stato calcolato il percentile 90.41 di ciascun anno e successivamente stimata la pendenza media della retta di regressione, con il relativo intervallo di confidenza, tramite lo stimatore Theil-Sen. E' stata valutata la significatività statistica della regressione con tre livelli di confidenza, 90%, 95% e 99%. Le serie temporali sono state destagionalizzate e sono stati considerati solo gli anni con almeno il 75% di dati validi.

¹⁷ Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair - an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

ed il relativo intervallo di confidenza. Analogamente all'analisi condotta sulle medie annuali di PM10, il trend generale risulta essere comunque in diminuzione, fatta eccezione per la stazione di Ceresole Reale – Diga dove è lievemente positivo, con le riduzioni più evidenti nelle stazioni di traffico. Il trend di riduzione è statisticamente significativo nella maggior parte delle stazioni considerate (41 stazioni su un totale di 52), anche se queste risultano essere in numero minore rispetto a quanto visto per la concentrazione media annuale (49 stazioni), a conferma della maggiore criticità per questo indicatore su tutto il territorio regionale.

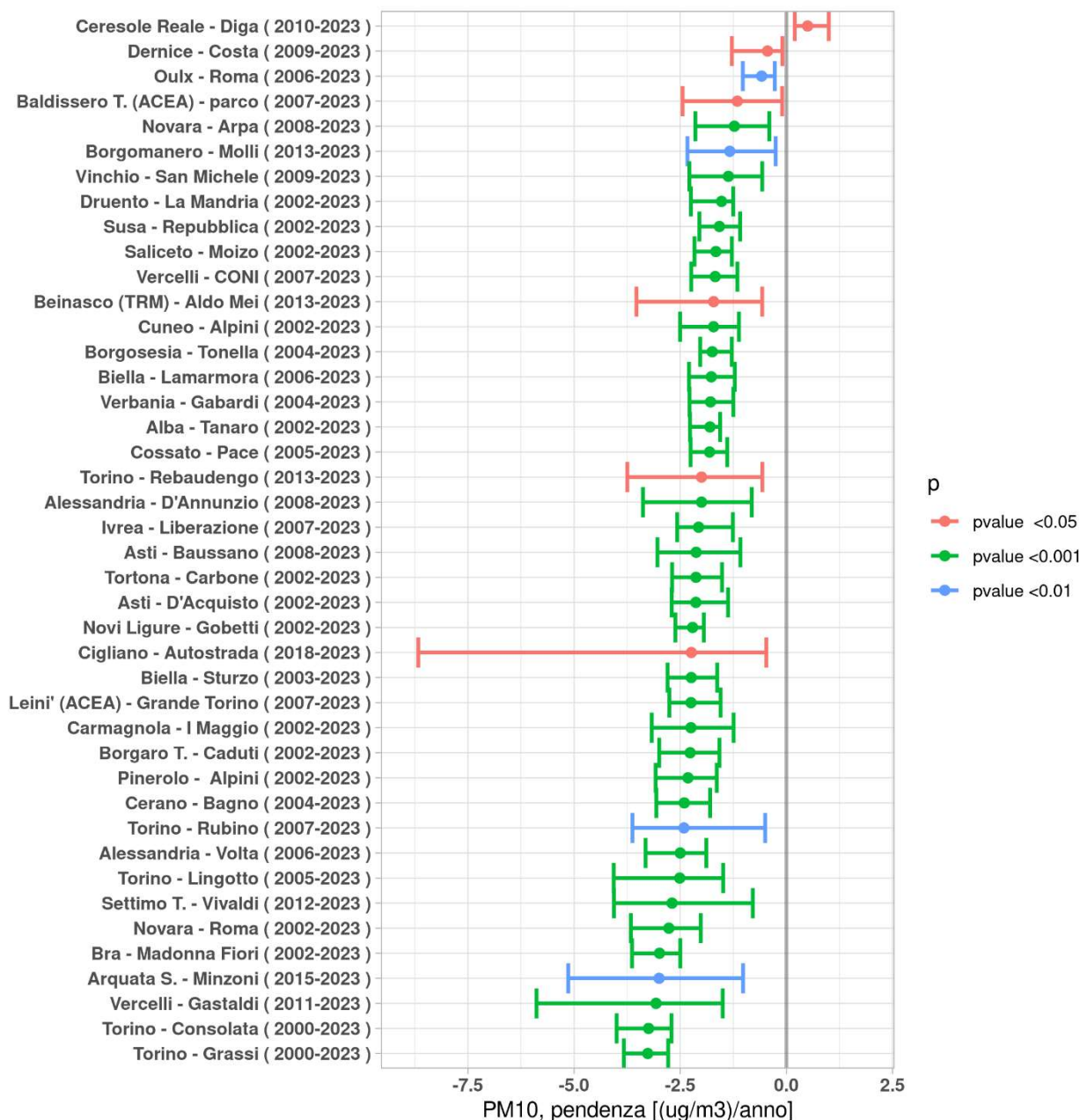


Figura 16: PM10: stima della tendenza del percentile 90.4 della distribuzione delle medie giornaliere di PM10 calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (verde al 99,9%, blu al 99%, rosso al 95%).

5.2 Particolato sospeso: PM2.5

5.2.1 Media annua

Anche nel 2023, su tutto il territorio regionale è stato rispettato il valore limite per la media annua di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come si può osservare dalla Figura 17 che rappresenta in mappa sia i valori delle concentrazioni misurate presso le stazioni della rete regionale (a destra), sia i campi di concentrazione prodotti nella valutazione modellistica di qualità dell'aria. La distribuzione spaziale della media annua mostra concentrazioni comprese tra 15 e $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla maggior parte del territorio regionale, con valori ovunque non superiori ai $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore indicato nella Direttiva 2008/50/CE come limite a partire dal 01/01/2020, ma non ancora recepito a livello nazionale). Dalle mappe si osserva inoltre come le concentrazioni registrate presso le stazioni siano correttamente rappresentate dalla valutazione modellistica.

Il confronto fra i valori registrati presso le stazioni di monitoraggio, riportato in Figura 18, mostra che le concentrazioni maggiori sono state misurate in una stazione di traffico urbano della città di Torino, ovvero Torino – Rebaudengo ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), nella stazione di fondo suburbano di Chieri – Bersezio e nella stazione di traffico rurale di Cigliano-Autostrada (entrambe $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$), tutte ampiamente al di sotto del limite di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

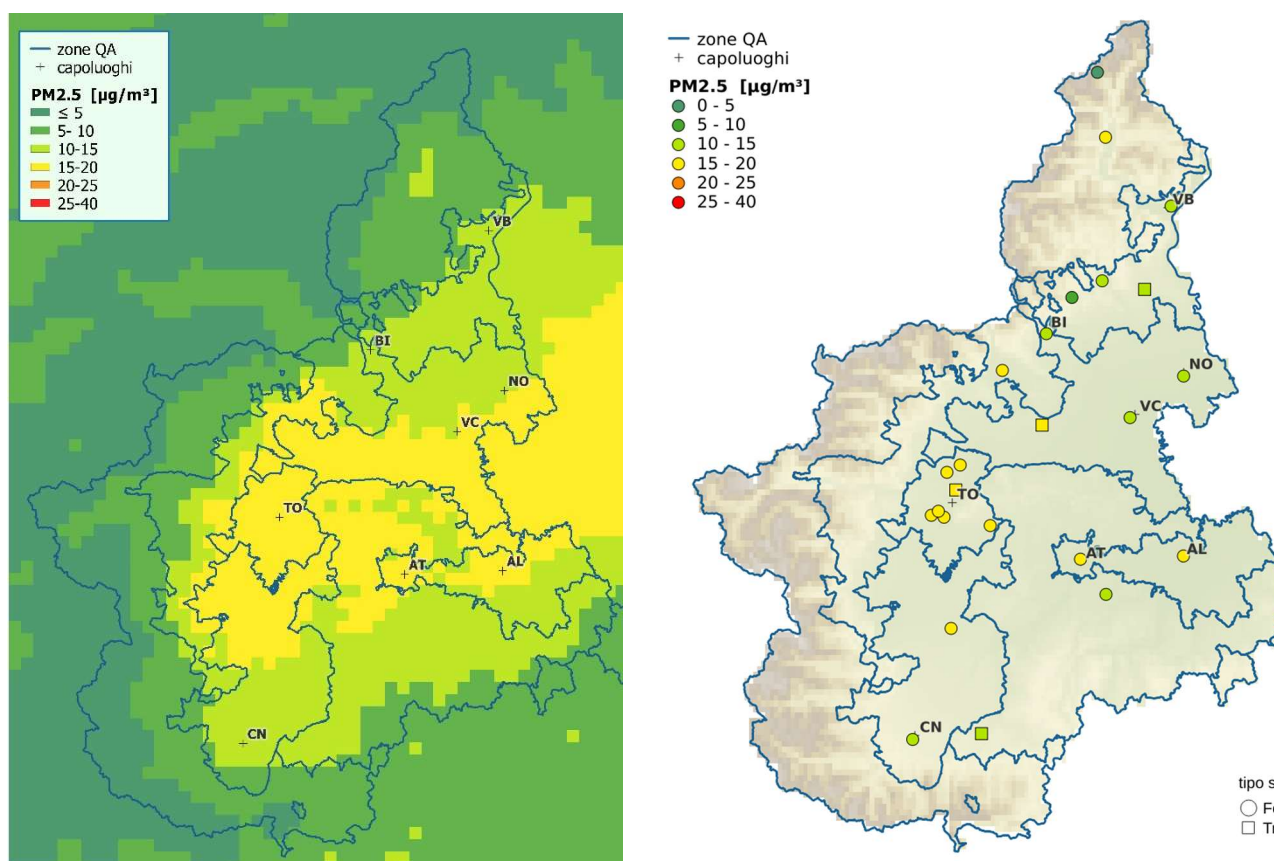


Figura 17: PM2.5: concentrazioni medie per l'anno 2023: stimate dal sistema modellistico (a sinistra) e valori misurati presso le stazioni del SRRQA (a destra). La scala di colori utilizzata è la medesima.

Il grafico di Figura 19 descrive l'andamento della media mensile di tutte le stazioni della rete regionale, suddiviso per tipologia di stazione (fondo e traffico). Come già per il particolato PM10, il profilo temporale trova riscontro nella meteorologia dell'anno 2023. È interessante osservare come, rispetto all'analogo grafico mostrato per il PM10 in Figura 10, le differenze tra stazioni di fondo e stazioni di traffico siano minime, in particolare nei primi mesi dell'anno.

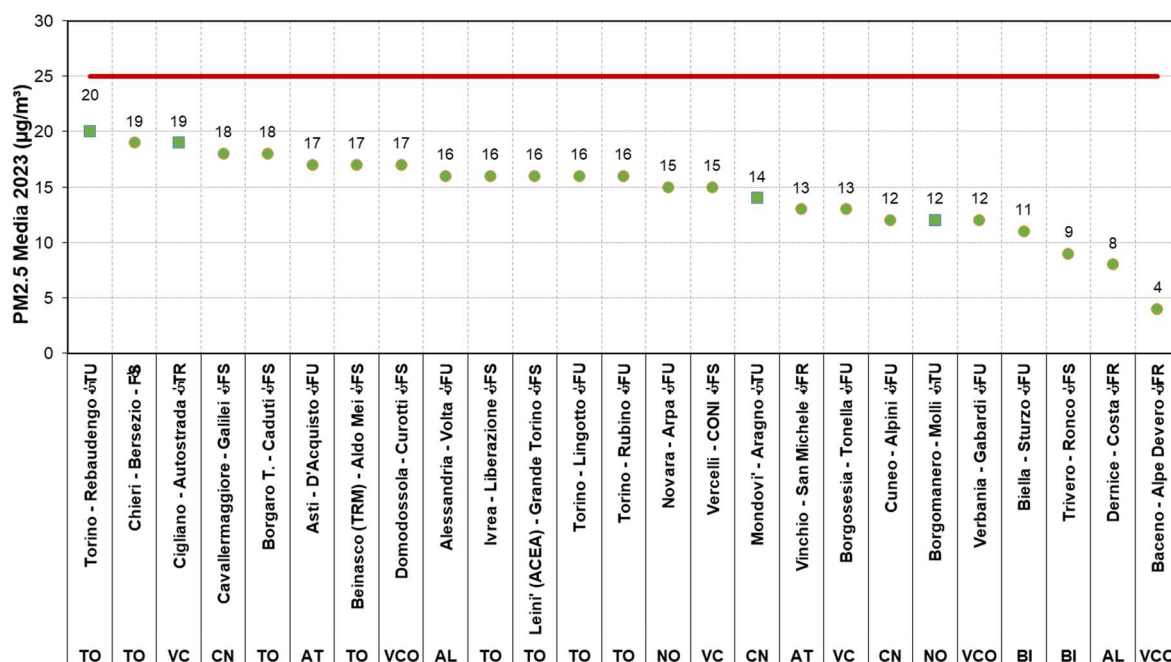


Figura 18: PM2.5: concentrazioni medie per l'anno 2023: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde). Le medie sono calcolate stazioni della rete regionale che presentano una percentuale di dati validi superiore 85% dal 2023, in conformità alle indicazioni europee

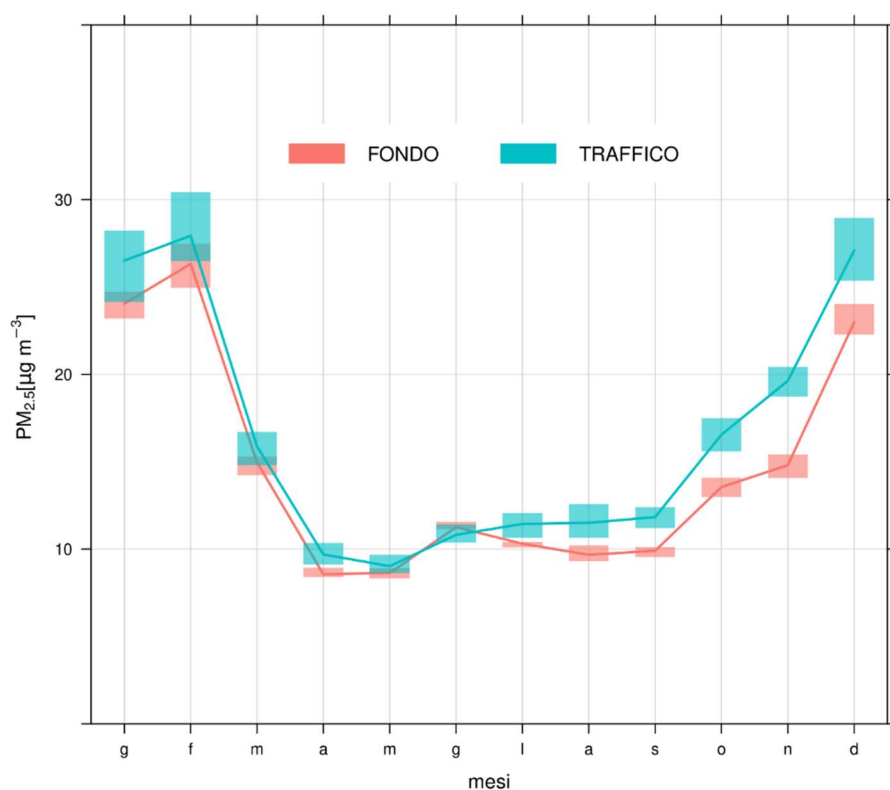


Figura 19: PM2.5: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2023 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

La Tabella 9 permette di avere una visione d'insieme negli anni e nelle varie stazioni e, quindi, di valutare come si collocano le concentrazioni di PM2.5 del 2023 rispetto agli anni precedenti (a partire dal 2010): i valori medi annui misurati presso le stazioni di monitoraggio sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori tiene invece conto delle soglie di valutazione inferiore e superiore e del valore limite previsti dal D.Lgs. 155/2010. Nel periodo esaminato si osserva una tendenza alla riduzione delle concentrazioni medie annue, sebbene meno evidente negli ultimi anni, in cui sembrano prevalere le oscillazioni annuali dovute alla variazione delle condizioni meteorologiche.

Nel 2023, come nei cinque anni precedenti, non sono stati registrati superamenti del valore limite; le concentrazioni sono in generale inferiori a quelle del 2022 e a quelle misurate in tutta la serie storica.

PM2,5 - Media annuale (Valore limite: 25 µg/m³)																	
ZONA	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS			25	25	23	26	23	26	20	20	21	18	19	17
		Borgaro T. - Caduti	FS		33	31	27	23	26	23	27	22	19	21	20	21	18
		Chieri - Bersezio	FS				28	22	24	22	27	22	20	22	21	22	19
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS		29	26	26	22	30	24	26			22	16	16	16
		Settimo T. - Vivaldi	TU			37	33	26	31	26	30	24	22	23	23	24	
		TO - Lingotto	FU	29	35	33	29	24	27	23	27	21	19	22	20	23	16
		TO - Rebaudengo	TU					25		29	33	25	25	22	23	23	20
		TO - Rubino	FU								27	23	20	20	19	20	16
Collina	AL	Dernice - Costa	FR		13	13	11	11	11	10	12	11	9	9	9	10	8
	AT	Vinchio - San Michele	FR	21	23	22	20	19	21	19	21	19	16	18	17	17	13
	CN	Mondovì - Aragno	TU					16	18	18	20	17	15	16	17	17	14
	NO	Borgomanero - Molli	TU					14	18	17	19	15	15	15	14	15	12
	TO	Ivrea - Liberazione	FS		28	27	24	19	24	20	24	19	16	19	17	19	16
	VB	Verbania - Gabardi	FU			16	12	11	13		14	11	10	11	12	13	12
	VC	Borgosesia - Tonella	FU		22	20	17	14	17	15	18	14	13	13	13	15	13
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			13	11	10	13	11	13	10	10	10	10	11	9
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR		7	5	5	4	6	7	9		6	6	7	9	
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR		6				4	3	4	4			4	5	4
		Domodossola - Curotti	FS						18	16	18	14	14	17	13	17	17
Pianura	AL	Alessandria - Volta	FU		27	30	27	22	24	22	26	22	20	21	19	20	16
	AT	Asti - d'Acquisto	FU		29									22	20	20	17
	BI	BI - Sturzo	FU		22	16	14	12	16	14	16	13	11	12	12	13	11
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU											20	19	18	
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												22	22	18
		CN - Alpini	FU		21	20	15	15	16	17	19	15	13	14	15	15	12
	NO	NO -Verdi/Arpa	FU		26	25	19		23	20	22		17	18	17	18	15
	VC	Cigliano - Autostrada	TR						22	21	24			23	20	21	19
		VC - CONI	FS		28	22	23	22	27	20	23	18	18	18	15	17	15
Legenda	PM2.5 media annuale (µg/m³)																
	<= 5 > 5 > 12 > 17 > 25 <= 12 <= 17 <= 25																
	Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022 e al 85% dal 2023																
	n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022																

Tabella 9: PM2.5: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023. Gli indicatori sono calcolati sulle stazioni della rete regionale che presentano una percentuale di dati validi superiore all'80% fino al 2022 e all'85% dal 2023 in poi, in conformità alle indicazioni europee

Questo comportamento è confermato anche dalle elaborazioni in Figura 20 ed in Figura 21.

Nella prima sono riportati i box plot¹⁸ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2010 - 2023, suddivise per tipologia di stazione (di fondo e di traffico). Si può notare la tendenza decrescente delle concentrazioni, con i box plot delle distribuzioni che - a partire dal 2018 - sono tutti al di sotto del valore limite, sia per le stazioni di fondo che di traffico. Il trend di decrescita sembra comunque essersi stabilizzato nell'ultimo sessennio.

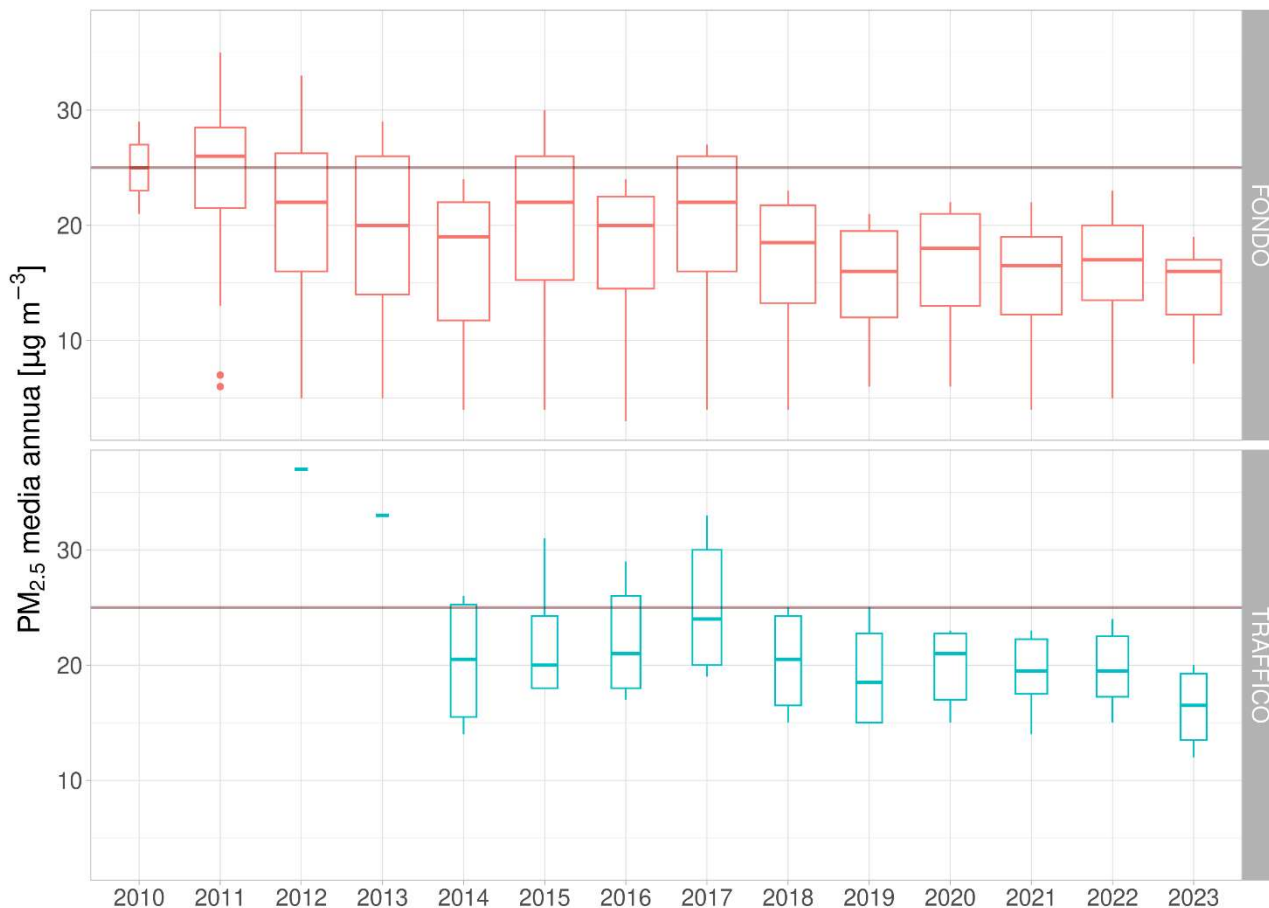


Figura 20: PM2.5: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2023 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

Il trend di riduzione per la media annuale è stato infine valutato numericamente¹⁹ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair²⁰. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati, sono mostrati in Figura 21 dove è riportato, per ogni stazione in cui è statisticamente significativo, il valore del trend (espresso in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno) ed il relativo intervallo di confidenza. In due stazioni il trend è risultato essere non significativo, mentre nelle restanti 26 stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa, anche se numericamente inferiore a quanto osservato nelle stesse stazioni per la media annuale del PM10; fa eccezione la stazione di

¹⁸ Ciascun box è delimitato in alto e in basso dal primo e dal terzo quartile (25° e 75° percentile rispettivamente), al centro è presente una barra orizzontale che rappresenta la mediana (50° percentile: valore superiore al 50% dei dati considerati); le barre verticali che escono dal box rappresentano il minimo e il massimo e sono calcolate sulla base del range interquartile (IQR, differenza tra il terzo e il primo quartile) moltiplicato per un fattore (1.5)

¹⁹ Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliere, è stata stimata la pendenza media della retta di regressione, con il relativo intervallo di confidenza, tramite lo stimatore Theil-Sen. E' stata valutata la significatività statistica della regressione con tre livelli di confidenza, 90%, 95% e 99%. Le serie temporali sono state destagionalizzate e sono stati considerati solo gli anni con almeno il 75% di dati validi.

²⁰ Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair - an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

Ceresole Reale - Diga dove si osserva, come già per il PM10, un trend di crescita statisticamente significativo. Le ragioni della differenza fra le tendenze delle due frazioni di particolato possono essere attribuite da un lato al fatto che la componente secondaria del PM2.5 – quella sulla quale è più difficile agire con le politiche di contenimento delle emissioni - è percentualmente superiore a quella del PM10, quindi più lenta a ridursi e dall'altro al fatto che per il PM10 si hanno a disposizione serie temporali più lunghe, anche ventennali e non solo decennali come per il PM2.5.

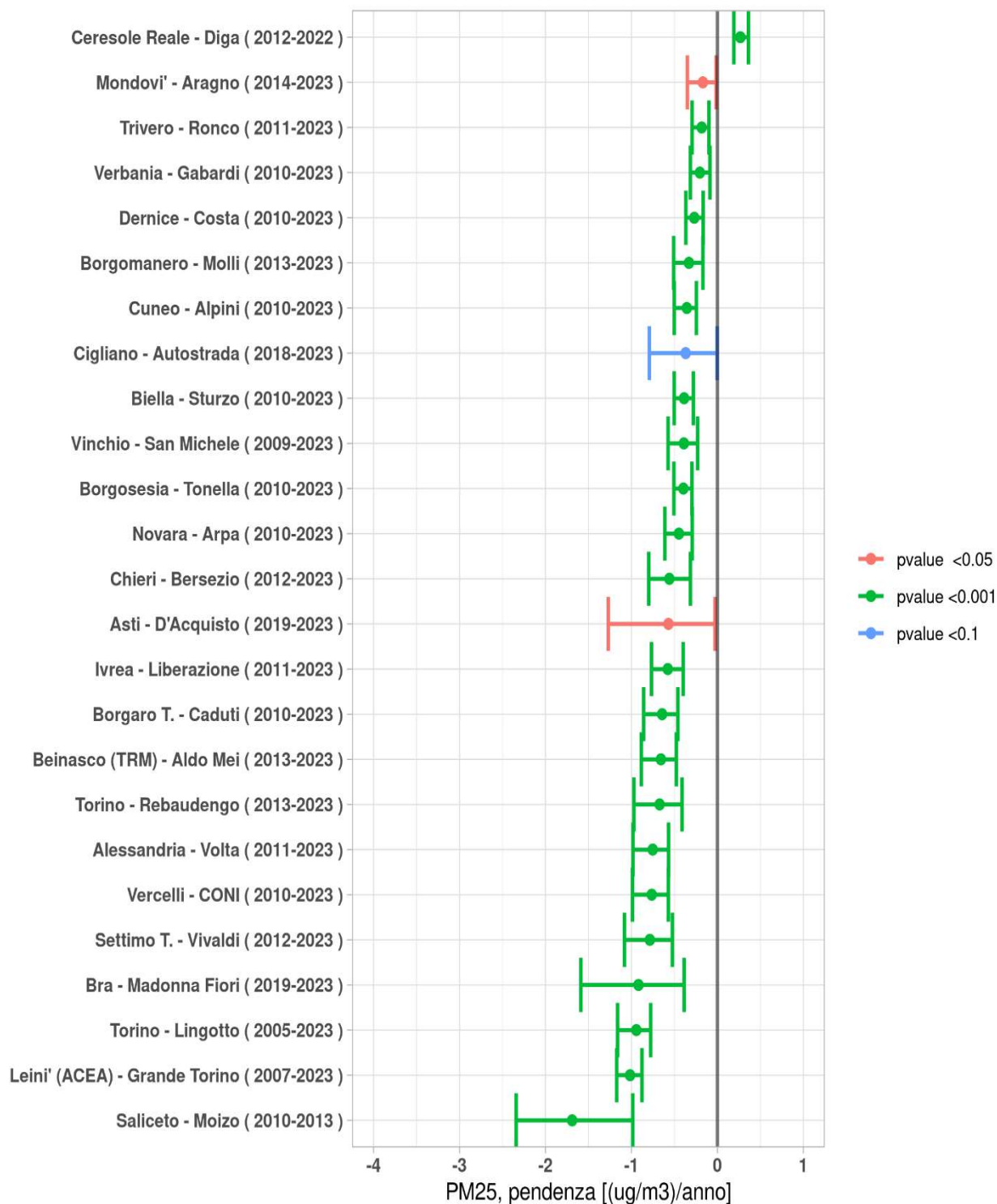


Figura 21: PM2.5: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (verde al 99,9%, rosso al 95% e blu al 90%).

5.3 Biossido di azoto (NO₂)

5.3.1 Media annua

La distribuzione spaziale della concentrazione media annua prodotta nella valutazione modellistica regionale per l'anno 2022, riportata in Figura 22 (a sinistra) con i valori delle concentrazioni misurate presso le stazioni di monitoraggio (a destra), mostra come i livelli più elevati di biossido di azoto si abbiano nell'agglomerato urbano torinese e al confine tra il novarese e la Lombardia. Dalle mappe si osserva inoltre come la simulazione modellistica riesca a riprodurre bene i valori misurati dalle stazioni di fondo, ma tenda ad una generale sottostima dei livelli registrati da quelle di traffico situate nei maggiori centri urbani e caratterizzate da fenomeni non riproducibili alla risoluzione adottata nelle simulazioni.

Il valore limite per la media annua di 40 µg/m³ è stato rispettato su tutto il territorio regionale, tranne nella città di Torino, dove si è registrato un superamento del limite solo nella stazione di traffico di Torino - Rebaudengo (44 µg/m³). La stazione di traffico urbano di Torino-Consolata, che fino all'anno 2022 aveva sempre superato il limite, nel 2023 lo ha rispettato, misurando 35 µg/m³. Il confronto con i valori registrati presso le altre stazioni di monitoraggio, riportato in Figura 23, mostra nel resto della regione valori di media annua ampiamente inferiori al valore limite, sia nelle stazioni di traffico urbano (con le concentrazioni maggiori pari a 29 e 28 µg/m³ rispettivamente a Novara-Roma e ad Alessandria-D 'Annunzio) sia in quelle di fondo (27 µg/m³ a Torino – Rubino e 31 µg/m³ a Torino-Lingotto).

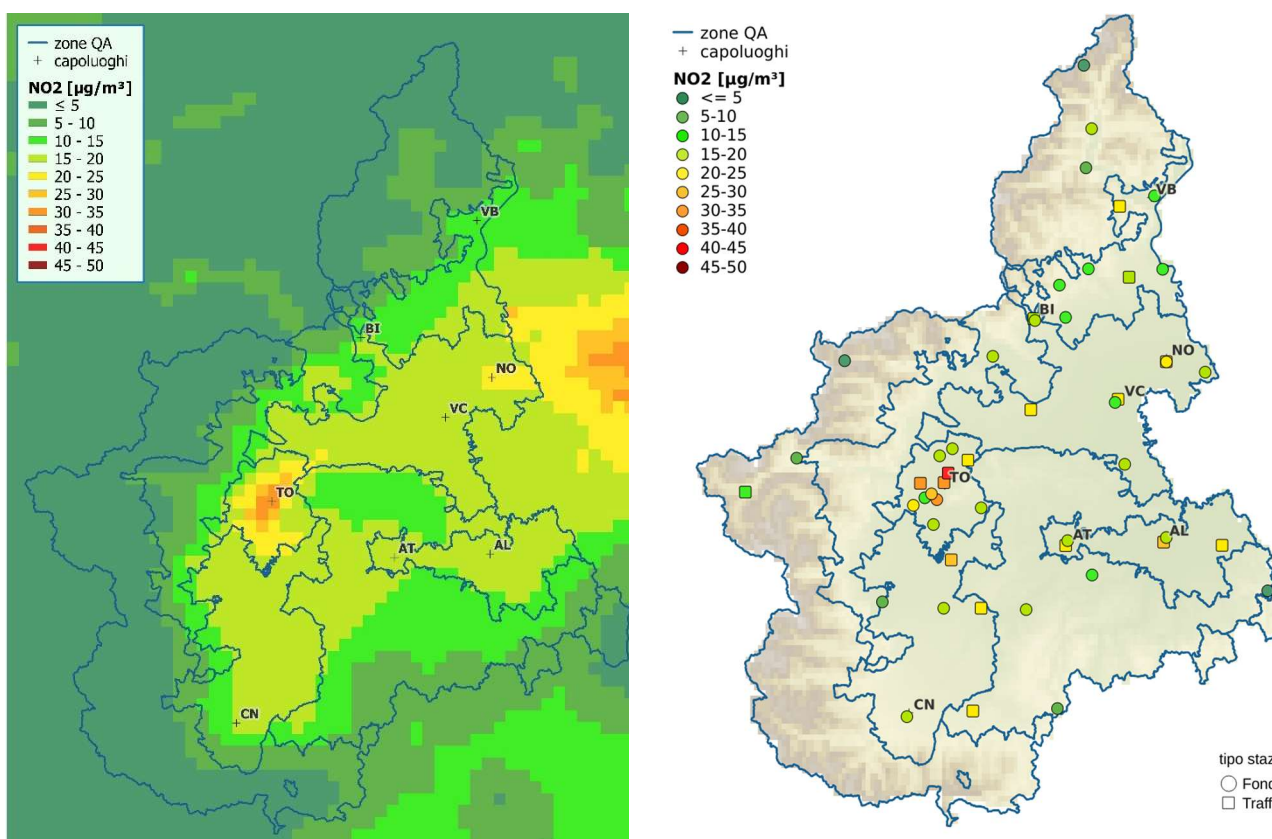


Figura 22: NO₂: concentrazioni medie per l'anno 2023: stimate dal sistema modellistico (a sinistra) e valori misurati presso le stazioni del SRRQA (a destra). La scala di colori utilizzata è la medesima

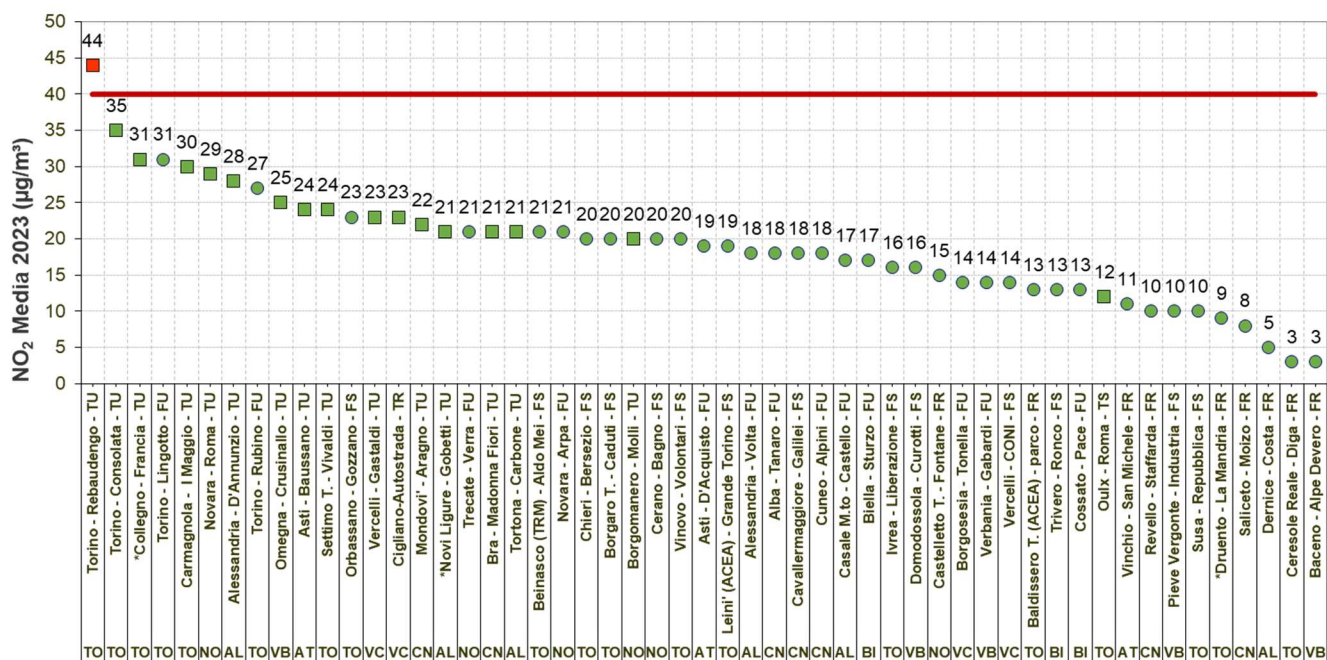


Figura 23: NO₂: concentrazioni medie per l'anno 2023: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde). Le medie sono calcolate stazioni della rete regionale che presentano una percentuale di dati validi superiore 85% dal 2023, in conformità alle indicazioni europee

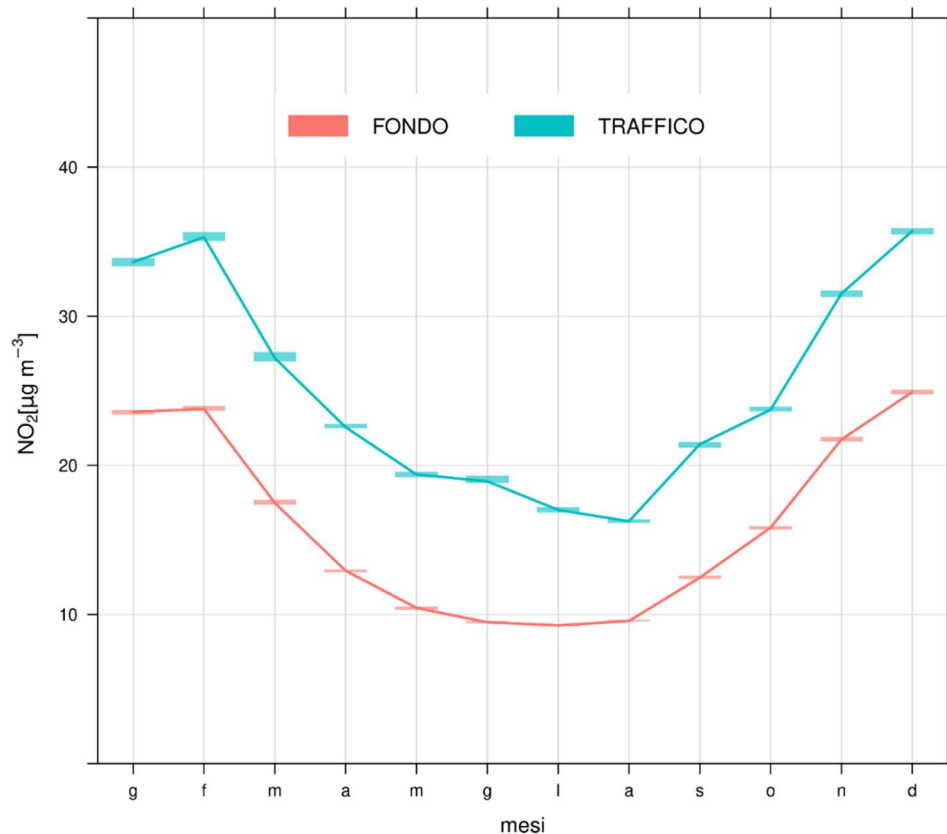


Figura 24: NO₂: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2023 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

Il grafico illustrato in Figura 24 descrive l'andamento della media mensile di tutte le stazioni della rete regionale, suddivise in stazioni di fondo e di traffico. I mesi con la media mensile più elevata sono quelli invernali, in particolare gennaio, febbraio, novembre e dicembre, in corrispondenza sia di emissioni più elevate sia di condizioni meteorologiche più sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti; marzo e ottobre mostrano invece livelli più bassi, grazie ad una maggiore ventosità (marzo) e piovosità (ottobre). A causa dell'importanza del traffico veicolare come fonte di emissione del biossido di azoto è possibile osservare una marcata differenza tra gli andamenti misurati nelle stazioni di fondo e quelli misurati nelle stazioni di traffico, con quest'ultimi caratterizzati da concentrazioni medie mensili nettamente superiori.

La Tabella 10 permette di avere una visione d'insieme negli anni e nelle varie stazioni e quindi valutare come si collocano le concentrazioni di biossido di azoto registrate nell'anno 2023 rispetto agli anni precedenti (a partire dal 2010): i valori medi annui misurati presso le stazioni di monitoraggio sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori tiene invece conto delle soglie di valutazione inferiore e superiore e del valore limite previsti dal D.Lgs. 155/2010. In Figura 25 sono riportati i box plot²¹ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2003 - 2023, suddivise per tipologia di stazione (fondo e traffico).

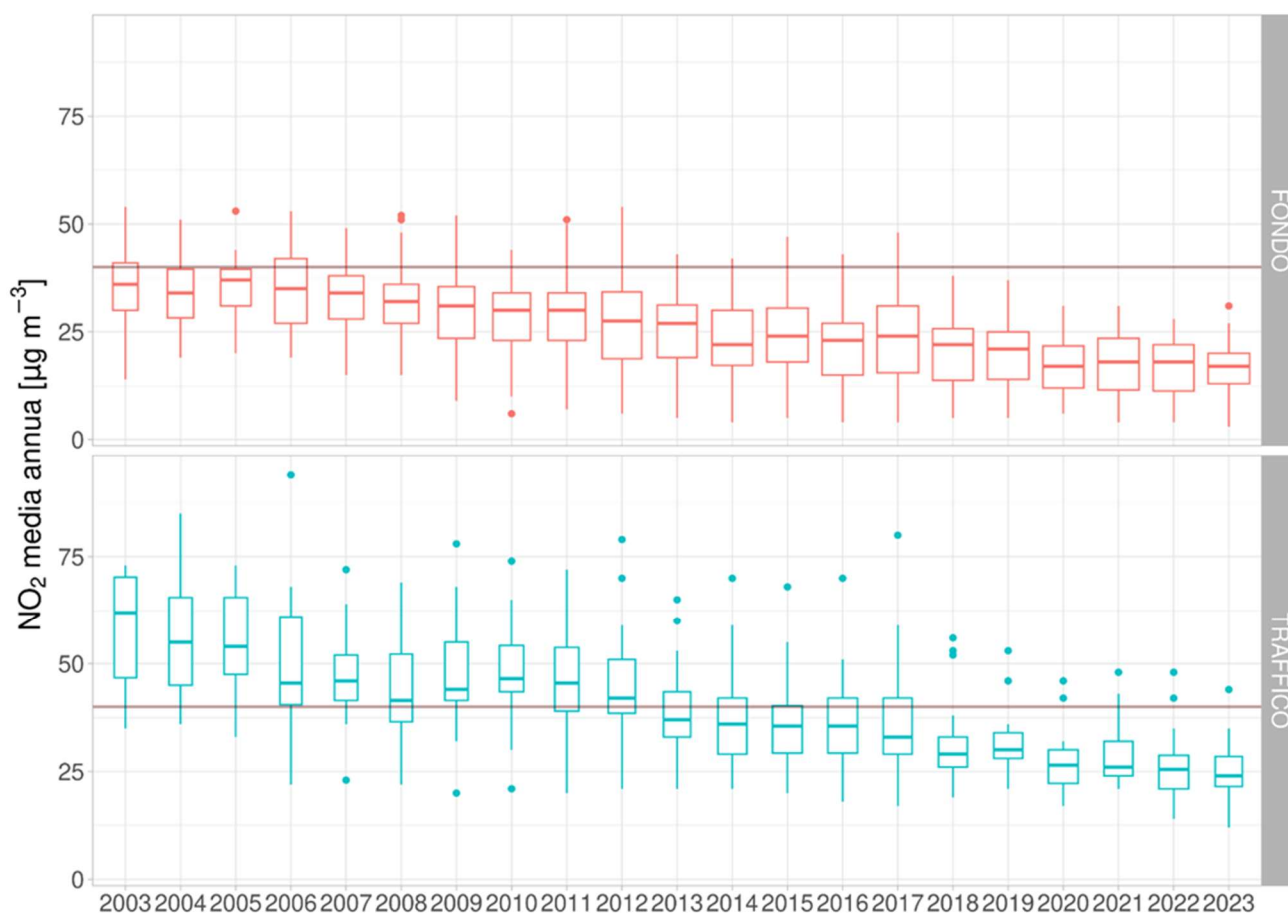


Figura 25: NO₂: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2023 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

²¹ Ciascun box è delimitato in alto e in basso dal primo e dal terzo quartile (25° e 75° percentile rispettivamente), al centro è presente una barra orizzontale che rappresenta la mediana (50° percentile: valore superiore al 50% dei dati considerati); le barre verticali che escono dal box rappresentano il minimo e il massimo e sono calcolate sulla base del range interquartile (IQR, differenza tra il terzo e il primo quartile) moltiplicato per un fattore (1.5)

N02 - Media annua (Valore limite annuale per la protezione della salute umana: 40 µg/m³)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - Parco	FR	20	16	12	14	14	12	15	11	15	11	10		13
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS			41	38	47	41	48	38	31	26	27	27	20
		Borgaro T. - Caduti	FS	34	32	31	26	29	30	30	30	25	23	24	22	20
		Chieri - Bersezio	FS		33	28	23	25	19	23	20	21	14	17	18	20
		Collegno Francia	TU		40	44	47	36	46	58	53	46	30	33	25	31
		Druento - La Mandria	FR	18	18	12	14	16	11	12	12	11	11	9	9	
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	30	28	33	31	31	24	32	25	23	21	24	22	19
		Orbassano - Gozzano	FS	39	35	32	32	35	32	34	30	31	29	29	25	23
		Settimo T. - Vivaldi	TU	49	49	43	35	41	36	36	33	36	26	30	28	24
		Torino - Consolata	TU	65	59	60	59	53	50	59	52	53	42	43	42	35
		Torino - Lingotto	FU	51	43	43	41	37	40	40	35	37	31	31		31
		Torino - Rebaudengo	TU	72	70	65	70	68	70	80	56		46	48	48	44
		Torino - Rubino	FU	50	49	42	39	44	35	37	31	33	26	25	28	27
		Vinovo - Volontari	FS	40	34	31	30	43	33	35	26	28	21	25	24	20
Collina	AL	Dernice - Costa	FR	10	11	11	11	12	12	11	10	9	9	9	9	5
	AT	Vinchio - San Michele	FR	18	18	15	14	17	14	14	12	13	11	10	10	11
	BI	Cossato - Pace	FU	27	25	22	17	20	20	21	16	18	16	17	14	13
	CN	Alba - Tanaro	FU	31	31	29	22	24	24	26	22	21	18	18	18	18
		Mondovi' - Aragno	TU				29	29	28	28	26	25	21	25	23	22
	NO	Saliceto - Moizo	FR	17	12	15	12	13	13	14	9	10	8	9	9	8
		Borgomanero - Molli	TU			26	28	30	26	24	24	29	26	26	20	20
		Castelletto T. - Fontane	FR	32	28	29	24	28	27	24	22	23	17	18	18	15
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	29	25	25	24	26	23	25	22	24	22	22	24	16
		Susa - Repubblica	FS	23	22	19	20	22	20	19	16	15	14	15	12	10
	VB	Omegna - Crusinallo	TU		37	33	29	29	32	29	27	31	27	26	27	25
		Verbania - Gabardi	FU	27	27	27	22	21	27	29	28	20	16	16	15	14
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	20	21	20	19	19	15	16	16	16	12	13	14	14
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS		19		22	18	16	11		11	10		8	13
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	7	7	6	4	5	4	5	6	6	4	5	3	
		Oulx - Roma	TS	20	21	21	21	20	18	17	19	21	17		14	12
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR		6	5		6	5	4	5	5		4	4	3
		Domodossola - Curotti	FS				22	21	19	16	16	20	17	15	16	16
		Pieve Vergonte - Industria	FS	26	18	19	15	18	15	16	13	11	12	10	11	10
Pianura	AL	Alessandra - D'Annunzio	TU	45	43	33	36	35	43	38	31	32	32	32	35	28
		Alessandra - Volta	FU	31	36	22	21	18	23	35	24	25	19	20	19	18
		Casale M.to - Castello	FU	33	35	32	30	33	26	29	25	24	20	19	18	17
		Novi Ligure - Gobetti	TU	39	40	38	42	32	30	33	30	30	23	22	20	
		Tortona - Carbone	TU	59	42	37	27	29	29	31	28	29	24	23	21	21
	AT	Asti - Baussano	TU	46	47	41	37	35	39	40	31	34	28	27	26	24
		Asti - d'Acquisto	FU	34	30	25	24	25	27	29	23	23	18	19	19	19
	BI	Biella - Lamarmora	TU	39	37	34		37	34	29	22	30	27	26	26	
		Biella - Sturzo	FU	29	24	21	18	30	21	17	20	18	16	17	15	17
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	29	30	29	23	26	23	26	22	24	21	21	22	21
		Cavallermaggiore - Galilei	FS											21	21	18
		Cuneo - Alpini	FU	31	31	28	25	28	26	26	23	23	21	19	19	18
	NO	Revello - Staffarda	FR				12	12	12	14	12	11	10	10	10	10
		Cerano - Bagno	FS	37	39	39	42	47	43	36	25	25	23	24	22	20
		Novara-Roma	TU	52	53	53	50	55	51	53		35	31	32	29	29
		Novara - Arpa	FU	42	37	33	33	34	26	26	26	27	25	23	22	22
		Treccate - Verra	FU	45	54	30	41	30	27	32	26	29	26	26	23	21
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU		79		36	38	39	42	38	34	30	31	29	30
		Cigliano-Autostrada	TR				41	50	39		29	23	22	23	20	23
		Vercelli - CONI	FS	27	27	27	21	24	21	19	21	19	13	15	13	14
		Vercelli - Gastaldi	TU	43	40	36	34	38	35	31	26	28	21	24	21	23

TU = Stazione di Traffico Urbano
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS =Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale
 IS = Stazione Industriale di Fondo
 TR = Stazione di Traffico Rurale

NO₂ - media annuale (µg/m³)

<= 10
> 10 <= 26
> 26 <= 32
> 32 <= 40
> 40

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022 e all'85% dal 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 10: NO₂: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023. Gli indicatori sono calcolati sulle stazioni della rete regionale che presentano una percentuale di dati validi superiore all'80% fino al 2022 e all'85% dal 2023 in poi, in conformità alle indicazioni europee

In entrambe le elaborazioni si può osservare una tendenza alla riduzione delle concentrazioni medie annue di biossido di azoto nel corso degli anni. In particolare, dal 2018 nessuna stazione di fondo raggiunge il valore limite per la media annuale, mentre tra le stazioni di traffico resta critica la sola stazione di Torino – Rebaudengo.

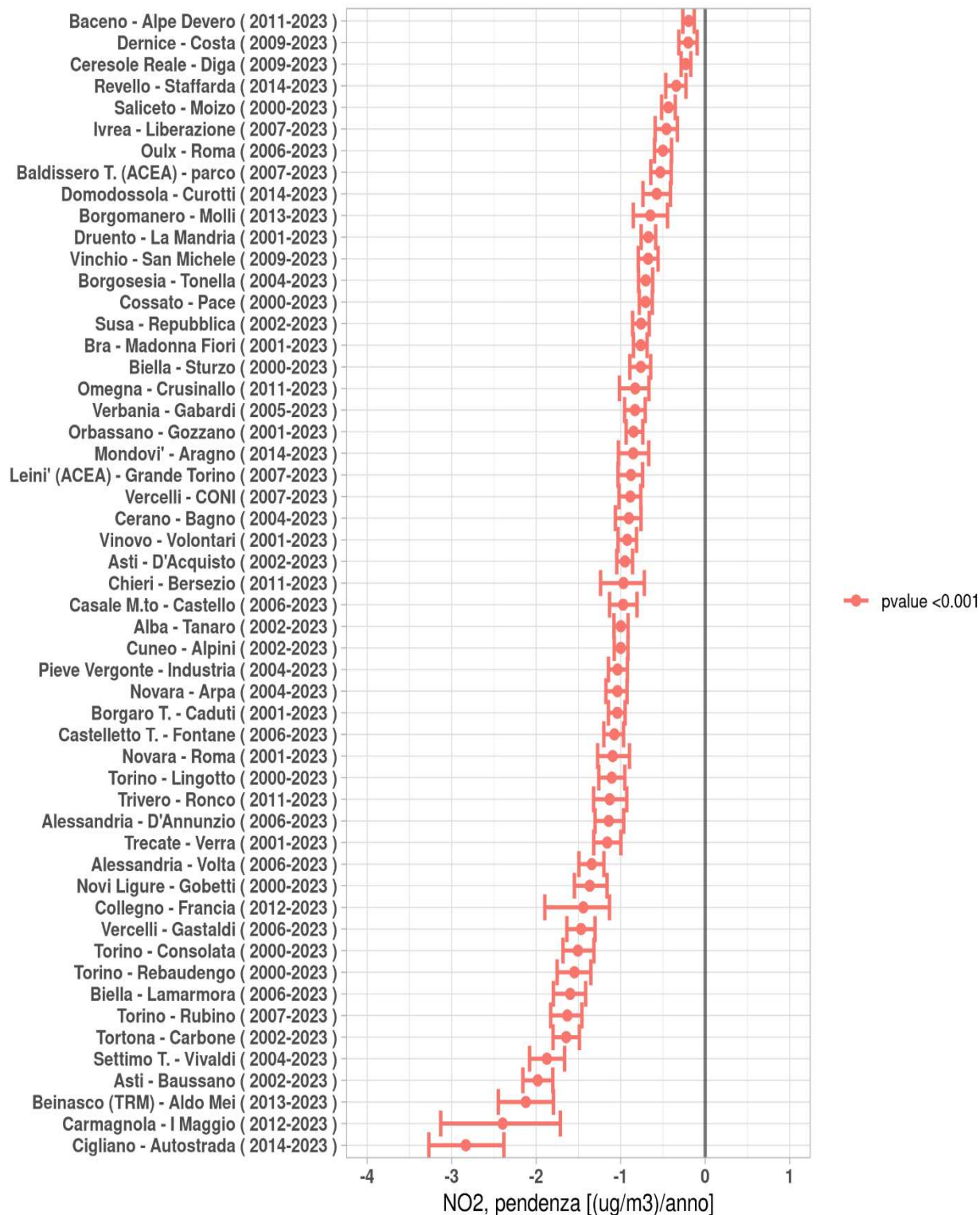


Figura 26: NO₂: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie orarie, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (rosso al 99.9%).

Il trend di riduzione per la media annuale è stato infine valutato numericamente²² tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair²³. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati sono mostrati in Figura 26 dove è riportato, per ogni stazione in cui è statisticamente significativo, il valore del trend (espresso in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno) ed il relativo intervallo di confidenza. Tutte le stazioni presentano un trend in diminuzione con un livello di significatività statistica superiore al 99%. Numericamente si osservano differenze anche importanti tra le stazioni – si va ad esempio da un trend di poco inferiore allo zero nella stazione di Dernice - Costa ad un valore inferiore a $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno nella stazione di Cigliano - Autostrada - a sottolineare come questo inquinante risenta maggiormente, rispetto al particolato, di effetti locali.

5.3.2 Superamenti del valore limite orario

Nel corso del 2023 sul territorio regionale non si sono avuti superamenti del valore limite orario per la protezione della salute umana ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superarsi per più di 18 volte nel corso dell'anno). La Tabella 11 permette di valutare l'evoluzione temporale del numero di superamenti del valore limite orario registrati presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria a partire dal 2010: il numero di superamenti misurati presso le stazioni di monitoraggio sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori evidenzia, con gradazioni di rosso, il non rispetto dei limiti previsti dal D.Lgs 155/2010. Sulla totalità del territorio regionale, il valore limite orario è stato ampiamente rispettato a partire dal 2010, ad eccezione delle stazioni da traffico di Torino – Rebaudengo, dove il limite non è stato rispettato fino al 2017, e di Novi Ligure – Gobetti, dove il non rispetto del limite si è avuto solo nel 2018; a partire dal 2019, non si sono più registrati superamenti del valore limite in nessuna postazione di monitoraggio.

In Appendice A1 è riportata, per completezza d'informazione, una tabella contenente i valori del 99.79° percentile²⁴ delle concentrazioni medie orarie di biossido di azoto rilevate negli anni dal 2010 al 2023 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

²² Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliere, è stata stimata la pendenza media della retta di regressione, con il relativo intervallo di confidenza, tramite lo stimatore Theil-Sen. È stata valutata la significatività statistica della regressione con tre livelli di confidenza, 90%, 95% e 99%. Le serie temporali sono state destagionalizzate e sono stati considerati solo gli anni con almeno il 75% di dati validi.

²³ Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair --- an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

²⁴ Corrisponde alla 19-esima media oraria più alta dell'anno, quando questo valore è inferiore o uguale a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il limite normativo di 18 superamenti per anno solare è rispettato, viceversa quando è superiore a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$

NO2 - Valore limite orario per la protezione della salute umana (Valore limite: 200 µg/m³, da non superare più di 18 volte/anno)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - Parco	FR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS			0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		Borgaro T. - Caduti	FS	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
		Chieri - Bersezio	FS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		Collegno Francia	TU		0	5	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0
		Druento - La Mandria	FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		Orbassano - Gozzano	FS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		Settimo T. - Vivaldi	TU	3	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Torino - Consolata	TU	5	3	5	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
		Torino - Lingotto	FU	4	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
		Torino - Rebaudengo	TU	10	13	31	0	21	28	25	1		0	4	2	0
		Torino - Rubino	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Vinovo - Volontari	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Collina	AL	Dernice - Costa	FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AT	Vinchio - San Michele	FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BI	Cossato - Pace	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CN	Alba - Tanaro	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mondovi' - Aragno	TU				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NO	Saliceto - Moizo	FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Borgomanero - Molli	TU			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TO	Castelletto T. - Fontane	FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ivrea - Liberazione	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VB	Susa - Repubblica	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Omegna - Crusinallo	TU		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VC	Verbania - Gabardi	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS		0		0	0	0	0		0	0		0	0
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Oulx - Roma	TS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR		0	0		0	0	0	0	0		0	0	1
		Domodossola - Curotti	FS				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Planura	AL	Pieve Vergonte - Industria	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Alessandria - D'Annunzio	TU	7	7	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0
		Alessandria - Volta	FU	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Casale M.to - Castello	FU	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		Novi Ligure - Gobetti	TU	0	0	0	0	0	0	13	19	0	0	0	0	0
	AT	Tortona - Carbone	TU	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
		Asti - Baussano	TU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Asti - D'Acquisto	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BI	Biella - Lamarmora	TU	0	0	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Biella - Sturzo	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Cavallermaggiore - Galilei	FS											0	0	0
		Cuneo - Alpini	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NO	Revello - Staffarda	FR				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Cerano - Bagno	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Novara - Arpa	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Novara - Roma	TU	6	0	0	0	1	0			0	0	0	0	0
	TO	Trecate - Verra	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Carmagnola - I Maggio	TU		7		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
		Cigliano-Autostrada	TR				0	0	0		0	0	0	0	0	0
	VC	Vercelli - CONI	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Vercelli - Gastaldi	TU	5	8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Legenda
 TU = Stazione di Traffico Urbano
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS = Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale
 IS = Stazione Industriale di Fondo
 TR = Stazione di Traffico Rurale

NO2 - n. superamenti media oraria

0
 > 0 <= 6
 > 6 <= 12
 > 12 <= 18
 > 18

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all'80% fino al 2022 e all'85% dal 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 11: NO₂: numero di superamenti del valore limite orario per la protezione della salute umana misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

5.4 Ozono (O₃)

5.4.1 Massima media giornaliera su 8 ore

La distribuzione spaziale del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, pari a 120 µg/m³ calcolato come massima media giornaliera sulle 8 ore, riportata in Figura 27 - nella quale sono anche visibili (a destra) i superamenti misurati presso le stazioni della rete regionale - mostra una diffusa situazione di superamento su tutto il territorio regionale, con l'eccezione delle zone alpine e prealpine.

Il confronto con i superamenti registrati presso le stazioni evidenzia una corretta rappresentazione da parte della valutazione modellistica, seppur con qualche sottostima in stazioni collocate in zone alpine. Il numero di superamenti calcolato sui dati misurati presso le stazioni, dettagliato in **Figura 28**, conferma come l'obiettivo a lungo termine sia ampiamente superato su tutto il territorio regionale.

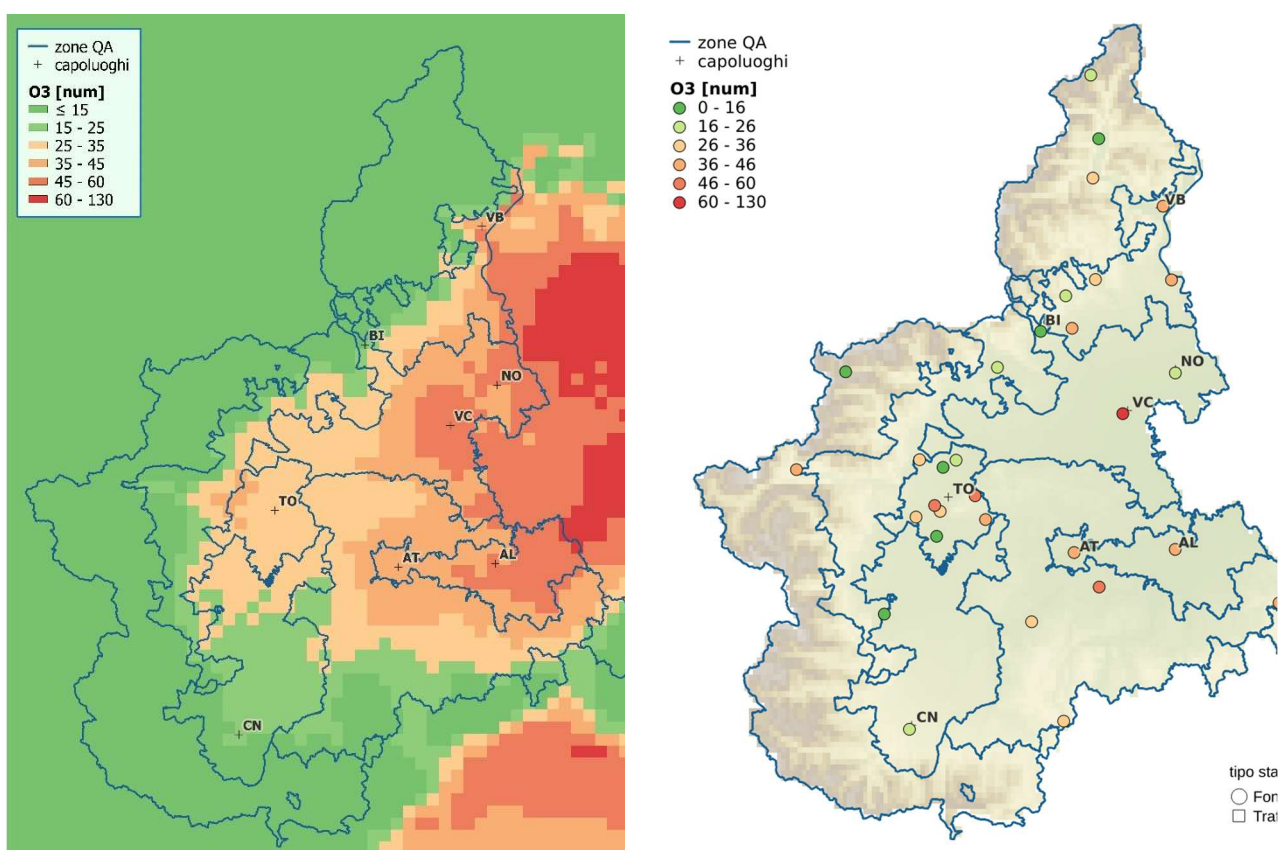


Figura 27: Ozono: numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per l'anno 2023: stimate dal sistema modellistico (a sinistra) e valori misurati presso le stazioni del SRRQA (a destra). La scala di colori utilizzata è la medesima

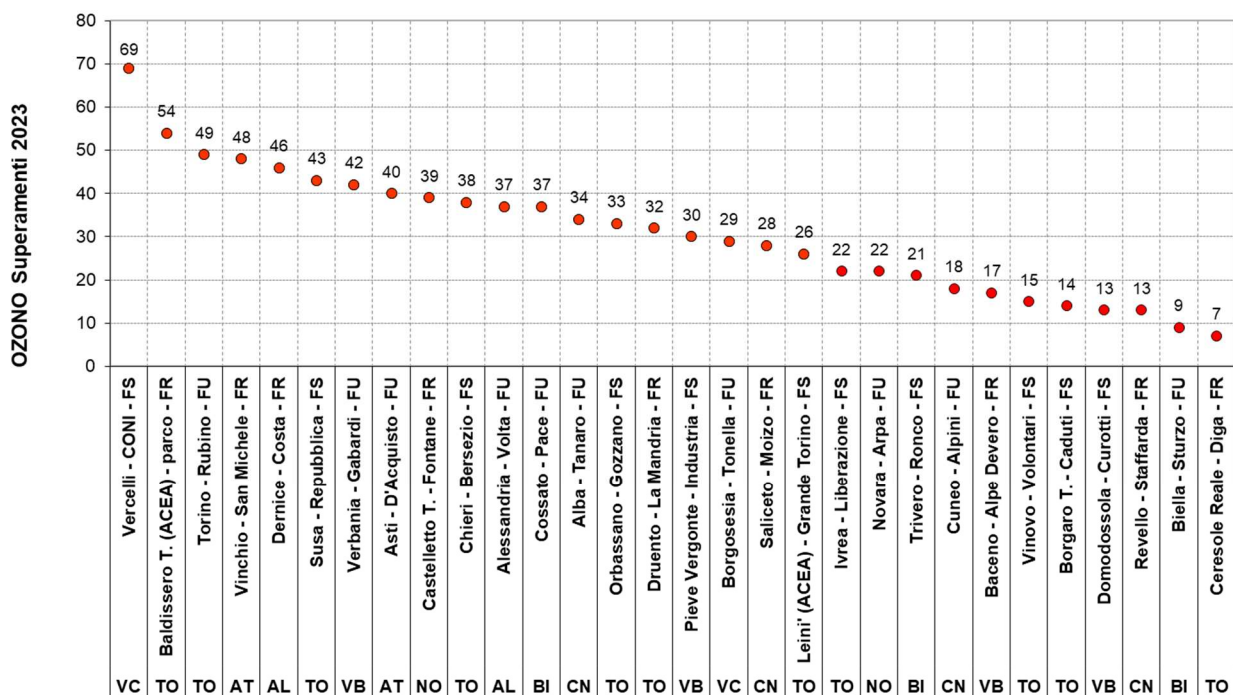


Figura 28: Ozono: numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per l'anno 2023: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente per il numero di superamenti. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

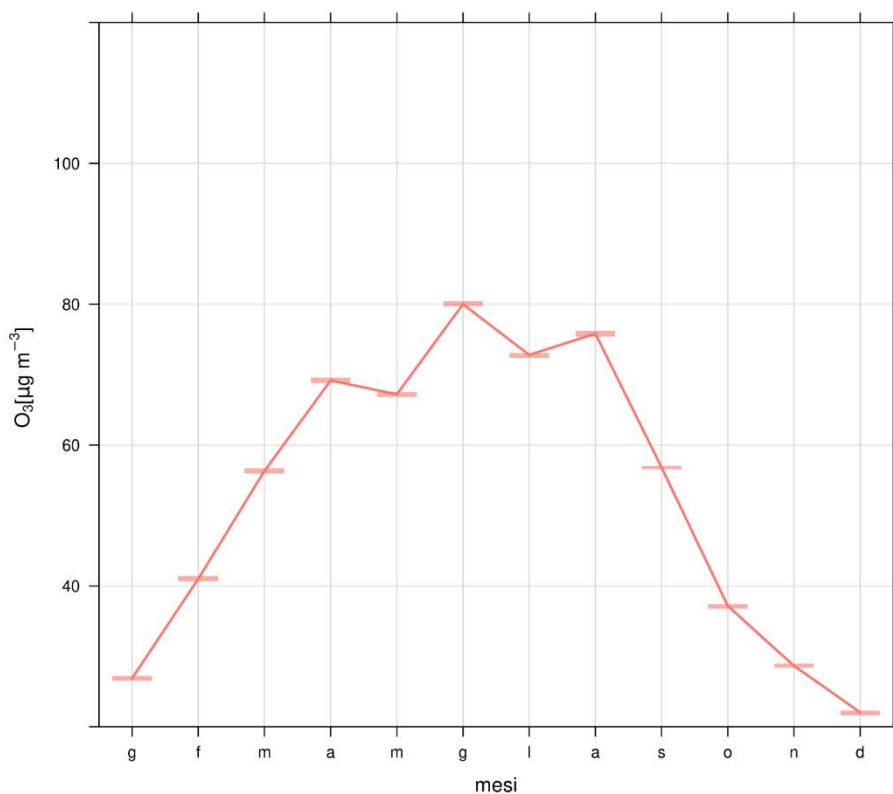


Figura 29: Ozono: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2023, con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

In Figura 29 è riportato l'andamento della media mensile di ozono, calcolata su tutte le stazioni della rete regionale: come atteso si osserva un incremento delle concentrazioni nel periodo primaverile – estivo in corrispondenza dell'aumento delle temperature e dell'irraggiamento solare. A maggio ed a luglio si osserva una flessione nella crescita dei valori medi mensili, mentre i valori maggiori si hanno nel mese di giugno e nel mese di agosto

La Tabella 12 descrive invece l'andamento del numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana (pari a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ calcolato come massima media giornaliera sulle 8 ore che non deve essere superata più di 25 volte per anno civile come media su tre anni) misurato presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria a partire dal 2011: il calcolo del valore obiettivo è stato realizzato come prescritto dalla normativa, mediando i valori di tre anni (ad es. il valore del 2023 corrisponde alla media sugli anni dal 2021 al 2023)²⁵, considerando solamente gli anni caratterizzati da una percentuale di dati validi maggiori o uguali all'85% dal 2023. Anche per questo indicatore la situazione risulta particolarmente critica su tutto il territorio regionale, con superamenti sulla totalità delle stazioni.

Una valutazione di criticità diffusa emerge anche dall'analisi dei box plot²⁶ del numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana e del numero di superamenti del valore obiettivo a lungo termine misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2005 al 2023, riportati rispettivamente in Figura 30 e Figura 31. Il dettaglio a livello annuale mette in evidenza gli anni nei quali la meteorologia ha giocato un ruolo significativo sulle concentrazioni misurate: il 2003 e il 2014 risultano infatti gli anni rispettivamente con il numero più elevato e più basso di superamenti, essendo stati caratterizzati il primo da un'estate molto calda e il secondo da un'estate più fresca del solito. Il 2023 si colloca tra gli anni con il numero di superamenti più basso della serie storica, superiore solamente a quello del 2014.

L'analisi del trend delle concentrazioni di ozono di ciascuna stazione è stata infine eseguita numericamente²⁷ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair²⁸ considerando il percentile al 93.15²⁹ della distribuzione annuale della massima media mobile su 8 ore giornaliera. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati, sono mostrati in Figura 32 dove è riportato, per ogni stazione in cui è statisticamente significativo, il valore del trend (espresso in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno) ed il relativo intervallo di confidenza. Il trend, nelle poche stazioni in cui è statisticamente significativo (16 su un totale di 31 esaminate), risulta comunque essere in lieve diminuzione.

In Appendice A1 è riportata, per completezza d'informazione, una tabella contenente i valori del percentile al 93.15 della distribuzione annuale della massima media mobile su 8 ore giornaliera, rilevati negli anni dal 2011 al 2023 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria aventi almeno l'85% dei dati validi dal 2023.

²⁵ Nei casi in cui non sia stato possibile determinare le medie su tre anni in base ad una serie intera e consecutiva di dati annui, la valutazione della conformità ai valori obiettivo è stata riferita ad un singolo anno (come da Allegato VII D.Lgs 155/2010)

²⁶ Ciascun box è delimitato in alto e in basso dal primo e dal terzo quartile (25° e 75 ° percentile rispettivamente), al centro è presente una barra orizzontale che rappresenta la mediana (50° percentile: valore superiore al 50% dei dati considerati); le barre verticali che escono dal box rappresentano il minimo e il massimo e sono calcolate sulla base del range interquartile (IQR, differenza tra il terzo e il primo quartile) moltiplicato per un fattore (1.5)

²⁷ Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliere, è stato calcolato il percentile 93.15 di ciascun anno e successivamente stimata la pendenza media della retta di regressione, con il relativo intervallo di confidenza, tramite lo stimatore Theil-Sen. E' stata valutata la significatività statistica della regressione con tre livelli di confidenza, 90%, 95% e 99%. Le serie temporali sono state destagionalizzate e sono stati considerati solo gli anni con almeno il 75% di dati validi.

²⁸ Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair - an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

²⁹ Corrisponde alla 26-esima massima media mobile su otto ore giornaliera più alta dell'anno, quando questo valore è inferiore o uguale a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il valore obiettivo per anno solare è rispettato, viceversa quando è superiore a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$

O3 - Numero di superamenti, mediato sui 3 anni, dell'obiettivo per la protezione della salute umana (max media 8h > 120 µg/m3)

Zona UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
AGGLOMERATO	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	88	85	71	67	58	65	66	70	57	61	75	77
		Borgaro T. - Caduti	FS	46	38	26	36	41	56	40	37	35	47	71	52
		Chieri - Bersezio	FS		36	36	55	63	63	52	42	24	26	18	35
		Druento - La Mandria	FR	80	84	60	51	46	57	54	48	45	52	64	53
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	56	47	26	27	31	39	40	37	34	38	48	47
		Orbassano - Gozzano	FS	54	64	55	58	54	79	80	73	68	71	92	80
		Torino - Lingotto	FU	36	38	44	50	48	46	41	50	51	58	67	81
		Torino - Rubino	FU			18	36	41	49	48	47	52	53	69	68
		Vinovo - Volontari	FS	57	61	41	30	22	42	52	52	34	36	59	53
PIEMONTE	AL	Alessandria - Volta	FU	55	46	37	38	53	66	74	64	63	56	59	54
		Dernice - Costa	FR	68	63	51	45	43	62	60	64	65	60	66	55
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	58	60	64	58	56	59	59	56	55	49	53	46
		Vinchio - San Michele	FR	87	85	63	48	56	68	70	55	55	51	64	57
	BI	Biella - Sturzo	FU	50	66	49	25	18	27	37	46	46	38	37	26
		Cossato - Pace	FU	62	62	37	43	39	45	41	42	37	39	49	48
		Trivero - Ronco	FS	53	40	30	26	27	34	26	31	25	24	32	35
	CN	Alba - Tanaro	FU	62	60	40	31	29	38	41	40	36	38	52	53
		Cuneo - Alpini	FU	48	52	37	38	35	48	38	37	39	51	57	44
		Revello - Staffarda	FR			22	22	34	37	29	21	14	22	33	36
		Saliceto - Moizo	FR	35	35	29	22	21	24	29	28	25	19	28	35
	NO	Castelletto T. - Fontane	FR	71	66	49	44	37	49	51	52	49	42	56	53
		Novara - Arpa	FU	71	55	36	31	36	51	47	41	31	25	36	36
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	80	68	54	47	41	45	39	31	23	22	39	34
		Ivrea - Liberazione	FS	45	41	31	40	35	44	39	42	38	38	48	43
		Susa - Repubblica	FS	37	40	29	21	24	41	44	37	25	31	45	52
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR				31	22	21	18	21	22	15	27	24
		Domodossola - Curotti	FS			25	35	31	32	25	26	26	26	32	26
		Pieve Vergonte - Industria	FS	60	65	50	46	45	56	54	50	60	57	65	44
		Verbania - Gabardi	FU	60	64	44	43	40	52	50	49	53	51	50	43
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	60	59	52	34	24	24	15	21	27	41	55	52
		Vercelli - CONI	FS	89	85	59	57	52	46	31	34	34	37	61	77

LEGENDA
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS =Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale

O3 - num. Superamenti

<=10	
> 10	<= 25
> 25	<= 40
> 40	<= 55
> 55	

Dato assente perché strumento non presente o percentuale dati validi inferiore al 90% fino al 2022, all'85% dal 2023

Tabella 12: Ozono: numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2011 al 2023.

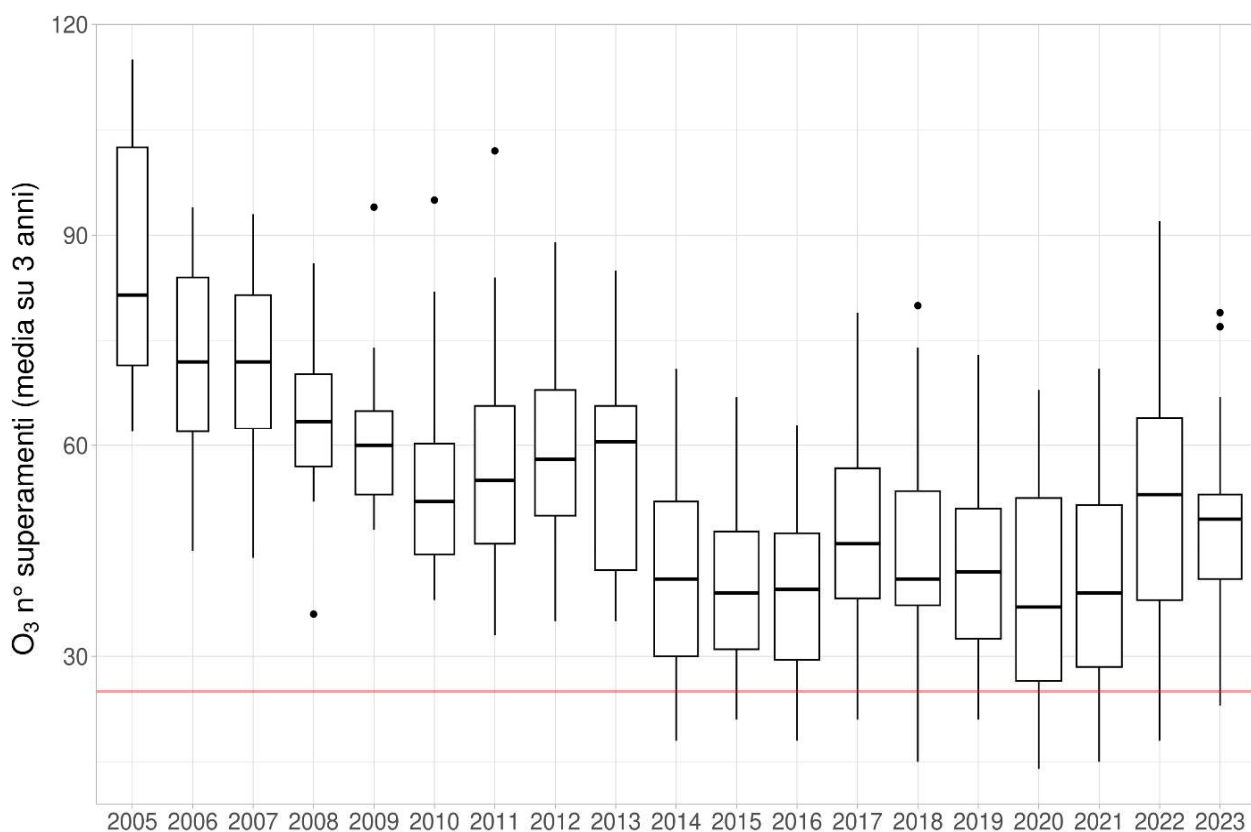


Figura 30: Ozono: box plot del numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2005 al 2023.

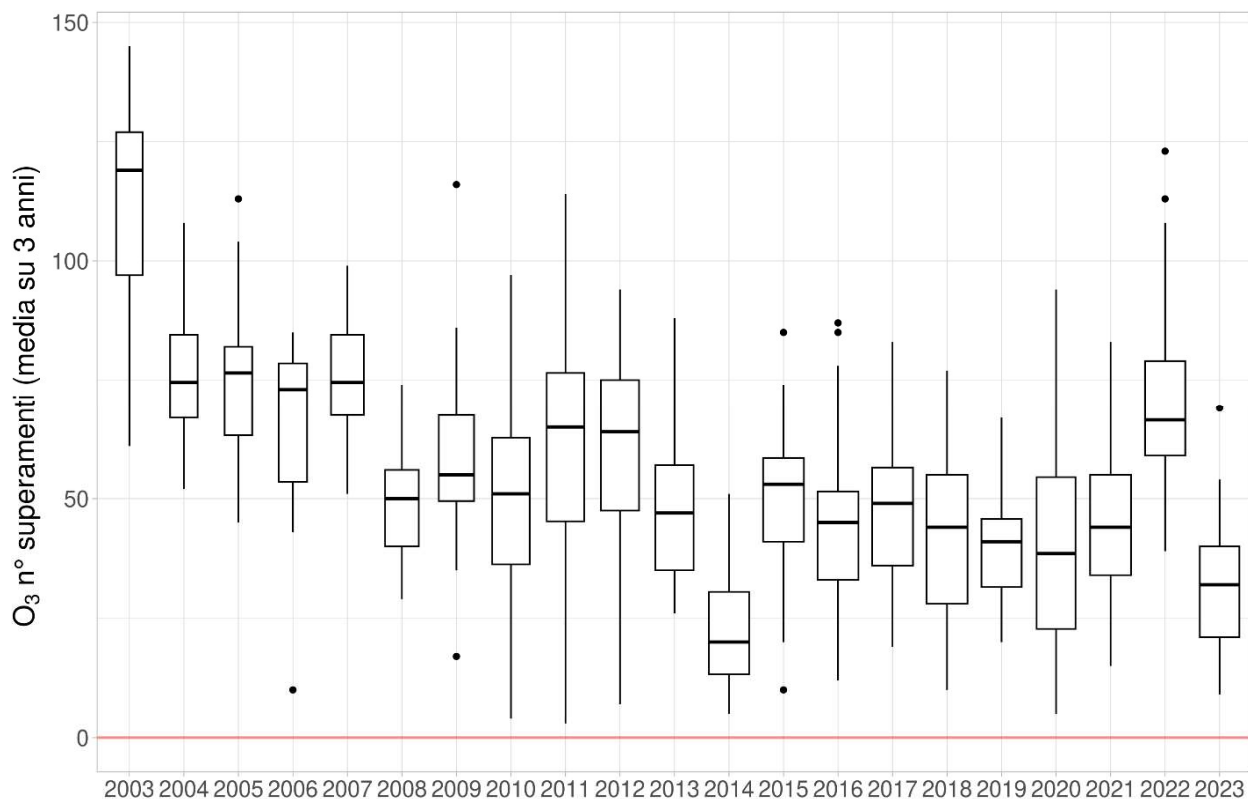


Figura 31: Ozono: box plot del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2023.

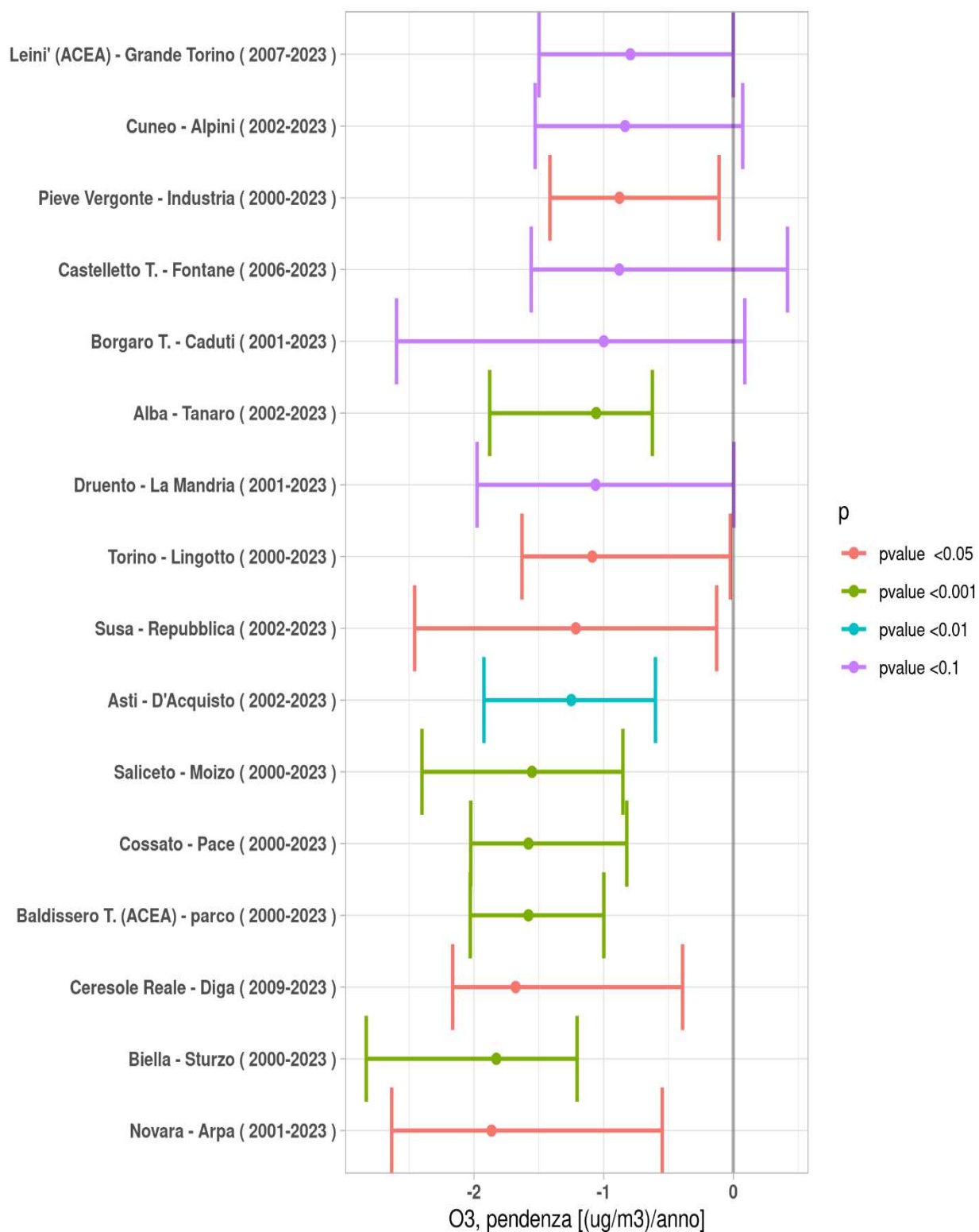


Figura 32: Ozono: stima del trend del percentile 93.15 della distribuzione delle massime medie mobili sulle 8 ore calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (verde al 99.9%, blu al 99%, rosso al 95% e viola al 90%).

5.4.2 Medie orarie

La normativa prevede, per le concentrazioni medie orarie, una soglia per l'informazione alla popolazione pari a 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ed una soglia di allarme pari a 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

O3 - Numero di superamenti della soglia di informazione (180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
AGGLOMERATO	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	12	16	14	26	1	3	0	3	0	0	29	0
		Borgaro T. - Caduti	FS	2	0	2	32	15	6	2	5		4	20	0
		Chieri - Bersezio	FS		0	9	0	1	4	0	1	0	0		0
		Druento - La Mandria	FR	63	42	26	69	36	46	3	17		10	25	8
		Leini' (ACEA) - Grande Torin	FS	0	0	2	3	4	1	0	5	0	0	8	0
		Orbassano - Gozzano	FS	14	4	7	68	39	79	9	34	1	18	125	0
		Torino - Lingotto	FU	3		18	8	8	7	3	18	0	1	39	1
		Torino - Rubino	FU			6	3	12	6	4	29	0	2	58	1
		Vinovo - Volontari	FS	0	0	4	1	4	12	9	8	0	0	86	0
PIEMONTE	AL	Alessandria - Volta	FU	35	3	16	21	64	14	5	29	0	19	10	3
		Dernice - Costa	FR	17	14	0	8	4	8	0	10	0	0	5	2
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	6	25	8	15	14	6	1	2	0	0	4	0
		Vinchio - San Michele	FR	8	21	19	0	32	7	0	10	0	0	6	0
	BI	Biella - Sturzo	FU	13	0	13	0	0	4	0	11	0	0	4	1
		Cossato - Pace	FU	0	0	27	24	0	2	0	5	0	0	21	1
		Trivero - Ronco	FS	7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	8	2
	CN	Alba - Tanaro	FU	5	5	14	1	0	3	0	9	0	0	8	0
		Cuneo - Alpini	FU	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
		Revello - Staffarda	FR			1	4	0	2	0	0	0	0	6	0
	NO	Saliceto - Moizo	FR	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
		Castelletto T. - Fontane	FR	30	20	11	49	2	20	9	7	1	0	20	4
		Novara - Arpa	FU								22	0	0	3	2
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	5	6	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0
		Ivrea - Liberazione	FS	0	0	1	4	0	7	0	1	2	0	6	0
		Susa - Repubblica	FS	0	0	0	0	12	5	0	0	0	0	11	4
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR	0	0		0	0	0	0			0	0	0
		Domodossola - Curotti	FS			0	4	0	0	0	5	0	0	0	0
		Pieve Vergonte - Industria	FS	18	13	11	28	11	23	7	8	19	0	7	0
	VC	Verbania - Gabardi	FU	34	27	3	73	24	30	16	16	0	5	12	2
		Borgosesia - Tonella	FU	62	4	6	0	0	0	0	6	0	2	11	2
		Vercelli - CONI	FS	10	1	10	27	0	0	0	15	0	0	33	0

FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS =Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale

O3 - soglia informazione

0	
> 0	<= 20
> 20	<= 40
> 40	<= 60
> 60	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all'80% fino al 2022 e all'85% dal 2023
 dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

n

Tabella 13 descrive l'andamento del numero di superamenti della soglia per l'informazione della popolazione registrato negli anni dal 2011 al 2023: il numero di superamenti misurati presso le stazioni di monitoraggio è suddiviso per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori evidenzia, con gradazioni di rosso, il non rispetto della soglia prevista dal D.Lgs. 155/2010.

Nel corso degli anni si è assistito ad una riduzione del numero di superamenti della soglia di informazione. Il 2023 ha fatto registrare, per quanto riguarda gli episodi acuti, una situazione meno critica rispetto al 2022. Il numero più elevato di superamenti della soglia di informazione - 8 - è stato misurato nella stazione di fondo rurale di Druento – La Mandria, che lo scorso anno ne aveva registrati 25. Lo scostamento massimo fra il 2022 e 2023 è stato rilevato nella stazione di Orbassano-Gozzano (zero superamenti nel 2023, 125 nel 2022).

Anche nel corso del 2023, come negli anni precedenti, non sono stati registrati superamenti della soglia di allarme (ad eccezione di Verbania – Gabardi, dove nel 2019 la concentrazione di 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ è stata superata per 7 ore consecutive³⁰).

³⁰ Il superamento è stato determinato secondo il criterio per l'applicazione dell'art. 10, comma 1 del D.Lgs. 155/2010, che prevede il verificarsi del superamento per tre ore consecutive.

O3 - Numero di superamenti della soglia di informazione (180 µg/m³)																										
ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023											
AGGLOMERATO	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	12	16	14	26	1	3	0	3	0	0	29	0											
		Borgaro T. - Caduti	FS	2	0	2	32	15	6	2	5		4	20	0											
		Chieri - Bersezio	FS		0	9	0	1	4	0	1	0	0		0											
		Druento - La Mandria	FR	63	42	26	69	36	46	3	17		10	25	8											
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	0	0	2	3	4	1	0	5	0	0	8	0											
		Orbassano - Gozzano	FS	14	4	7	68	39	79	9	34	1	18	125	0											
		Torino - Lingotto	FU	3		18	8	8	7	3	18	0	1	39	1											
		Torino - Rubino	FU			6	3	12	6	4	29	0	2	58	1											
PIEMONTE	AL	Vinovo - Volontari	FS	0	0	4	1	4	12	9	8	0	0	86	0											
		Alessandria - Volta	FU	35	3	16	21	64	14	5	29	0	19	10	3											
	AT	Dernice - Costa	FR	17	14	0	8	4	8	0	10	0	0	5	2											
		Asti - D'Acquisto	FU	6	25	8	15	14	6	1	2	0	0	4	0											
	BI	Vinchio - San Michele	FR	8	21	19	0	32	7	0	10	0	0	6	0											
		Biella - Sturzo	FU	13	0	13	0	0	4	0	11	0	0	4	1											
		Cossato - Pace	FU	0	0	27	24	0	2	0	5	0	0	21	1											
	CN	Trivero - Ronco	FS	7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	8	2											
		Alba - Tanaro	FU	5	5	14	1	0	3	0	9	0	0	8	0											
		Cuneo - Alpini	FU	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0											
		Revello - Staffarda	FR			1	4	0	2	0	0	0	0	6	0											
	NO	Saliceto - Moizo	FR	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0											
		Castelletto T. - Fontane	FR	30	20	11	49	2	20	9	7	1	0	20	4											
		Novara - Arpa	FU								22	0	0	3	2											
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	5	6	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0											
		Ivrea - Liberazione	FS	0	0	1	4	0	7	0	1	2	0	6	0											
		Susa - Repubblica	FS	0	0	0	0	12	5	0	0	0	0	11	4											
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR	0	0		0	0	0	0				0	0	0										
		Domodossola - Curotti	FS			0	4	0	0	0	5	0	0	0	0	0										
		Pieve Vergonte - Industria	FS	18	13	11	28	11	23	7	8	19	0	7	0	0										
		Verbania - Gabardi	FU	34	27	3	73	24	30	16	16	0	5	12	2	0										
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	62	4	6	0	0	0	0	6	0	2	11	2	0										
		Vercelli - CONI	FS	10	1	10	27	0	0	0	15	0	0	33	0	0										
LEGENDA	FU = Stazione di Fondo Urbano																									
	FS =Stazione di Fondo Suburbano																									
	FR = Stazione di Fondo Rurale																									
O3 - soglia informazione																										
<table><tr><td>0</td><td></td></tr><tr><td>> 0</td><td><= 20</td></tr><tr><td>> 20</td><td><= 40</td></tr><tr><td>> 40</td><td><= 60</td></tr><tr><td>> 60</td><td></td></tr></table>																	0		> 0	<= 20	> 20	<= 40	> 40	<= 60	> 60	
0																										
> 0	<= 20																									
> 20	<= 40																									
> 40	<= 60																									
> 60																										
Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all'80% fino al 2022 e all'85% dal 2023																										
n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022																										

Tabella 13: Ozono: numero di superamenti della soglia di informazione misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2011 al 2023

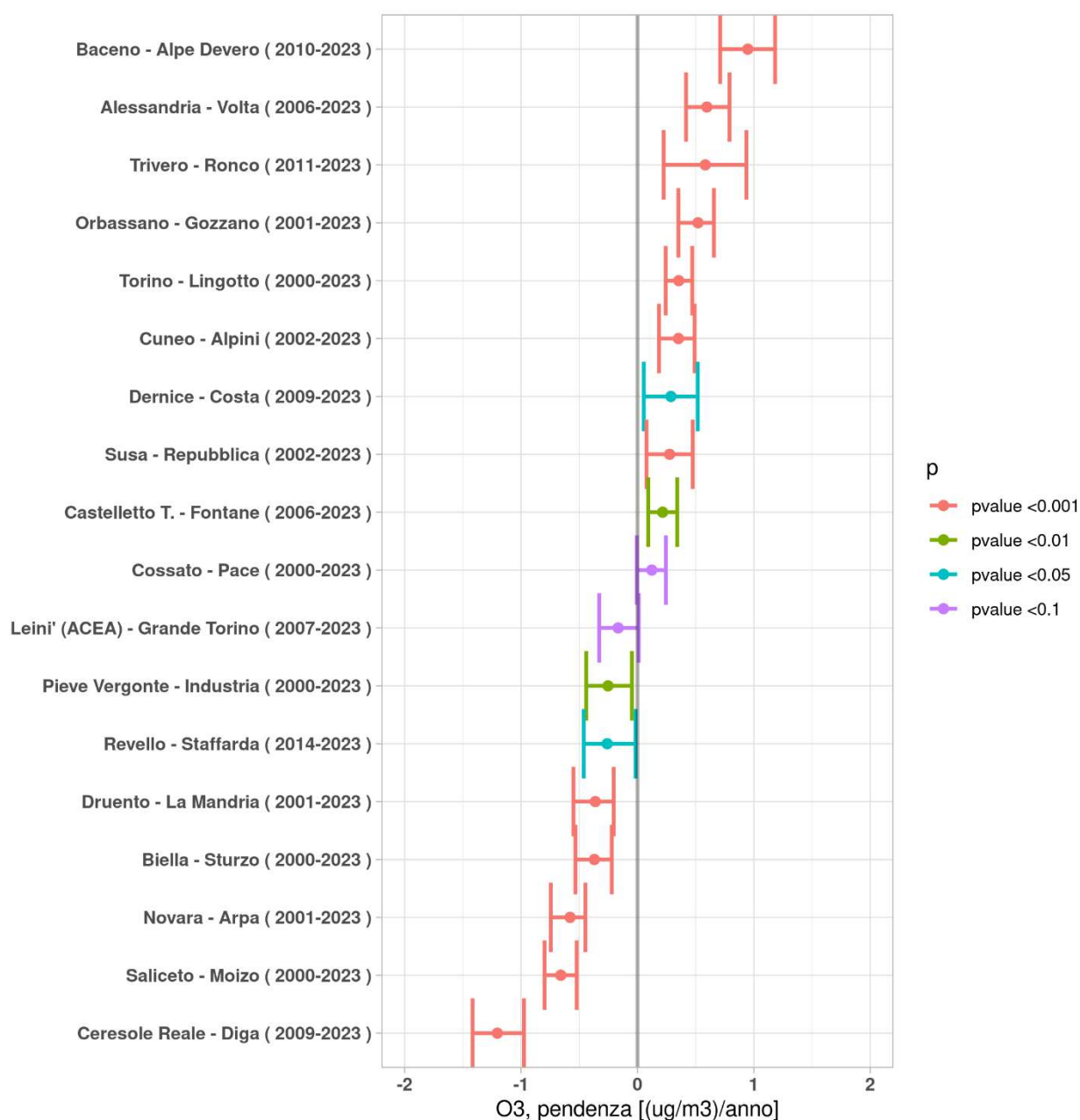


Figura 33: Ozono: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie orarie, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (verde al 99.9%, blu al 99%, rosso al 95% e viola al 90%).

L'analisi del trend delle concentrazioni orarie di ozono eseguita numericamente³¹ tramite lo stimatore Theil-Sen (Figura 33) mostra risultati non univoci: anche in questo caso la significatività statistica è presente in un numero ridotto di stazioni, 18 su 31, e solo nella metà di queste il trend è in diminuzione.

³¹ Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliere, è stato calcolato il percentile 93.15 di ciascun anno e successivamente stimata la pendenza media della retta di regressione, con il relativo intervallo di confidenza, tramite lo stimatore Theil-Sen. E' stata valutata la significatività statistica della regressione con tre livelli di confidenza, 90%, 95% e 99%. Le serie temporali sono state destagionalizzate e sono stati considerati solo gli anni con almeno il 75% di dati validi.

5.4.3 Soglie per la protezione della vegetazione

Il D.Lgs 155/2010 prevede come indicatore per la valutazione della protezione della vegetazione l'AOT40, la somma delle eccedenze orarie del valore di 80 µg/m³, rilevate da maggio a luglio, tra le 8:00 e le 20:00, ora dell'Europa centrale (CET). Il valore obiettivo per la protezione della vegetazione è pari a 18000 µg/m³ * h come media su 5 anni.

La Tabella 14 descrive l'andamento dell'AOT40 misurato presso le stazioni della qualità dell'aria a partire dal 2010: come previsto dalla normativa, il calcolo dell'indicatore è stato realizzato mediando i valori di cinque anni (ad es. il valore del 2022 corrisponde alla media sugli anni dal 2018 al 2022); nel caso in cui la percentuale dei dati validi fosse inferiore al 100% e superiore al 90%, è stato utilizzato il valore di AOT40 stimato in luogo di quello misurato³². In gran parte della regione i valori di AOT40 superano il valore obiettivo per la protezione della vegetazione; va tuttavia ricordato che, secondo i criteri di localizzazione dei punti di misura definiti per l'ozono, le stazioni i cui dati vengono comunicati alla Comunità Europea per valutare il rispetto dei limiti per l'AOT40 ai fini degli adempimenti previsti dal D.Lgs 155/2010 sono solamente Druento – La Mandria (per la zona Agglomerato - IT0118), Baceno – Alpe Devero, Ceresole Reale - Diga, Dernice – Costa, Saliceto – Moizo e Vinchio – San Michele (per il resto della regione, zona Piemonte - IT0122).

O3 - AOT40 per la protezione della vegetazione, media su 5 anni (Valore obiettivo: 18000 µg/m³)

Zona UE	Provincia	Stazione	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - par	FR	41244	37748	36460	37861	34818	34218	34901	36100				29443	33105	31689
		Borgaro T. - Caduti	FS	27215	24904	21865	22021	20111	22863	24168	24168					28456	24781
		Chieri - Bersezio	FS												16504	16504	17583
		Druento - La Mandria	FR	41582	35744	35844	35443	33258	33685	33107	31575	30687	30165			26032	24164
		Leini' (ACEA) - Grande To	FS	31576	30571	27030	25635	21564	20470	20237	21123	21133	26514	22383	20875	23981	22053
		Orbassano - Gozzano	FS	27643	25777	24532	26631	22485							33243	39044	35938
		Torino - Lingotto	FU	31866	26639	21275	21275	22570	25339	28626						31456	31456
		Torino - Rubino	FU												26297	30999	29402
		Vinovo - Volontari	FS	28322	28250	28178	28719	24358	24179	23215	21658				22052	29248	26404
Piemonte	AL	Alessandria - Volta	FU	32037	30185	29512	27806	24693	24403	28276	28409	31190	32254	31916	28926	30209	27320
		Dernice - Costa	FR			30619	31554	29951	28578	28969	29976	28265	30426	30274	28969	28648	28064
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	33246	28942	29043	31211	28888	29311	29749	29746	27811	28695	27121	25447	25260	24942
		Vinchio - San Michele	FR		31931	33321	33102	31450	31359	33327	31489	28849	28510	27130	22926	23696	23740
	BI	Biella - Sturzo	FU	32336	28839	28683	28230	24983	23189	23209	20658	19281	23107	26085	23125	24223	21705
		Cossato - Pace	FU	39725	35589	32221	32845	30567	28002					27762	27615	30977	29868
		Trivero - Ronco	FS				18327	20533	19150	17889	17875	20473	17723	17715	19888	19574	
		Alba - Tanaro	FU	36357	29261	29557	28178	27009	26344	25317	24221	23542	24152	21971	22108	23880	22893
	CN	Cuneo - Alpini	FU	31609	27656	26652	26897	23735	24873	24568	24951	23759	25840	24298	24589	25206	23799
		Revello - Staffarda	FR							25747	25538	23361	23331	19598	18620	19842	20537
		Saliceto - Moizo	FR	33818	26643	25936	24712	21799	22143	22048	19850	20406	20493	17797	17586	17200	14959
		Castelletto T. - Fontane	FR					25908	28039	26895	27116	26972	27938	24703	24004	24866	24171
	NO	Novara - Arpa	FU	39593	35955	33963	29497	24164	22473	21192	21383	23523	26325	21571	19658	20987	19978
		Ceresole Reale - Diga	FR					34767	32029	32029						23838	22212
	TO	Ivrea - Liberazione	FS			23370	23370	21901	23271	21927	23021	23695	24610	22332	23826	24673	24243
		Susa - Repubblica	FS	25744	21903	21411	20871	19754	19195	20230	22931		22072		23458	24976	24074
		Baceno - Alpe Devero	FR														22652
		Domodossola - Curotti	FS							18900	19321	19321	19018	16223	17441	17086	15867
	VB	Pieve Vergonte - Industria	FS	31213	25618	26381	26571	25502	27350	26790	27403	27422	28628	28604	28011	26055	24258
		Verbania - Gabardi	FU	29422	29422	26210	25535	23685	25935	25563	26469	26870	29783	25647	24478	21812	21442
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	25194	26379	28120	28650	26636	25397	24419	21263	19297				25650	23987
		Vercelli - CONI	FS	32079	33413	34862	33162	32234	35367	32472	30426	31787	32104	23288	23487	29673	29853

Legenda

TU = Stazione di Traffico Urbano
FU = Stazione di Fondo Urbano
FS =Stazione di Fondo Suburbano
FR = Stazione di Fondo Rurale
IS = Stazione Industriale di Fondo
TR = Stazione di Traffico Rurale

O3

AOT40 vegetazione (µg/m³ h)

<= 9000	<= 18000
> 9000	<= 30000
> 18000	<= 40000
> 30000	
> 40000	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 90% fino al 2022, all'85% dal 2023

Tabella 14: Ozono: AOT40 valore obiettivo per la protezione della vegetazione misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

³² Nei casi in cui la percentuale di dati per il calcolo dell'AOT40 sia inferiore al 90%, non è stato inserito il valore di AOT40; dove non sia stato possibile determinare le medie su cinque anni in base ad una serie intera e consecutiva di dati annui, la valutazione della conformità ai valori obiettivo è stata riferita ad almeno tre anni (come da Allegato VII D.Lgs 155/2010)

5.5 Benzo(a)pirene nel PM10

5.5.1 Media annua

Nel corso del 2023, sul territorio regionale non è stato superato il valore obiettivo per la media annuale del benzo(a)pirene, pari a 1 ng/m³, come illustrato nella Figura 34 che riporta, in mappa tematica, le concentrazioni misurate presso le stazioni di monitoraggio della rete regionale.

Il confronto fra i valori registrati presso le stazioni di misura, riportato in Figura 35, mostra che le concentrazioni maggiori sono state registrate presso le stazioni di Domodossola – Curotti (fondo suburbano), Asti – Baussano (traffico urbano) e Saliceto – Moizo (fondo rurale).

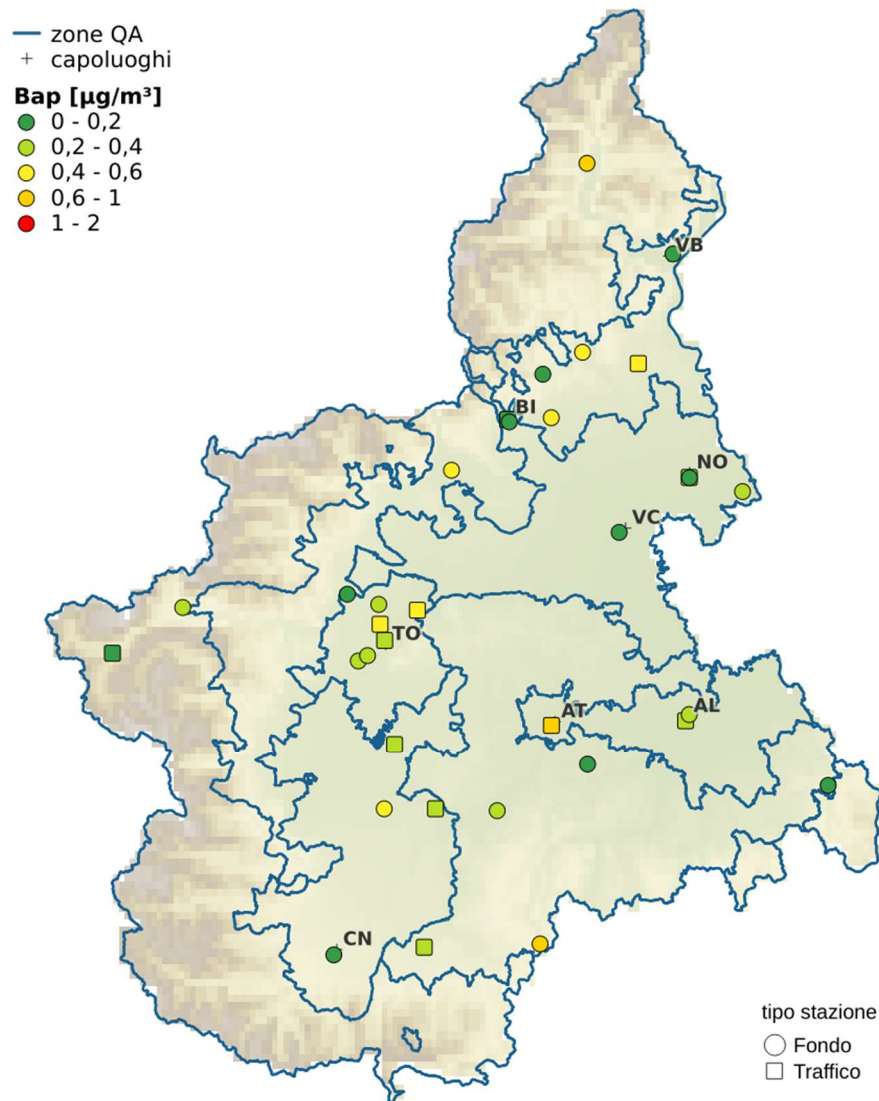


Figura 34: Benzo(a)pirene: concentrazioni medie per l'anno 2023: valori misurati presso le stazioni del SRRQA.

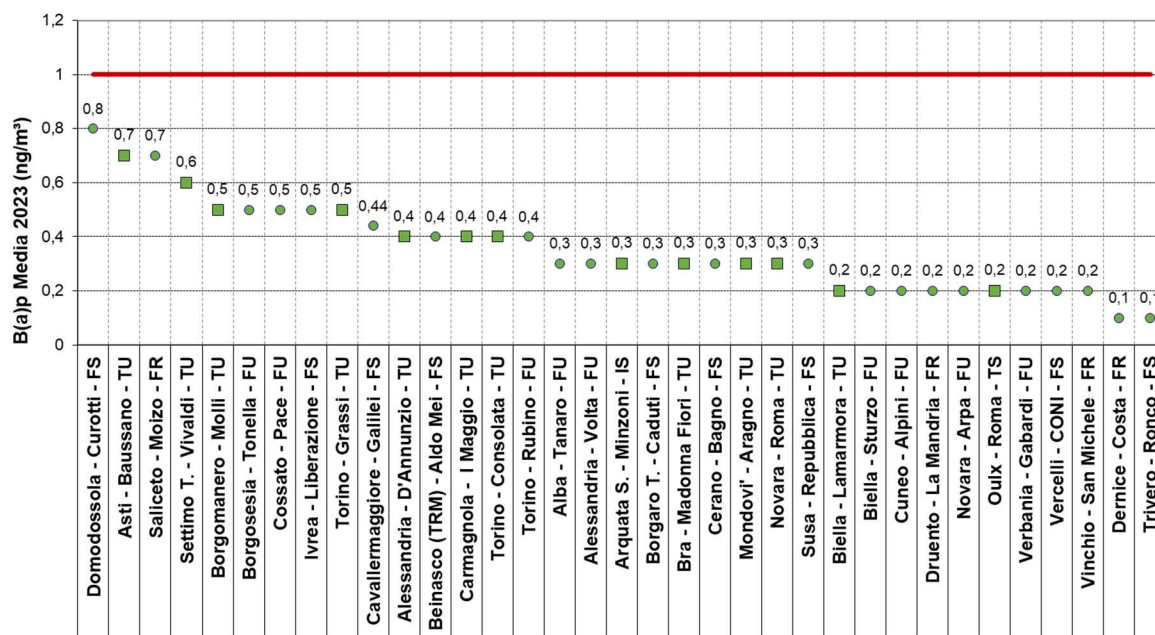


Figura 35: Benzo(a)pirene: concentrazioni medie per l'anno 2023: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

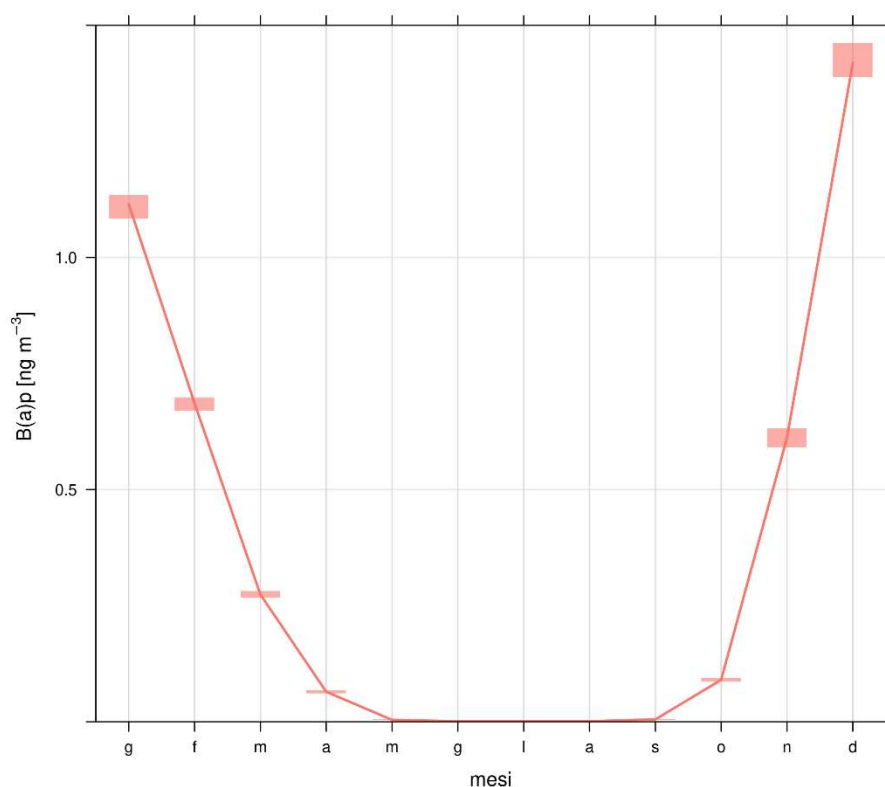


Figura 36: Benzo(a)pirene: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2023, con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%

Benzo(a)pirene - Media annuale (Valore obiettivo: 1 ng/m³)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4
		Borgaro T. - Caduti	FU	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,4	0,3
		Druento - La Mandria	FR	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
		Settimo T. - Vivaldi	TU			1	1,2	1,3	1,4	1,1		0,8	0,8	1	0,9	0,8	0,7
		Torino - Consolata	TU	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	0,4			0,4	0,4
		Torino - Grassi	TU	0,8	0,9		1,1			0,9	1	0,7	0,7	0,9	0,6	0,5	0,6
		Torino - Lingotto	FU	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,5	0,5	0,7	0,4	0,4	
		Torino - Rebaudengo	TU			0,9	1,2	1,1	1,2	1,1	1,6	0,8	0,9	0,8	0,5	0,5	
		Torino - Rubino	FU	0,5	0,8	0,6	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
		Dernice - Costa	FR	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	AT	Vinchio - San Michele	FR	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2
	BI	Cossato - Pace	FU	0,8	1	1,1	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7		0,6	0,5	0,5	0,5
	CN	Alba - Tanaro	FU	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
		Mondovi' - Aragno	TU					0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
	NO	Saliceto - Moizo	FR	1,1	1	1	1,1	1	1,1	0,9	1,1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,6	0,7
		Borgomanero - Molli	TU				1	0,8	1	0,8	0,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	1	0,8	0,9	0,6	0,7	0,9	0,5	0,6	0,5
		Susa - Repubblica	FS	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
Montagna	VB	Verbania - Gabardi	FU	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	1	0,9	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5
	BI	Trivero - Ronco	FS			0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	0,06		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1
		Oulx - Roma	TS				0,5	0,5		0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Pianura	AL	Alessandria - D'Annunzio	TU	0,5	0,7	0,8	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
		Alessandria - Volta	FU	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3
	AT	Asti - Baussano	TU			1,2	0,9	0,8	1,1	1	1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5	0,7
		Biella - Lamarmora	TU	0,5	0,7	0,8	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2
	BI	Biella - Sturzo	FU	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
		Bra - Madonna Fiori	TU	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3
	CN	Cavallermaggiore - Galilei	FS												0,4	0,4	0,4
		Cuneo - Alpini	FU	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
	NO	Cerano - Bagno	FS	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3
		Novara - Arpa	FU	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3		0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
	TO	Novara - Roma	TU	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
		Carmagnola - I Maggio	TU	0,7	0,5	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4
	VC	Vercelli - CONI	FS	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2

Legenda	TU = Stazione di Traffico Urbano
	FU = Stazione di Fondo Urbano
	FS =Stazione di Fondo Suburbano
	FR = Stazione di Fondo Rurale
	IS = Stazione Industriale di Fondo
	TR = Stazione di Traffico Rurale

B(a)P - media annuale (µg/m³)

<= 0,3	
> 0,3	<= 0,4
> 0,4	<= 0,6
> 0,6	<= 1
> 1	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022 e all'85% dal 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 15: Benzo(a)pirene: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

Il grafico in Figura 36 descrive l'andamento della media mensile delle concentrazioni misurate da tutte le stazioni della rete regionale: si possono osservare i massimi nella stagione invernale in corrispondenza del diffuso utilizzo delle biomasse come combustibile per il riscaldamento domestico che si va a sommare al contributo derivante da combustioni quali, fra le altre, quelle associate al traffico veicolare.

La Tabella 15 permette di confrontare le concentrazioni di benzo(a)pirene registrate nell'anno 2023 con quelle degli anni precedenti (a partire dal 2010): i valori medi annui misurati presso le stazioni di monitoraggio sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione. La suddivisione della scala colori tiene invece conto delle soglie di valutazione inferiore e superiore e del valore limite previsti dal D.Lgs 155/2010: si evidenzia una generale riduzione delle concentrazioni medie annue nel corso degli anni.

Il trend di riduzione per la media annuale di ciascuna stazione è stato infine valutato numericamente³³ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair³⁴ i risultati sono mostrati in Figura 37, dove - per ogni stazione in cui il trend è risultato statisticamente significativo – ne sono riportati il valore (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno) ed il relativo intervallo di confidenza, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati. In nessuna stazione è stato calcolato una tendenza in aumento e in tutte le stazioni la diminuzione è statisticamente significativa

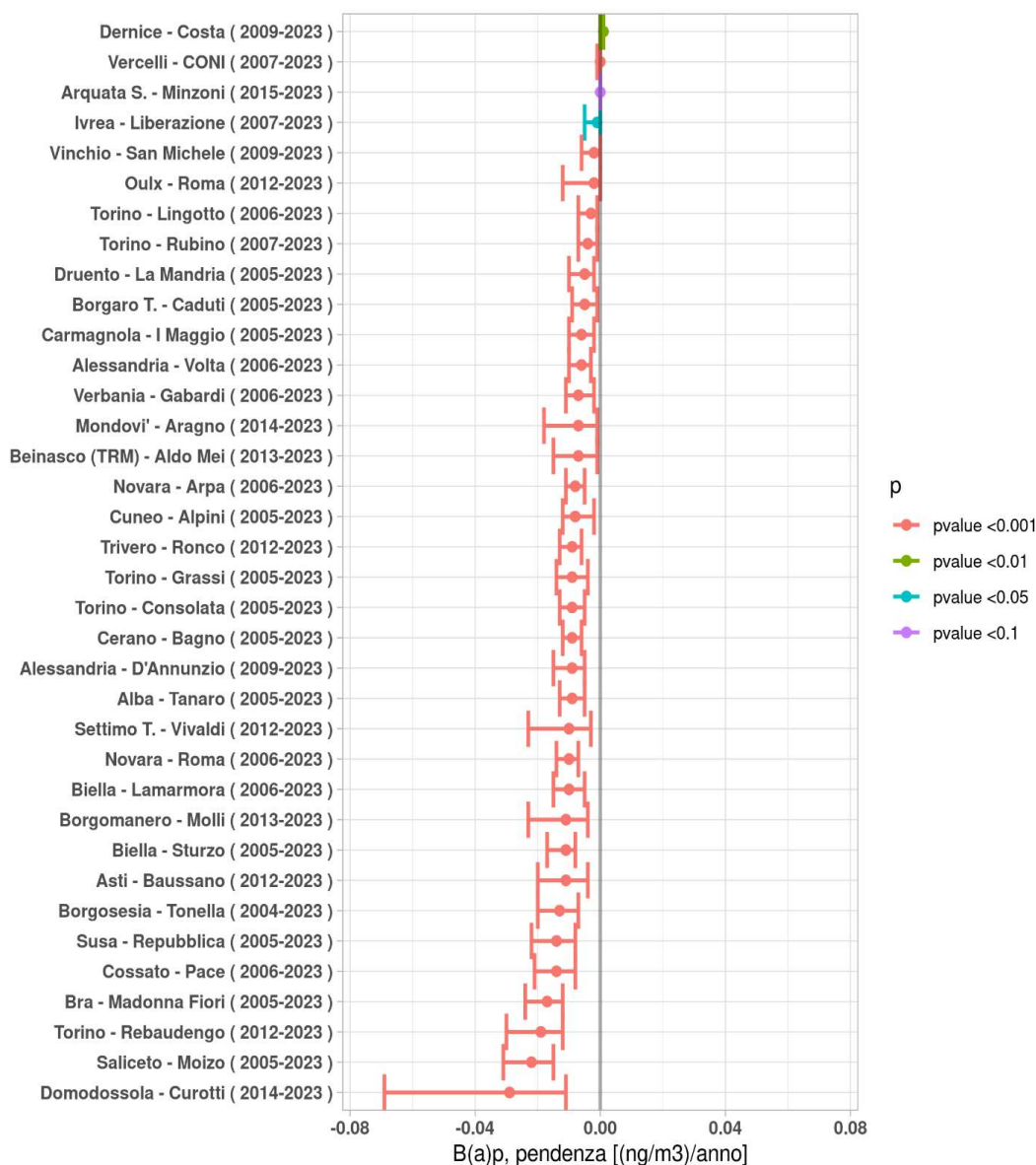


Figura 37: Benzo(a)pirene: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue di benzo(a)pirene, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (rosso al 99.9%, verde al 99%, blu al 95% e viola al 90%).

³³ Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni medie giornaliere, è stata stimata la pendenza media della retta di regressione, con il relativo intervallo di confidenza, tramite lo stimatore Theil-Sen. E' stata valutata la significatività statistica della regressione con tre livelli di confidenza, 90%, 95% e 99%. Le serie temporali sono state destagionalizzate e sono stati considerati solo gli anni con almeno il 75% di dati validi.

³⁴ Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair --- an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

5.6 Benzene

5.6.1 Media annua

Su tutto il territorio regionale, da diversi anni, non viene superato il valore limite per la protezione della salute umana per il benzene, pari a 5 µg/m³ come media annua. La Tabella 16 permette di valutare come si collocano le concentrazioni di benzene registrate nell'anno 2023 rispetto agli anni precedenti (a partire dal 2010): i valori medi annui misurati presso le stazioni di monitoraggio sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori tiene invece conto delle soglie di valutazione inferiore e superiore e del valore limite previsti dal D.Lgs 155/2010. È evidente una generale riduzione delle concentrazioni medie annue nel corso degli anni, attribuibile – a meno di oscillazioni annuali dovute all'influenza delle condizioni meteorologiche - all'applicazione di politiche di riduzione delle emissioni di questo inquinante di natura primaria.

Benzene - Media annuale (Valore limite: 5 µg/m³)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS						1,3	1,3	1,3	1	1	1	1	0,9	1
		Borgaro T. - Caduti	FS				1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	1,1	1		1	1	
		Settimo T. - Vivaldi	TU				2	2,1	2,3	2,1	1,6	0,9	1,1	1,2	1,1	1	0,9
		Torino - Consolata	TU	4			2,2	2	2,1	1,8	1,7	0,9	1,2		1,3	1	0,7
		Torino - Lingotto	FU				1,3	1,2	1	1,1	1,1	1	0,9		1	1	0,9
		Torino - Rebaudengo	TU				2	2	2,4	2,6	2,1	2,3	1,5		1,6	1,6	1,3
		Torino - Rubino	FU		2,7			2,5	2,2	2,1	1,6	1,3	1,1	1	1	0,9	0,8
		Vinovo - Volontari	FS				1,2	1,7	1,2	1,6	1,4	1,5	1,1	1	1,1	1,1	0,9
Collina	CN	Alba - Tanaro	FU	1,3	0,9	0,9	1	1,1	1,3	1,1	1	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,6
	VB	Verbania - Gabardi	FU	1,8	2,1	1,4	1,1	1,1	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,3
Montagna	VB	Pieve Vergonte - Industria	FS			2,4	1,4	1,6	1,6	1,3	1,8	1,7	0,8		1,2	1	0,8
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU		2	1,8	1,5	1,3	1,6	1,5	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,3	
	NO	Cerano - Bagno	FS	2,4	2,7	1	1,1	1	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1
		Trecate - Verra	FU	1,1	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1	1	1	1	1	0,9
	VC	Cigliano - Autostrada	TR						1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,6	0,8	0,7	0,7

Legenda
TU = Stazione di Traffico Urbano
FU = Stazione di Fondo Urbano
FS = Stazione di Fondo Suburbano
FR = Stazione di Fondo Rurale
IS = Stazione Industriale di Fondo
TR = Stazione di Traffico Rurale

Benzene media annuale (µg/m³)

<= 1
> 1 <= 2
> 2 <= 3,5
> 3,5 <= 5
> 5

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all' 80% fino al 2022 e all'85% per il 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 16: Benzene: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

5.7 Monossido di carbonio e biossido di zolfo

Il monossido di carbonio (CO) e il biossido di zolfo (SO₂) sono inquinanti che non destano più preoccupazione sul territorio piemontese, non facendo registrare da molti anni superamenti dei rispettivi valori limite.

5.7.1 CO - Massima media giornaliera su 8 ore

Il valore limite per la protezione della salute umana per il monossido di carbonio, determinato sulle massime medie mobili su 8 ore, è pari a 10 mg/m³. In assenza di superamenti del valore limite negli ultimi anni e per descrivere i livelli registrati in Piemonte, in Tabella 17 sono riportate le massime concentrazioni medie sulle 8 ore calcolate a partire dai valori orari misurati presso le stazioni di monitoraggio sia nell'anno 2023, sia negli anni precedenti fino al 2010: i valori sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione. La suddivisione della scala colori tiene invece conto delle soglie di valutazione inferiore e superiore e del valore limite previsti dal D.Lgs 155/2010. I valori riportati in tabella dimostrano come, anche nelle stazioni da traffico dei grandi centri urbani, le concentrazioni massime si attestino su valori decisamente inferiori al valore limite.

Torino è la città con la serie storica più lunga - a livello regionale - per il monossido di carbonio; può essere quindi utilizzata per illustrare come l'effetto del miglioramento tecnologico nel settore trasporti abbia permesso la riduzione delle emissioni di CO in atmosfera, con conseguente miglioramento dei livelli di concentrazione per questo inquinante, come si evince dalla Figura 38 che mostra le concentrazioni medie annue registrate a partire dal 1981 presso la stazione di traffico di Torino – Rebaudengo, la più critica della regione.

CO - Massima media di 8 ore giornaliera (Valore limite = 10 mg/m³)																	
ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Torino - Consolata	TU	3,6	5,1	4,4	3	3,4	3,8	3,3	4,5	2,9	2,8	2,9	3,4	3	2,7
		Torino - Rebaudengo	TU	4,6	4,8	4,4	4	3,2	3,1	3,6	4	2,4	2,1	2,5	2,7	2,2	2,9
		Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	1,3	1,4	1,3	1,1	1	1,2	1,1	1,1	1	1,2	0,9		1,2	1,1
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	2,3	2,4	2,5	2,3	2,1	2	1,9	1,7	1,6	2,1	1,6	1,6	1,7	1,6
Collina	CN	Mondovì - Aragno	TU					1,5	1,7	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1		1,1	0,9
	NO	Borgomanero - Molli	TU				2	2	2,3			2	1,7	1,7	1,7	1,7	1,4
	VB	Verbania - Gabardi	FU	1,7	2,1	2	1,5	1,4	2,4	2	1,9	2	1,4	1,3	1,4	1,1	1,2
Montagna	TO	Oulx - Roma	TS		1,7	1,7	1,9	1,8	1,8	1,5	2,3	1,5	1,8	1,3	1,6	0,8	1,1
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU	2,2	2,2	2,5	2,5	1,8	1,8	1,9	1,9	1,7	1,7	2	2	1,6	1,3
	NO	Novara - Roma	TU	2,3	2,6	2,9	3,1	2,1	2,7	2,7	2,7	1,9	1,9	2	2,1	1,8	1,6
	VC	Cigliano - Autostrada	TR					1,7	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5

Legenda

TU = Stazione di Traffico Urbano
FU = Stazione di Fondo Urbano
FS =Stazione di Fondo Suburbano
FR = Stazione di Fondo Rurale
IS = Stazione Industriale di Fondo
TR = Stazione di Traffico Rurale

CO

massima media su 8 ore

(mg/m³)

<= 1

> 1

> 5

> 7

> 10

<= 5

<= 7

<= 10

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all' 80% fino al 2022 e all'85% per il 2023

n

dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 17: Monossido di carbonio (CO): concentrazioni massime medie sulle 8 ore misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

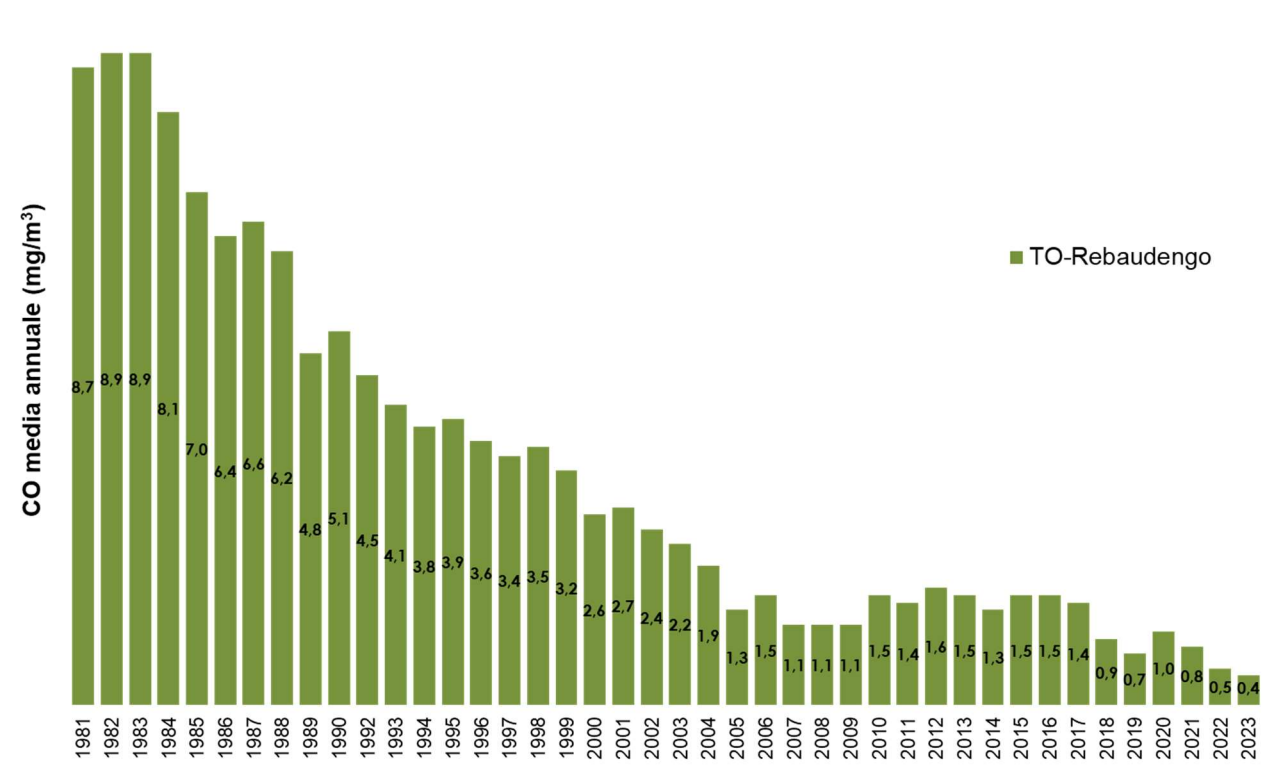


Figura 38: concentrazioni medie annuali di monossido di carbonio rilevate negli anni 1981-2023, presso la stazione di Torino-Rebaudengo.

5.7.2 SO₂ - Massima media giornaliera

Il valore limite per la protezione della salute umana per il biossido di zolfo, determinato sulla media giornaliera da non superare più di 3 volte per anno civile, è pari a 125 µg/m³. In assenza di superamenti del valore limite negli ultimi anni e per descrivere i livelli registrati in Piemonte, in Tabella 18 sono riportate le massime concentrazioni medie giornaliere registrate presso le stazioni di monitoraggio sia nell'anno 2023, sia negli anni precedenti fino al 2010: i valori misurati sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori tiene invece conto delle soglie di valutazione inferiore e superiore e del valore limite previsti dal D.Lgs 155/2010. Le concentrazioni riportate in tabella dimostrano come i livelli misurati si attestino su valori inferiori di un ordine di grandezza rispetto al limite normativo.

Anche in questo caso, a titolo di esempio della riduzione delle concentrazioni del biossido di zolfo, può essere considerata una stazione di traffico, Torino – Consolata, situata nella zona centrale della città di Torino, per la quale è disponibile la serie storica più lunga a livello regionale; in Figura 39 è rappresentata la massima media giornaliera su base annuale registrata nella stazione dal 1972 al 2023.

La riduzione delle emissioni legate al riscaldamento domestico e al traffico veicolare, grazie all'introduzione di limitazioni nel tenore di zolfo nei combustibili e all'incremento dell'utilizzo del metano nella produzione di energia e nel riscaldamento domestico, ha permesso una evidente riduzione delle concentrazioni di SO₂ in atmosfera.

SO ₂ - Massima media giornaliera (Valore limite: 125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile)																						
ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023					
Agglomerato	TO	Torino - Consolata	TU	16	14	15	13	14	13	12	15	16	19	20	11	10						
		Torino - Rebaudengo	TU	31	16	19	14	18	10	16	16	17		16	12	12	7					
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS	15	19	18	16	20	22	27	33	17	25	32	18	8	23					
Montagna	VB	Pieve Vergonte - Industria	FS	16	12	22	13	22	8	8	5	7	9	8	11	11	9					
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU	15	19	21	17	10	13	15		11	14			8	6					
	NO	Cerano - Bagno	FS	125	48	39	55	23	30	25	23	25	35	17	22	23	19					
		Novara - Roma	TU			15	16	16	15	18	20	18	18	8	11	13	9					
		Trecate - Verra	FU	82	50	46	16	15	23	16	14	33	29	9	12	15	11					
	VC	Cigliano - Autostrada	TR					9	10	9		9	9	7	12	14	5					

Legenda
TU = Stazione di Traffico Urbano
FU = Stazione di Fondo Urbano
FS = Stazione di Fondo Suburbano
FR = Stazione di Fondo Rurale
IS = Stazione Industriale di Fondo
TR = Stazione di Traffico Rurale

SO₂ massima media giornaliera (µg/m³)

<= 20

> 20 <= 50

> 50 <= 75

> 75 <= 125

> 125

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all' 80% fino al 2022 e all'85% per il 2023
n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 18: Biossido di zolfo (SO₂): concentrazioni massime medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

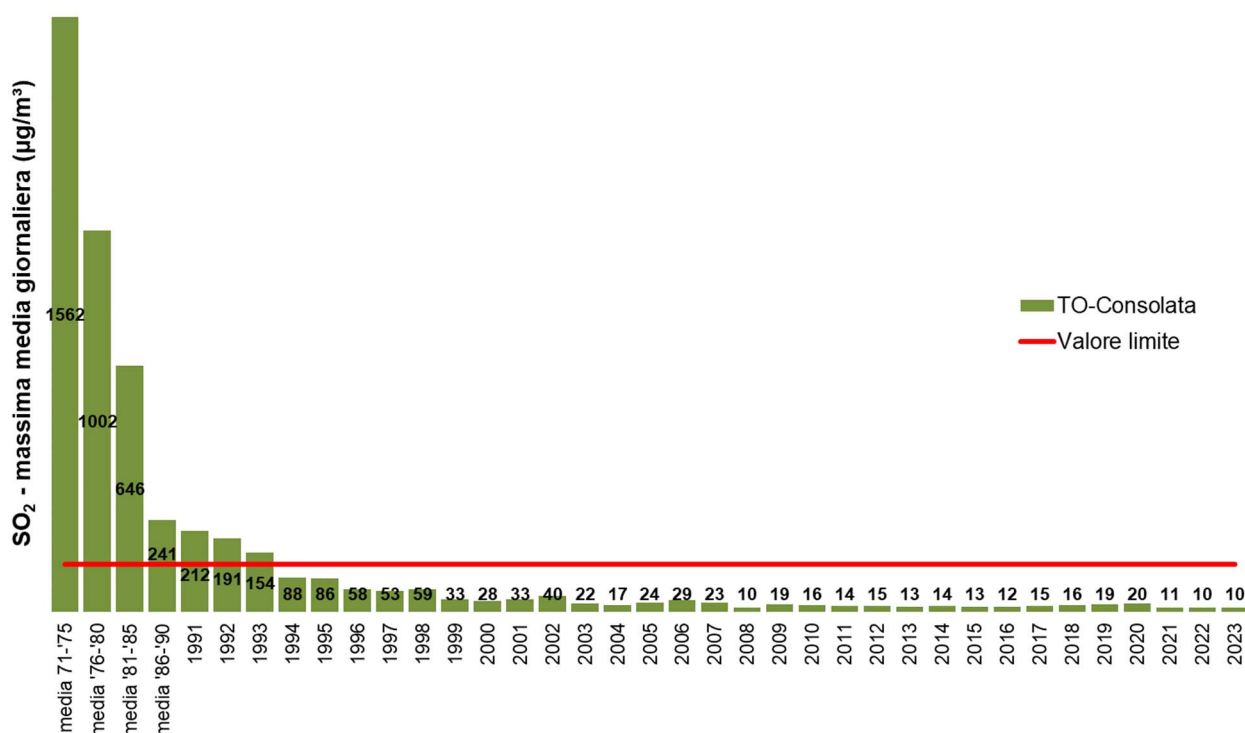


Figura 39: Biossido di zolfo SO₂: massima media giornaliera su base annuale, rilevata presso la stazione di Torino-Consolata

5.8 Metalli nel PM10

Le concentrazioni dei metalli normati dal D.Lgs 155/2010, ovvero arsenico (As), cadmio (Cd), nichel (Ni) e piombo (Pb) presenti nel PM10, risultano essere – secondo i risultati del monitoraggio condotto presso le stazioni della qualità dell'aria – ampiamente al di sotto dei rispettivi valori limite, come si può osservare dalle tabelle sottostanti che riportano le concentrazioni di questi metalli registrate nell'anno 2023 e negli anni precedenti (a partire dal 2010): i valori medi annui misurati presso le stazioni di monitoraggio sono suddivisi per zona di qualità dell'aria (zona UE), provincia e tipologia di stazione; la suddivisione della scala colori tiene invece conto delle soglie di valutazione inferiore e superiore e del valore limite previsti dal D.Lgs 155/2010.

Più in dettaglio, la Tabella 19 riporta le concentrazioni medie annue dell'arsenico, il cui valore obiettivo è pari a 6 ng/m³, la Tabella 20 le concentrazioni medie annue del cadmio, con valore obiettivo pari a 5 ng/m³, la Tabella 21 le concentrazioni medie annue del nichel, avente valore obiettivo pari a 20 ng/m³ e la Tabella 22 le concentrazioni medie annue del piombo, il cui valore limite per la protezione della salute umana su base annua è pari a 0,5 µg/m³. Nel caso di arsenico, cadmio e nichel, le concentrazioni medie annue misurate hanno valori di un ordine di grandezza inferiore al valore obiettivo; per il piombo le concentrazioni si posizionano in un range di valori aventi fra uno e due ordini di grandezza inferiori al valore limite per la protezione della salute umana.

Arsenico nel PM10 - Media annuale (Valore obiettivo: 6 ng/m3)

Zona UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		Borgaro T. - Caduti	FS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		Druento - La Mandria	FR	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		Torino - Consolata	TU	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7		0,7	0,7
		Torino - Grassi	TU	0,7	0,8		0,7			0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		Torino - Lingotto	FU	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
		Torino - Rebaudengo	TU			0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
		Torino - Rubino	FU	0,7	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	CN	Mondovì - Aragno	TU					0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	TO	Susa - Repubblica	FS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7
	VB	Verbania - Gabardi	FU														
Montagna	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	0,7		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7		0,7		0,7	0,7	
		Oulx - Roma	TS				0,7	0,7		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU									0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
	BI	Biella - Lamarmora	TU	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												0,7	0,7	0,7
		Cuneo - Alpini	FU	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	NO	Cerano - Bagno	FS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		Novara - Roma	TU	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	VC	Vercelli - CONI	FS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Legenda

TU = Stazione di Traffico Urbano
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS = Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale
 IS = Stazione Industriale di Fondo
 TR = Stazione di Traffico Rurale

As	media annuale	(ng/m³)
≤ 1		
> 1	≤ 2.4	
> 2.4	≤ 3.6	
> 3.6	≤ 6	
> 6		

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022 e all'85% per il 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 19: Arsenico: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

Cadmio nel PM10 - Media annuale (Valore obiettivo: 5 ng/m3)

Zona UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Borgaro T. - Caduti	FS	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
		Druento - La Mandria	FR	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		Torino - Consolata	TU	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2		0,1	0,1
		Torino - Grassi	TU	0,2	0,5		0,3			0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1
		Torino - Lingotto	FU	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
		Torino - Rebaudengo	TU			0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	
		Torino - Rubino	FU	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	CN	Mondovi' - Aragno	TU					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	TO	Susa - Repubblica	FS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Montagna	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1		0,1	0,1	
		Oulx - Roma	TS				0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU									0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	BI	Biella - Lamarmora	TU	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		Bra - Madonna dei Fiori	TU	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	CN	Cavallermaggiore - Galilei	FS												0,1	0,1	0,1
		Cuneo - Alpini	FU	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	NO	Cerano - Bagno	FS	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
		Novara - Roma	TU	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	TO	Carmagnola - I Maggio	TS	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	VC	Vercelli - CONI	FS	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Legenda
 TU = Stazione di Traffico Urbano
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS =Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale
 IS = Stazione Industriale di Fondo
 TR = Stazione di Traffico Rurale

Cd media annuale (ng/m³)

<= 1	
> 1	<= 2
> 2	<= 3
> 3	<= 5
> 5	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022 e all'85% per il 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022 e dall'80 al 85% dal 2023

Tabella 20: Cadmio: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

Nichel nel PM10 - Media annuale (Valore obiettivo: 20 ng/m³)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Borgaro T. - Caduti	FS	4,3	5,2	4,7	3,4	3,0	0,9	2,4	4,2	4,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,8
		Druento - La Mandria	FR	3,6	4,0	3,2	1,6	1,5	0,3	1,1	2,6	2,6	1,3	1,2	2,5	1,1	
		Torino - Consolata	TU	8,3	8,2	7,3	4,9	4,8	0,8	3,7	3,7	3,7	2,7	3,5		3,2	3,2
		Torino - Grassi	TU	7,6	8,7		5,8			3,9	4,8	4,8	3,2	4,2	3,8	3,8	4,1
		Torino - Lingotto	FU	5,0	5,6	4,8	3,5	3,2	0,9	2,2	2,5	2,5	1,4	1,3	1,1	1,3	1,2
		Torino - Rebaudengo	TU			7,2	5,2	4,5	4,6	3,0	3,0	2,3	4,0	2,1	1,6	1,9	
		Torino - Rubino	FU	4,6	5,2	4,8	3,0	3,2	0,9	2,0	2,8	2,8	1,7	2,3	2,0	1,7	1,9
		Beinasco (TRM) - Aldo Me	FS				2,9	2,7	3,0	2,2	2,7	2,2	2,4	1,7	1,8	2,2	2,0
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							1,9	2,4	2,4	1,5	2,4	2,4	1,7	1,5
	CN	Mondovì - Aragno	TU					9,7	2,8	0,9	1,5	1,0	2,2	0,9	0,9	0,9	1,0
	TO	Susa - Repubblica	FS	2,5	3,3	2,2	1,1	1,9	0,5	1,4	1,4	1,4	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0
Montagna	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	1,3		1,0	0,7	0,9	0,0	0,8	0,9		0,8		0,7	0,8	
		Oulx - Roma	TS				1,4	1,8		1,3	2,0	1,3	1,6	1,1	1,3	1,2	1,4
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU									1,4	1,8	1,4	1,4	1,5	
	BI	Biella - Lamarmora	TU	5,3	4,0	3,8	3,4	2,4	0,6	2,0	1,6	1,6	1,1	1,4	1,2	1,0	1,2
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	3,4	3,7	3,4	2,5	2,5	2,2	1,1	1,7	1,0	1,5	1,6	1,1	1,1	1,3
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												1,1	1,2	1,1
		Cuneo - Alpini	FU	4,1	3,1	2,3	1,7	1,2	0,3	0,8	0,9	0,9	1,1	0,7	0,8	0,8	1,0
	NO	Cerano - Bagno	FS	3,1	2,2	3,0	2,4	2,7	0,6	1,3	2,1	2,1	1,2	1,7	1,1	1,2	1,1
		Novara - Roma	TU	3,0	2,6	2,8	2,2	2,8	0,6	1,2	2,0	2,0	1,6	1,4	1,0	1,2	1,2
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU	4,0	4,5	3,9	3,2	2,5	3,0	1,9	2,9	2,2	2,7	1,8	1,6	1,5	
	VC	Vercelli - CONI	FS	2,2	1,9	2,4	1,8	2,0	0,4	1,3	1,6	1,6	0,7	1,1	0,9	1,0	1,4

Legenda

TU = Stazione di Traffico Urbano
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS = Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale
 IS = Stazione Industriale di Fondo
 TR = Stazione di Traffico Rurale

Ni media annuale (ng/m³)

<= 5	
> 5	<= 10
> 10	<= 14
> 14	<= 20
> 20	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022 e all'85% per il 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 21: Nichel: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

Piombo nel PM10 - Media annuale (Valore limite = 0,5 µg/m³)

Zona UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Borgaro T. - Caduti	FS	0,01	0,013	0,009	0,009	0,006	0,009	0,007	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003
		Druento - La Mandria	FR	0,007	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
		Torino - Consolata	TU	0,013	0,015	0,013	0,01	0,008	0,01	0,008	0,009	0,006	0,006	0,007		0,006	0,005
		Torino - Grassi	TU	0,017	0,02		0,012			0,011	0,011	0,008	0,01	0,011	0,015	0,010	0,006
		Torino - Lingotto	FU	0,011	0,012	0,01	0,009	0,007	0,009	0,007	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
		Torino - Rebaudengo	TU			0,002	0,019	0,015	0,021	0,013	0,016	0,011	0,01	0,011	0,008	0,010	
		Torino - Rubino	FU	0,011	0,012	0,01	0,009	0,007	0,008	0,006	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				0,009	0,008	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							0,005	0,007	0,004	0,003	0,006	0,004	0,004	0,004
	CN	Mondovì - Aragno	TU					0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
	TO	Susa - Repubblica	FS	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002
Montagna	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	0,002		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002		0,001		0,001	0,002	
		Oulx - Roma	TS				0,002	0,002		0,002	0,002	0,001	0,004	0,001	0,002	0,001	0,001
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU									0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	
	BI	Biella - Lamarmora	TU	0,008	0,009	0,008	0,006	0,007	0,006	0,006	0,009	0,007	0,004		0,004	0,006	0,004
	CN	Bra - Madonna dei Fiori	TU	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												0,004	0,003	0,002
		Cuneo - Alpini	FU	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001
	NO	Cerano - Bagno	FS	0,011	0,013	0,013	0,01	0,008	0,009	0,007	0,009	0,007	0,006	0,007	0,008	0,006	0,005
		Novara - Roma	TU	0,012	0,011	0,01	0,007	0,006	0,007	0,005	0,007	0,006	0,005	0,005	0,006	0,006	0,004
	TO	Carmagnola - I Maggio	TS	0,009	0,009	0,008	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,003
	VC	Vercelli - CONI	FS	0,008	0,009	0,01	0,007	0,005	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004

Legenda

TU = Stazione di Traffico Urbano
FU = Stazione di Fondo Urbano
FS = Stazione di Fondo Suburbano
FR = Stazione di Fondo Rurale
IS = Stazione Industriale di Fondo
TR = Stazione di Traffico Rurale

Pb media annuale (µg/m³)

<= 0.1	
> 0.1	<= 0.25
> 0.25	<= 0.35
> 0.35	<= 0.5
> 0.5	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022 e all'85% per il 2023

n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 22: Piombo: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

6 Il dettaglio per provincia

6.1 Città Metropolitana di Torino

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Città metropolitana di Torino è composta da 18 stazioni fisse di proprietà pubblica, da 3 stazioni fisse di proprietà privata e da un mezzo mobile per la realizzazione di campagne di rilevamento della qualità dell'aria. L'ubicazione sul territorio delle postazioni di misura fisse è indicato in Figura 40. Le stazioni sono collocate in modo da rappresentare la qualità dell'aria dell'area metropolitana torinese, ma anche contesti territoriali (vallivi, montani, di pianura) ed emissivi diversi (traffico, fondo), esemplificativi per sé stessi, ma anche per siti aventi caratteristiche emissive ed orografiche analoghe.

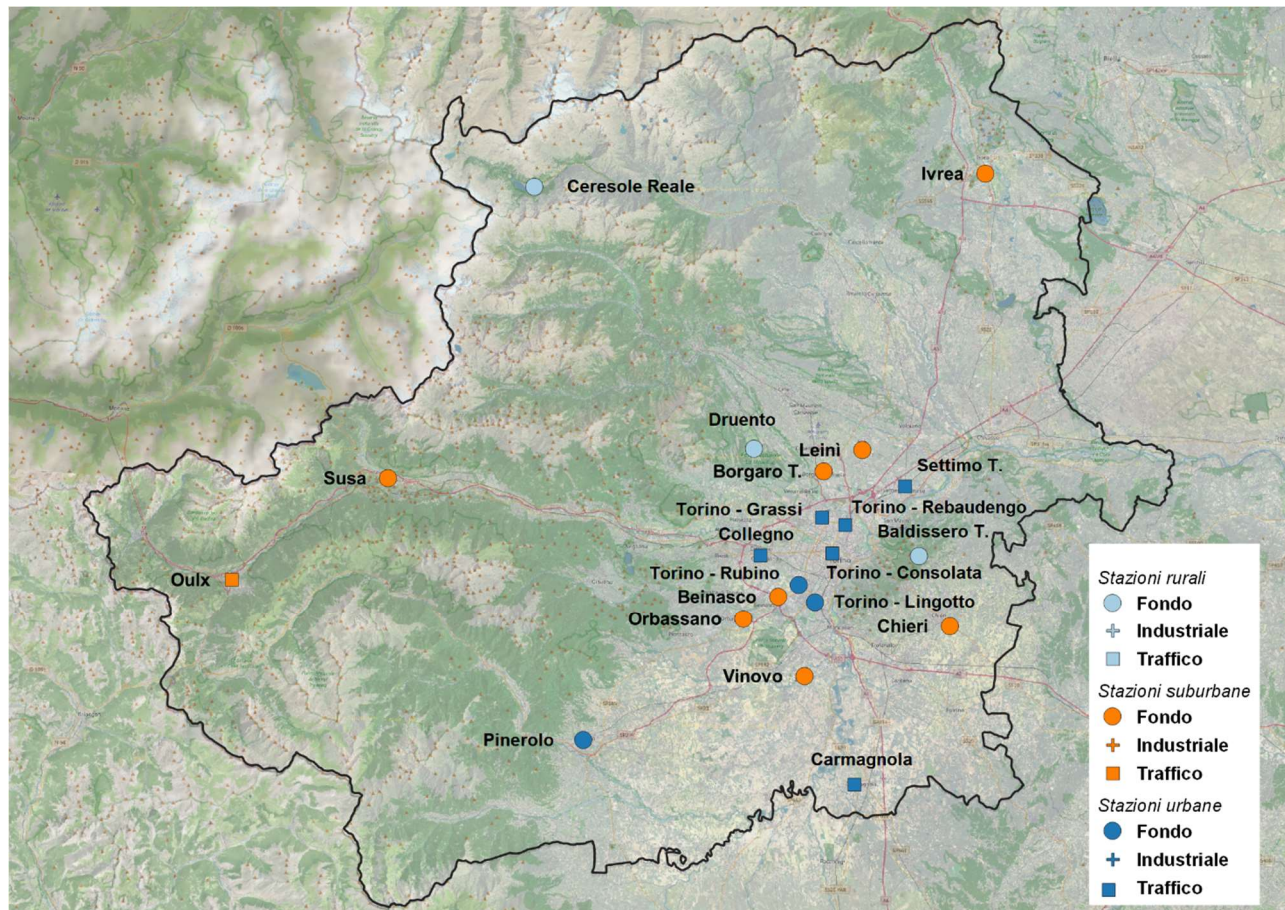


Figura 40: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento nel territorio della Città Metropolitana di Torino.

6.1.1 Particolato sospeso: PM10

L'andamento annuale delle concentrazioni medie di PM10 è rappresentato nelle Figura 41, Figura 42 e Figura 43, mentre il numero dei superamenti del valore limite giornaliero è indicato nelle Figura 44, Figura 45 e Figura 46. I valori sono registrati presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003. Come si può osservare, generalmente le situazioni più critiche per i valori medi annuali si verificano nell'area metropolitana torinese e nella stazione di Carmagnola, di traffico urbano. Nel 2023 il valore limite annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato rispettato in tutte le stazioni del territorio della città metropolitana. Il numero di superamenti, come il valore medio annuale, è in decrescita, ma continua a rappresentare la criticità maggiore per le stazioni in zona urbana e suburbana; nel 2023 la novità positiva è stato il rispetto del limite per le stazioni di fondo di Beinasco, Borgaro, Chieri, Ivrea, Torino-Lingotto ed anche la stazione di traffico di Collegno. Per le stazioni situate in contesti vallivi e in quota (Baldissero, Ceresole, Susa, Oulx) il rispetto del limite è sempre stato garantito, mentre per la stazione fondo rurale di Druento il limite è rispettato dall'anno 2018.

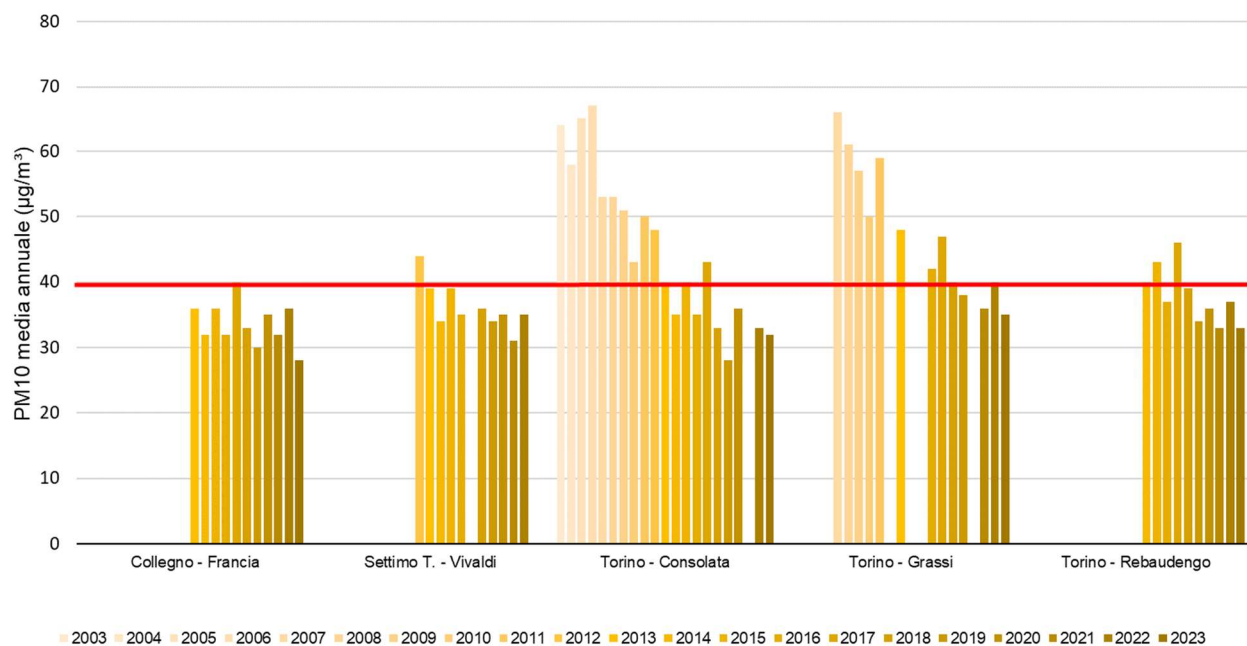


Figura 41: PM10: confronto medie annue delle stazioni di traffico site nell'area metropolitana torinese

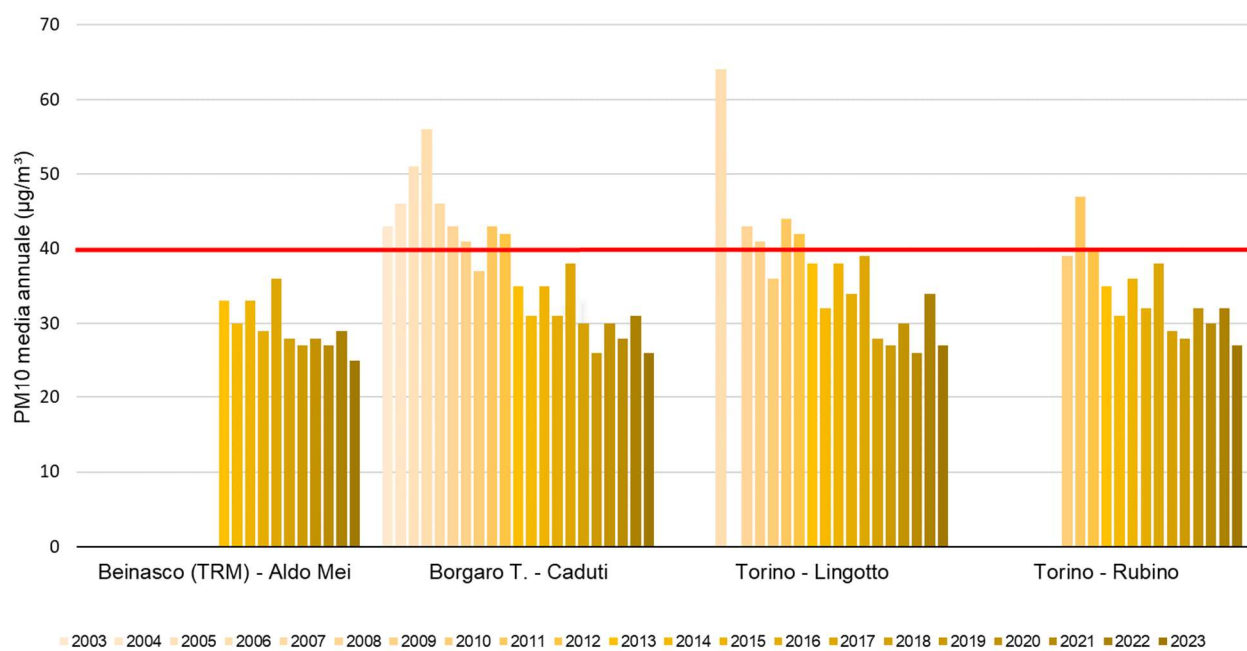


Figura 42: PM10: confronto medie annue delle stazioni di fondo site nell'area metropolitana torinese

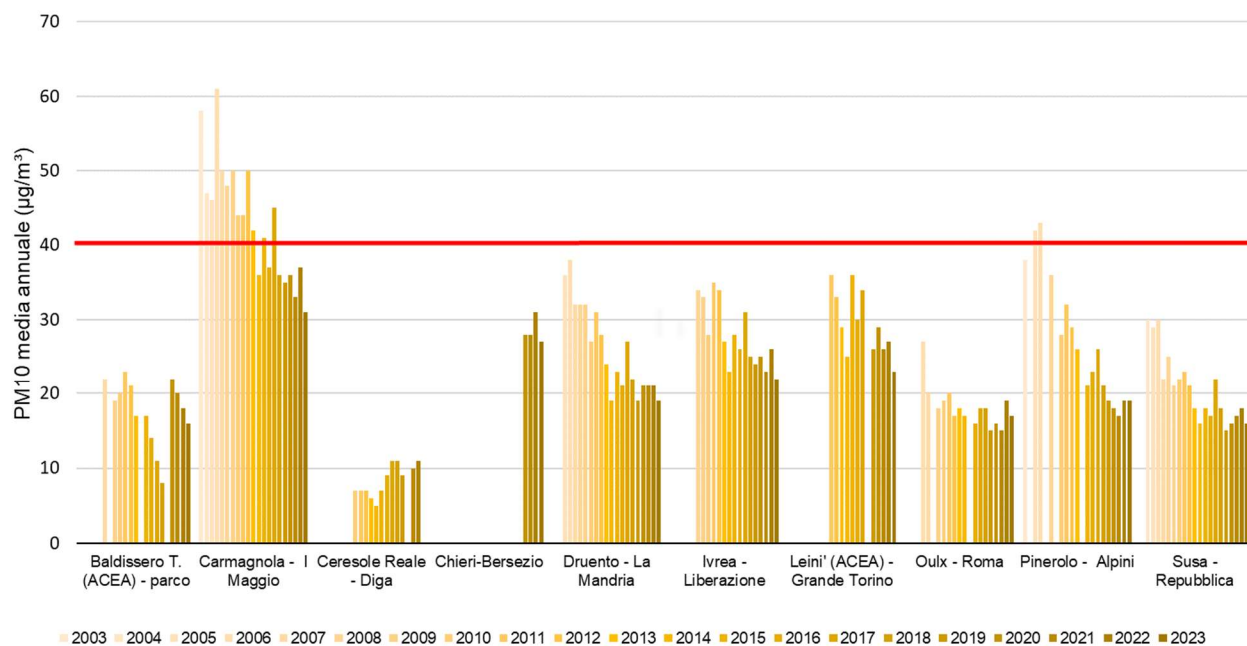


Figura 43: PM10: confronto medie annue delle stazioni esterne all'area metropolitana torinese

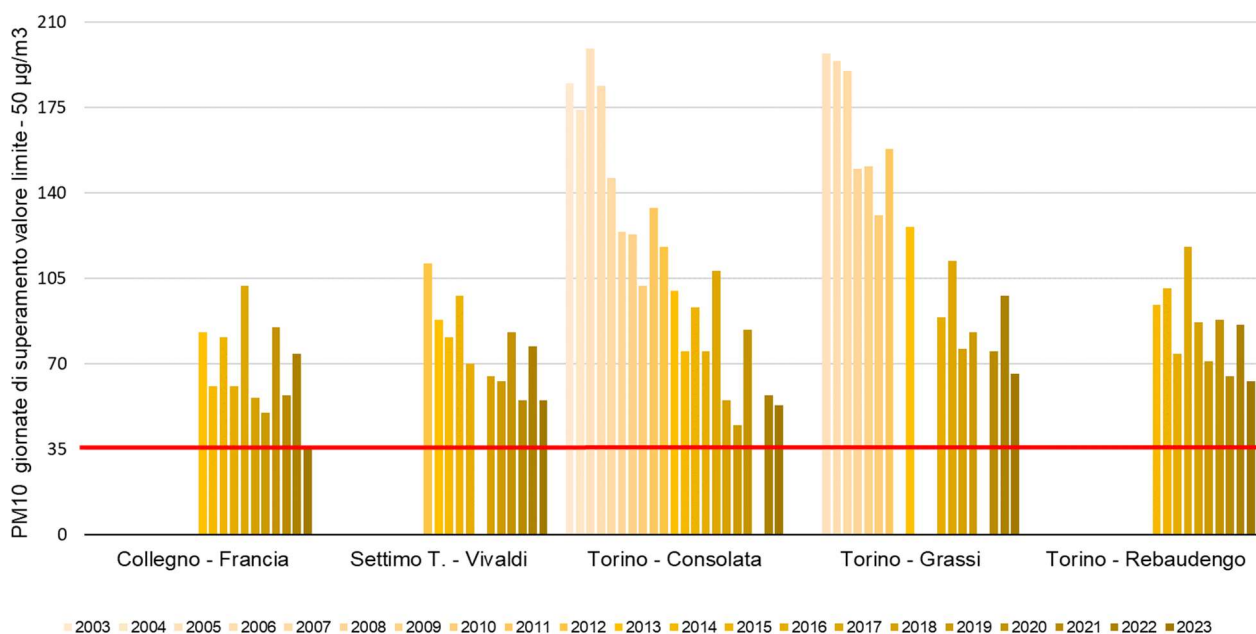


Figura 44: PM10: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni di traffico site nell'area metropolitana torinese

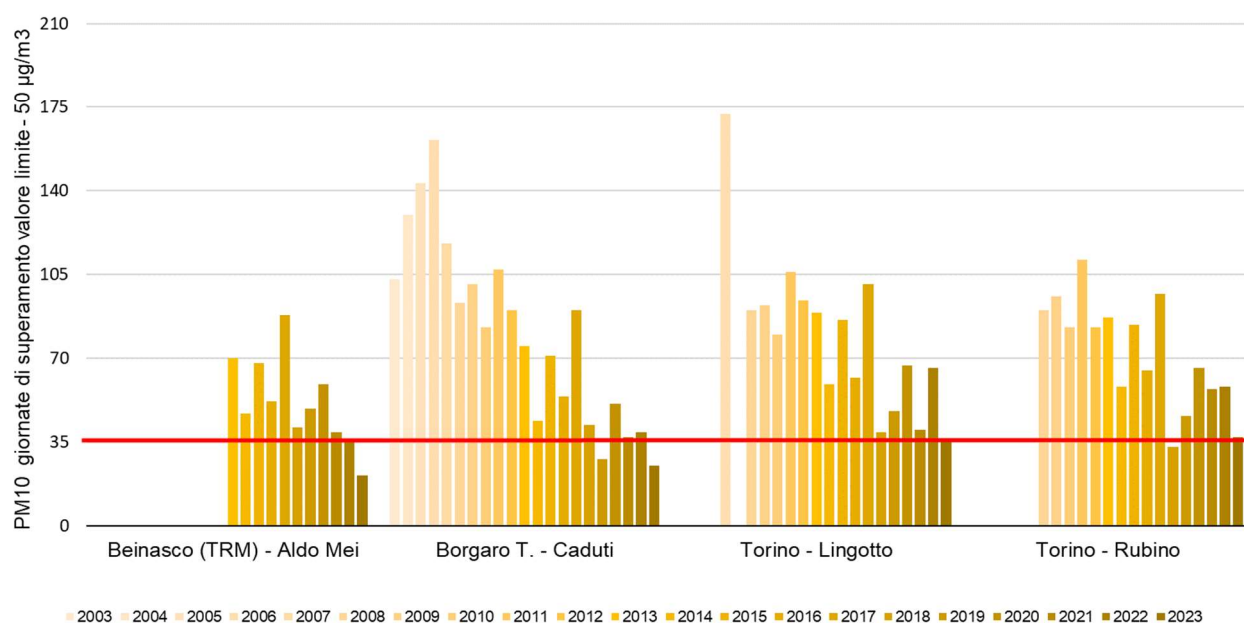


Figura 45: PM10: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni di fondo site nell'area metropolitana torinese

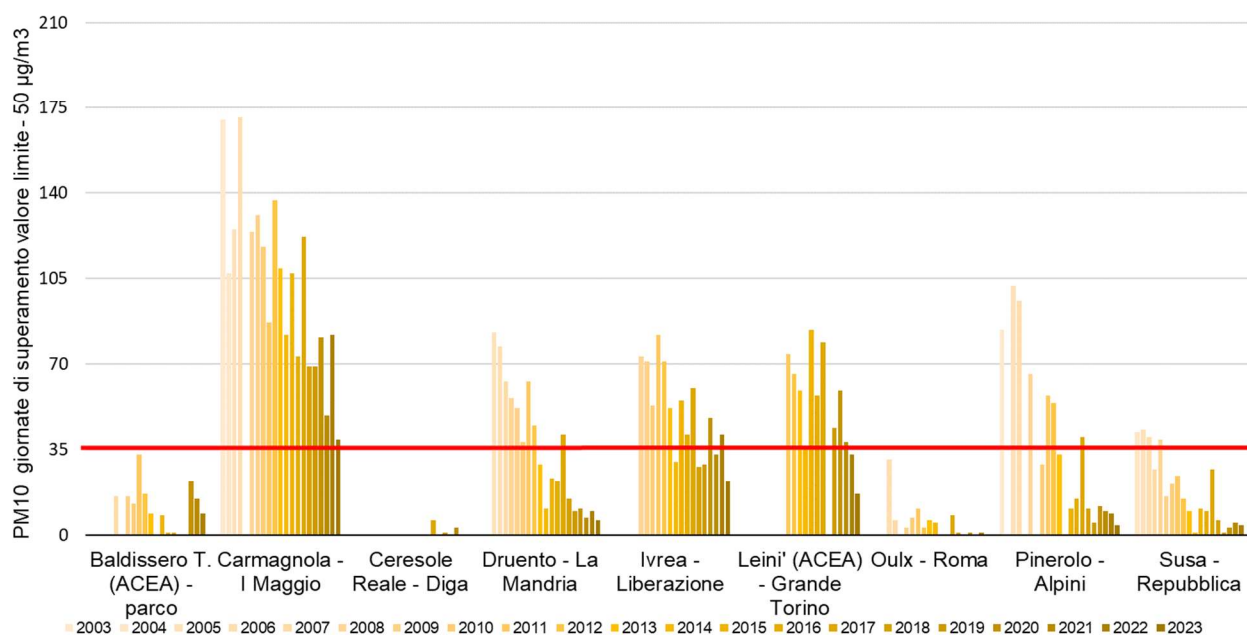


Figura 46: PM10: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni delle stazioni esterne all'area metropolitana torinese

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2023 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 47 rispetto al periodo di riferimento 2013-2021.

Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni.

In ognuno di questi grafici le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia del grafico) e medi (linea grigia tratteggiata) misurati dai medesimi gruppi di stazioni negli anni presi come riferimento (2013-2021).

I gruppi di stazioni esaminati sono le stazioni di traffico e fondo ubicate a Torino e prima cintura (in Figura 47 in alto a sinistra “stazioni di traffico area metropolitana torinese” e in alto a destra “stazioni di fondo area metropolitana torinese”), le stazioni di fondo in pianura (in basso a sinistra) e le stazioni di fondo in quota (in basso a destra), in modo da poter cogliere la differenza nei valori di PM10 misurati in zone diverse. Come si può vedere, anche dal fondo scala, la zona più critica è l'area metropolitana torinese, sia in stazioni di traffico che di fondo, ma l'analoga meteorologia provoca periodi di alte concentrazioni anche nelle stazioni di fondo in pianura. Per entrambe le zone si evidenzia il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero come le concentrazioni generalmente diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno ai mesi estivi per crescere nuovamente nell'autunno. Diverso è il caso delle stazioni di fondo in quota (Baldissero, Ceresole, Oulx, Susa), per le quali l'andamento è molto più costante.

Oltre all'andamento stagionale, emergono importanti oscillazioni delle concentrazioni nel corso dell'anno, dovute all'avvicinarsi di condizioni meteorologiche differenti: massimi di concentrazione generalmente corrispondenti a periodi di alta pressione persistente e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento). Il PM10 nel 2023 si pone quasi sempre al di sotto della media del periodo di riferimento 2013-2022, tranne alcuni giorni intorno a metà febbraio, la prima metà del mese di ottobre e nella seconda decade di luglio. Per poter interpretare questo andamento può essere di aiuto il numero di giorni favorevoli all'accumulo³⁵ di PM10 e le precipitazioni, illustrati rispettivamente con bande gialle verticali e istogrammi blu nei grafici di Figura 48 insieme all'intervallo delle concentrazioni misurate presso le stazioni di traffico e di fondo dell'area metropolitana torinese, le stazioni di pianura (esterne all'area metropolitana torinese) e le stazioni di quota. Il 2023 è stato caratterizzato da una meteorologia favorevole alla dispersione atmosferica degli inquinanti, con precipitazioni più che raddoppiate rispetto al 2022, anno estremamente siccitoso; pertanto, sono minori gli episodi di accumulo, condizioni sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

I giorni di accumulo a gennaio, febbraio, ottobre e dicembre coincidono con un periodo di stabilità atmosferica ed assenza di precipitazioni, che ha determinato un incremento delle concentrazioni e vari superamenti del valore limite in tutte le stazioni di pianura, situate sia all'interno che all'esterno dell'area metropolitana torinese. Dal 20 al 23 febbraio è avvenuto anche un fenomeno di trasporto di sabbia sahariana a lungo raggio attraverso la penisola iberica e la Francia verso l'Europa settentrionale e centrale che ha coinvolto anche il Piemonte. Nella seconda metà di luglio l'aumento delle concentrazioni è avvenuto in concomitanza con un periodo di caldo estremo, il 18 luglio si sono verificati diversi record termometrici nelle stazioni della rete meteorologica, causati dalla presenza di un'area anticiclonica sul bacino del Mediterraneo.

³⁵ Sono individuate come giornate favorevoli all'accumulo sul territorio regionale quelle in cui l'“Indice Giorni Critici” dell'agglomerato torinese è pari a 1, contemporaneamente la velocità mediana del vento misurato dalle stazioni meteo al di sotto dei 600 m di quota è inferiore o uguale a 1.8 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

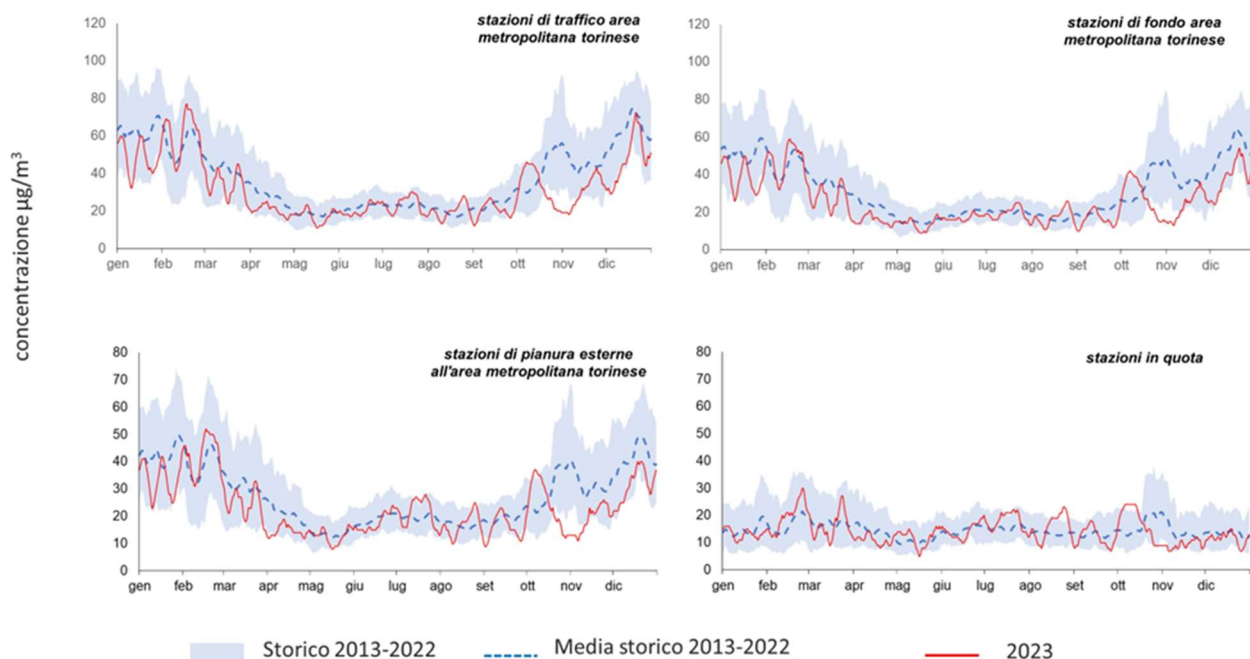


Figura 47: PM10 Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

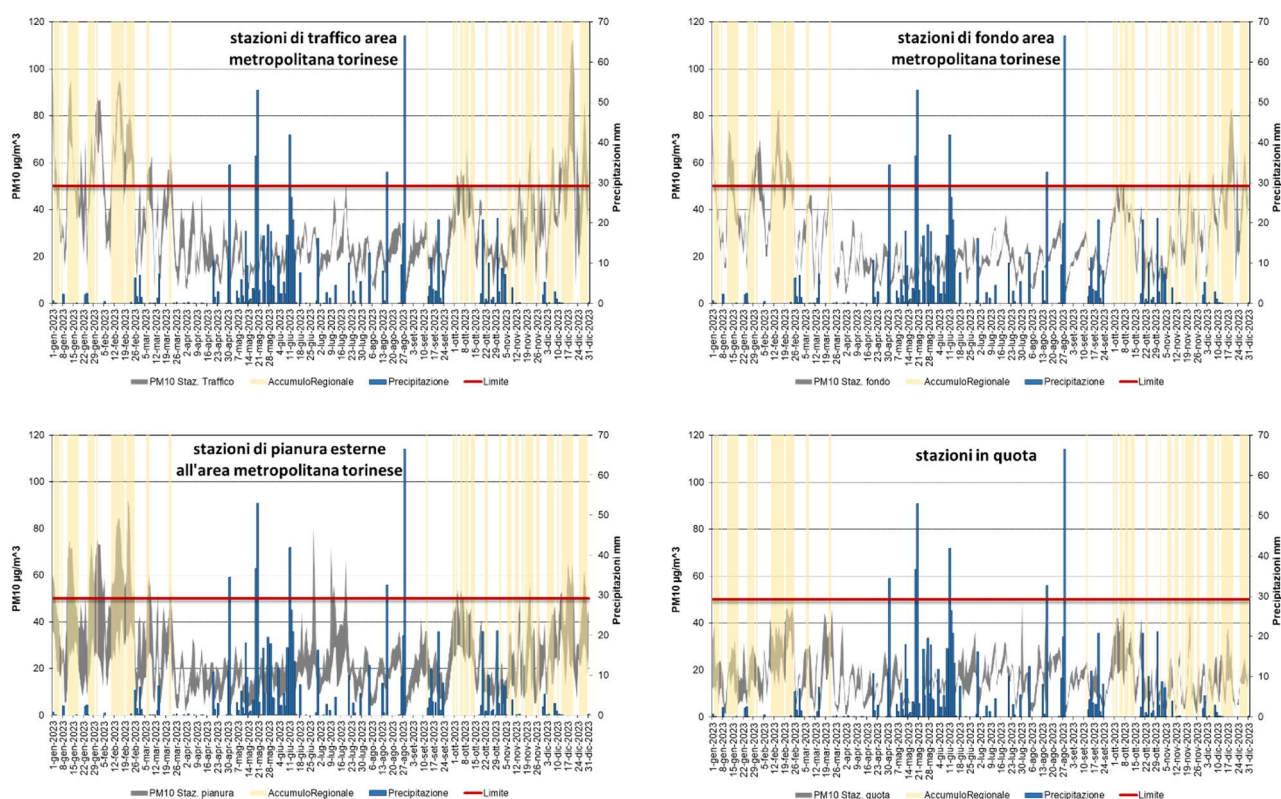


Figura 48: PM10: Range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della Città Metropolitana di Torino in ciascun giorno del 2023; precipitazioni cumulate giornaliere a Torino, indicatore di accumulo regionale.

6.1.2 Benzo(a)pirene nel PM10

Il valore obiettivo (1 ng/m³ come media annuale) è rispettato in tutte le stazioni del territorio della Città Metropolitana, come indicato anche nel paragrafo 5.5.

Nei grafici seguenti vengono rappresentati da un lato le concentrazioni medie mensili registrate in alcune stazioni rappresentative della Città Metropolitana ove è determinato il parametro, dall'altro i valori mensili relativi alla percentuale in cui esso è presente nel PM10.

Analogamente ad altri inquinanti come il materiale particolato e gli ossidi di azoto, i valori medi mensili di benzo(a)pirene (BaP) nel particolato presentano una notevole variazione stagionale.

Nei mesi caldi, normalmente da aprile a settembre, si osservano concentrazioni piuttosto basse, uniformi e nettamente inferiori alla media annuale che è invece influenzata dai valori invernali. L'elevata radiazione solare contribuisce infatti alla degradazione degli IPA; al contrario nei mesi freddi e autunnali le polveri risultano arricchite di questi composti in quanto si creano condizioni di inversione termica che favoriscono l'accumulo degli inquinanti, unitamente all'attivazione del contributo delle emissioni derivanti dalla combustione della legna nel riscaldamento domestico.

Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato, non solo in termini di concentrazioni assolute, ma anche di composizione in microinquinanti organici (Figura 49). Le concentrazioni di BaP maggiori si rilevano nell'area urbana torinese, a Carmagnola e Ivrea. Le percentuali maggiori di IPA nelle polveri si riscontrano a Susa e Ivrea, come negli anni passati; sono entrambe stazioni rappresentative di siti suburbani maggiormente influenzati dalle emissioni prodotte dalla combustione di biomassa utilizzata per il riscaldamento domestico.

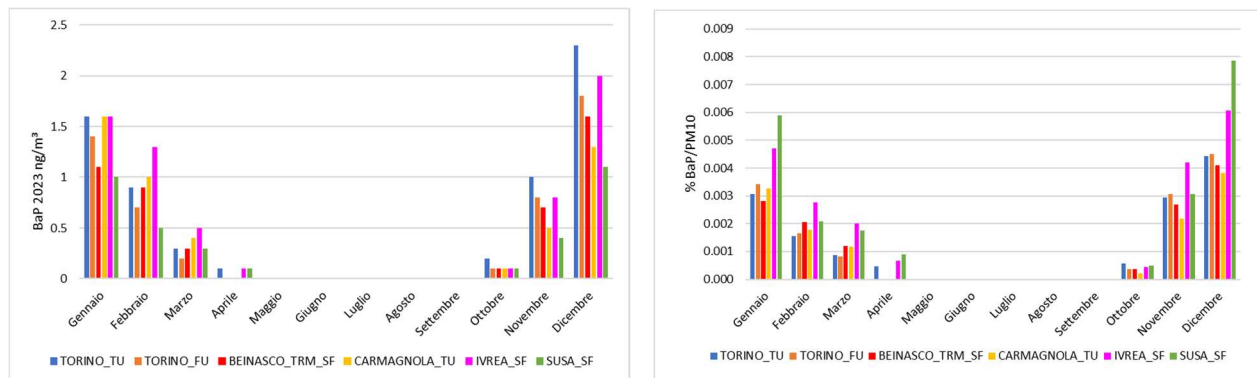


Figura 49: benzo(a)pirene nella Città Metropolitana di Torino: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di BaP nel PM10 anno 2023

6.1.3 Particolato sospeso: PM2.5

Analogamente al PM10 la situazione riscontrata anno per anno dalle stazioni della rete provinciale dove viene misurato il PM2.5 è rappresentata nell'istogramma in Figura 50 e Figura 51, nel quale sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2010. Come osservabile, il valore limite annuale di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è rispettato nel 2023 in tutte le stazioni della rete di monitoraggio. La stazione di Ceresole Reale registra i valori minimi, poiché rappresenta un'area rurale soggetta a limitate emissioni antropiche. I massimi si riscontrano nelle stazioni urbane di traffico come Torino - Rebaudengo e Settimo Torinese; i valori più bassi della rete, escludendo Ceresole, si rilevano a Ivrea e Leini, ma in generale i valori misurati sono molto omogenei nel territorio provinciale.

Nei siti urbani il particolato PM10, soprattutto in inverno, è costituito per più del 70% dalla frazione PM2.5, che contiene maggiormente contributi secondari di origine antropica, come composti del carbonio e sali inorganici (nitrato e solfato di ammonio).

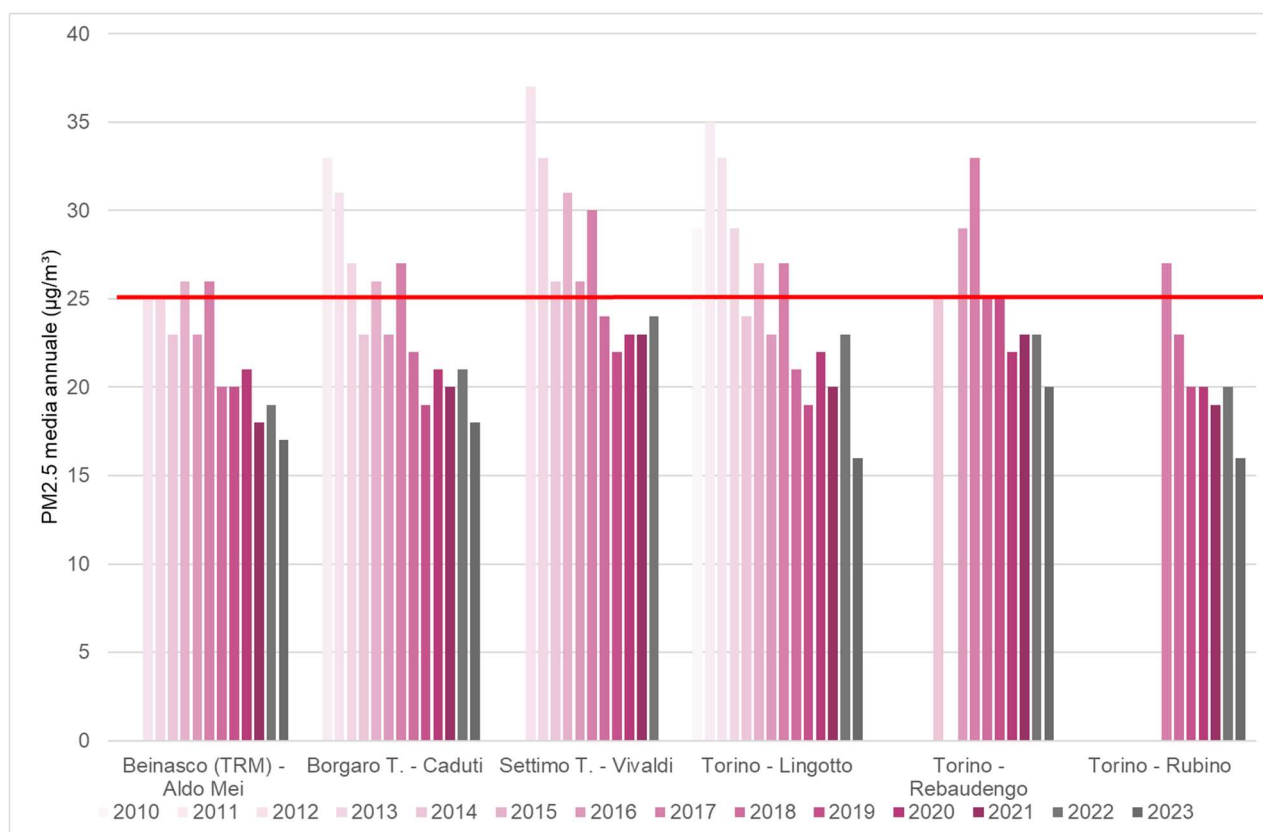


Figura 50: PM2.5 nell'area metropolitana torinese: confronto medie annue

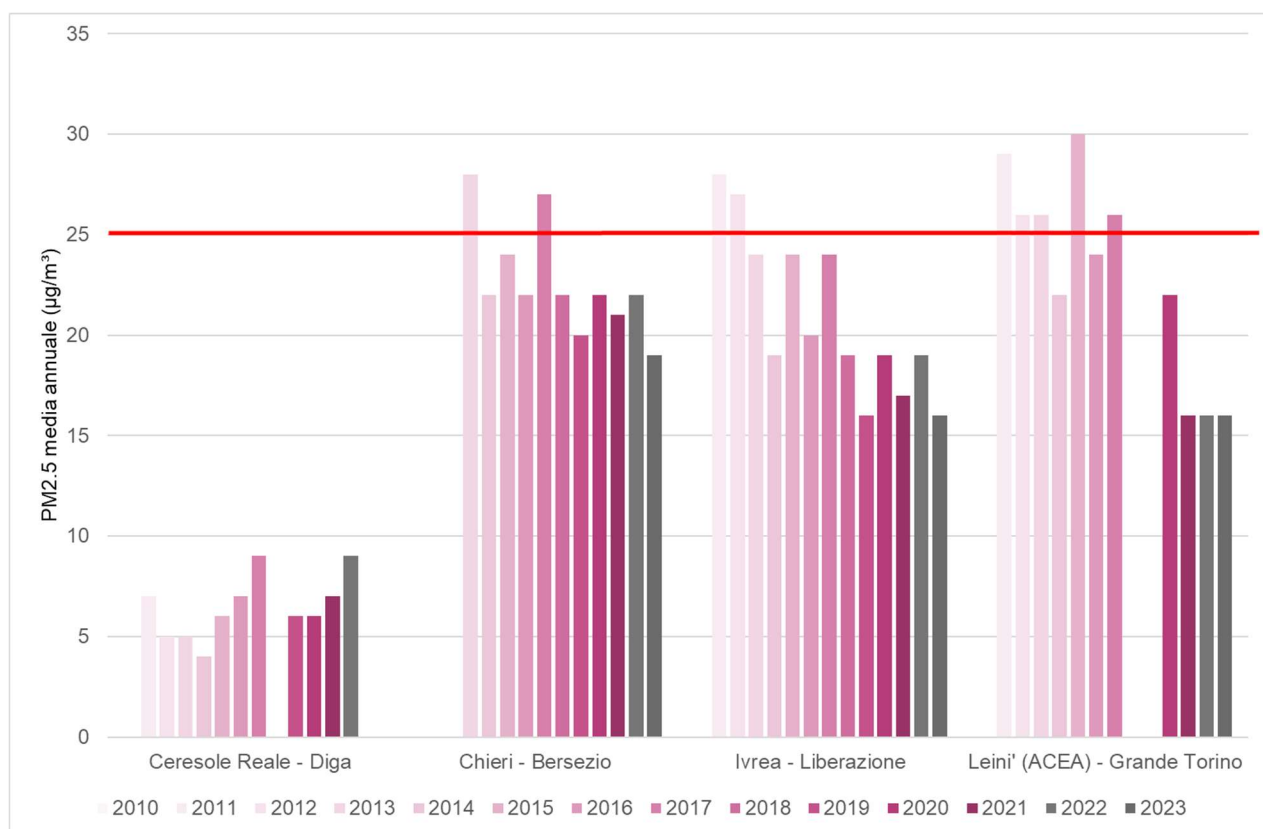


Figura 51: PM2.5 stazione esterne all'area metropolitana torinese: confronto medie annue

6.1.4 Biossido di azoto (NO₂)

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete della Città Metropolitana di Torino è rappresentata nei grafici della Figura 52, Figura 53, Figura 54 e Figura 55, dove sono confrontate le concentrazioni medie di biossido di azoto (NO₂) registrate presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

Il trend delle medie annuali è in riduzione, come indicato anche nel paragrafo 5.3 relativo alla valutazione regionale dell'NO₂.

Le concentrazioni più elevate si rilevano nelle stazioni di traffico, poiché la principale sorgente del biossido di azoto, in ambito urbano, è il traffico veicolare. La media annua più elevata (superiore anche nel 2023 al valore limite di 40 µg/m³) si registra nella stazione di Torino – Rebaudengo, mentre, per la prima volta da quando viene misurato l'inquinante, a Torino – Consolata il limite non viene superato, così come nelle stazioni di Settimo, Collegno e Carmagnola, usualmente le più critiche. Presso le stazioni di fondo urbano, sia nell'area metropolitana torinese che al di fuori, le medie rispettano il valore limite come minimo da sette anni, mentre non hanno mai superato il limite annuale le stazioni di quota (Baldissero, Ceresole, Oulx e Susa) e quelle di fondo in pianura più lontane da Torino (Chieri, Druento, Ivrea e Leini).

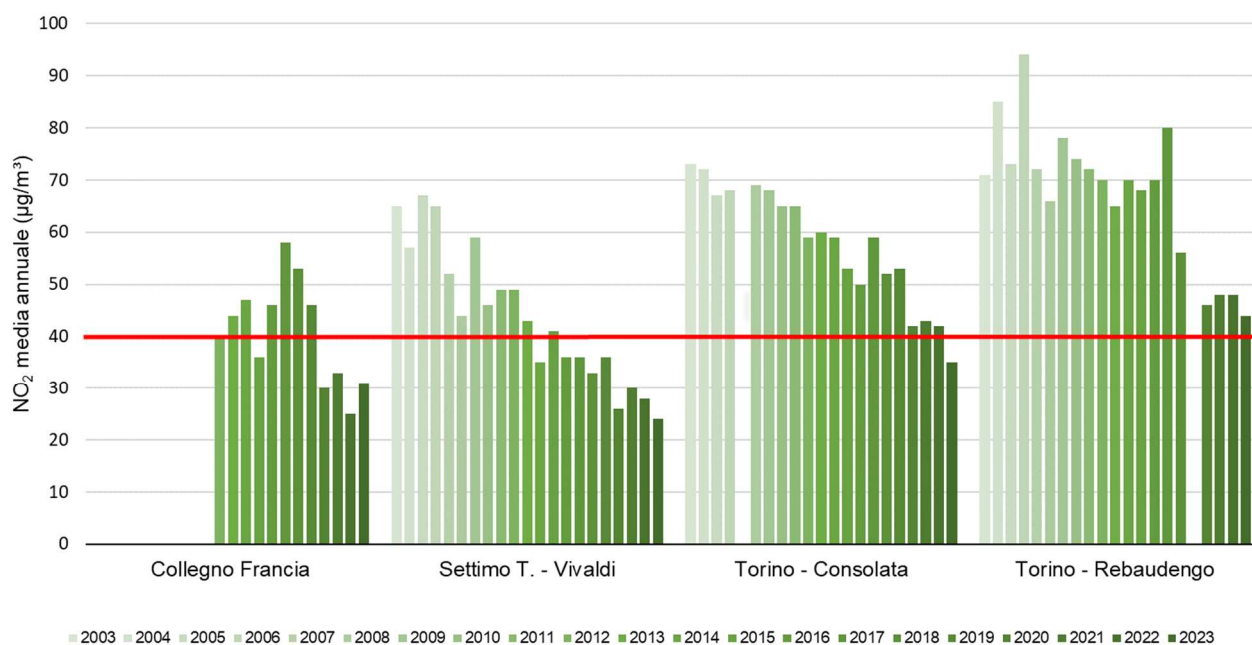


Figura 52: NO₂ nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di traffico area Metropolitana Torinese

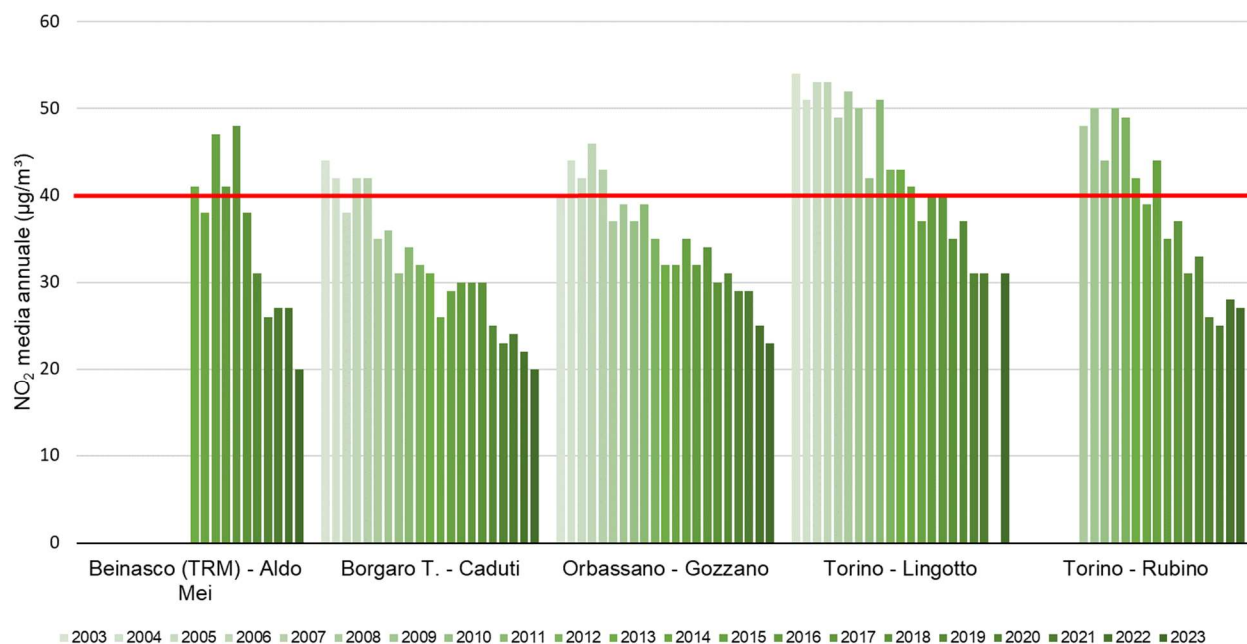


Figura 53: NO₂ nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di fondo area metropolitana torinese

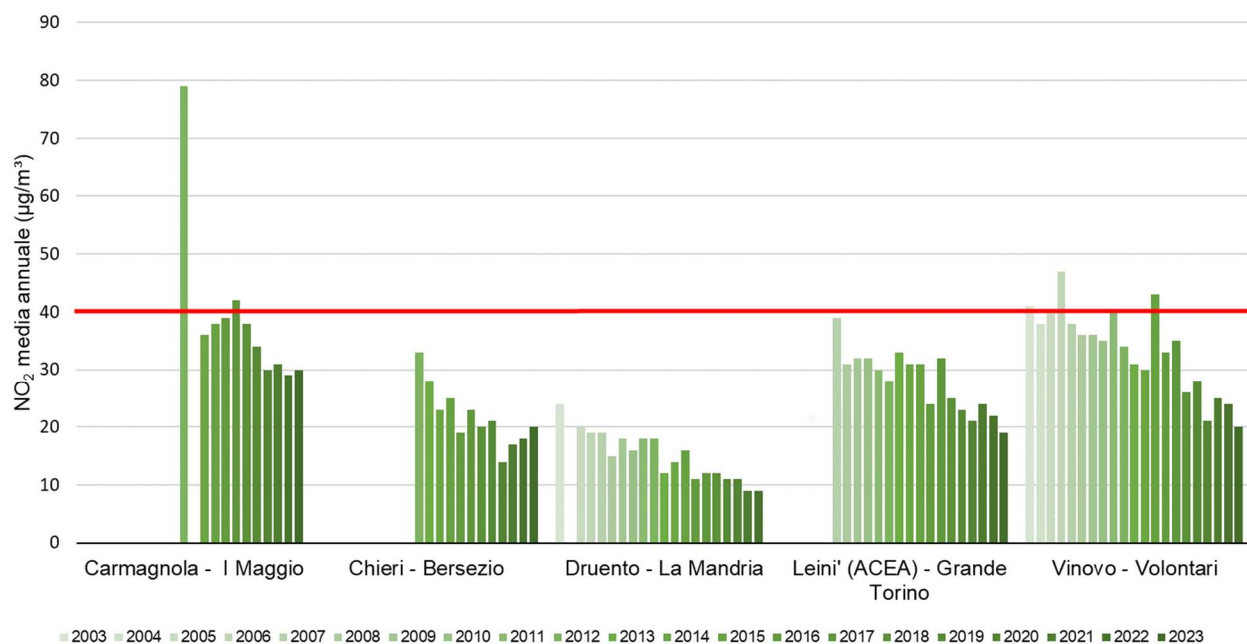


Figura 54: NO₂ nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di pianura esterne all'area metropolitana torinese

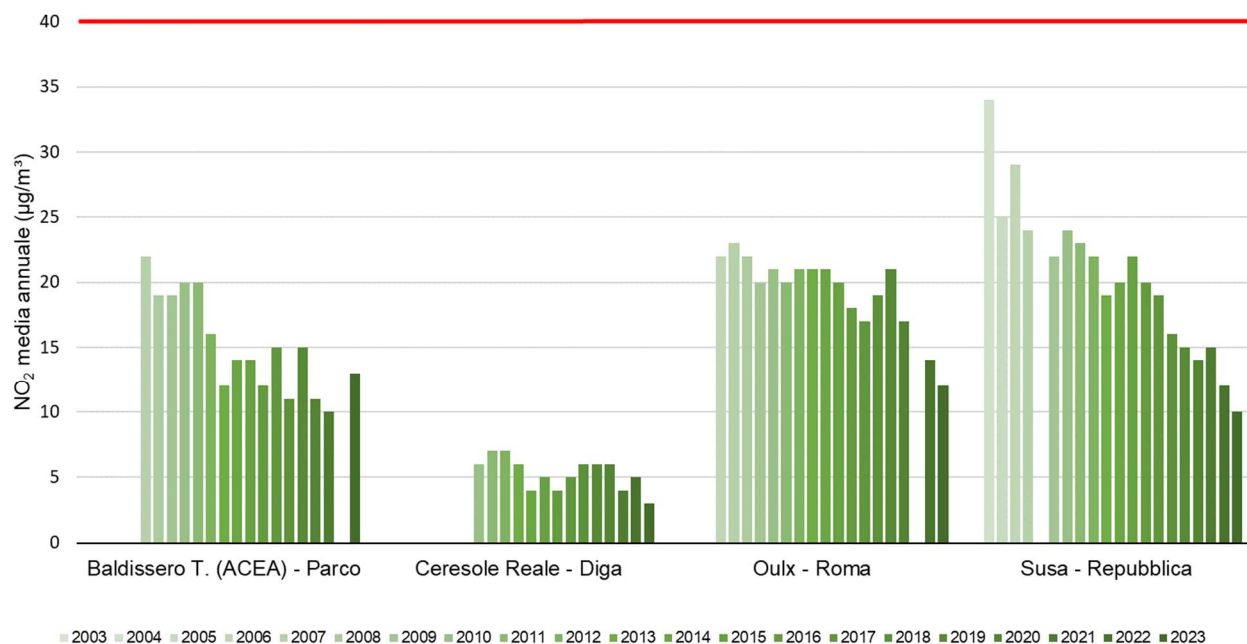


Figura 55: NO₂ nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di quota esterne all'area metropolitana torinese

Analogamente al PM₁₀ le serie temporali delle concentrazioni dell'NO₂ misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono riportate nelle figure delle pagine seguenti. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni.

Nella Figura 53 le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra del grafico) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione negli anni presi come riferimento (2013-2021). Come visibile, anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale, che rileva concentrazioni maggiori nel periodo invernali e inferiori nel periodo primaverile - estivo.

Nel 2023 i dati sono al di sotto della media del periodo di confronto 2013-2021 nelle stazioni di traffico e di fondo dell'area metropolitana torinese, collocandosi spesso vicino o al di sotto dei minimi del periodo di riferimento, confermando la tendenza in riduzione dell'inquinante. Nei grafici risultano poco assimilabili alle altre le stazioni di Carmagnola e di Oulx. Per Carmagnola, al di fuori dell'area critica più prossima a Torino, ma fortemente influenzata dal traffico, non si vede una riduzione così netta come per l'area torinese, anzi in alcuni periodi a febbraio, marzo e aprile i valori sono al di sopra della media di riferimento. La stazione di Oulx, anch'essa classificata di traffico perché in prossimità di una strada, ha concentrazioni tra le più basse del territorio provinciale per la collocazione vicina all'estremità della Valle di Susa, maggiormente ventosa rispetto alla Pianura Padana. Le concentrazioni 2023 per questa stazione al di sotto della media del periodo di confronto, ma al di sopra dei minimi soprattutto nel periodo invernale, quando è maggiore il traffico locale per il turismo invernale.

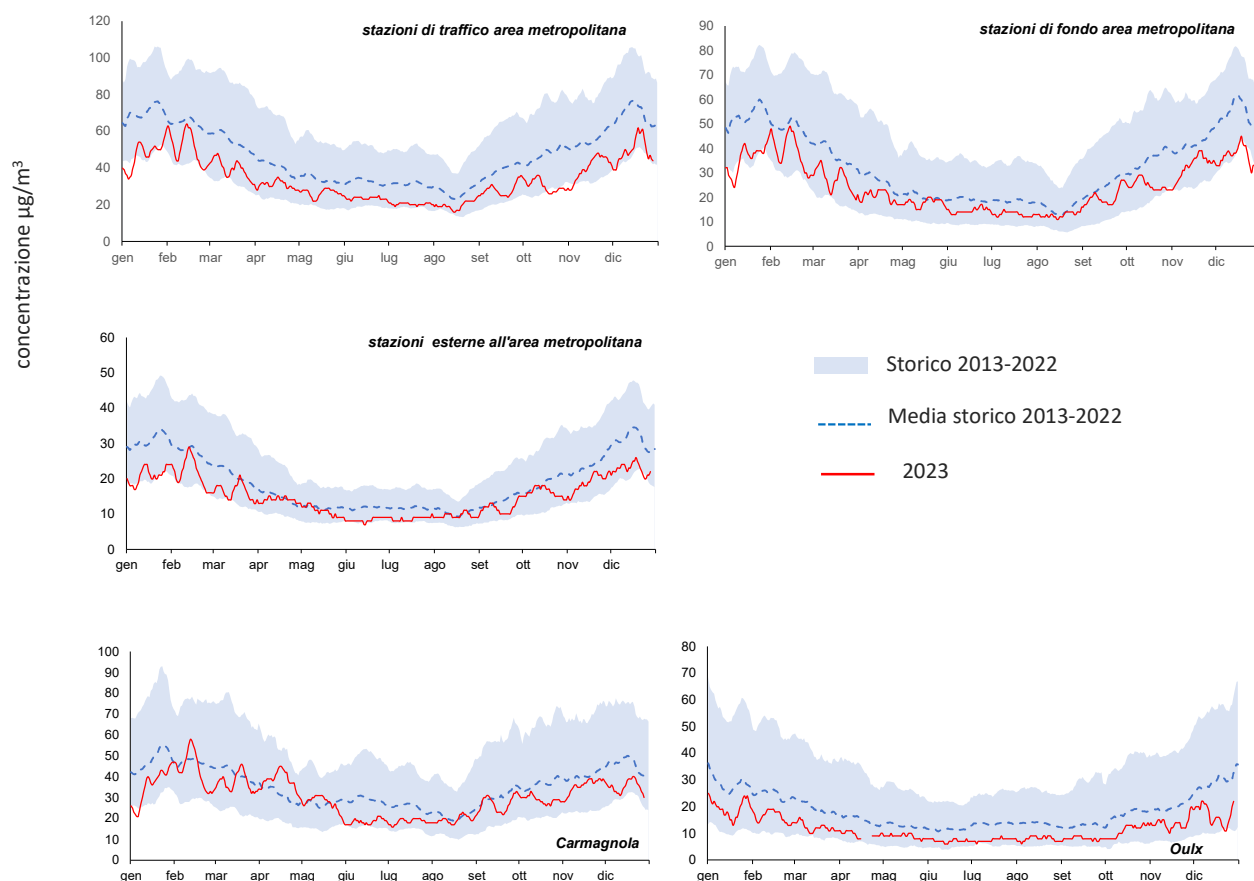


Figura 56: NO₂ Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

Per le stazioni di Torino - Rubino e Torino - Rebaudengo (Figura 57 a sinistra) e il gruppo di stazioni Beinasco – Carmagnola - Settimo (Figura 57 a destra) è stata calcolata la settimana tipo. Gli andamenti di NO₂ messi a confronto tra la stazione di fondo urbano di Torino - Lingotto (linea arancione) e la stazione da traffico di Torino - Rebaudengo (linea grigia) nel trimestre invernale (dicembre-gennaio-febbraio, linea continua) e quello estivo (giugno-luglio-agosto, linea tratteggiata), evidenziano sensibili riduzioni per entrambi i siti il sabato e la domenica, più marcate nel periodo invernale. I picchi mattutini e serali, che trovano corrispondenza nell'andamento del traffico veicolare, sono decisamente più elevati presso la stazione da traffico rispetto a quella di fondo, con concentrazioni nei picchi che arrivano a più del doppio nella stazione di Torino - Rebaudengo rispetto a quella di Torino - Lingotto, legate alle emissioni dirette del traffico veicolare.

L'influenza del traffico è visibile anche nelle stazioni esterne a Torino, in particolare a Settimo e Beinasco, aventi il classico doppio picco invernale pur con concentrazioni inferiori ai massimi di Torino - Rebaudengo, mentre nella stazione di Carmagnola è più evidente il picco serale.

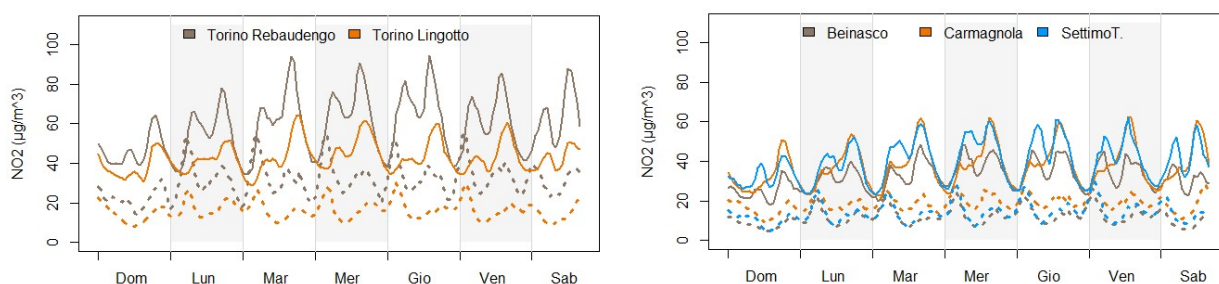


Figura 57– NO₂ Città Metropolitana di Torino: settimane tipo stazioni di Torino Rebaudengo-Torino Rubino e Beinasco-Carmagnola-Settimo Torinese.

6.1.5 Ozono (O₃)

L'inquinante viene misurato presso le stazioni di fondo (urbano-suburbano) di Borgaro, Chieri, Ivrea, Leinì, Orbassano, Susa, Torino - Lingotto, Torino - Rubino e Vinovo ed in quelle di fondo rurale di Baldissero Torinese, Ceresole Reale e Druento. Nei grafici di Figura 58 e Figura 59 è illustrato l'andamento, dal 2005 al 2023, dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni. Come si può osservare, il valore obiettivo nel 2023 (relativo al triennio 2021-2023) è superato in tutte le stazioni del territorio metropolitano.

Viene quindi confermata una spiccata criticità legata a questo inquinante, nonostante la riduzione a livello nazionale delle emissioni degli ossidi di azoto e dei composti organici non metanici (VOCNM), precursori dell'ozono.

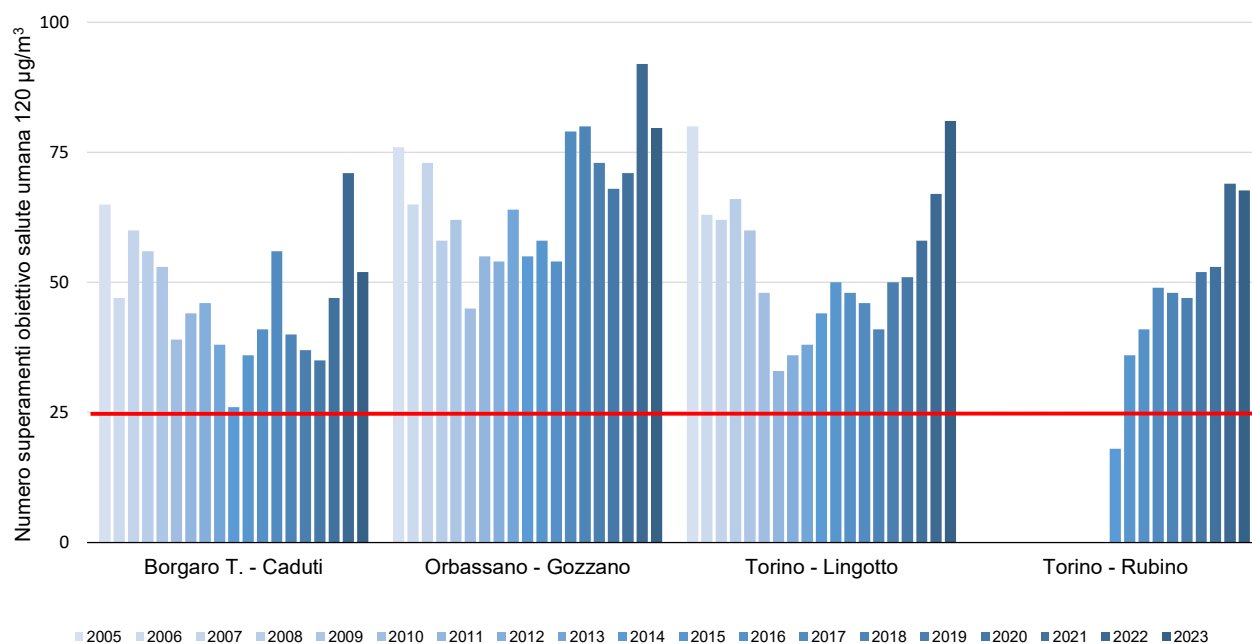


Figura 58: O₃ nella Città Metropolitana di Torino: confronto numero di superamenti valore obiettivo per la protezione della salute umana, stazioni di fondo dell'area metropolitana torinese

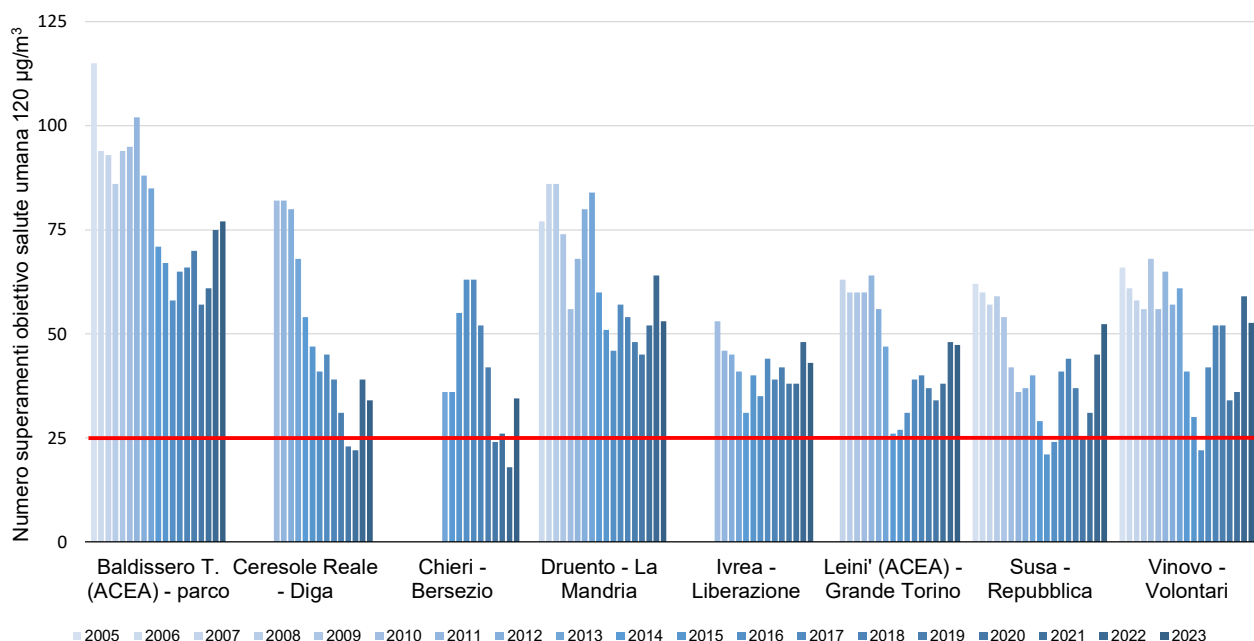


Figura 59: O₃ nella Città Metropolitana di Torino: confronto numero di superamenti valore obiettivo per la protezione della salute umana, stazioni di fondo esterne all'area metropolitana torinese

Per quanto riguarda l'andamento giornaliero dell'inquinante (Figura 60) si può vedere che le concentrazioni di ozono sono generalmente maggiori d'estate e nelle stazioni di fondo in quota (Baldissero-Ceresole-Susa, i cui valori minimi rimangono più alti nel periodo invernale rispetto alle stazioni urbane), sia nell'area metropolitana torinese (Borgaro-Orbassano-To Lingotto-To Rubino), che al di fuori (Chieri-Druento-Ivrea-Leini'-Vinovo). L'anno 2023 si colloca nell'intorno della media del periodo di riferimento. In marzo-aprile e nella prima metà di ottobre i valori sono al di sopra, in stagioni in cui non è così critico il parametro, mentre nel periodo più caldo i valori sono spesso al di sotto della media del periodo di riferimento. Il periodo più critico si è verificato a fine giugno e nel mese di agosto, in particolare nelle stazioni di quota ed esterne all'area metropolitana.

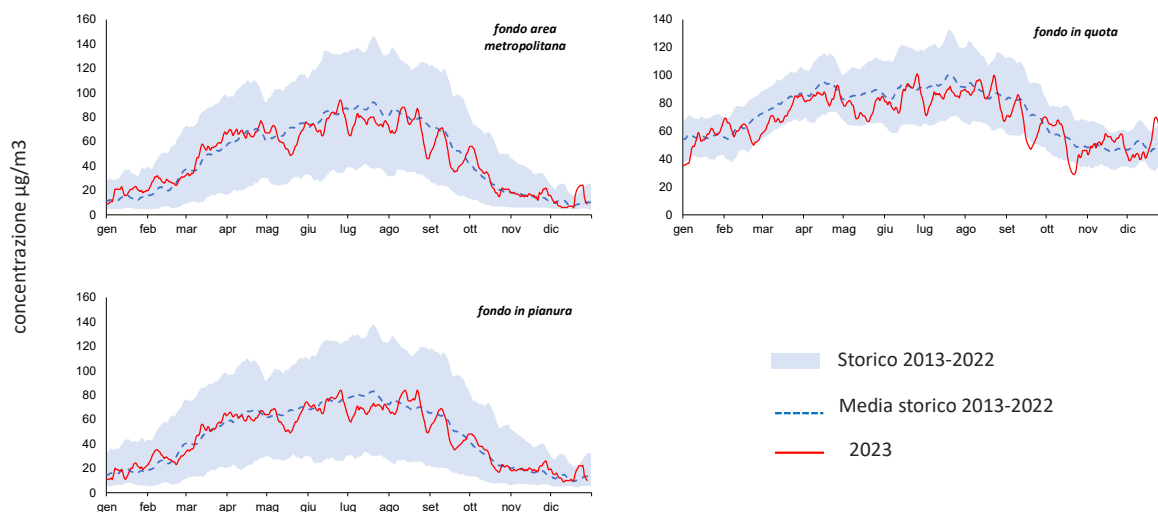


Figura 60: O₃ nella Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.2 Provincia di Alessandria

In provincia di Alessandria la rete di monitoraggio aria si trova nei comuni “centri zona” (Alessandria, Tortona, Casale Monferrato, Novi Ligure), in alcuni siti caratterizzati da importanti insediamenti industriali (Arquata) e in un punto in area appenninica che invece rappresenta il fondo a livello regionale (Dernice), così come raffigurato nella Figura 61.

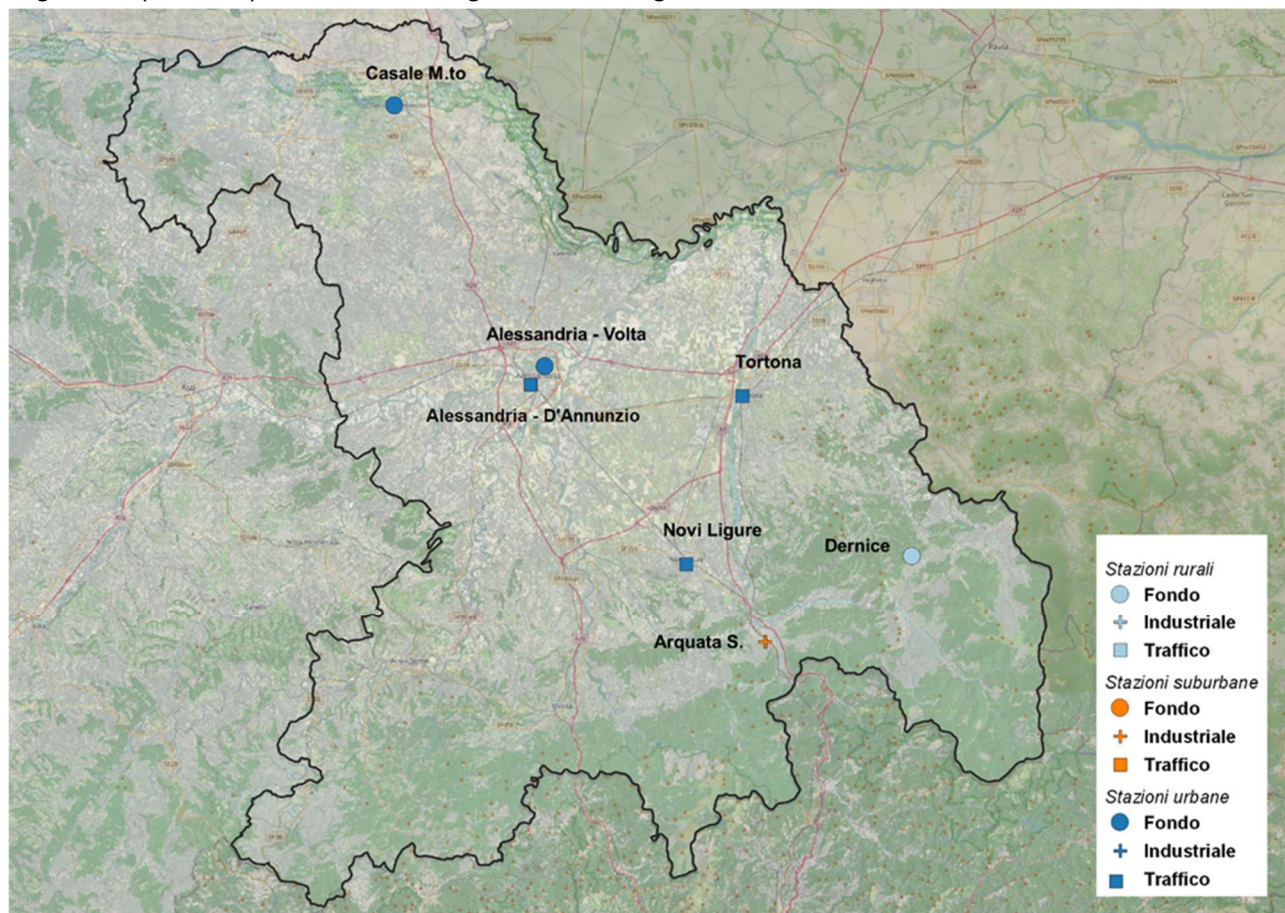


Figura 61: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Alessandria.

6.2.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici delle figure Figura 62 e Figura 63, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed il numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2023 evidenziano valori medi annuali al di sotto del valore limite di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ per tutte le stazioni della rete ed un numero di superamenti del valore limite giornaliero rispetto al limite di legge solo per Alessandria e Tortona. Tuttavia, anche i superamenti del limite giornaliero fanno registrare una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni, così come già discusso nel paragrafo 5.1.

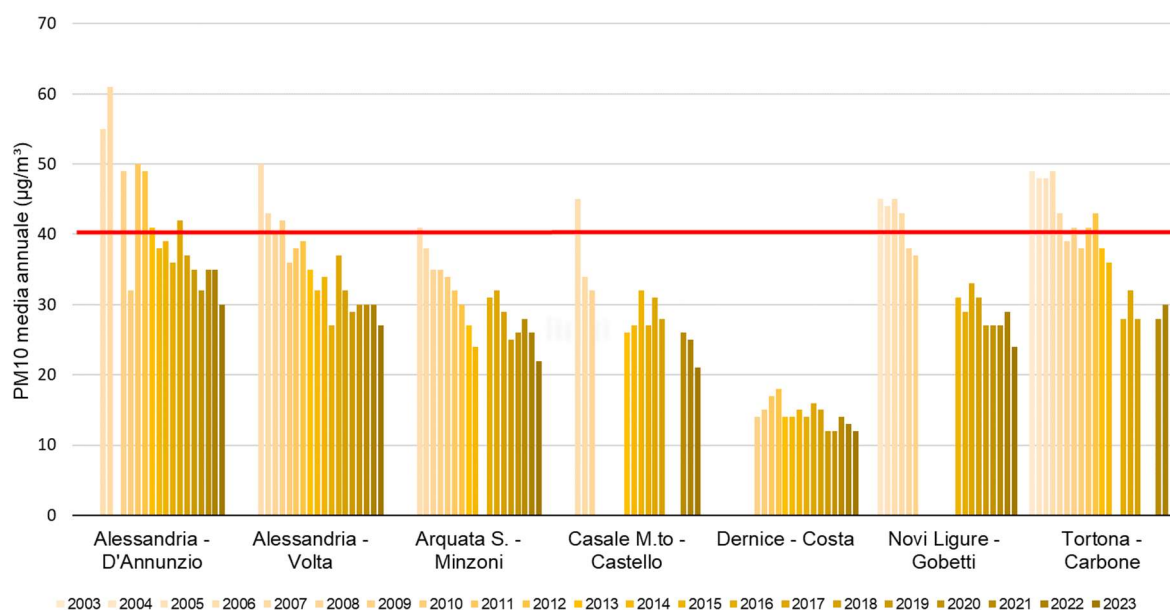


Figura 62: PM10 provincia di Alessandria: confronto medie annue

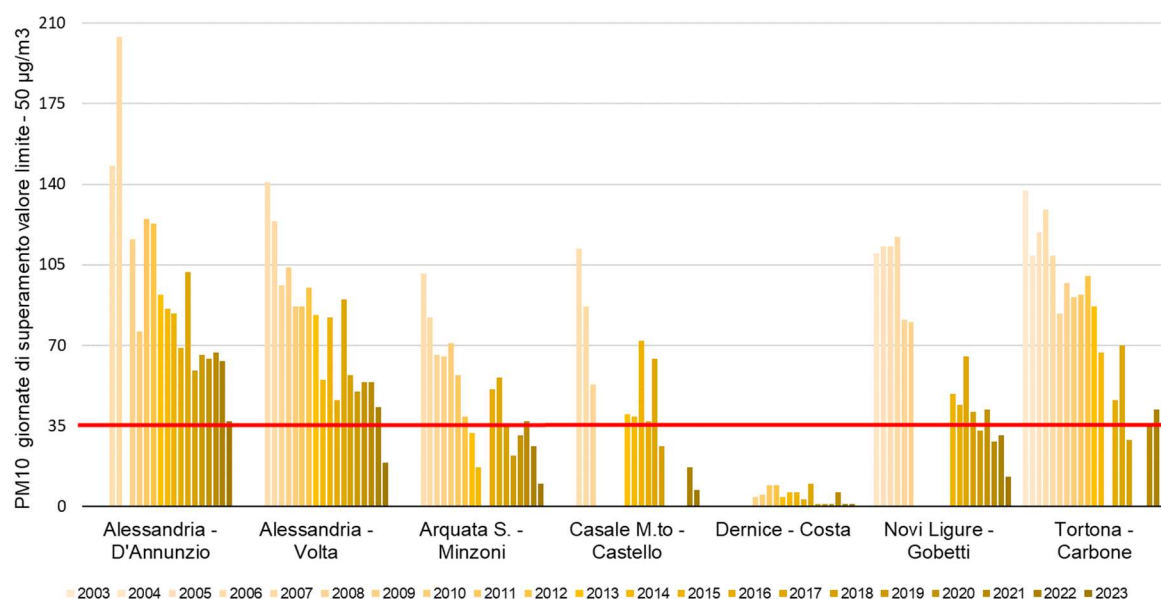


Figura 63: PM10 Provincia di Alessandria: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2023 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici della Figura 64 rispetto al periodo di riferimento 2013-2022. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni. In ognuno di questi grafici le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia del grafico) e medi (linea grigia scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione negli anni presi come riferimento (2013-2022).

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero come le concentrazioni generalmente diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno ai mesi estivi per crescere nuovamente nell'autunno.

Come illustrato nel capitolo 4 numerosi episodi di vento nel periodo invernale e autunnale hanno determinato condizioni sfavorevoli all'accumulo dell'inquinante. Inoltre, le temperature maggiori alla media nel periodo invernale hanno probabilmente favorito la riduzione delle emissioni del riscaldamento domestico, uno dei principali settori di emissione del particolato primario.

Relativamente alle polveri sottili in Figura 64 è possibile evidenziare la presenza di concentrazioni superiori alla media dello storico per tutte le stazioni della rete di Alessandria negli ultimi 15 giorni di febbraio e nei primi 15 giorni di ottobre da attribuire alle persistenti condizioni di stabilità anticiclonica e alle conseguenti rare precipitazioni che si sono verificate in tale periodo (Figura 65).

La presenza di concentrazioni superiori alla media dello storico si nota anche negli ultimi 15 giorni di luglio nelle stazioni del basso alessandrino di Dernice, Novi Tortona ed Arquata e in tutte le stazioni ad eccezione di Al D'annunzio (traffico urbano) negli ultimi 15 giorni di agosto.

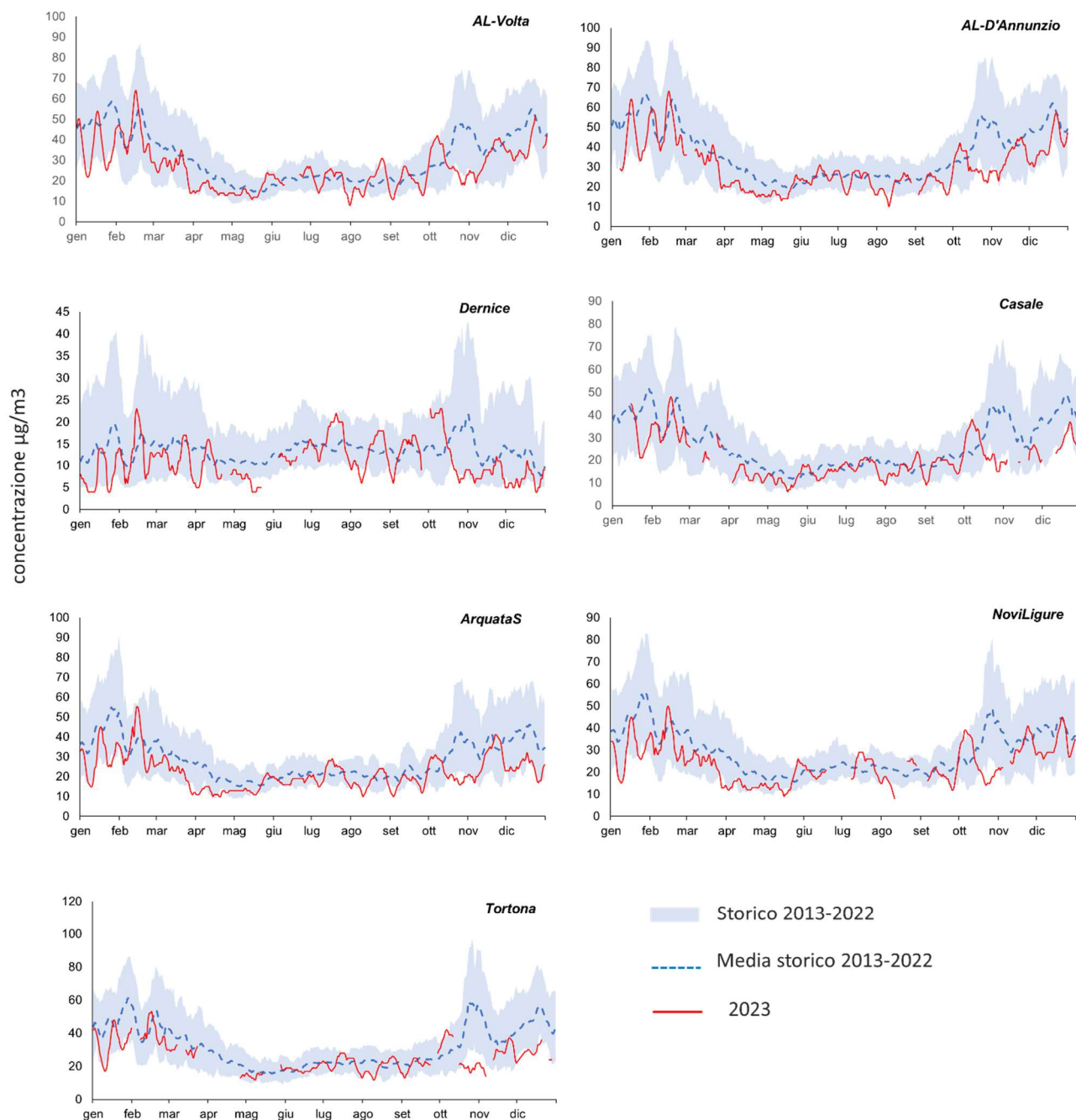


Figura 64: PM10 Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento 2013-2022.

L'influenza della meteorologia sulle concentrazioni di PM10 è esemplificata nel grafico di Figura 65, dove sono rappresentati i giorni di accumulo a livello regionale³⁶, le precipitazioni giornaliere e il range di concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia nell'anno 2023 (banda grigia), ad eccezione della stazione di Dernice, che per la sua collocazione in quota presenta un andamento del parametro a sé stante. Nel grafico è possibile osservare come le concentrazioni di questo inquinante presentino variazioni omogenee in tutte le centraline della provincia (proprio in ragione dei lunghi tempi di permanenza in atmosfera del particolato) e l'influenza della meteorologia sulle variazioni. Durante le giornate caratterizzate da condizioni di accumulo le concentrazioni risultano alte e spesso sopra il limite giornaliero, mentre in corrispondenza delle precipitazioni i livelli si abbassano.

Si può osservare come i superamenti del limite giornaliero di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ siano stati per lo più registrati all'interno dei periodi di accumulo regionale individuati che, nel 2023 sono stati interrotti e limitati da frequenti episodi di vento. Si evidenziano inoltre episodi con concentrazioni in rialzo corrispondenti a giornate con elevato contributo crostale alla frazione PM10, riconducibile a fenomeni di trasporto di polveri sahariane (da 28 a 30 eventi/anno)

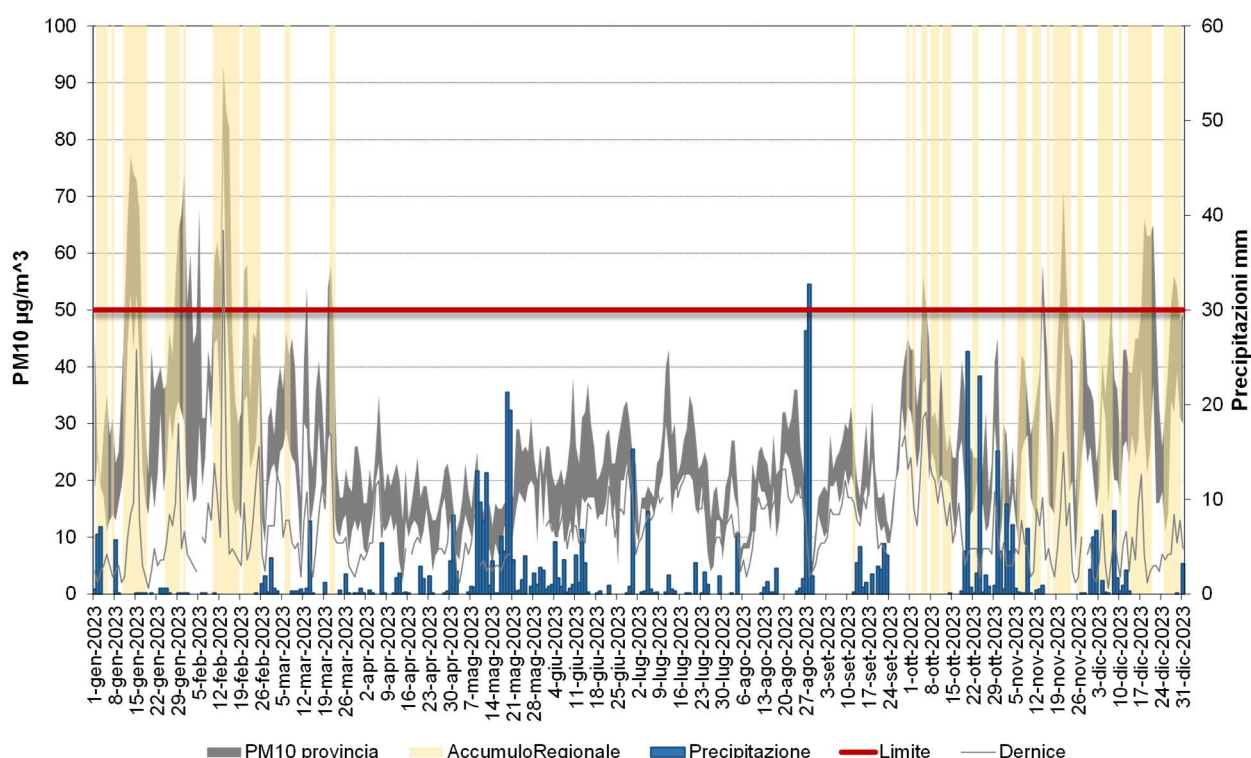


Figura 65: PM10 Range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della Provincia di Alessandria (banda grigia) in ciascun giorno del 2023, concentrazioni medie di Dernice (linea grigia) in ciascun giorno del 2023; precipitazioni cumulate giornaliere (rilevate nel capoluogo di Provincia), indicatore di accumulo regionale, limite giornaliero imposto dalla normativa

³⁶ Sono individuate come giornate favorevoli all'accumulo sul territorio regionale quelle in cui l'Indice Giorni Critici dell'agglomerato torinese è pari a 1, contemporaneamente la velocità mediana del vento misurato dalle stazioni meteo al di sotto dei 600m di quota è inferiore o uguale a 1.8 m/s e non ci sono state precipitazioni $\geq 5\text{mm}$ negli ultimi 3 giorni.

6.2.2 Benzo(a)pirene nel PM10

Nei grafici seguenti vengono rappresentati da un lato le concentrazioni medie mensili registrate nelle stazioni della provincia, dall'altro i valori mensili relativi alla percentuale in cui esso è presente nel PM10.

Analogamente ad altri inquinanti come il materiale particolato e gli ossidi di azoto, i valori medi mensili di BaP nel particolato presentano una notevole variazione stagionale. Nei mesi caldi, normalmente da aprile a settembre, si osservano concentrazioni piuttosto basse, uniformi e nettamente inferiori alla media annuale che è invece influenzata dai valori invernali. L'elevata radiazione solare contribuisce infatti alla degradazione degli IPA, al contrario nei mesi freddi e autunnali le polveri risultano arricchite di questi composti in quanto si creano condizioni di inversione termica che favoriscono l'accumulo degli inquinanti unitamente all'attivazione del contributo delle emissioni derivanti dalla combustione della legna nel riscaldamento domestico. Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato non solo in termini di concentrazioni assolute ma anche di composizione in microinquinanti organici, come illustrato nei grafici di Figura 66.

Nel 2023 le concentrazioni medie (come dettagliato nel paragrafo 5.5) di BaP nel PM10 presso le stazioni urbane di Alessandria, la stazione di fondo rurale di Dernice e la stazione industriale di Arquata, non evidenziano valori significativi e risultano sempre inferiori al valore obiettivo annuale di 1 ng/m³. Considerando l'andamento mensile del contributo percentuale di BaP al PM10, viene evidenziato come per la stazione industriale di Arquata le polveri del periodo invernale dei mesi di gennaio, marzo e del mese di novembre risultino maggiormente arricchite di BaP rispetto alle altre stazioni. Da evidenziare per il mese di febbraio la percentuale di BaP nel PM10 particolarmente elevata riscontrata stazione di Dernice, l'evento risulta anomalo rispetto al 2021 e al 2022 e presumibilmente dovuto a fenomeni locali.

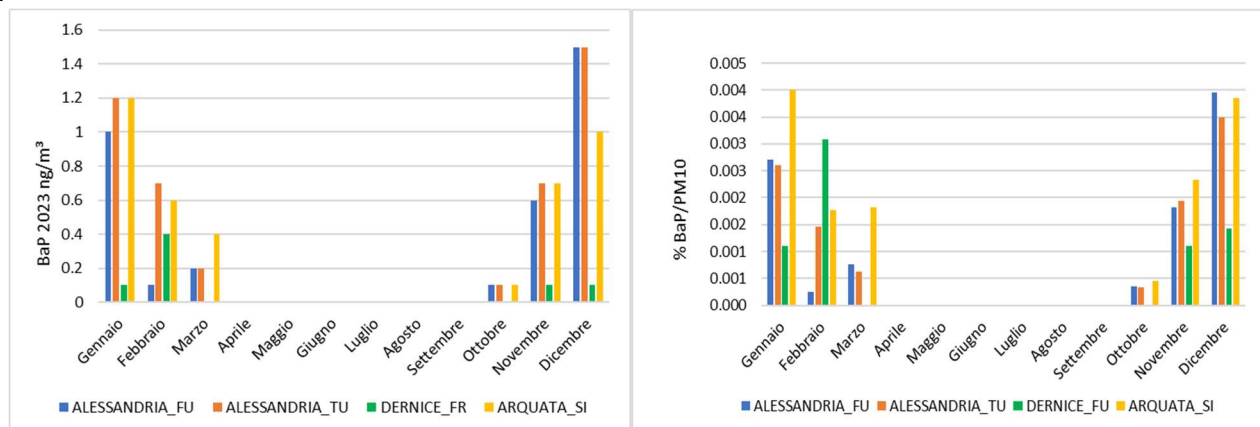


Figura 66: Benzo(a)pirene provincia di Alessandria: concentrazioni medie mensili (sinistra) e percentuali medie mensili (destra) di B(a)P nel PM10 anno 2023

6.2.3 Particolato sospeso: PM2.5

Analogamente al PM10 la situazione riscontrata anno per anno dalle due stazioni della rete provinciale dove viene misurato il PM2.5 (Alessandria Volta e Dernice) è rappresentata nell'istogramma di Figura 67, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2010. Come si può osservare, il dato annuo mostra per Alessandria valori superiori al limite normativo in 4 anni su 13; Dernice mostra invece valori sempre inferiori a 15 µg/m³.

Come si può notare, sussistono differenze tra siti urbani e siti rurali. In questi ultimi non solo le concentrazioni sono più basse, ma la composizione chimica del particolato varia radicalmente come si può notare anche dal rapporto tra la frazione grossolana e quella fine. Nei siti rurali vi è una abbondanza percentualmente maggiore della frazione grossolana che contiene polveri di origine naturale, sia biogenica (es. pollini) che crostale (erosione del suolo). Nei siti urbani il particolato

PM10, soprattutto in inverno, è costituito per più del 80% dalla frazione più fine che contiene maggiormente contributi secondari di origine antropica come le particelle carboniose (carbonio organico e carbonio elementare), sali inorganici (nitrato e solfato di ammonio), IPA e metalli pesanti. Come già osservato per il PM10, anche per il PM2.5 si osserva una tendenza alla diminuzione delle concentrazioni negli ultimi anni per la stazione di Alessandria; risultano invece più stabili i valori della stazione di fondo di Dernice.

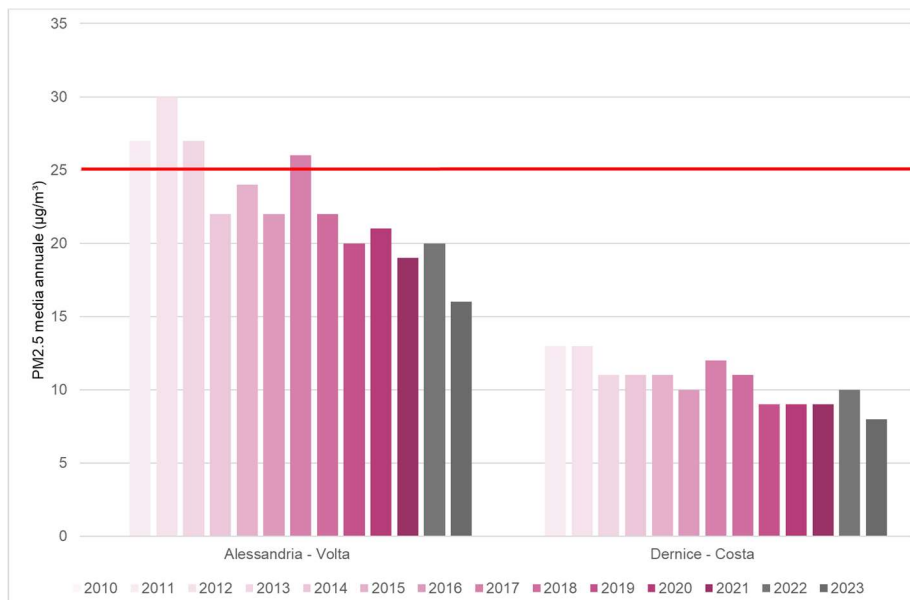


Figura 67: PM2.5 provincia di Alessandria - confronto medie annue

6.2.4 Biossido di azoto (NO₂)

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nel grafico della Figura 68, dove sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ registrate presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

Come prevedibile, essendo gli ossidi di azoto emessi principalmente dal traffico veicolare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni da traffico: le medie annue più elevate (> 30 µg/m³) si registrano nella stazione da traffico di Alessandria - D'Annunzio, valori leggermente inferiori nelle stazioni da traffico di Tortona e Novi Ligure. Presso le stazioni di fondo urbano di Alessandria – Volta e Casale le medie si attestano attorno a 20 µg/m³, ovvero la metà del limite annuale, mentre presso la stazione collinare rurale di Dernice permangono basse per tutti gli anni considerati.

Per le stazioni da traffico si ha un contributo aggiuntivo di emissioni di ossidi di azoto rispetto alle stazioni di fondo. Questo contributo è tanto maggiore quanto più il traffico è congestionato ed è quantificabile mediamente in circa il 30-40% in più di inquinamento presso le aree trafficate rispetto alle zone di fondo urbano, con notevoli differenze stagionali.

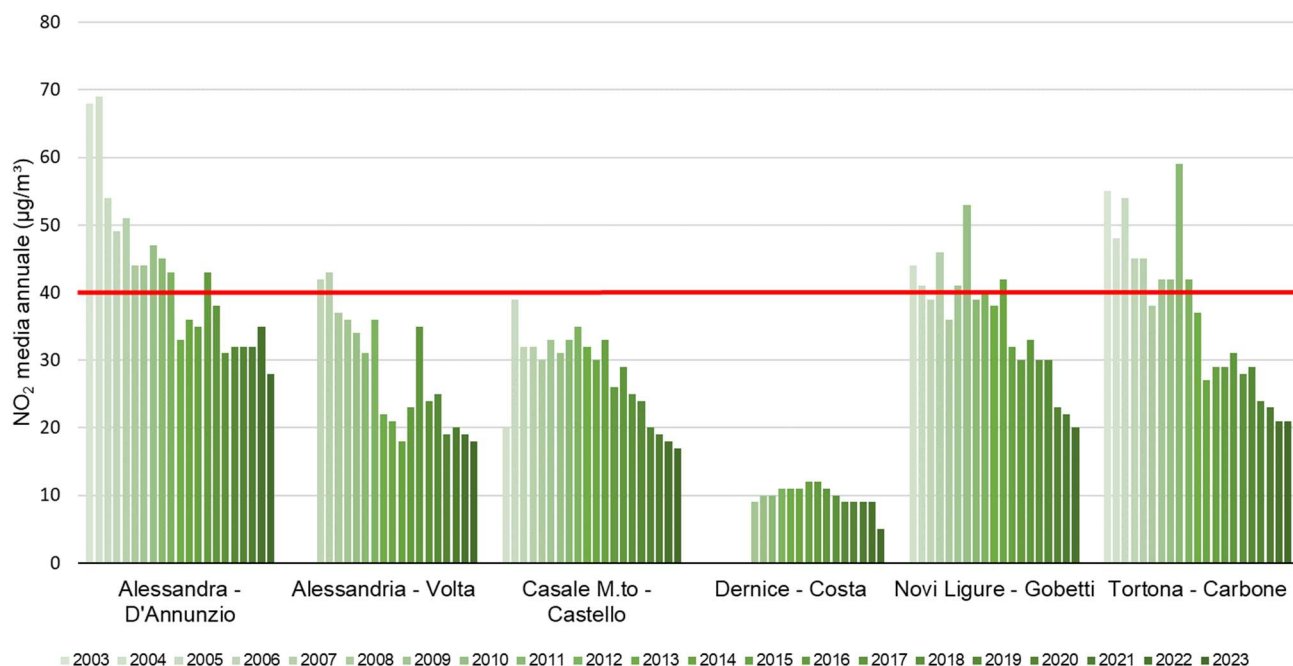


Figura 68: NO₂ Provincia di Alessandria - confronto medie annue

Analogamente al PM₁₀, le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂ misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono riportate in

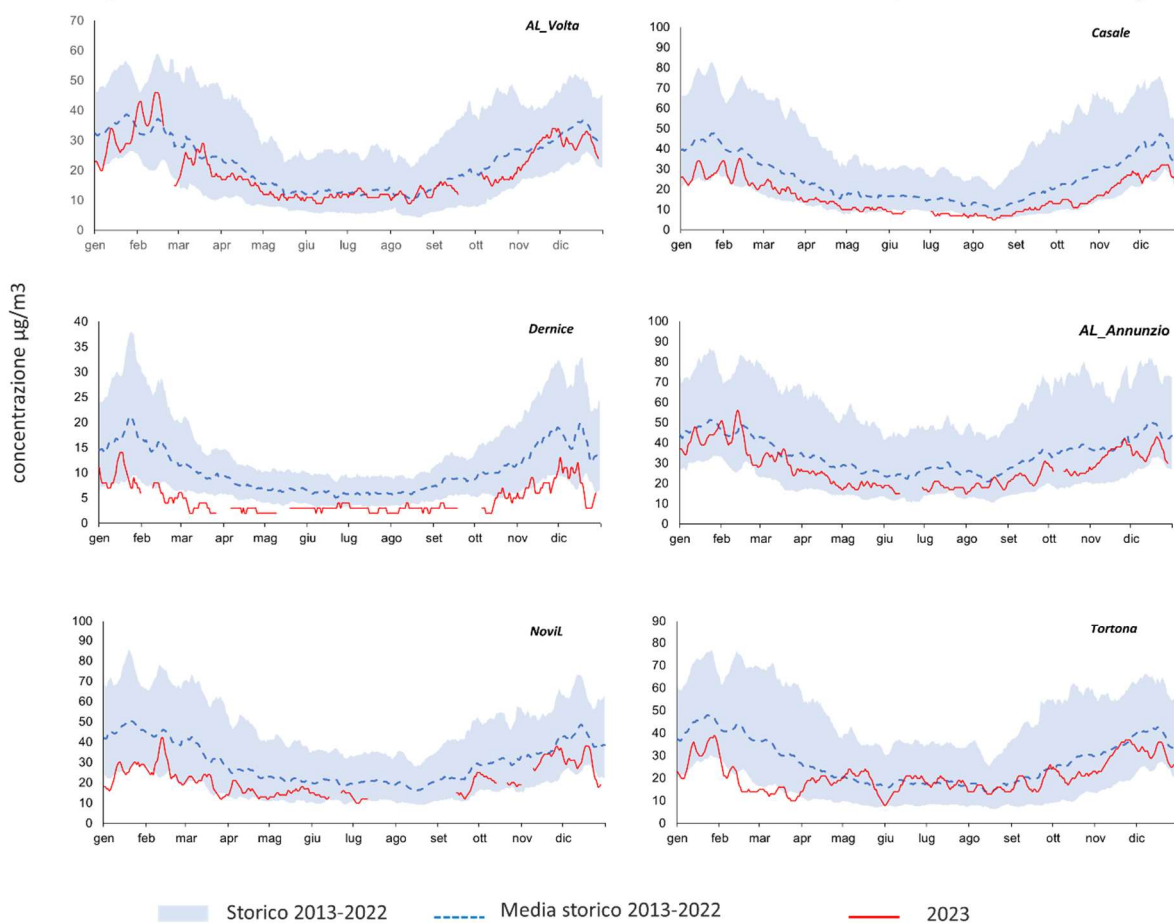


Figura 69; per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni. Le concentrazioni del

2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra del grafico) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione negli anni presi come riferimento (2013-2022). Per completezza vengono raffigurati anche i dati del 2020 (in arancione tratteggiato). Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

I dati del 2023 di alcune stazioni urbane della provincia mostrano livelli prossimi o inferiori ai minimi del periodo di riferimento (banda azzurra) ad eccezione di quanto osservato nella stazione di Alessandria D'Annunzio ed Alessandria Volta nel mese di febbraio, in cui si evidenzia un incremento dei valori misurati rispetto alla media della serie storica.

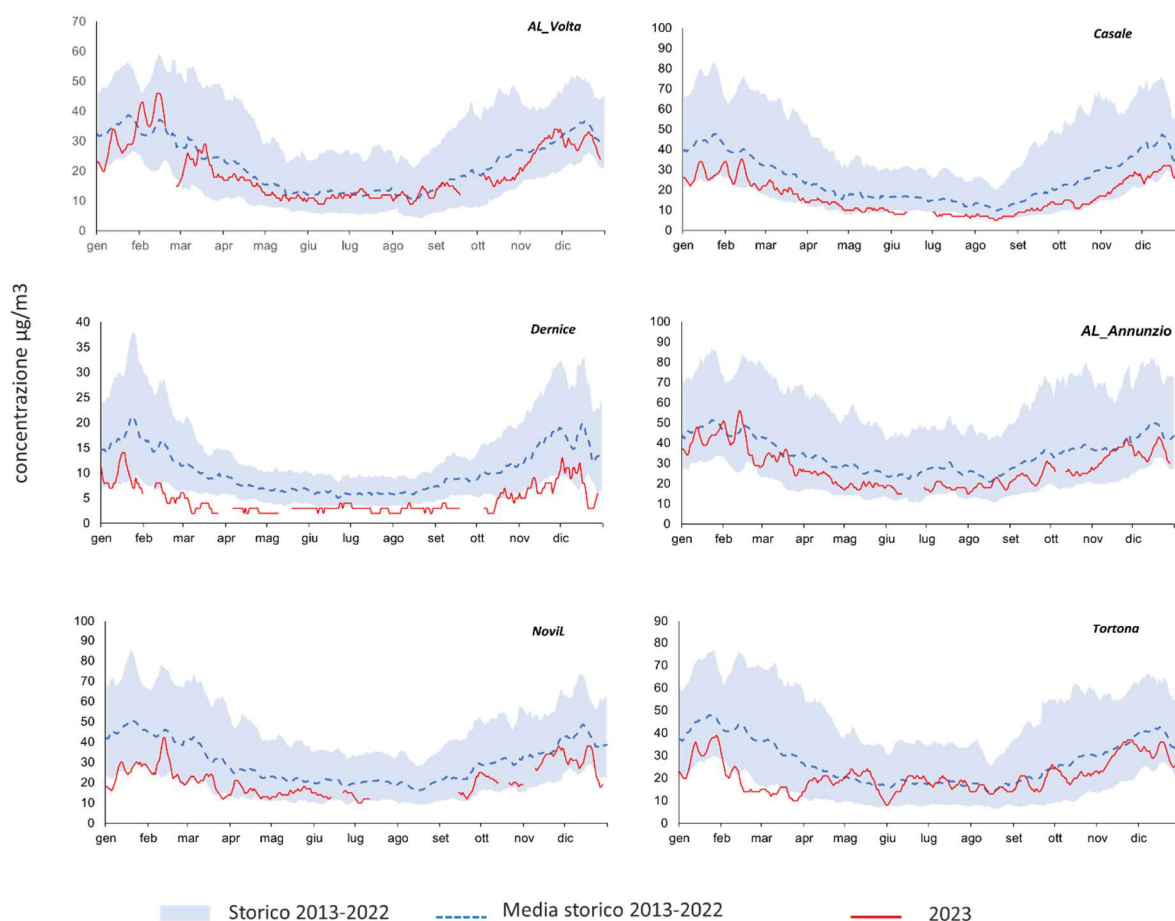


Figura 69: NO₂ Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento 2013-2022

In Figura 70, gli andamenti di NO₂ calcolati sulle “settimane medie” e su base oraria sono stati messi a confronto tra la stazione di fondo urbano di Casale Monferrato (linea arancione) e la stazione da traffico di Alessandria D'Annunzio (linea grigia) nel periodo invernale (linea continua) ed estivo (linea tratteggiata), evidenziando sensibili riduzioni per entrambe la domenica, più evidenti nel periodo invernale.

I picchi mattutini e serali (più marcati) che trovano corrispondenza nell'andamento del traffico veicolare sono più elevati presso la stazione da traffico rispetto a quella di fondo e sono legati alle emissioni dirette del traffico rispetto alla stazione di fondo. La differenza stimata dei picchi tra le stazioni risulta maggiore nel periodo estivo (delta prossimo ai 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mentre nel periodo invernale i valori risultano maggiormente sovrapponibili.

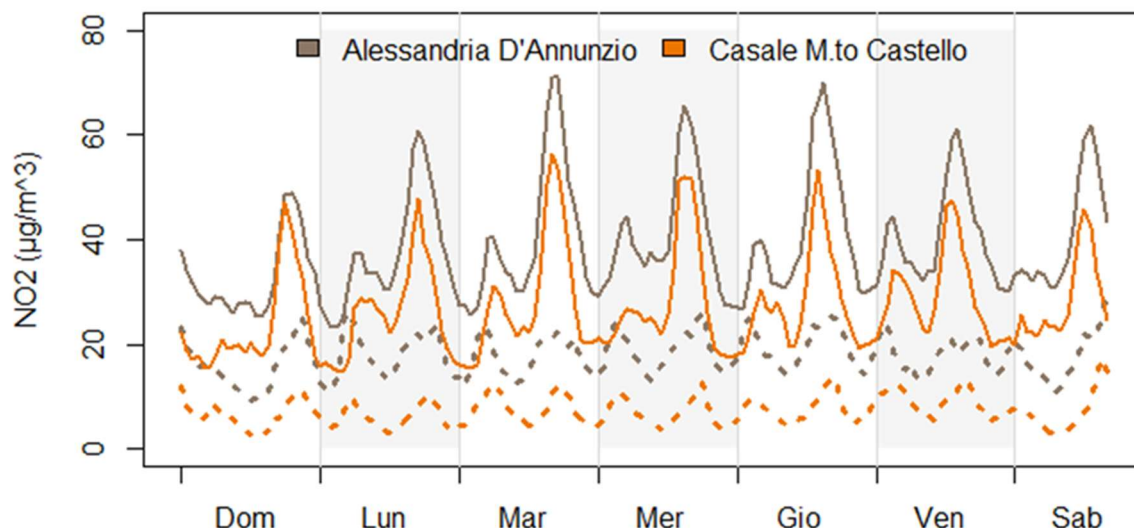


Figura 70: NO₂ Provincia di Alessandria: settimane tipo stazioni di Alessandria D'Annunzio e Casale Monferrato. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.2.5 Ozono (O₃)

L'inquinante viene misurato presso la stazione di Alessandria Volta, rappresentativa del fondo urbano, ed in quella di Dernice, rappresentativa del fondo rurale. Nel grafico di Figura 71 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2023, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni (il dato attribuito al 2023 è relativo al triennio 2021-2023).

Come visibile il numero medio dei giorni di superamento dell'ultimo triennio permane al di sopra della soglia prevista per entrambe le stazioni considerate confermando come la situazione per questo inquinante risulti ancora critica e non vi sia evidenza di una significativa tendenza alla riduzione (quantificata con test statistici nel paragrafo 5.4.1).

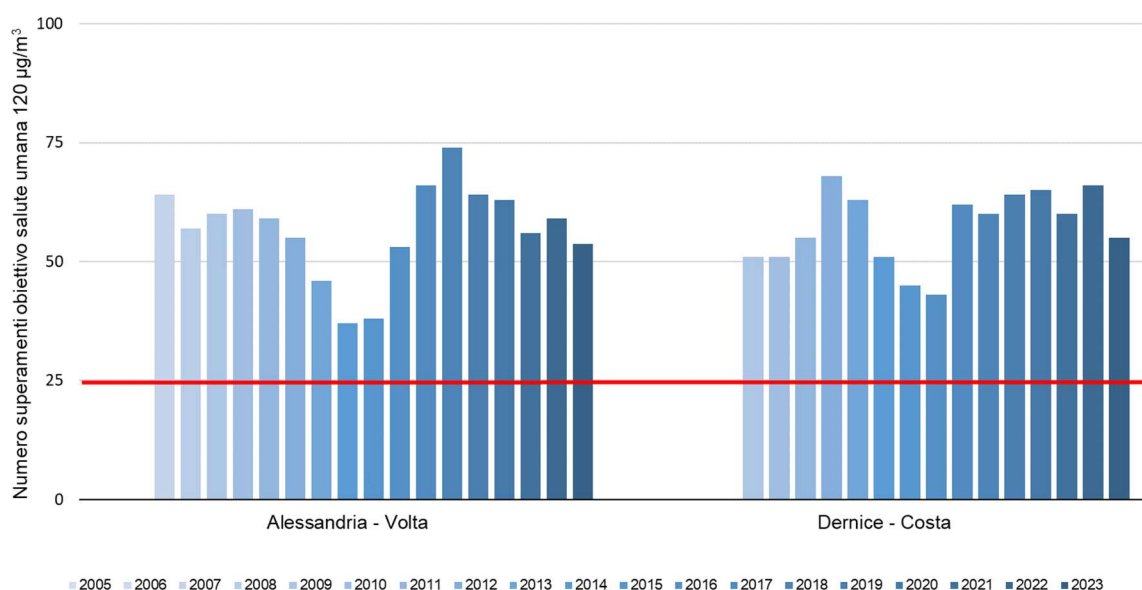


Figura 71: O₃ Provincia di Alessandria: confronto numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante nel 2023, riportato in Figura 72, alcuni superamenti dei valori medi storici possono essere osservati in entrambe le stazioni della rete di monitoraggio nei periodi tra agosto ed ottobre, alcuni dei quali in corrispondenza dei periodi in cui sono state osservate le ondate di calore descritte nel paragrafo 4.

Si osserva inoltre che per la stazione di fondo rurale si rilevano ulteriori periodi di superamento dei valori medi storici tra febbraio e marzo, seconda metà di giugno, seconda metà di novembre e seconda metà dicembre.

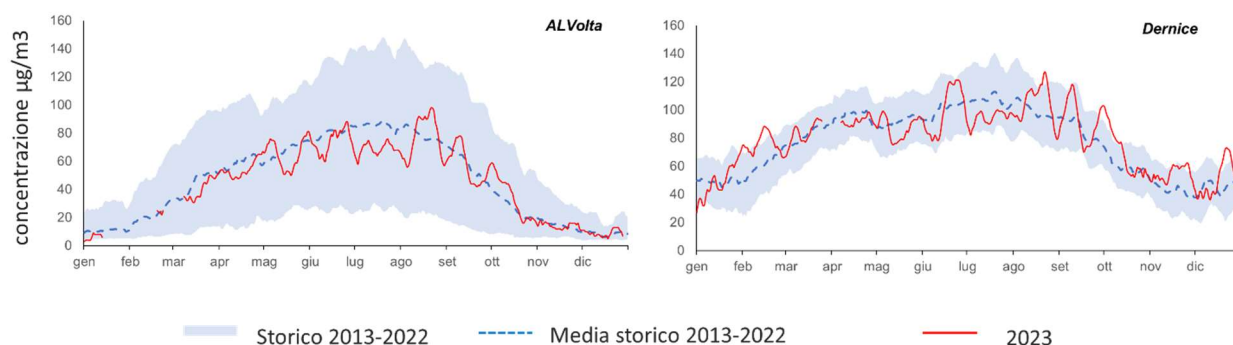


Figura 72: O₃ Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.3 Provincia di Asti

In provincia di Asti la rete di monitoraggio aria, illustrata in Figura 73, è presente con due stazioni nel capoluogo di Provincia e in un punto in area rurale presso il Comune di Vinchio.

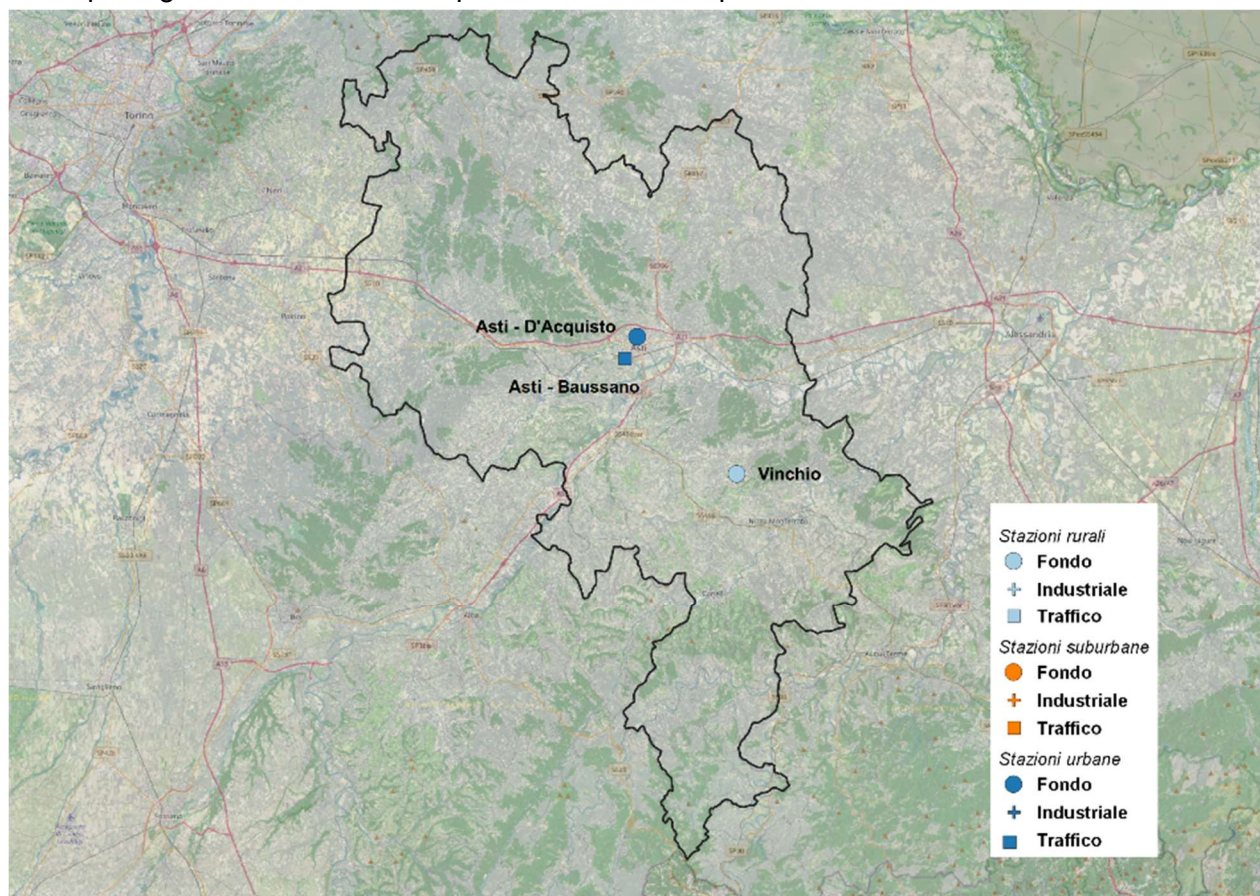


Figura 73: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Asti.

6.3.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici delle figure Figura 74 e Figura 75, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed il numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

Nel corso degli anni, l'inquinamento da polveri sottili ha mostrato un miglioramento complessivo, nonostante le oscillazioni annuali dovute principalmente alle variazioni meteorologiche. Il limite annuale del PM10 nel 2023 è stato rispettato in entrambe le stazioni urbane astigiane (non sono stati graficati i dati riferiti alla stazione di Vinchio in quanto la percentuale di valori a disposizione è <85% a causa di un problema strumentale) e a partire dal 2011 si registra un rispetto generalizzato di tale parametro. Si conferma così il trend in diminuzione valutato su base pluriennale, al di là delle fluttuazioni tra un anno e l'altro (vedi paragrafo 5.1.1)

Nonostante il mancato rispetto del superamento del valore limite giornaliero, che nel 2023 ha riguardato la stazione da traffico di Asti Baussano, si osserva tuttavia una tendenza complessiva al miglioramento sul lungo periodo. A ciò ha contribuito una progressiva riduzione delle emissioni - sebbene rallentato negli ultimi anni, al di là delle variazioni interannuali dovute alla variabilità delle condizioni meteorologiche in ciascun anno. (I trend di riduzione delle concentrazioni per ciascuna stazione regionale sono quantificati nel paragrafo 5.1.2)

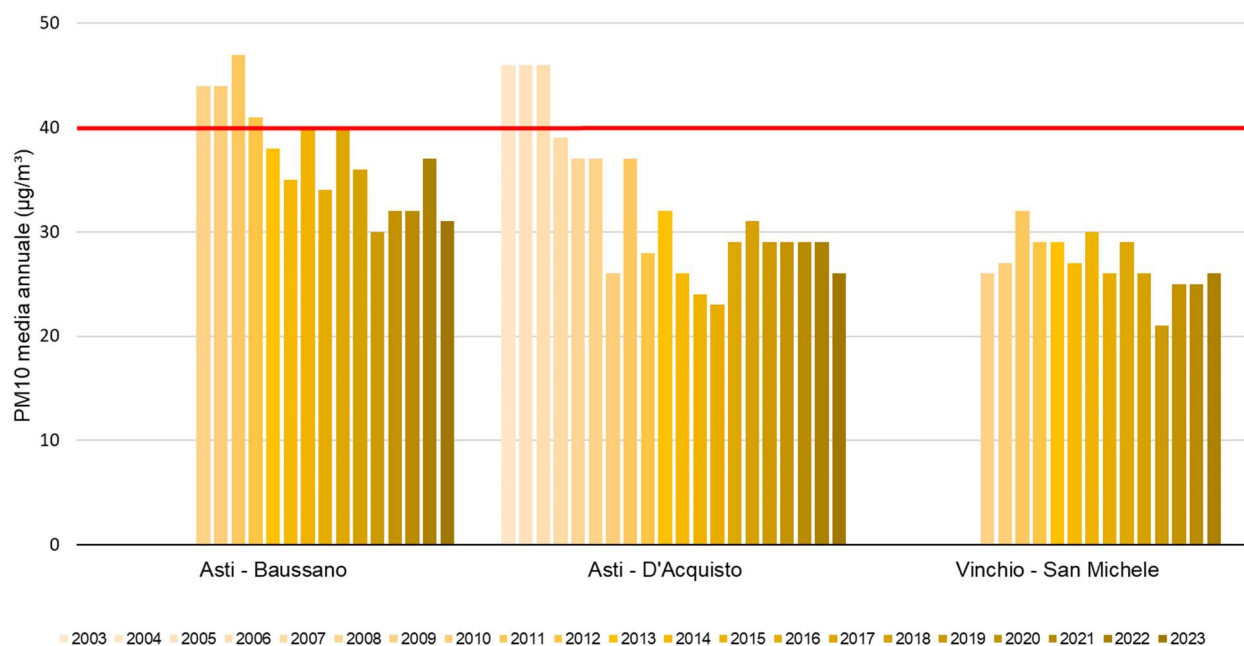


Figura 74: PM10 Provincia di Asti: confronto medie annue.

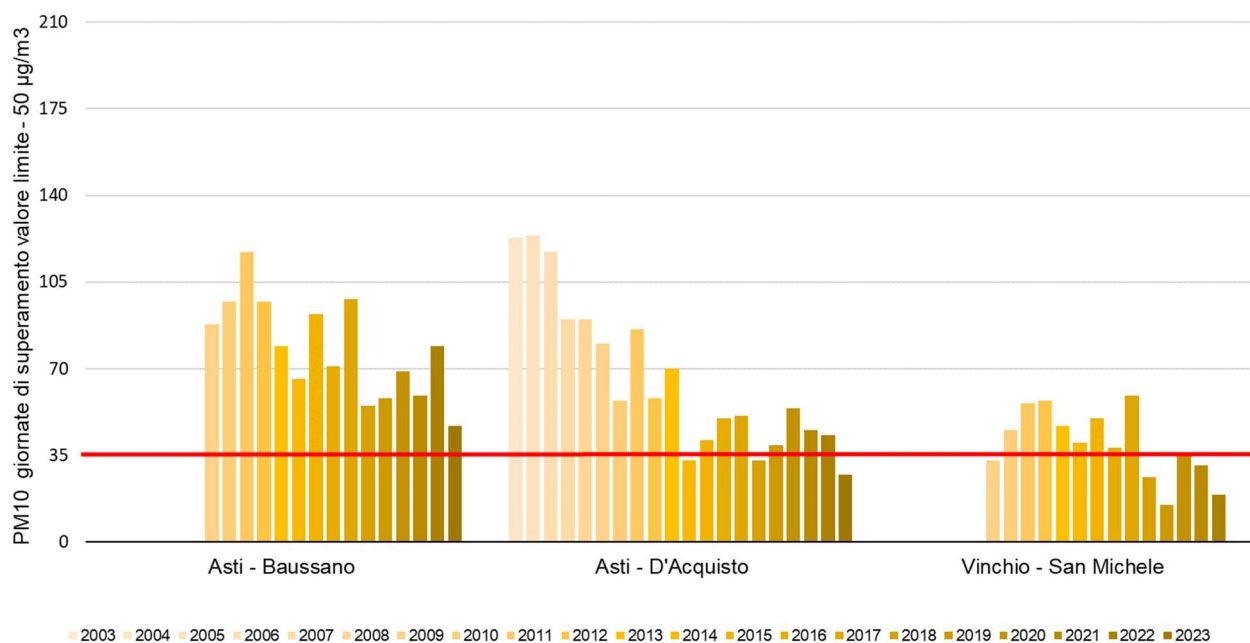


Figura 75: PM10 Provincia di Asti: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2023 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 76 rispetto al periodo di riferimento 2013-2022. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni. In ognuno di questi grafici le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia del grafico) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione negli anni presi come riferimento (2013-2022).

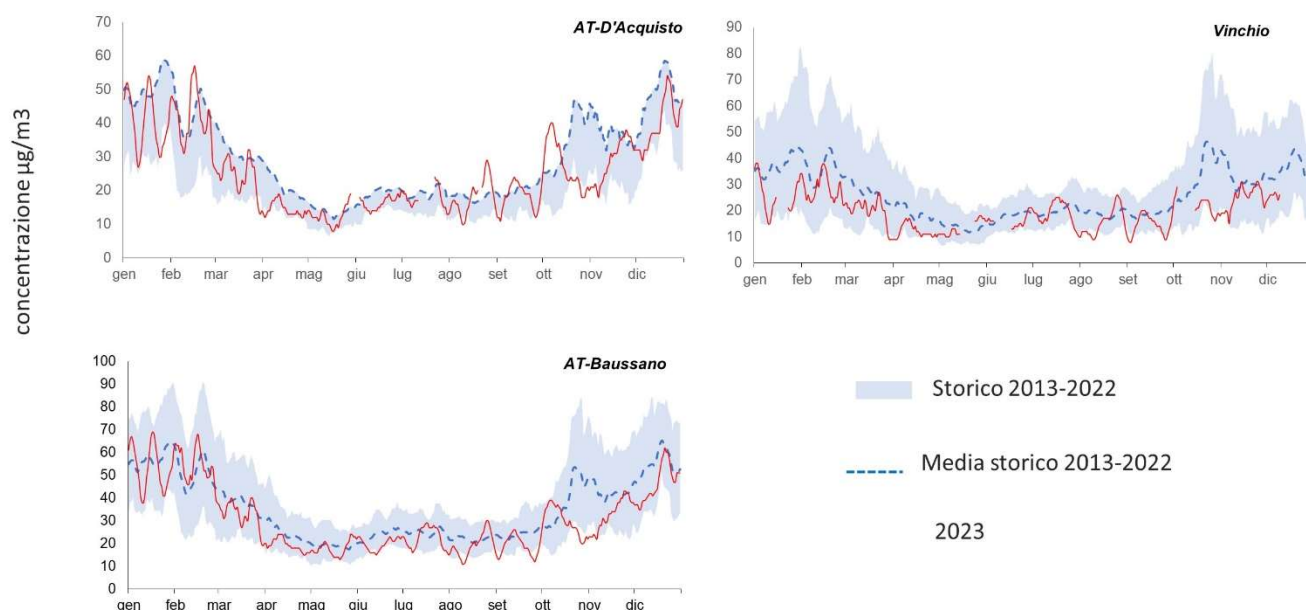


Figura 76: PM10 Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento (2013-2022)

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero come le concentrazioni generalmente diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno ai mesi estivi per crescere nuovamente nell'autunno.

Relativamente alle polveri sottili è in primo luogo necessario osservare nei grafici come, oltre all'andamento stagionale, emergano importanti oscillazioni delle concentrazioni nel corso dell'anno, dovute all'avvicinarsi di condizioni meteorologiche differenti.

Come illustrato nel paragrafo 4 numerosi episodi di vento nel periodo invernale e autunnale hanno determinato condizioni sfavorevoli all'accumulo dell'inquinante. Inoltre, le temperature maggiori alla media nel periodo invernale hanno probabilmente favorito la riduzione delle emissioni del riscaldamento domestico, uno dei principali settori di emissione del particolato primario.

Relativamente alla Figura 76, è possibile evidenziare la presenza di una situazione particolare per tutte le stazioni negli ultimi 15 giorni di agosto, nei primi 15 giorni di ottobre e negli ultimi 15 giorni di febbraio nelle stazioni urbane di Asti con concentrazioni superiori rispetto alla media dello storico, sicuramente da attribuire alle persistenti condizioni di stabilità anticiclonica e alle conseguenti rare precipitazioni che si sono verificate in tale periodo.

L'influenza della meteorologia sul parametro risulta ben visibile nel grafico di Figura 77 dove le concentrazioni medie giornaliere misurate dall'insieme delle stazioni della provincia di Asti nel 2023 sono confrontate con le bande gialle verticali che rappresentano i giorni con condizioni meteorologiche di accumulo³⁷ e con istogrammi blu che descrivono i valori di precipitazione cumulata.

Si può osservare come i superamenti del limite giornaliero di 50 µg/m³ siano stati per lo più registrati all'interno dei periodi di accumulo regionale individuati che, nel 2023 sono stati interrotti e limitati da frequenti episodi di vento. Si evidenziano inoltre episodi con concentrazioni in rialzo corrispondenti

³⁷ Sono individuate come giornate favorevoli all'accumulo sul territorio regionale quelle in cui l'Indice Giorni Critici dell'agglomerato torinese è pari a 1, contemporaneamente la velocità mediana del vento misurato dalle stazioni meteo al di sotto dei 600m di quota è inferiore o uguale a 1.8 m/s e non ci sono state precipitazioni >=5mm negli ultimi 3 giorni.

a giornate con elevato contributo crostale alla frazione PM10, riconducibile a fenomeni di trasporto di polveri sahariane (da 26 a 27 eventi/anno a seconda della stazione considerata)

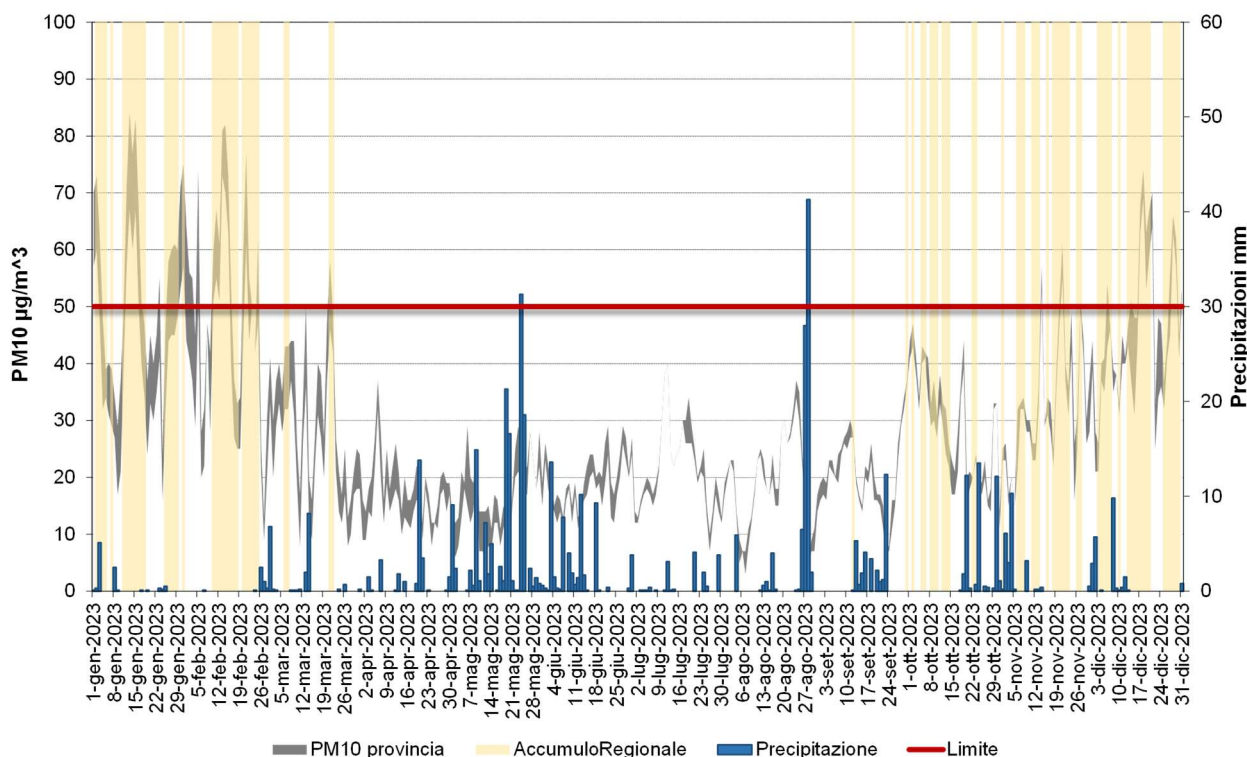


Figura 77: PM10 Range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della Provincia di Asti (banda grigia) in ciascun giorno del 2023; precipitazioni cumulate giornaliere (rilevate nel capoluogo di Provincia), indicatore di accumulo regionale, limite giornaliero imposto dalla normativa.

6.3.2 Benzo(a)pirene nel PM10

Nel 2023 non si osservano superamenti del valore obiettivo presso nessuna delle stazioni provinciali ove è determinato il parametro, come dettagliato nel capitolo dedicato della sezione regionale. La stazione di Asti - Baussano, che in passato ha registrato superamenti, è una delle stazioni regionali dove sono state riscontrate le concentrazioni maggiori.

Nei grafici seguenti vengono rappresentati da un lato le concentrazioni medie mensili registrate nelle stazioni ove il parametro è determinato, dall'altro i valori mensili relativi alla percentuale in cui esso è presente nel PM10. Come visibile, analogamente agli altri inquinanti come il materiale particolato e gli ossidi di azoto, i valori medi mensili di BaP nel particolato presentano una notevole variazione stagionale. Nei mesi caldi, normalmente da aprile a settembre, si osservano concentrazioni piuttosto basse, uniformi e nettamente inferiori alla media annuale che è invece influenzata dai valori invernali. L'elevata radiazione solare contribuisce infatti alla degradazione degli IPA, al contrario nei mesi freddi e autunnali le polveri risultano arricchite di questi composti in quanto si creano condizioni di inversione termica che favoriscono l'accumulo degli inquinanti e in corrispondenza del diffuso utilizzo delle biomasse come combustibile per il riscaldamento domestico che si va a sommare al contributo derivante da combustioni quali, fra le altre, quelle associate al traffico veicolare.

Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato non solo in termini di concentrazioni assolute ma anche di composizione in microinquinanti organici (Figura 78).

Anche per il 2023 il contenuto percentuale di benzo(a)pirene risulta significativo nel sito da traffico di Asti, con valori anche doppi rispetto ad altre stazioni. Ciò è sicuramente da attribuire al contributo delle emissioni derivanti dalla combustione locale della legna nel riscaldamento domestico, sorgente che incrementa le sue emissioni al diminuire delle temperature esterne e, in misura minore ma non trascurabile, del traffico veicolare su Corso Don Minzoni e vie limitrofe. La percentuale dati validi relativa al mese di dicembre per Vinchio risulta del 32%.

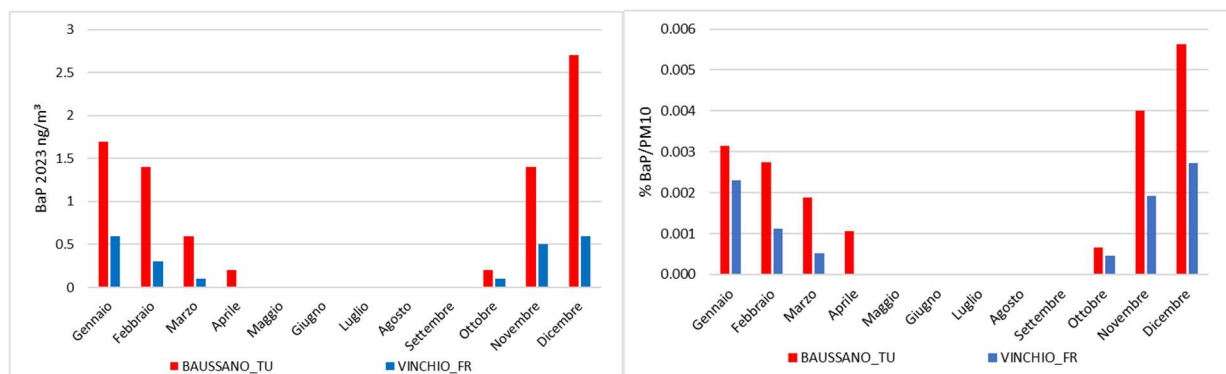


Figura 78: benzo(a)pirene nella provincia di Asti: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di BaP nel PM10 anno 2023

6.3.3 Particolato sospeso: PM2.5

La determinazione del PM2.5 in Provincia di Asti è effettuata nelle stazioni di Vinchio San Michele, e nella stazione di fondo urbano di Asti.

Analogamente al PM10 la situazione osservata anno per anno dalle due stazioni è rappresentata nell'istogramma seguente, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nelle annualità a disposizione. Come visibile i valori determinati nel 2023 risultano inferiori rispetto a quelli dell'anno precedente e i valori misurati nella stazione di Vinchio inferiori a quelli rilevati presso la stazione di fondo urbano di Asti. Nel complesso le concentrazioni misurate nella Provincia risultano confrontabili con quanto misurato nella zona centrale della Regione, dove la conformazione orografica favorisce l'accumulo degli inquinanti e la formazione della componente secondaria (componente che rientra prevalentemente nella frazione più fine del particolato), seppur con una certa variabilità annuale.

Analogamente alla frazione PM10 si osserva la presenza di trend di decrescita, valutato numericamente nel paragrafo 5.2.1, che sembra comunque essersi stabilizzato nell'ultimo sessennio. Per quanto riguarda la stazione di Vinchio la diminuzione ha un livello di significatività statistica pari al 99,9%, per Asti-D'Acquisto la significatività scende al 95% (Figura 21).

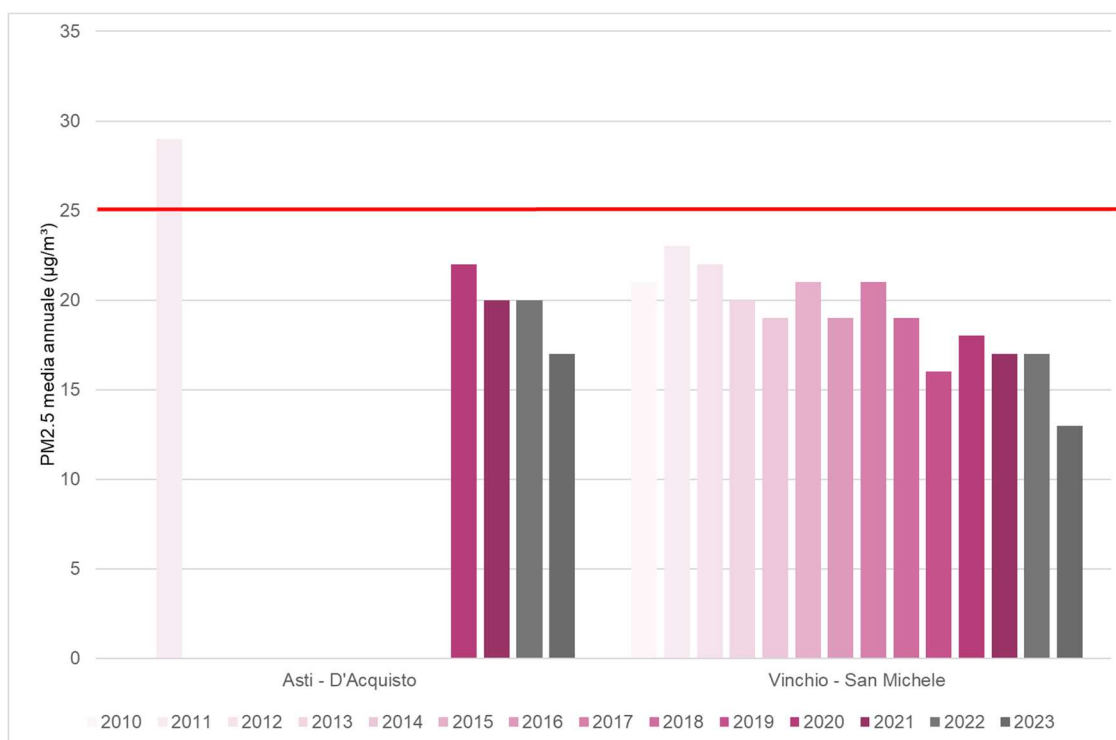


Figura 79: PM2.5 Provincia di Asti: confronto medie annue.

6.3.4 Biossido di azoto (NO₂)

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nel grafico della Figura 80, dove sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ registrate presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

Come prevedibile, essendo gli ossidi di azoto emessi principalmente dal traffico veicolare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni da traffico: mediamente le concentrazioni misurate presso la stazione da traffico di Baussano risultano maggiori rispetto a quanto misurato nella stazione di fondo urbana, a causa dei diversi flussi di traffico presenti nei due siti, mentre presso la stazione rurale di Vinchio risultano nettamente inferiori.

A partire dal 2018 nessuna delle stazioni presenti in Provincia di Asti ha raggiunto il valore limite per la media annuale e come per gli inquinanti PM₁₀ e PM_{2.5} si può osservare una tendenza alla riduzione delle concentrazioni medie annue di biossido di azoto nel corso degli anni (calcolata numericamente nel paragrafo 5.3.1)

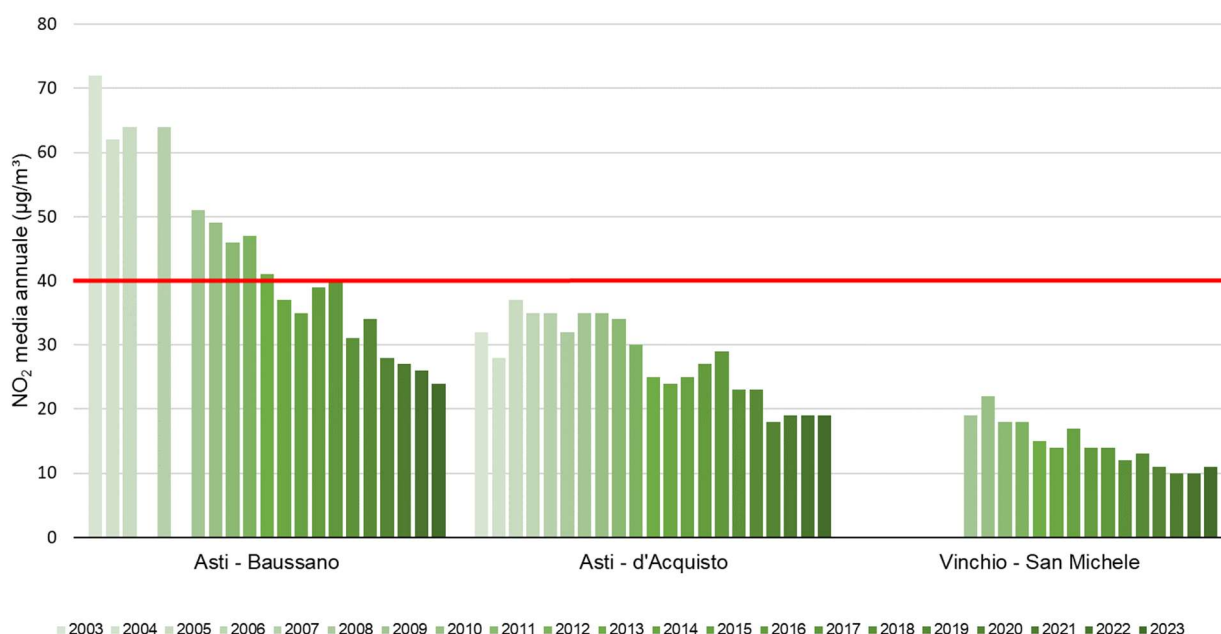


Figura 80: NO₂ Provincia di Asti: confronto medie annue.

Analogamente al PM₁₀, le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂, misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2023 da ciascuna stazione della provincia, sono riportate in Figura 81 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra del grafico) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione negli anni presi come riferimento (2013-2022). Come visibile, anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale, che rileva concentrazioni maggiori nel periodo invernali e inferiori nel periodo primaverile estivo.

Le concentrazioni di NO₂ del 2023 si mantengono, in tutte e tre le stazioni considerate, a valori inferiori o prossimi alle medie del periodo di riferimento, ad eccezione di un limitato picco di concentrazione nella stazione di Vinchio, nel mese di agosto, attribuibile a fenomeni locali.

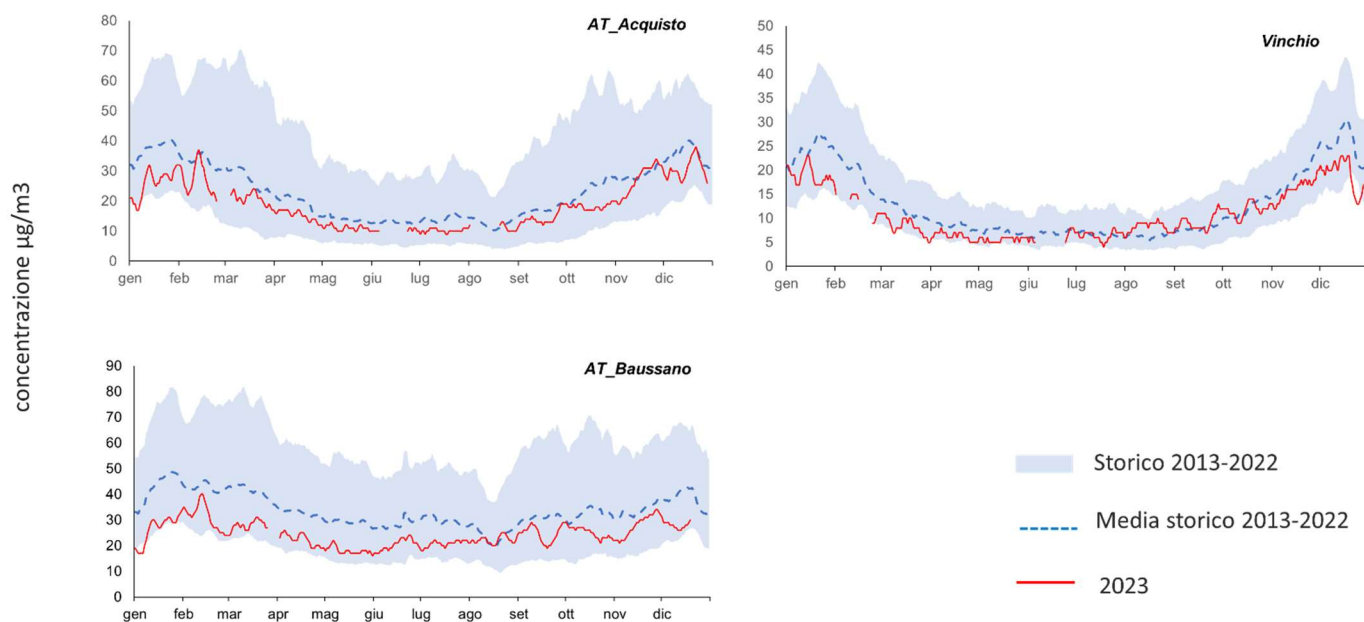


Figura 81: NO₂ Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento (2013-2022)

In Figura 82, gli andamenti di NO₂ nelle ore del giorno e sui giorni della settimana messi a confronto tra la stazione di fondo urbano di Asti - D'Acquisto (linea arancione) e la stazione da traffico di Asti - Baussano (linea grigia) nel periodo invernale (linea continua) ed estivo (linea tratteggiata), evidenziano la domenica sensibili riduzioni per entrambi i punti di misura. Risultano ben visibili, inoltre, nella stazione di D'Acquisto i due picchi di concentrazione mattutino e serale correlati ai flussi di traffico, mentre in quella di Baussano “predomina” il picco serale, decisamente più elevato rispetto a quanto osservato nella stazione di fondo.

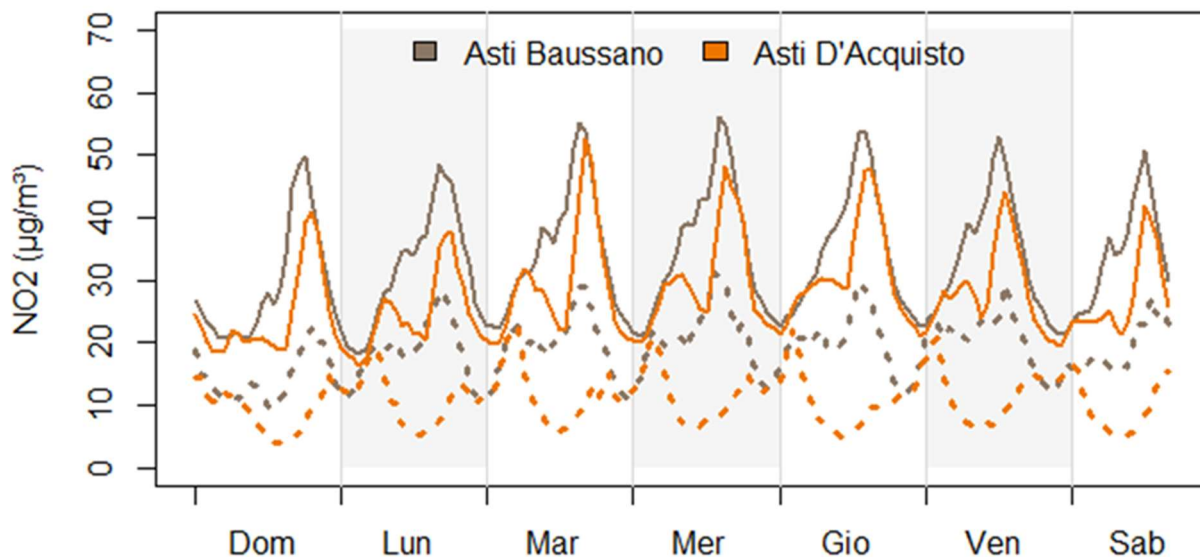


Figura 82: NO₂ settimane tipo stazioni di Asti Baussano e Asti D'Acquisto

6.3.5 Ozono (O₃)

In provincia di Asti l'inquinante viene misurato presso la stazione di fondo urbano di Asti - D'Acquisto e in quella di fondo rurale di Vinchio - San Michele.

Nel grafico della Figura 83 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2023, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni (il dato attribuito al 2023 è relativo al triennio 2021-2023).

Come visibile il numero medio dei giorni di superamento dell'ultimo triennio permane al di sopra della soglia prevista per entrambe le stazioni considerate confermando come la situazione per questo inquinante risulti ancora critica e non vi sia evidenza di una significativa tendenza alla riduzione (quantificata con test statistici nel paragrafo 5.4.1).

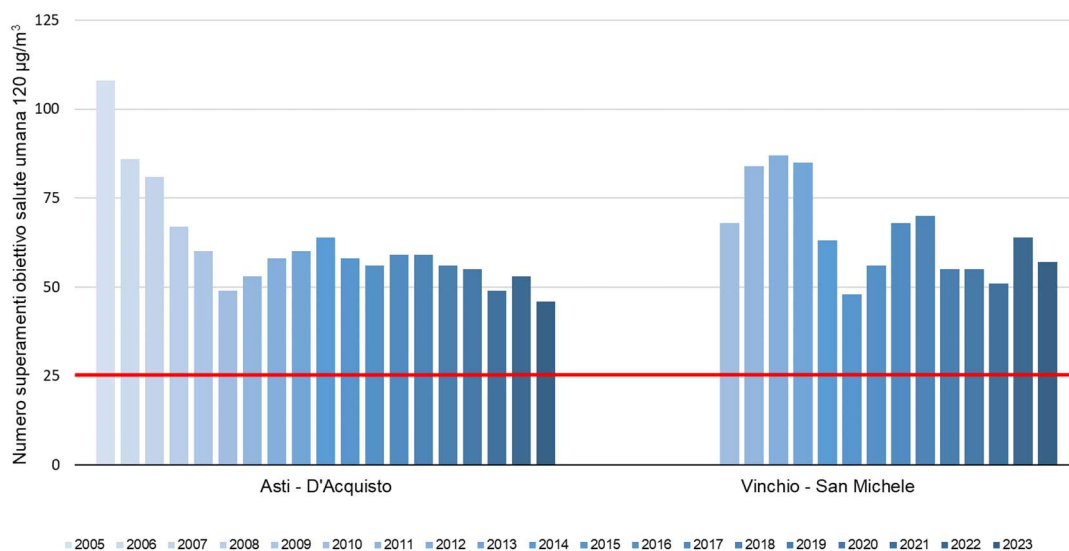


Figura 83: O₃ Provincia di Asti: confronto superamenti del valore obiettivo per la salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante del 2023, illustrato in Figura 84, si evidenziano alcuni periodi di superamento dei valori medi storici che possono essere osservati in entrambe le stazioni della rete in cui viene effettuato il monitoraggio, alcuni dei quali in corrispondenza dei periodi in cui sono state osservate le ondate di calore descritte nel paragrafo 4. Da notare come l'innalzamento dei valori di Ozono in corrispondenza della terza ondata di calore del 2023 sia stata osservata solo nella stazione di fondo rurale e non in quella di fondo urbano, ove è inoltre possibile osservare la presenza di valori superiori alla media del periodo di riferimento nel mese di febbraio e nella seconda metà di giugno

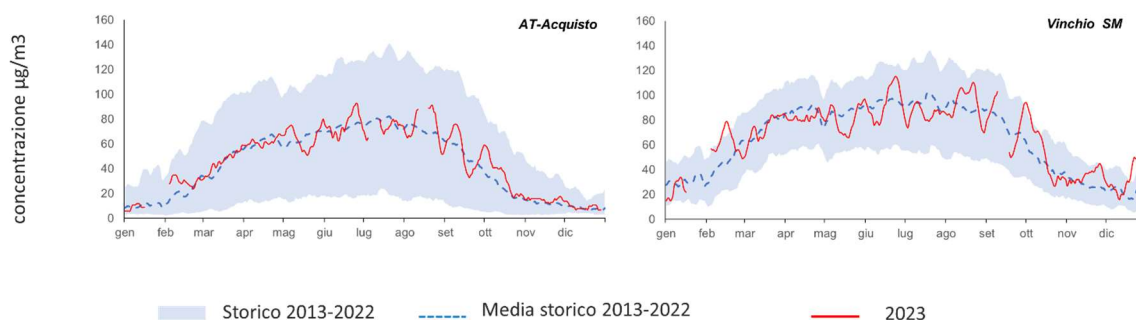


Figura 84: O₃ Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.4 Provincia di Biella

In provincia di Biella, le stazioni della Rete Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria si trovano, secondo quanto previsto dall'ultimo Programma di valutazione della qualità dell'aria ambiente (D.G.R. 30 dicembre 2019, n. 24-903), nel capoluogo di provincia con la stazione di fondo Biella - Sturzo e la stazione da traffico Biella - Lamarmora, una stazione nel comune di Cossato e più a Nord la stazione di Trivero, posizionata a 716 m s.l.m., così come raffigurato in Figura 82.

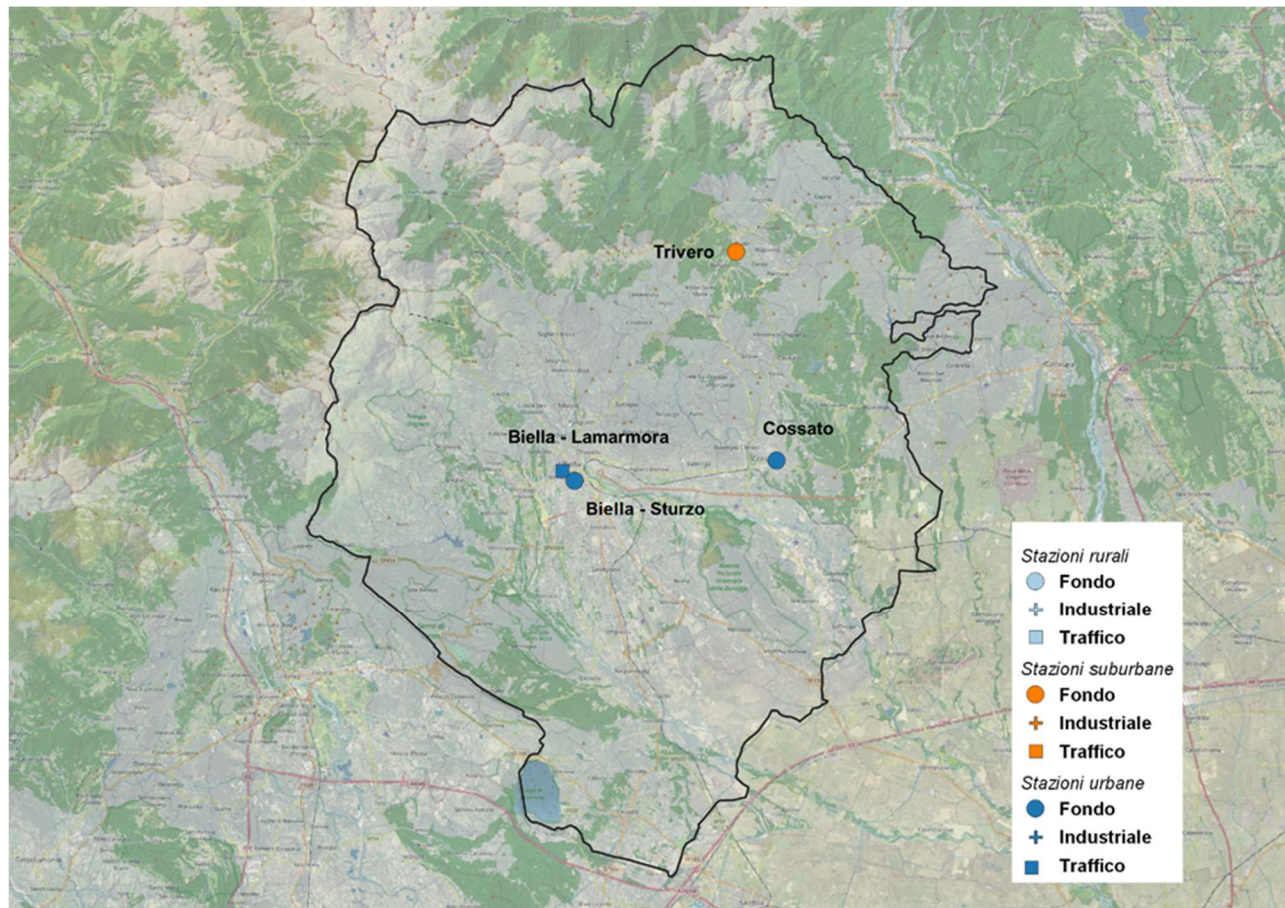


Figura 85: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Biella

6.4.1 Particolato sospeso: PM10

Relativamente alle polveri sottili (PM10), la situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici della Figura 86 e Figura 87, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

Come si può osservare, nonostante le oscillazioni dovute principalmente alle differenze meteorologiche tra i diversi anni, la situazione dell'inquinamento da polveri sottili è complessivamente migliorata nel tempo ed il limite sulla media annua, a partire dal 2013, è costantemente rispettato su tutto il territorio della provincia. Il 2023 mostra un decremento delle concentrazioni medie annue, rispetto all'anno precedente, in cui si era riscontrato, invece, un lieve peggioramento. L'anno 2023 ha presentato nel periodo invernale e autunnale condizioni meteorologiche sfavorevoli all'accumulo dell'inquinante legate ad episodi di vento (marzo e novembre) e precipitazioni (ottobre), oltre a una possibile riduzione delle emissioni derivanti dal riscaldamento domestico, favorita dalle temperature superiori alla media che hanno caratterizzato i mesi invernali.

I dati del 2023 confermano anche il rispetto del numero di superamenti del valore limite giornaliero consentito sull'anno, pari a 35, in tutte le stazioni della provincia, dove negli ultimi anni si rileva la tendenza alla diminuzione, particolarmente evidente in quest'ultimo anno; la stazione di Biella –

Lamarmora non ha registrato superamenti, rispetto ai 17 registrati nel 2022, mentre la stazione di Cossato-Pace è passata da 13 a 1 superamento.

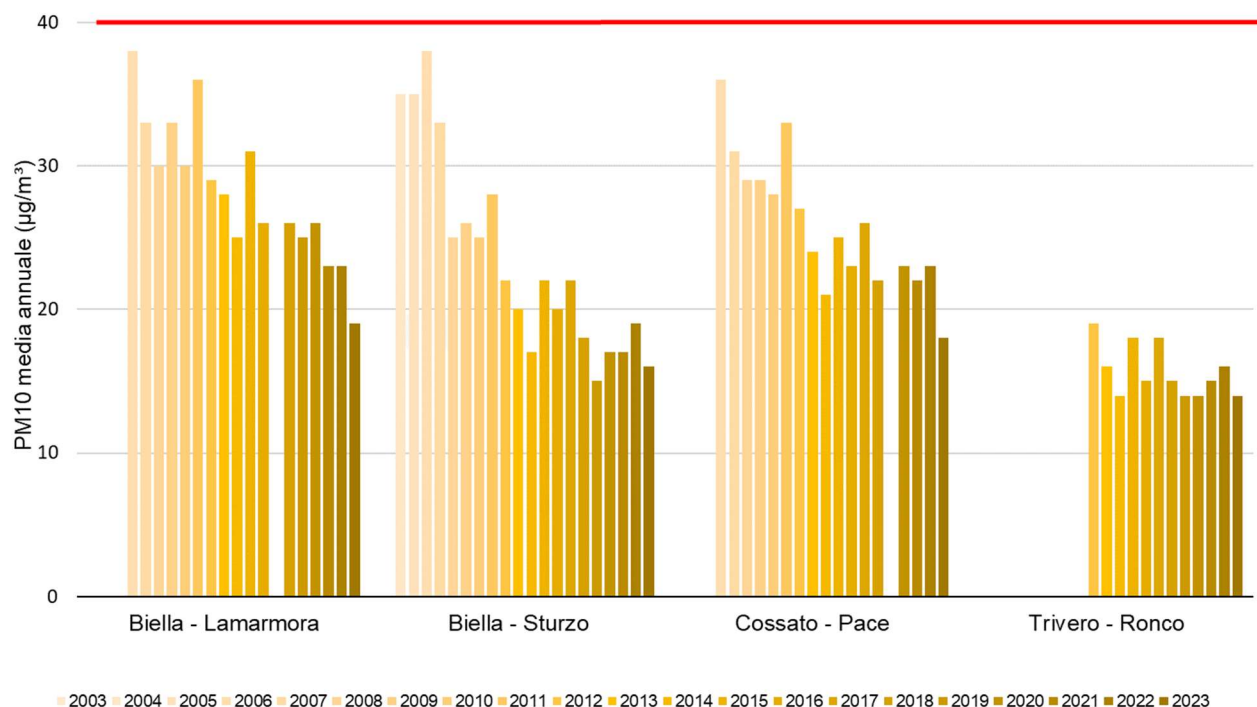


Figura 86: PM10 provincia di Biella: confronto medie annue

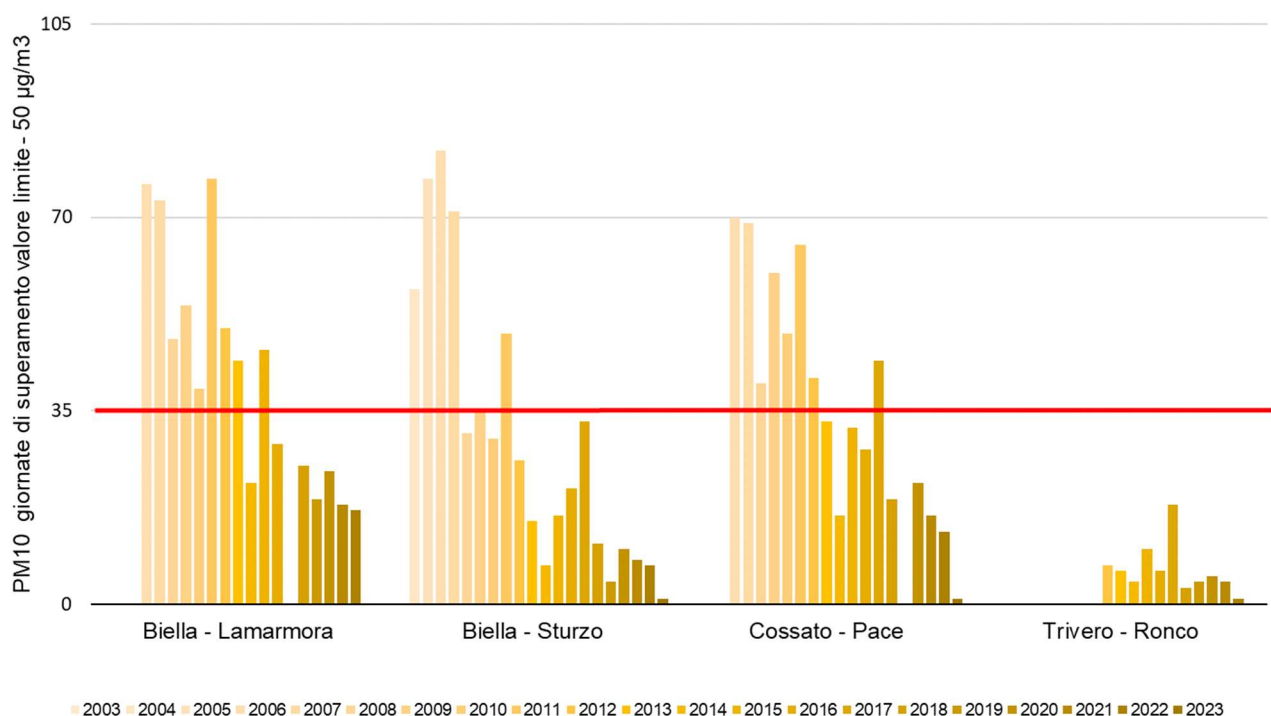


Figura 87: PM10 provincia di Biella: numero di superamenti del limite giornaliero

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2023 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2022 sono riportate nella Figura 88. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni giornaliere.

Nei grafici le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra) e medi (linea blu tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2022 preso come riferimento.

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero, come generalmente le concentrazioni diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno ai mesi estivi per ritornare a crescere nuovamente nell'autunno.

Dal confronto delle serie di concentrazioni misurate nell'ultimo anno (linea rossa) non si evincono scostamenti particolarmente significativi rispetto agli anni precedenti (area azzurra), se non per le stazioni di Biella-Lamarmora e Cossato-Pace che presentano concentrazioni mediamente più basse (la media annuale è passata rispettivamente da 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e da 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Si evidenzia come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nella seconda metà di febbraio, marzo e agosto e nella prima metà di luglio e di ottobre, siano dovuti a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che hanno interessato il Piemonte. Mediamente nel corso dell'anno, nelle diverse zone della provincia, si sono verificati 30-32 episodi di trasporto di polveri desertiche di intensità variabile. Nel periodo autunnale si osserva invece la diminuzione delle concentrazioni di PM10, rispetto alla media storica, imputabile, come detto, alla meteorologia del periodo.

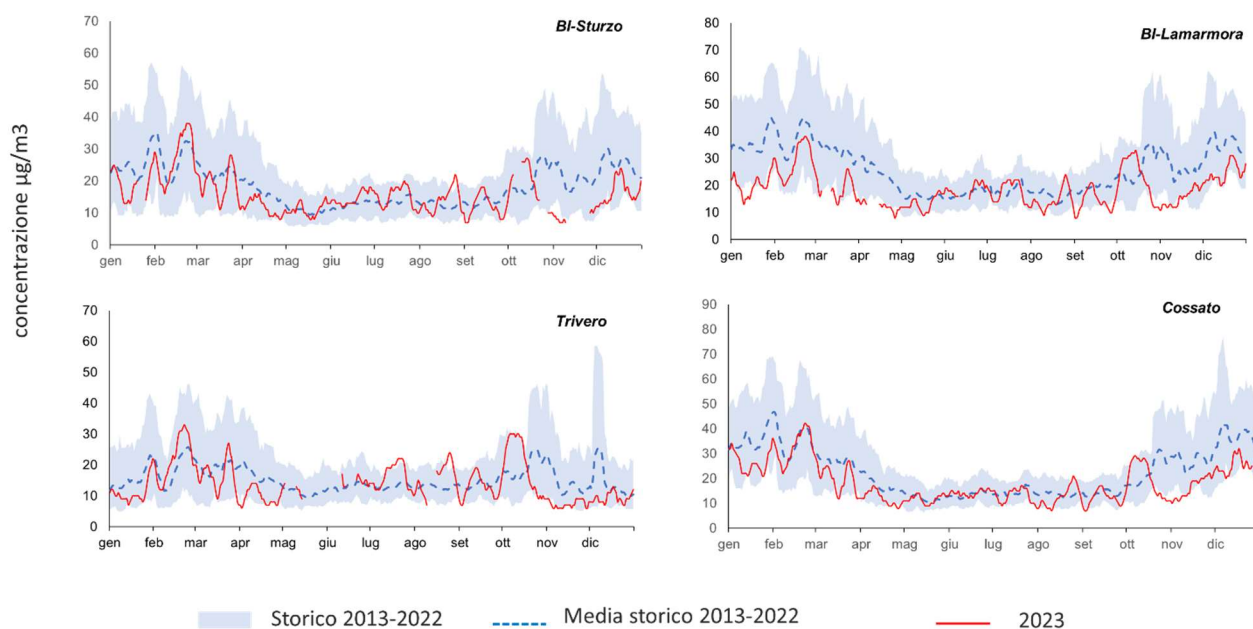


Figura 88: PM10 Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Relativamente alle polveri sottili, si osserva come, oltre all'andamento stagionale delle concentrazioni, vi siano nel corso dell'anno importanti oscillazioni, dovute alle differenti condizioni meteorologiche: massimi di concentrazione corrispondenti, generalmente, a periodi di alta pressione persistente e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento).

L'influenza della meteorologia sulle concentrazioni di PM10 è esemplificata in Figura 89, dove sono rappresentati i giorni di accumulo a livello regionale³⁸, le precipitazioni giornaliere e il range di concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia nell'anno 2023 (banda grigia). Risulta evidente come le concentrazioni di questo inquinante presentino variazioni omogenee in tutte le centraline della provincia (proprio in ragione dei lunghi tempi di permanenza in atmosfera del

³⁸ Sono individuate come giornate favorevoli all'accumulo sul territorio regionale quelle in cui l'Indice Giorni Critici dell'agglomerato torinese è pari a 1, contemporaneamente la velocità mediana del vento misurato dalle stazioni meteo al di sotto dei 600m di quota è inferiore o uguale a 1.8 m/s e non ci sono state precipitazioni $\geq 5\text{mm}$ negli ultimi 3 giorni.

particolato) e l'influenza della meteorologia sulle variazioni. Durante le giornate caratterizzate da condizioni di accumulo le concentrazioni risultano alte e spesso sopra il limite giornaliero, mentre in corrispondenza delle precipitazioni i livelli si abbassano. Durante l'anno si sono verificati diventi eventi pluviometrici persistenti e/o temporaleschi.

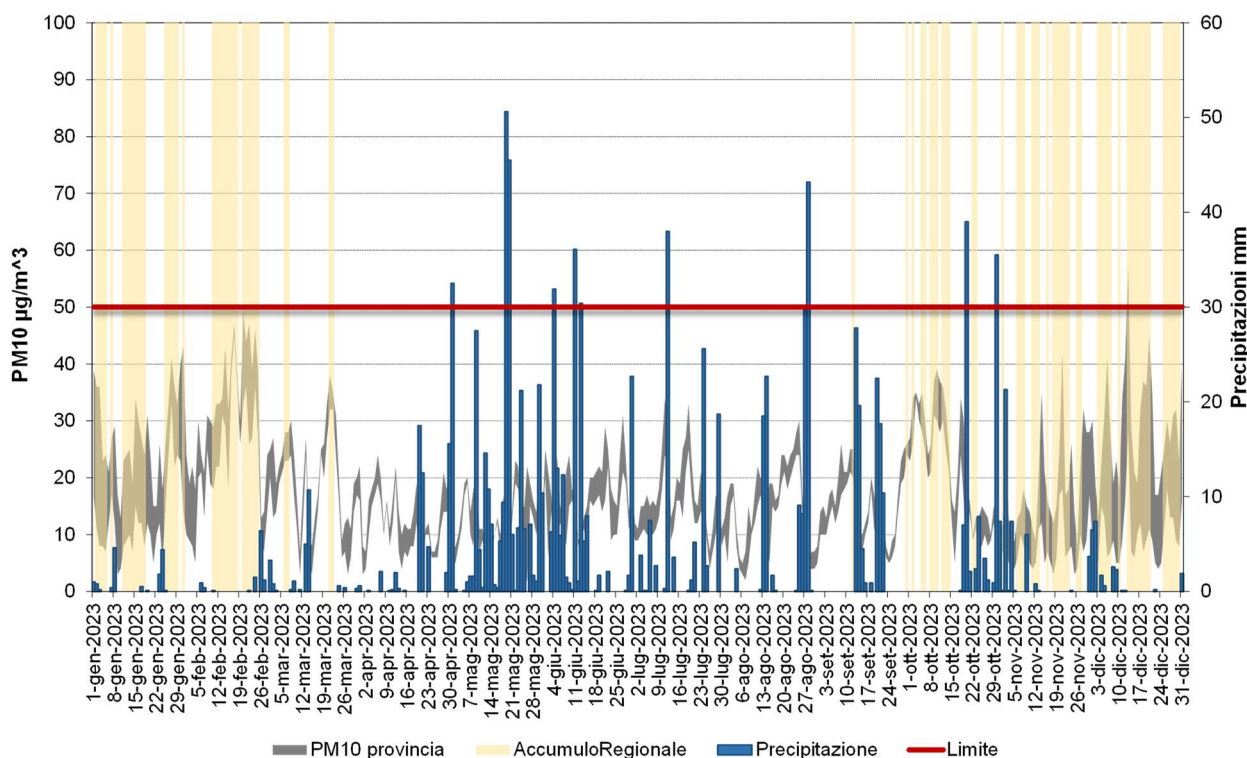


Figura 89: PM10 Provincia di Biella: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2023; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Biella; indicatore di accumulo regionale.

6.4.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 90 sono rappresentate le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)pirene (quantificato sul PM10), registrate nelle stazioni della provincia ove è determinato, ed i valori della percentuale in cui è presente nel PM10 sempre su base mensile (per la stazione di Trivero il PM10 di riferimento è determinato con analizzatore automatico).

Analogamente agli inquinanti polveri sottili ed ossidi di azoto, anche i valori medi mensili di Benzo(a)pirene nel particolato presentano una variazione stagionale notevole: concentrazioni basse, uniformi e nettamente inferiori alla media annuale nei mesi caldi, generalmente da aprile a settembre, e concentrazioni maggiori nei mesi invernali.

Infatti, nei mesi più caldi l'elevata radiazione solare contribuisce alla degradazione degli IPA, mentre nei mesi freddi e autunnali si creano condizioni di inversione termica favorevoli all'accumulo degli inquinanti. In particolare, le polveri PM10 risultano arricchite di questi composti dovuti principalmente al contributo delle emissioni da combustione della legna per il riscaldamento domestico.

Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato non solo in termini di concentrazioni assolute ma anche di composizione in microinquinanti organici.

In tutti i punti di misura della provincia - Biella Sturzo, Biella Lamarmora, Cossato e Trivero - nell'anno 2023, analogamente agli anni precedenti, le concentrazioni di media annua di Benzo(a)pirene nel PM10 risultino ampiamente inferiori al valore obiettivo fissato dalla normativa (1.0 ng/m^3), attestandosi a valori compresi tra $0.1\text{-}0.5 \text{ ng/m}^3$.

Pertanto, non si evidenziano criticità, anche considerando l'andamento mensile del contributo percentuale di Benzo(a)pirene al PM10 (Figura 90). In generale, l'inquinante presenta un trend (statisticamente significativo) in diminuzione in tutte le stazioni della rete (paragrafo 5.5).

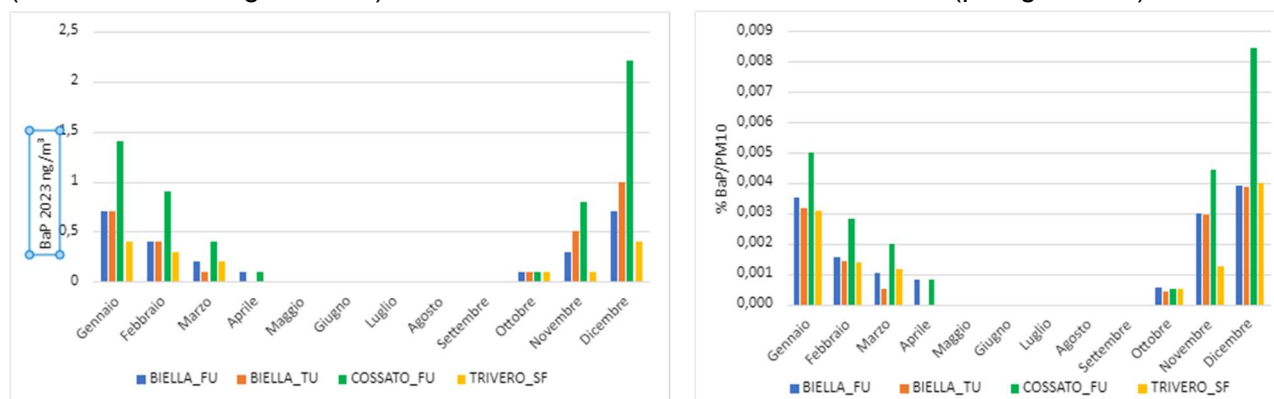


Figura 90: Benzo(a)pirene provincia di Biella: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2023

6.4.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 91, si osservano le concentrazioni medie delle polveri PM2.5 rilevate negli anni presso le due stazioni della rete provinciale a partire dal 2010, dove disponibili.

Come risulta evidente dal grafico, il limite normativo è ampiamente rispettato in tutti gli anni considerati. Nel 2023 si è registrato un decremento nelle concentrazioni medie annue, in particolare rispetto al 2022; per la stazione di Trivero-Ronco le concentrazioni misurate nel 2023 sono le più basse di tutta la serie storica.

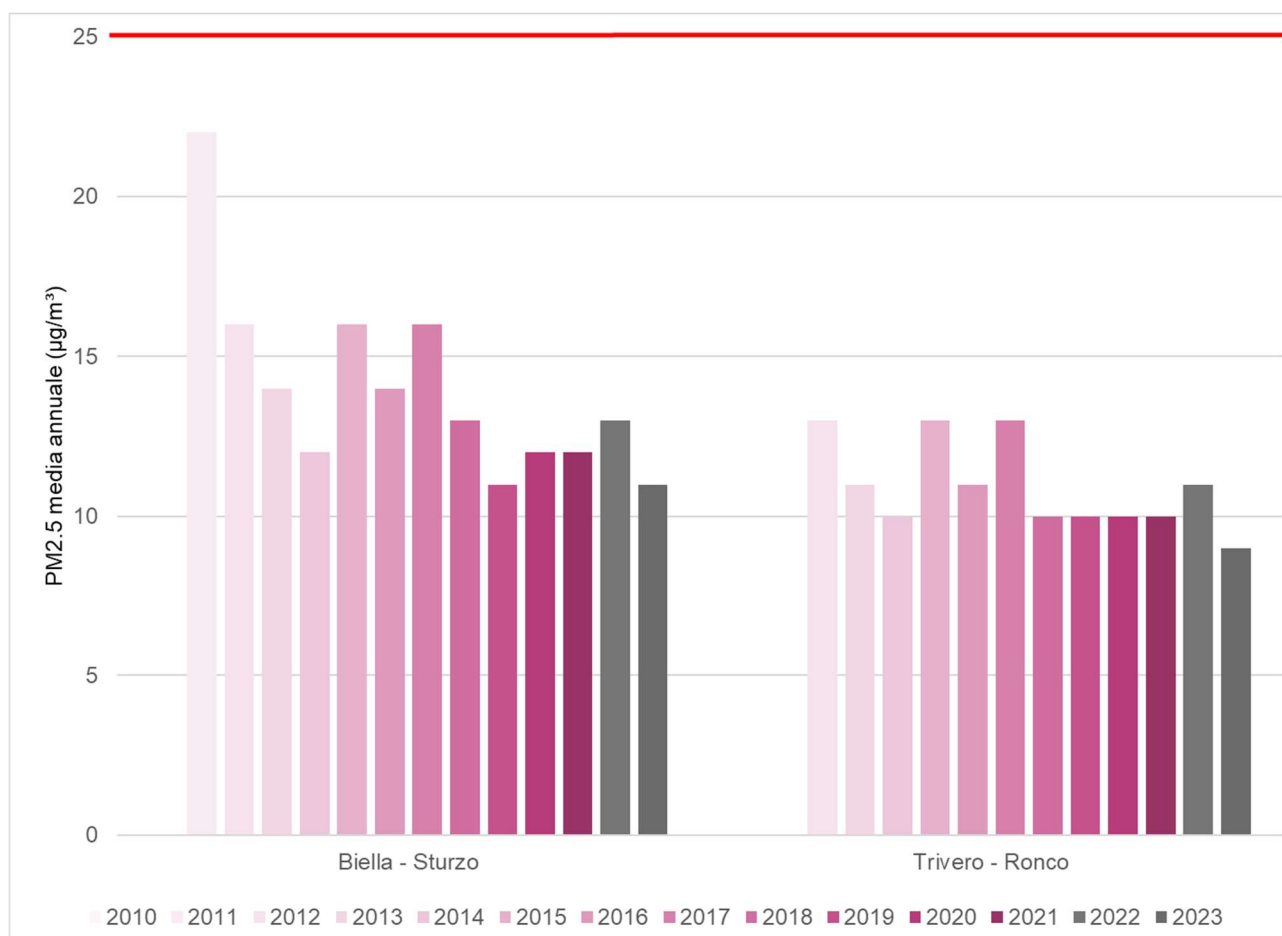


Figura 91: PM2.5 provincia di Biella: confronto medie annue

6.4.4 Biossido di azoto (NO₂)

Nella Figura 92 sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ rilevate presso le stazioni della rete provinciale, ove disponibili, a partire dall'anno 2003 ed attive nel 2023, da cui si evince che anche nel 2023 il valore limite annuale (40 µg/m³) è ampiamente rispettato in tutte le stazioni della provincia.

Essendo gli ossidi di azoto principalmente emessi dal traffico veicolare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni da traffico, come la stazione di Biella – Lamarmora che però, a causa di un problema strumentale, nel 2023 non ha registrato il numero minimo di dati validi (85%) per considerare valida e rappresentativa la determinazione.

Nelle restanti stazioni di fondo urbano, Biella - Sturzo e Cossato-Pace, le medie si sono attestate, in linea con gli anni precedenti, rispettivamente a 17 µg/m³ e 13 µg/m³, mentre la stazione di fondo suburbana di Trivero ha presentato un dato di media annuale in aumento, rispetto agli ultimi anni, pari a 13 µg/m³.

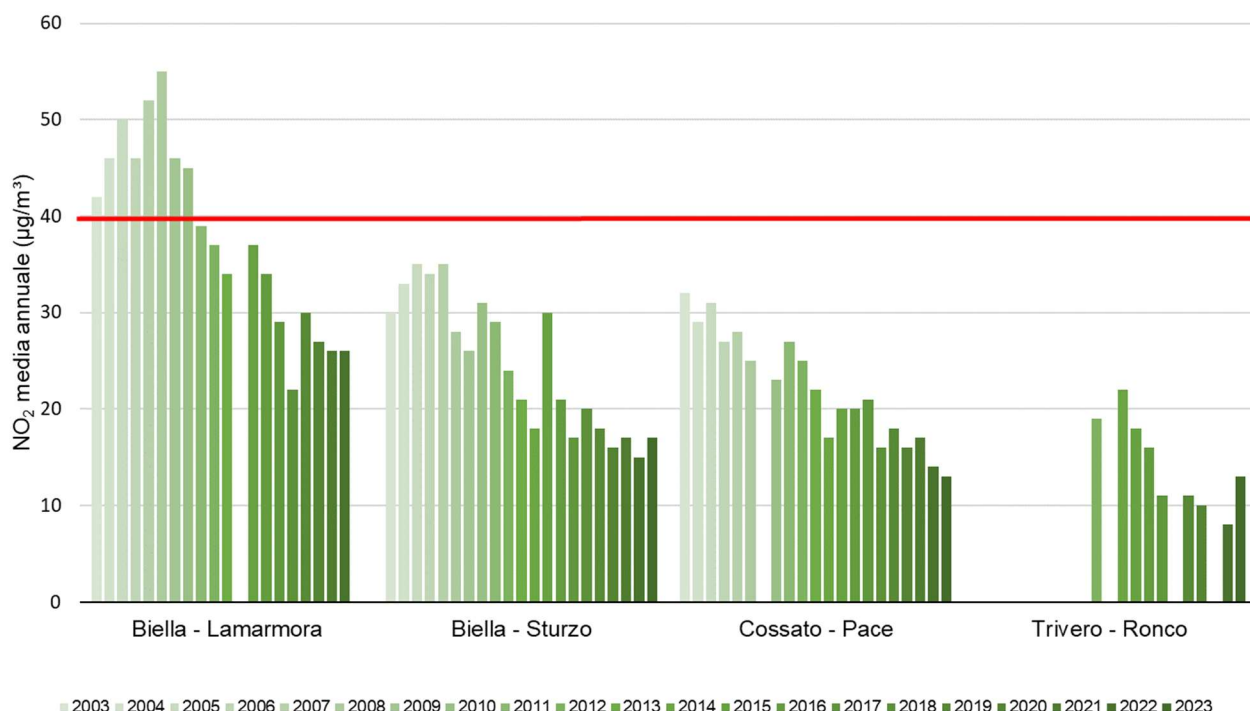


Figura 92: NO₂ provincia di Biella: confronto medie annue

Le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂, misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono rappresentate in Figura 93 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

In tutte le stazioni della provincia i dati relativi all'anno 2023 (linea rossa) mostrano livelli prossimi o inferiori alla media del periodo di riferimento 2013-2022 (linea blu tratteggiata, minimi e massimi banda azzurra), ad eccezione della stazione di Trivero che nella seconda parte dell'anno ha presentato concentrazioni dell'inquinante più alte, come è emerso anche dal dato di media annuale.

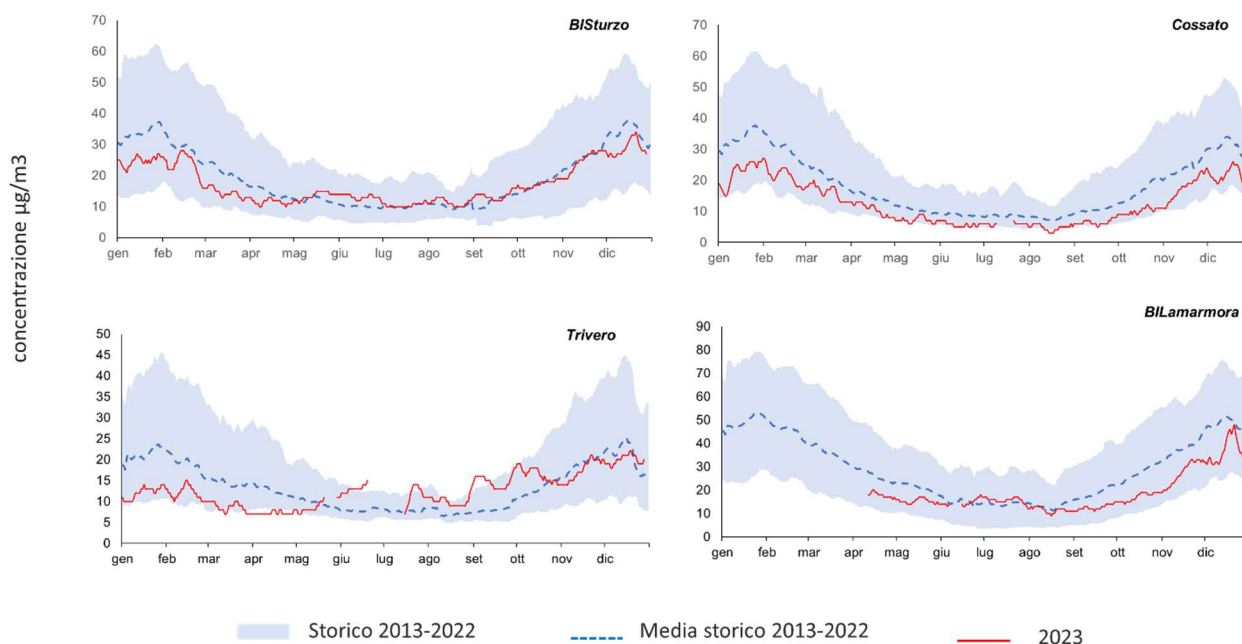


Figura 93 – NO₂ Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

Siccome per gli ossidi di azoto si dispone delle concentrazioni medie orarie, per le stazioni sotto riportate sono state calcolate le “settimane medie” su base oraria dell’anno 2023, considerando i dati del trimestre invernale (dicembre, gennaio, febbraio – linea continua) e del trimestre estivo (giugno, luglio, agosto – linea tratteggiata) e mediando i dati rilevati alla stessa ora di ciascun giorno. In tal modo è possibile individuare eventuali variazioni ricorrenti delle concentrazioni in particolari ore dei diversi giorni della settimana.

Il confronto degli andamenti del NO₂ nei diversi giorni della settimana (Figura 94), rilevati nella stazione di fondo urbana di Biella - Sturzo (linea grigia) e di fondo suburbana di Trivero-Ronco (linea arancione), evidenziano le differenze di concentrazione dell’inquinante nei due differenti periodi meteorologici.

Come prevedibile, la differenza stagionale è evidente in entrambe le stazioni: in inverno i valori medi sono più elevati rispetto a quelli estivi, i picchi mattutini e serali presentano l’andamento tipico ricorrente condizionato dalle attività antropiche e risulta evidente la riduzione di concentrazione il sabato e la domenica, in particolare al mattino, in entrambi i siti. Nel trimestre estivo le differenze tra i due sito sembrano attenuarsi.

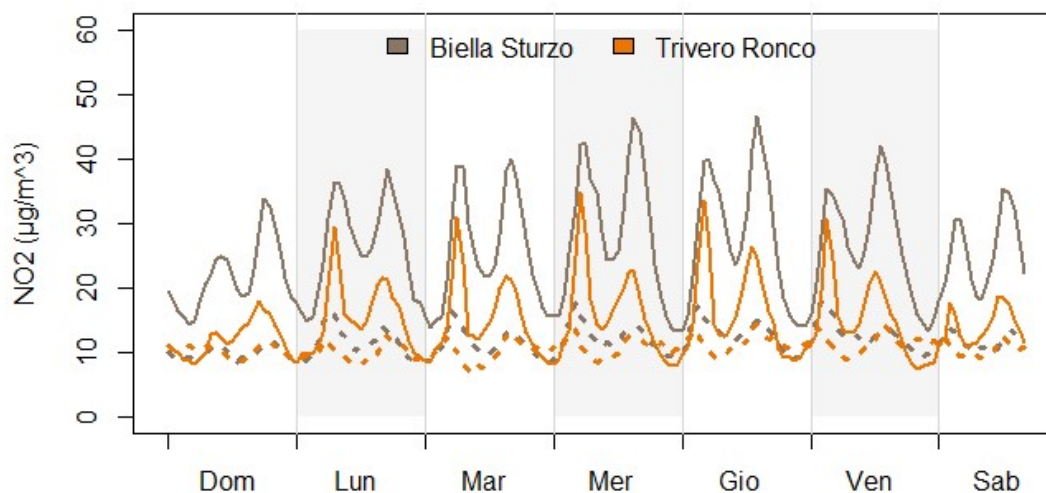


Figura 94 - NO₂ Provincia di Biella: settimane tipo stazioni di Biella Sturzo e Trivero Ronco

6.4.5 Ozono (O₃)

L'inquinante ozono nella provincia di Biella è misurato presso le stazioni di fondo di Biella - Sturzo, Cossato e Trivero.

In Figura 95 è riportato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana (120 µg/m³), da non superarsi per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni, rilevati dal 2005 al 2023 (il dato attribuito al 2023 è relativo al triennio 2021-2023).

Nelle stazioni della provincia di Biella, come già evidenziato a livello regionale, si conferma il persistere della criticità legata a questo inquinante; il valore obiettivo nel 2023 viene disatteso in tutte le stazioni, evidenziano, però, un miglioramento per la stazione di Biella-Sturzo dove i superamenti sono diminuiti, passando da 37 a 26. Mentre per la stazione di Cossato-Pace si evidenzia una forte riduzione del numero di superamenti orari della soglia di informazione alla popolazione (180 µg/m³), rispetto al 2022, passando da 21 a 1 (paragrafo 5.4.2).

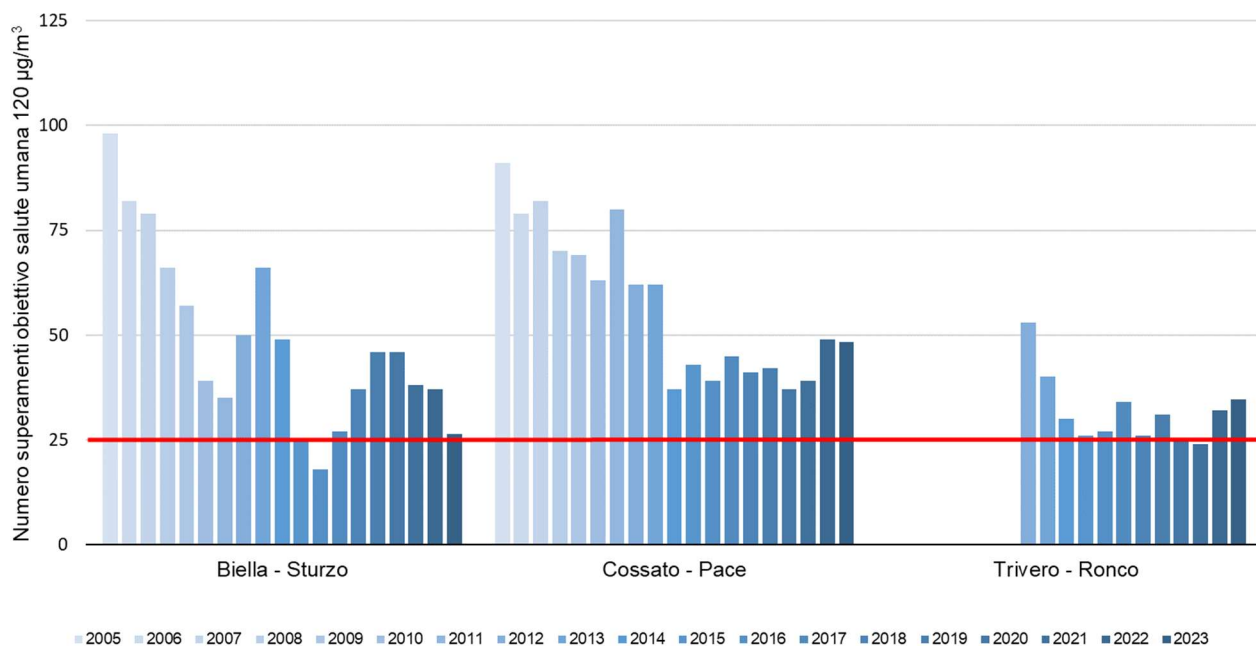


Figura 95 - O₃: numero superamenti obiettivo salute umana

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 96 nel 2023 (linea rossa) si evidenziano alcuni periodi di scostamento rispetto alla media del riferimento storico 2013-2022, per tutte le stazioni della rete, in particolare nel periodo estivo. Il 2023 è stato caratterizzato da diversi eventi rilevanti dal punto di vista pluviometrico, anemometrico e termometrico. In particolare, in estate intense ondate di calore si sono alternate a temporali e precipitazioni rilevanti, con diffusi fenomeni di ventilazione che hanno interessato tutta la regione.

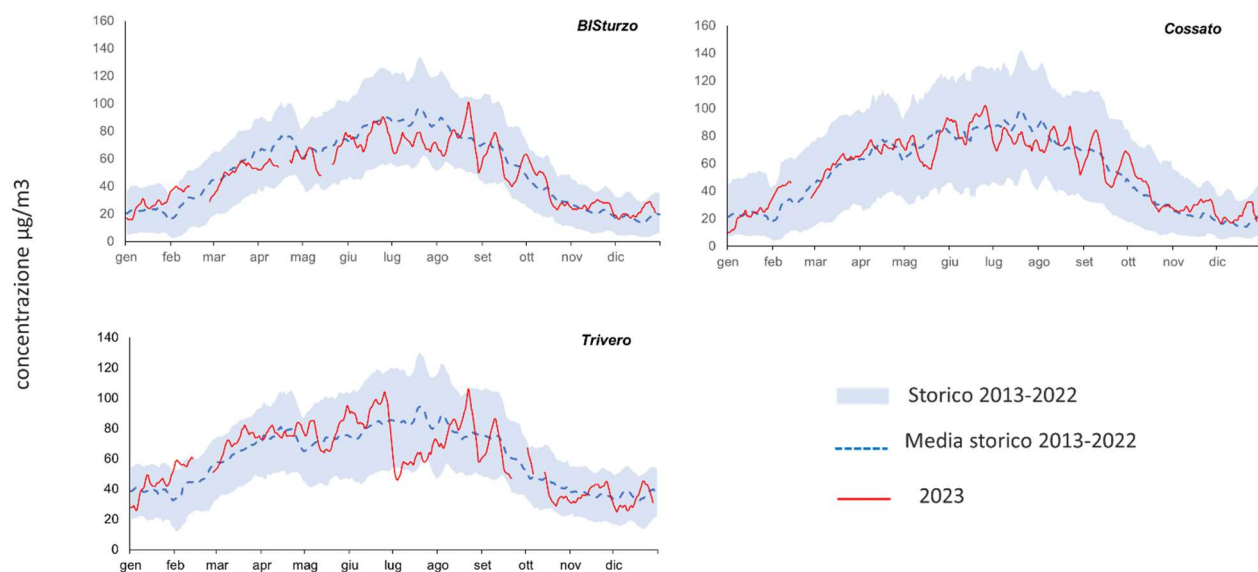


Figura 96: O₃ Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.5 Provincia di Cuneo

In provincia di Cuneo sono presenti sette stazioni della rete regionale di monitoraggio dell'aria. Due sono collocate in ambito rurale (Revello – Staffarda e Saliceto – Moizo), cinque nei centri abitati di Cuneo, Alba, Bra, Cavallermaggiore e Mondovì. La stazione di Cavallermaggiore è stata attivata nel 2021, secondo quanto previsto dall'ultimo Programma di valutazione della qualità dell'aria ambiente (D.G.R. 30 dicembre 2019, n. 24-903).

La distribuzione delle stazioni sul territorio provinciale è raffigurata nella Figura 97.

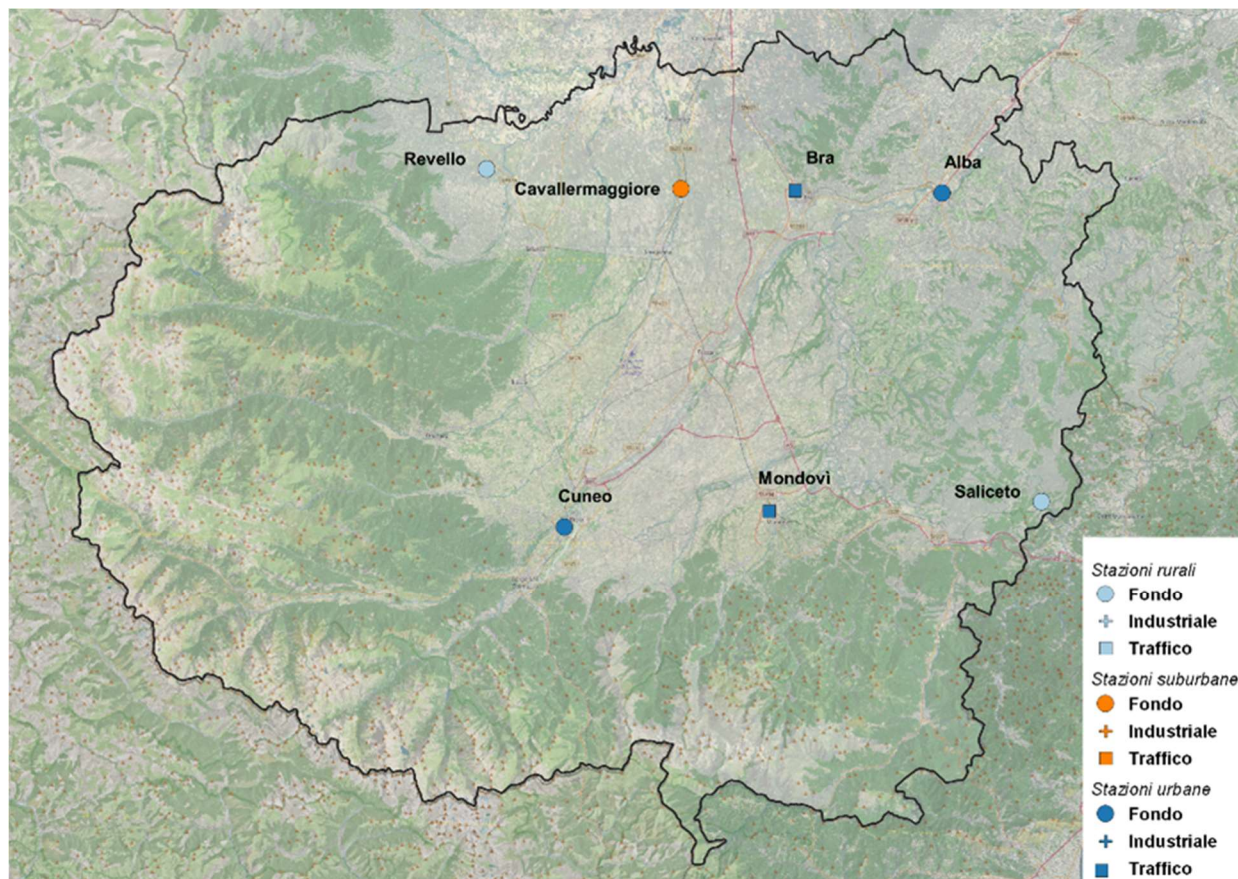


Figura 97: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Cuneo.

6.5.1 Particolato sospeso: PM10

Relativamente alle polveri sottili (PM10), la situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici della Figura 98 e della Figura 99, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed il numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

Come si può osservare, nonostante le oscillazioni dovute principalmente alle differenze meteorologiche tra i diversi anni, la situazione dell'inquinamento da polveri sottili è complessivamente migliorata nel tempo ed il limite sulla media annua, a partire dal 2013, è costantemente rispettato su tutto il territorio della provincia.

Nell'inverno e autunno 2023, nonostante le condizioni meteorologiche di tali periodi favoriscano naturalmente l'accumulo degli inquinanti, i numerosi episodi di vento, uniti alle precipitazioni, che si sono verificati hanno determinato una frequente diluizione delle polveri, contribuendo a contenere il numero dei superamenti del limite giornaliero.

La stazione di Cavallermaggiore, per la sua posizione nella zona di pianura a nord della provincia, maggiormente risente dell'inquinamento che accomuna il bacino padano, tuttavia, anch'essa nel 2023 per la prima volta è scesa sotto i 35 superamenti consentiti (18 nel 2023), pertanto il limite normativo è stato ampiamente rispettato in tutte le stazioni della provincia.

I trend di riduzione delle concentrazioni per ciascuna stazione attiva da un numero significativo di anni sono quantificati nel paragrafo 5.1.

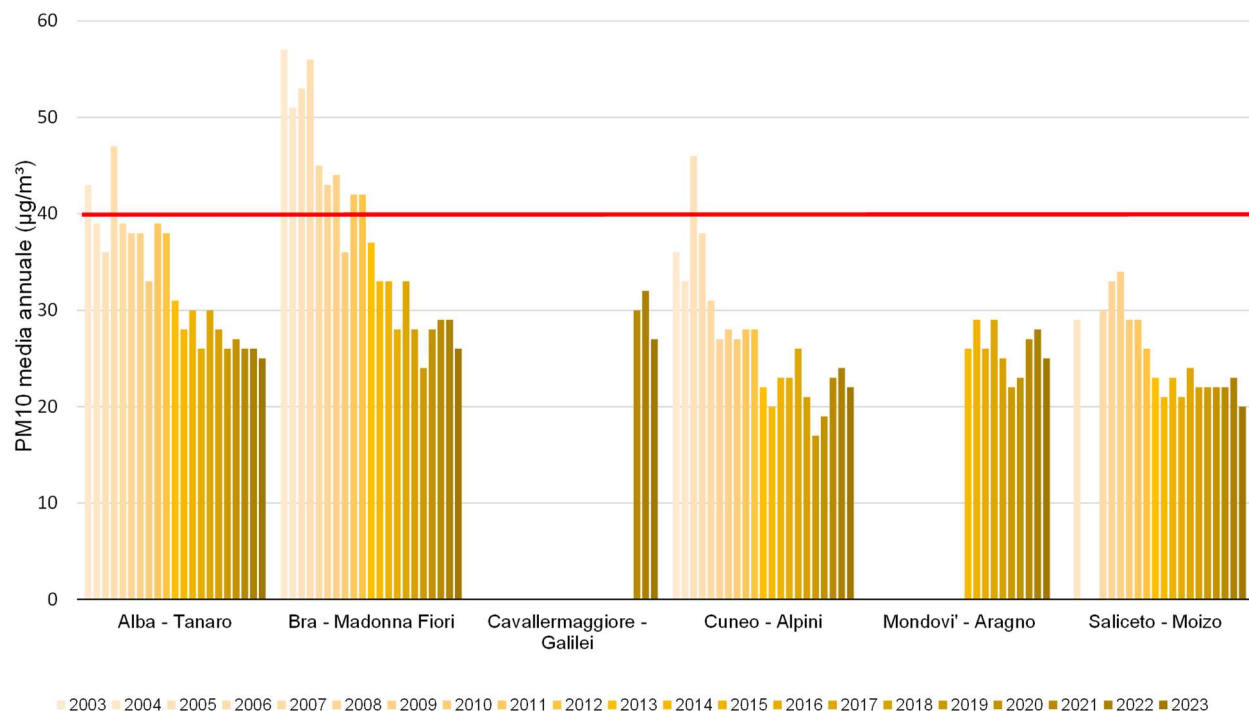


Figura 98: PM10 Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

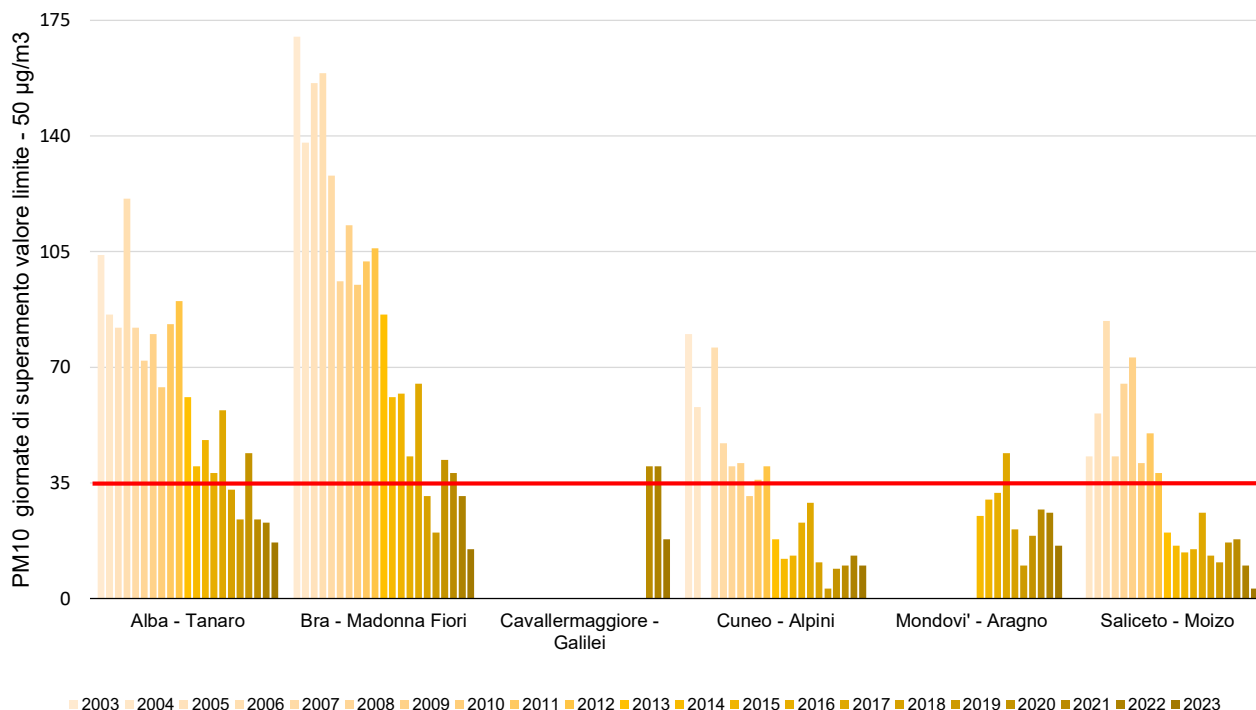


Figura 99: PM10 Provincia di Cuneo: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni giornaliere delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre del 2023 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici della Figura 100. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni.

In ognuno di questi grafici le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia del grafico) e medi (linea grigio scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione negli anni disponibili all'interno del periodo di riferimento (2013-2022).

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale dell'inquinante, ovvero come le concentrazioni generalmente diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno, quando la capacità dispersiva dell'atmosfera è limitata, ai mesi estivi per crescere nuovamente nell'autunno. Si evidenzia inoltre come i periodi freddi del 2023 non abbiano riscontrato criticità particolari rispetto alle serie storiche, anzi come anche i picchi di concentrazione siano stati per lo più contenuti.

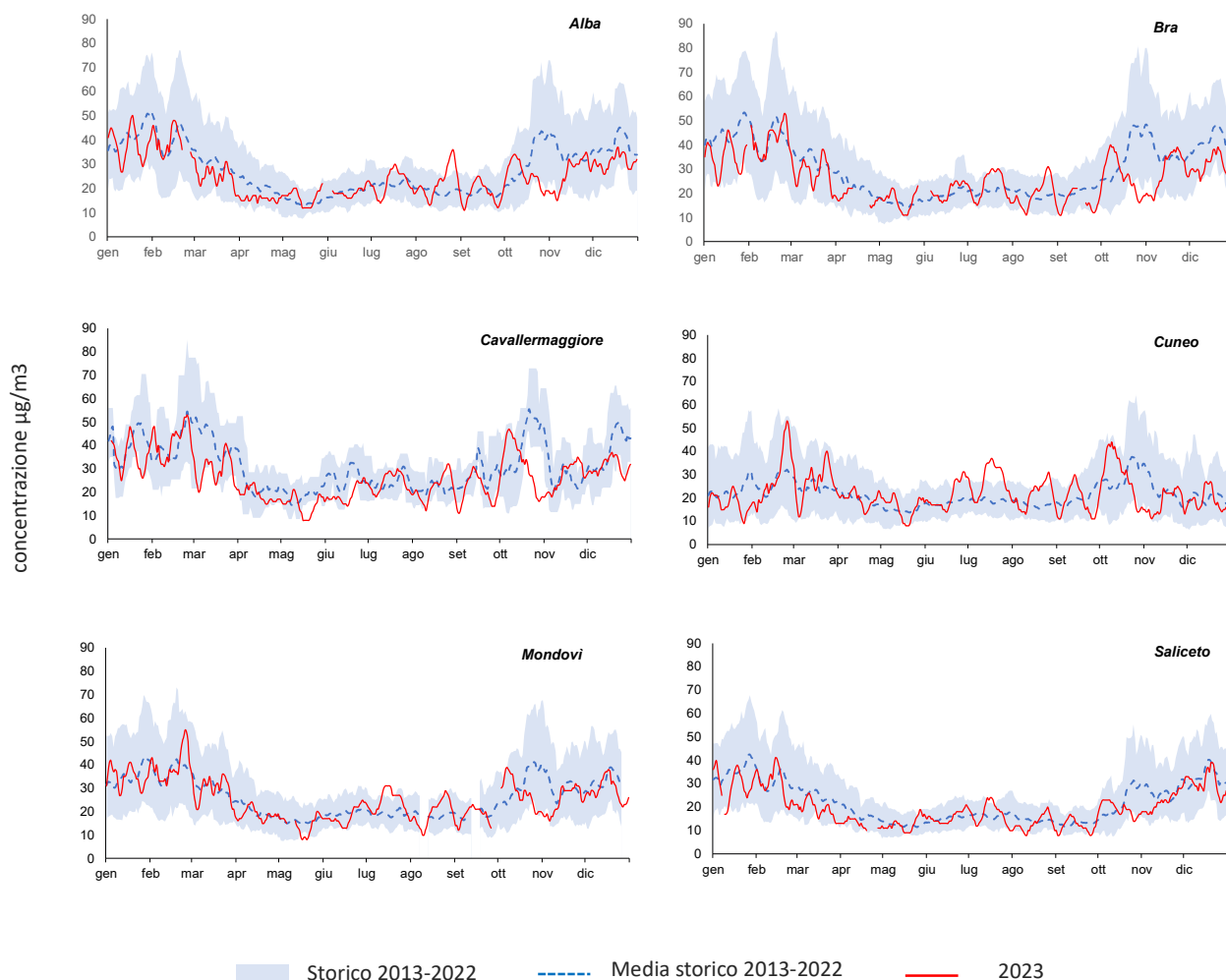


Figura 100: PM10 Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Oltre all'andamento stagionale, le oscillazioni che le concentrazioni delle polveri sottili presentano nel corso dell'anno sono dovute all'avvicinarsi di condizioni meteorologiche differenti: massimi di concentrazione generalmente corrispondenti a periodi di alta pressione persistente che determinano accumulo dell'inquinanti e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione quali precipitazioni e vento. Il grafico della Figura 101 illustra, giorno per giorno, l'intervallo delle concentrazioni misurate dall'insieme delle stazioni della provincia di Cuneo in tutto l'anno 2023; sono inoltre indicati con le bande gialle verticali i giorni con condizioni meteorologiche di accumulo³⁹ e con istogrammi blu i valori di precipitazioni cumulate misurate dalla stazione meteo di Fossano, scelta perché in posizione centrale nella provincia. Si può osservare come, anche nella provincia di Cuneo, i superamenti del

³⁹ Sono individuate come giornate favorevoli all'accumulo sul territorio regionale quelle in cui l'Indice Giorni Critici dell'agglomerato torinese è pari a 1, contemporaneamente la velocità mediana del vento misurato dalle stazioni meteo al di sotto dei 600 m di quota è inferiore o uguale a 1.8 m/s e non ci sono state precipitazioni $\geq 5\text{mm}$ negli ultimi 3 giorni.

limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siano stati per lo più registrati all'interno dei periodi di accumulo regionale individuati che, nel 2023 sono stati interrotti e limitati da frequenti episodi di vento. Si evidenziano inoltre episodi con concentrazioni in rialzo anche nel periodo estivo, in particolare con picchi centrati intorno al 22 giugno, 12 luglio e 24 agosto, corrispondenti a giornate con elevato contributo crostale alla frazione PM₁₀, riconducibile a fenomeni di trasporto di polveri sahariane. Tali polveri desertiche, nella giornata del 12 luglio, hanno contribuito in modo sostanziale a determinare il superamento del limite giornaliero del PM₁₀ presso la stazione di Cuneo-Alpini.

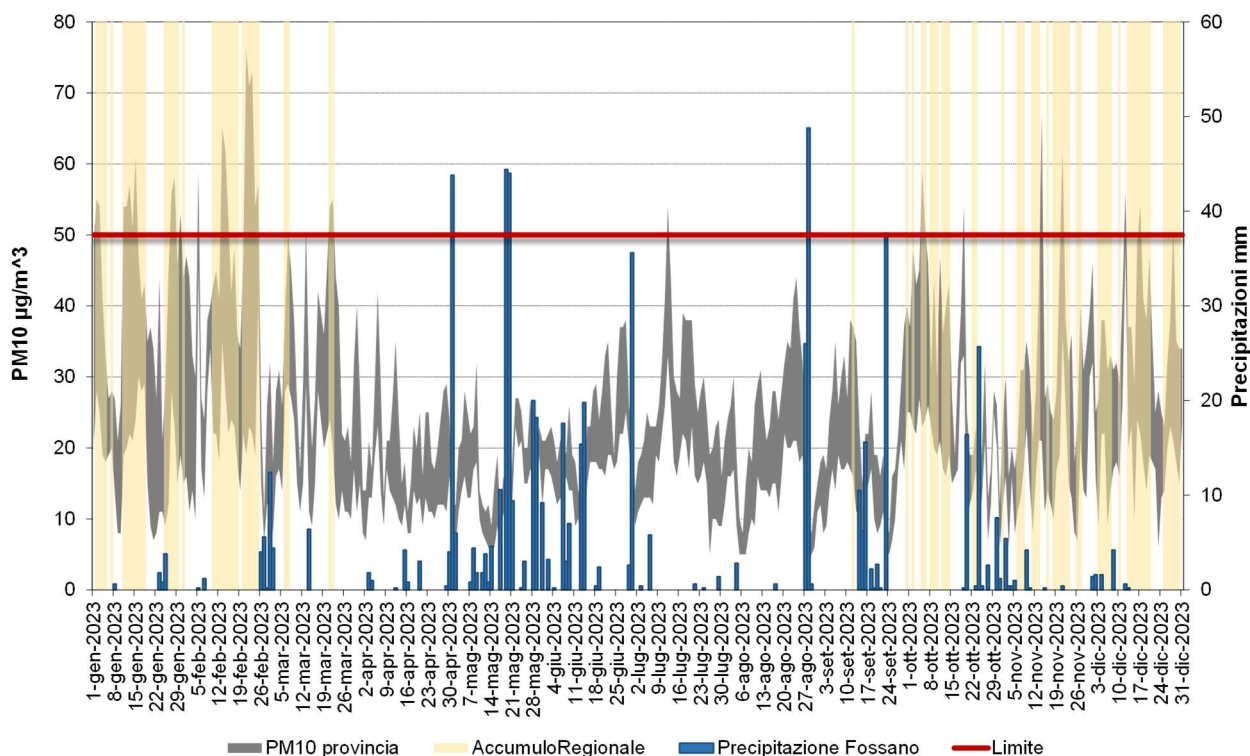


Figura 101: PM₁₀ Provincia di Cuneo: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2023; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Fossano; indicatore di accumulo regionale.

6.5.2 Benzo(a)pirene nel PM₁₀

La determinazione del B(a)P presente nel particolato è costantemente eseguita, su base mensile, per le stazioni della rete fissa della qualità dell'aria dove il campionamento del PM₁₀ viene effettuato. Il confronto con il limite normativo riportato nel paragrafo 5.5 di analisi a scala regionale evidenzia come nel 2023 il limite sia stato rispettato in tutte le stazioni provinciali. La stazione di Saliceto, che in passato ha registrato superamenti, tra le stazioni rurali regionali è quella che presenta la maggior concentrazione di B(a)P.

Il dettaglio delle concentrazioni medie mensili registrate nel 2023 in ciascuna stazione della provincia è riportato nel grafico di sinistra della Figura 102, mentre in quello di destra sono rappresentati i valori mensili relativi alla percentuale in cui esso è presente nel PM₁₀.

Analogamente ad altri inquinanti, come il materiale particolato e gli ossidi di azoto, le concentrazioni più elevate di benzo(a)pirene si registrano generalmente nel periodo invernale, che è il più critico per gli inquinanti a causa della scarsa capacità dispersiva dell'atmosfera e dei frequenti fenomeni di accumulo. Tuttavia, il rapporto tra le concentrazioni invernali ed estive del benzo(a)pirene è molto più elevato del rapporto tra le concentrazioni invernali ed estive degli altri inquinanti misurati, e ciò è indice dell'influenza di una sorgente specifica di tale inquinante che si attiva nei mesi freddi. Inoltre,

il contenuto percentuale di B(a)P raggiunge il minimo nei mesi estivi, con valori analoghi per i diversi siti, a causa dell'azione di degradazione svolta dalla radiazione solare.

Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato non solo in termini di concentrazioni assolute ma altresì per il contenuto di microinquinanti organici. Anche per il 2023 il contenuto percentuale di benzo(a)pirene è particolarmente elevato nel sito rurale di Saliceto, con valori anche doppi rispetto alle altre stazioni. Ciò è sicuramente da attribuire al contributo delle emissioni derivanti dalla combustione locale della legna nel riscaldamento domestico, sorgente che si incrementa al diminuire delle temperature esterne.

Valori intermedi e senza differenze significative si evidenziano per le stazioni urbane e suburbane presenti in Alba, Bra, Cavallermaggiore e Mondovì, mentre i valori della stazione di Cuneo si confermano come i più bassi della rete provinciale.

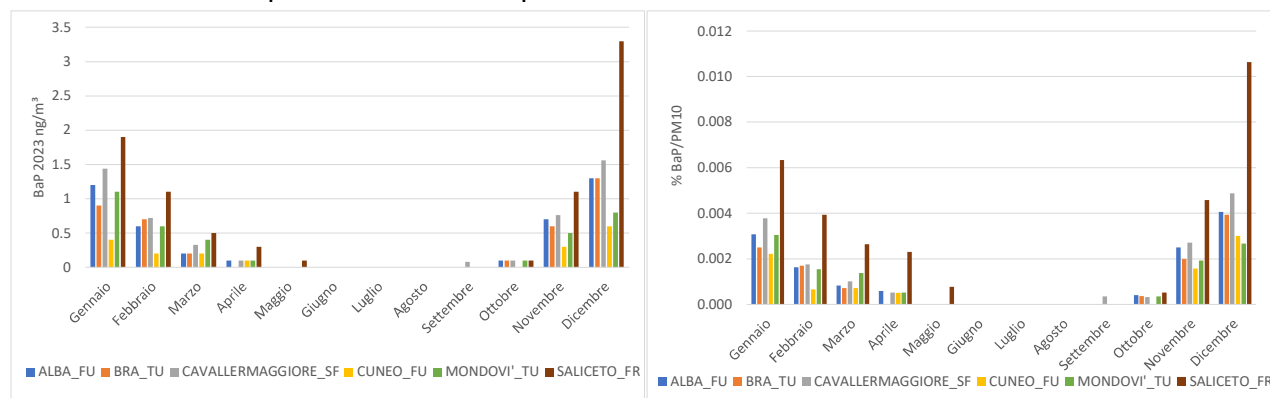


Figura 102: Benzo(a)pirene Provincia di Cuneo: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di B(a)P nel PM10 anno 2023.

6.5.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nei siti urbani il particolato, soprattutto in inverno, è costituito per la maggior parte dalla frazione più fine che contiene maggiormente contributi secondari di origine antropica come le particelle carboniose (carbonio organico e carbonio elementare), sali inorganici (nitrato e solfato di ammonio), IPA e metalli pesanti.

Nella provincia di Cuneo la misura della frazione di particolato con diametro inferiore a $2.5\ \mu\text{m}$ è iniziata nel 2011 presso la stazione di Cuneo. Nel 2014 è stata implementata presso la stazione di Mondovì, nel 2019 in quella di Bra e nel 2021 presso la nuova stazione di Cavallermaggiore.

La situazione riscontrata anno per anno da queste stazioni della rete provinciale è rappresentata nell'istogramma di Figura 103, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2023 per le annualità disponibili. La media dell'ultimo anno per la stazione di Bra non è riportata in quanto, per problemi tecnici, i dati disponibili sono stati inferiori alla percentuale annua richiesta del 85%.

Il limite normativo è rispettato su tutto il territorio provinciale. Come per il PM10, anche per la frazione PM2.5 le concentrazioni maggiori della provincia sono ancora state rilevate presso la stazione di Cavallermaggiore sebbene con il 2023 abbiano avuto una notevole riduzione anche in questo sito, la media annua si è infatti ridotta da 22 a $18\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

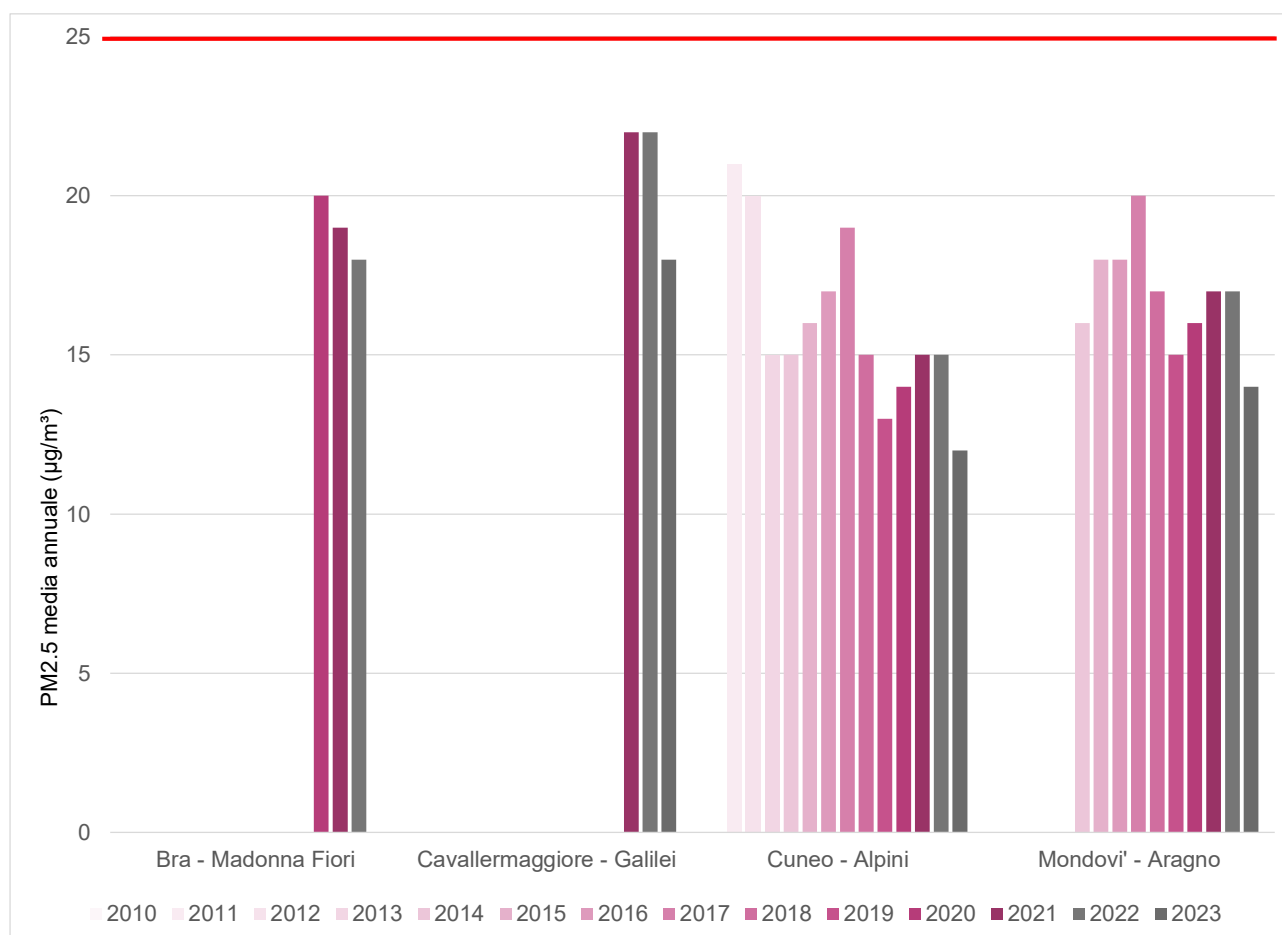


Figura 103: PM2.5 Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

6.5.4 Biossido di azoto (NO₂)

Le concentrazioni medie annue di biossido di azoto rilevate in tutte le stazioni della rete provinciale attive nel 2023 sono riportate, nel grafico di Figura 104, insieme a quelle degli anni precedenti e confrontate con il limite normativo di 40 µg/m³.

Anche per questo inquinante che, insieme al PM10 risulta tra i più critici del periodo invernale e per il quale sono ancora rilevati superamenti sia nel bacino padano che in altri paesi europei, il grafico evidenzia la tendenza alla riduzione nel tempo delle concentrazioni, quantificata per ciascuna stazione nel paragrafo 5.3.

A differenza delle polveri sottili, gli ossidi di azoto sono inquinanti più locali, in quanto, a causa della loro breve vita media, i processi di trasporto che subiscono sono limitati alla scala spaziale locale. Le concentrazioni registrate nelle singole stazioni sono pertanto fortemente condizionate dalle eventuali sorgenti presenti in prossimità e, come prevedibile, essendo gli ossidi di azoto emessi principalmente dal traffico veicolare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni urbane.

Tra le stazioni della provincia di Cuneo, nonostante la progressiva riduzione che si è verificata negli anni, anche nel 2023, i valori più elevati permangono quelli registrati da quella di Mondovì - Aragno, che risulta fortemente condizionata dalla prossimità alla strada statale 28 e dalle emissioni del traffico veicolare, anche pesante, che vi transita. In tale stazione, le restrizioni introdotte nel 2020 per contenere l'emergenza da COVID-19 avevano determinato le maggiori variazioni nelle concentrazioni di NO₂, ma la media annua era tornata nel 2021 al livello del 2019 e, ancora nel 2023, non ha raggiunto quel minimo storico. La media annua è ancora di poco superiore a 20 µg/m³ anche nella stazione di traffico di Bra Madonna dei Fiori. Mentre è scesa al valore di 18 µg/m³ in tutte e tre le stazioni di fondo: Cuneo, Alba e Cavallermaggiore.

Il limite normativo di 40 µg/m³ è ampiamente rispettato in tutti i siti.

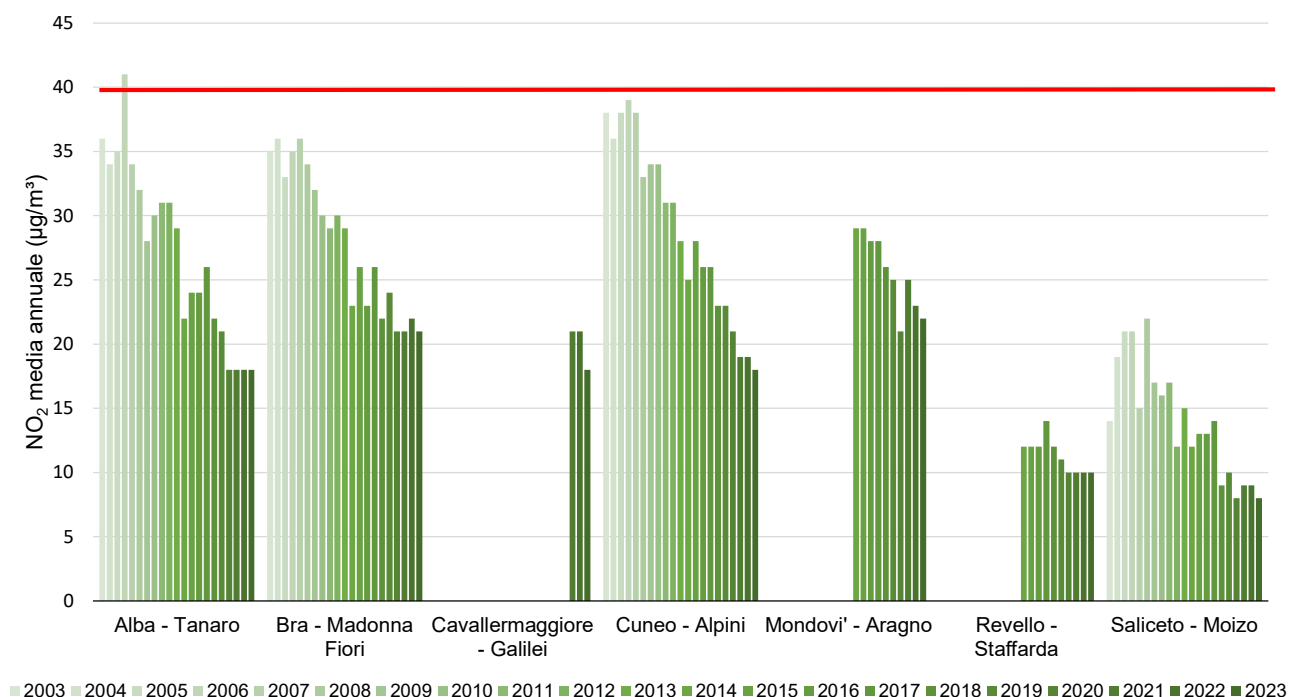


Figura 104: NO₂ Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

Analogamente al PM₁₀, le serie temporali delle concentrazioni giornaliere del biossido di azoto misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre del 2023 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 105 come medie mobili calcolate su sette giorni. Le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra del grafico) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione negli anni disponibili all'interno del periodo di riferimento (2013-2022).

Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale con concentrazioni maggiori nel periodo invernale e inferiori nel periodo primaverile estivo.

Per la maggior parte delle stazioni i valori nel 2023 si sono per lo più mantenuti al di sotto del valore medio del periodo di riferimento.

I dati della stazione di Revello presentano in tutti gli anni, in modo anomalo rispetto alle altre stazioni, un aumento delle concentrazioni di NO₂ anche nei mesi estivi, verosimilmente riconducibile alle emissioni dei motori utilizzati per estrarre l'acqua dai pozzi irrigui nei dintorni della centralina dove è praticata la coltura del mais.

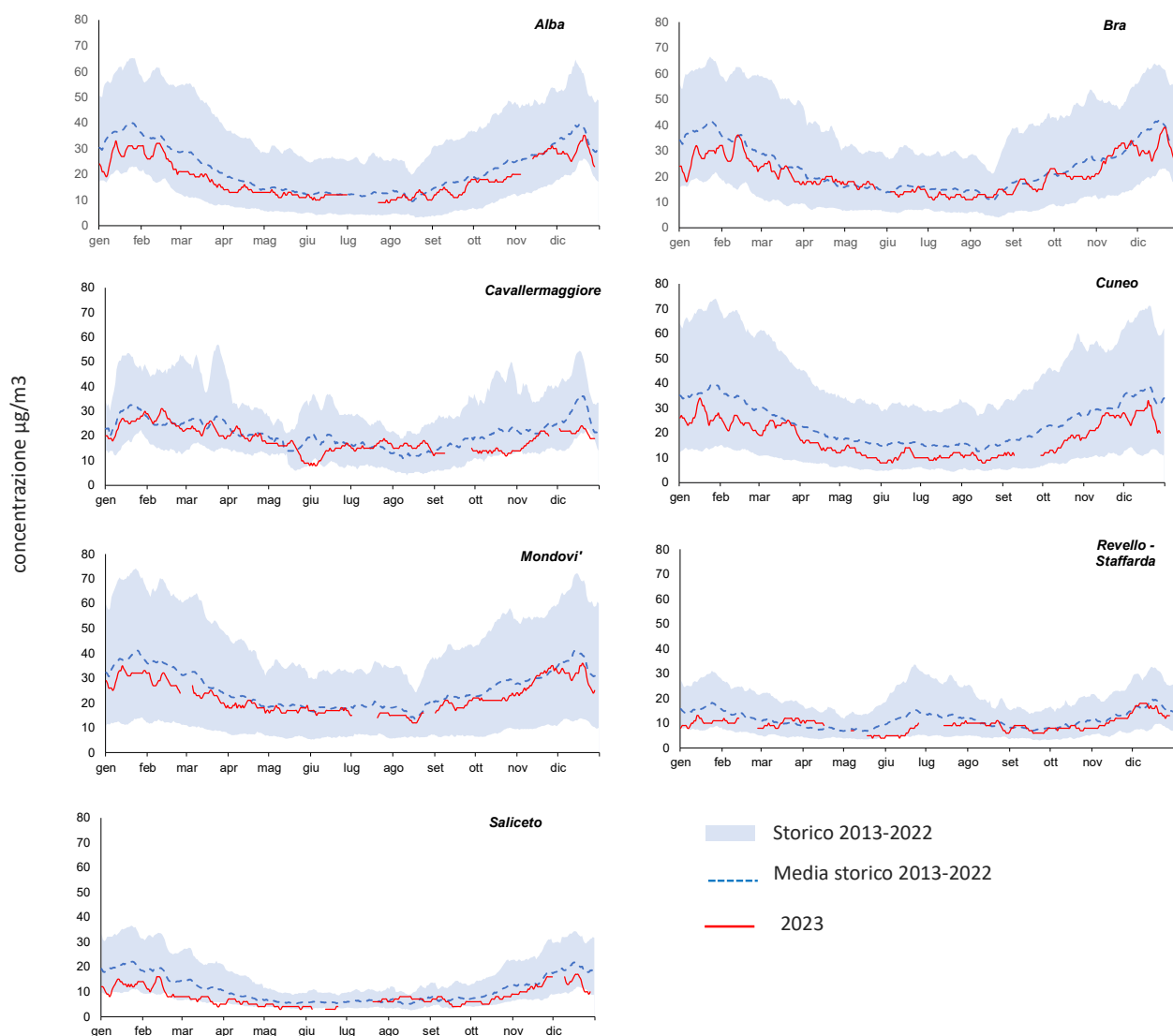


Figura 105: NO₂ Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 e del 2020 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Siccome per gli ossidi di azoto si dispone delle concentrazioni medie orarie, per le stazioni urbane sono state calcolate le “settimane medie” su base oraria dell’anno 2023, considerando i dati del trimestre invernale (dicembre, gennaio, febbraio – linea continua) e del trimestre estivo (giugno, luglio, agosto – linea tratteggiata) e mediando i dati rilevati alla stessa ora di ciascun giorno. In tal modo è possibile individuare eventuali variazioni ricorrenti delle concentrazioni in particolari ore dei diversi giorni della settimana.

Le stazioni sono state suddivise in due grafici, riportati in Figura 106, separando le due della zona sud da quelle della zona nord della provincia. Per ciascuna stazione, oltre alle differenze tra i trimestri freddi e quelli caldi, sono ben visibili le modulazioni orarie delle concentrazioni legate direttamente alle attività antropiche, con picchi evidenti coincidenti con le ore di punta del traffico, e la riduzione delle concentrazioni nelle domeniche. Tra le due zone, in particolare per il trimestre invernale, emergono differenze: nella zona nord i minimi notturni rimangono a valori più elevati (verosimilmente a causa delle maggiori condizioni di accumulo) mentre i valori centrali della giornata scendono a valori prossimi al minimo notturno.

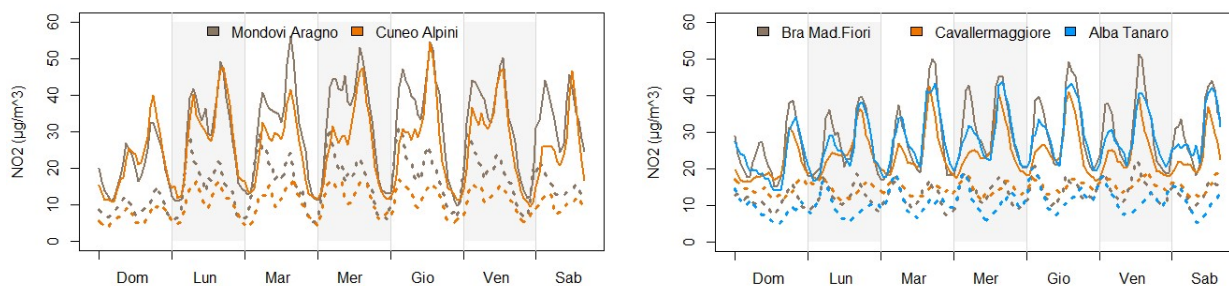


Figura 106: NO₂ Provincia di Cuneo: settimane medie delle stazioni dei centri abitati della zona sud (a sinistra) e della zona nord (a destra). Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.5.5 Ozono (O₃)

L'inquinante viene misurato presso le stazioni di fondo urbano di Alba e Cuneo, ed in quelle di fondo rurale di Revello e Saliceto.

L'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana, che dovrebbero essere inferiori a 25 volte per anno civile come media su 3, è illustrato nei grafici della Figura 107 per gli anni dal 2005 al 2023 (il dato attribuito al 2023 è relativo al triennio 2021-2023). Il numero medio dei giorni di superamento dell'ultimo triennio è nuovamente risultato superiore alla soglia prevista in tutte le stazioni della provincia. Anche per questo inquinante è evidente come, per le stazioni dove la misura è iniziata nel 2003, si sia verificato un miglioramento nel tempo (quantificato nel corrispondente paragrafo della sezione regionale); è altresì evidente come la situazione si sia pressoché stabilizzata negli ultimi anni, mantenendo una variabilità interannuale dovuta alle condizioni meteorologiche.

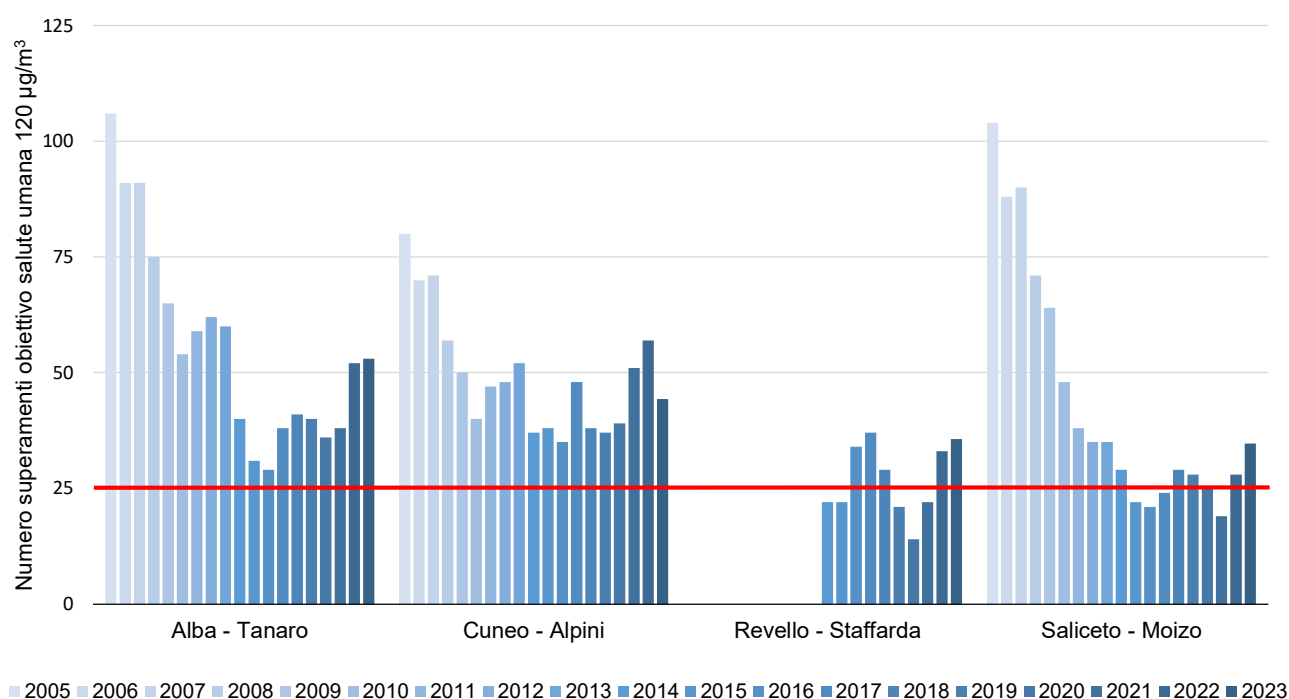


Figura 107: O₃ Provincia di Cuneo: numero superamenti obiettivo salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante del 2023, nei grafici di Figura 108 si evidenziano in tutte le stazioni alcuni periodi con concentrazioni elevate rispetto alla media degli anni di riferimento. I picchi con le concentrazioni più elevate rispetto alle medie di

riferimento sono stati riscontrati nella seconda metà di giugno, a metà agosto, intorno al 10 settembre, tra fine settembre e metà ottobre, e nella seconda metà di dicembre: con valori contenuti eppure anomali per il periodo. In tutti i casi si tratta di periodi caratterizzati da anomalie termiche positive e situazioni di favorevoli all'accumulo degli inquinanti.

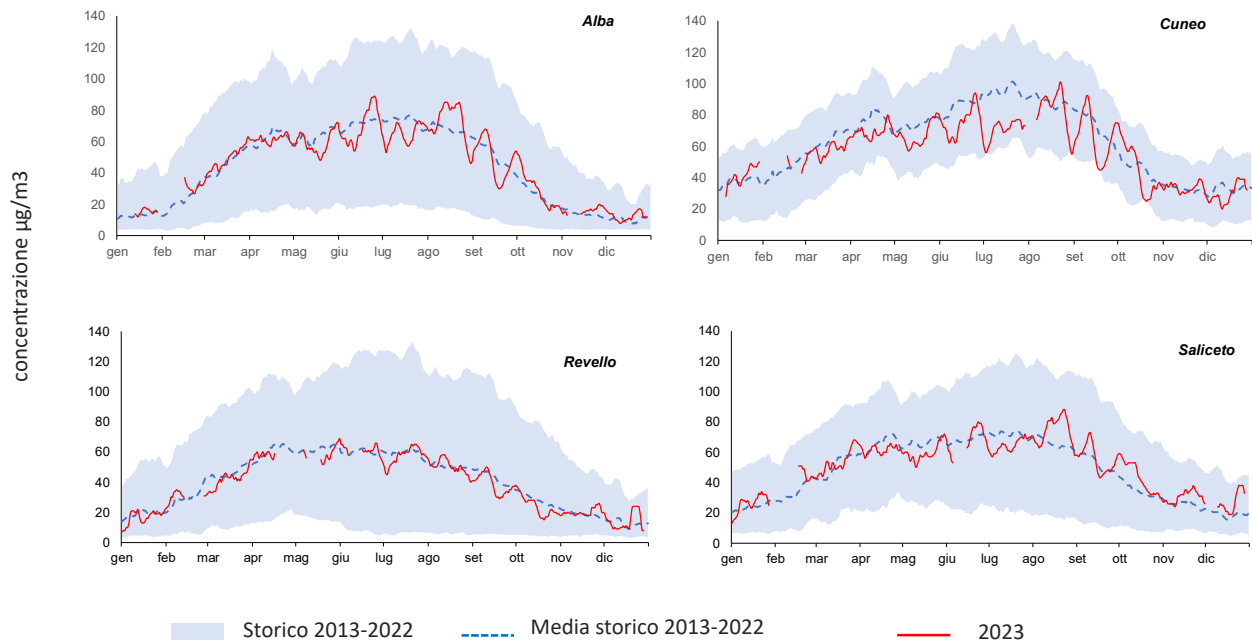


Figura 108: O₃ Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

6.6 Provincia di Novara

In provincia di Novara le stazioni della Rete Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria si trovano nel capoluogo di Provincia con la stazione di fondo Novara - Arpa e la stazione da traffico Novara - Roma, due stazioni in prossimità di un sito caratterizzato da importanti insediamenti industriali (Cerano e Trecate) e, più a nord, le stazioni di Borgomanero e Castelletto Ticino, così come raffigurato in Figura 109.

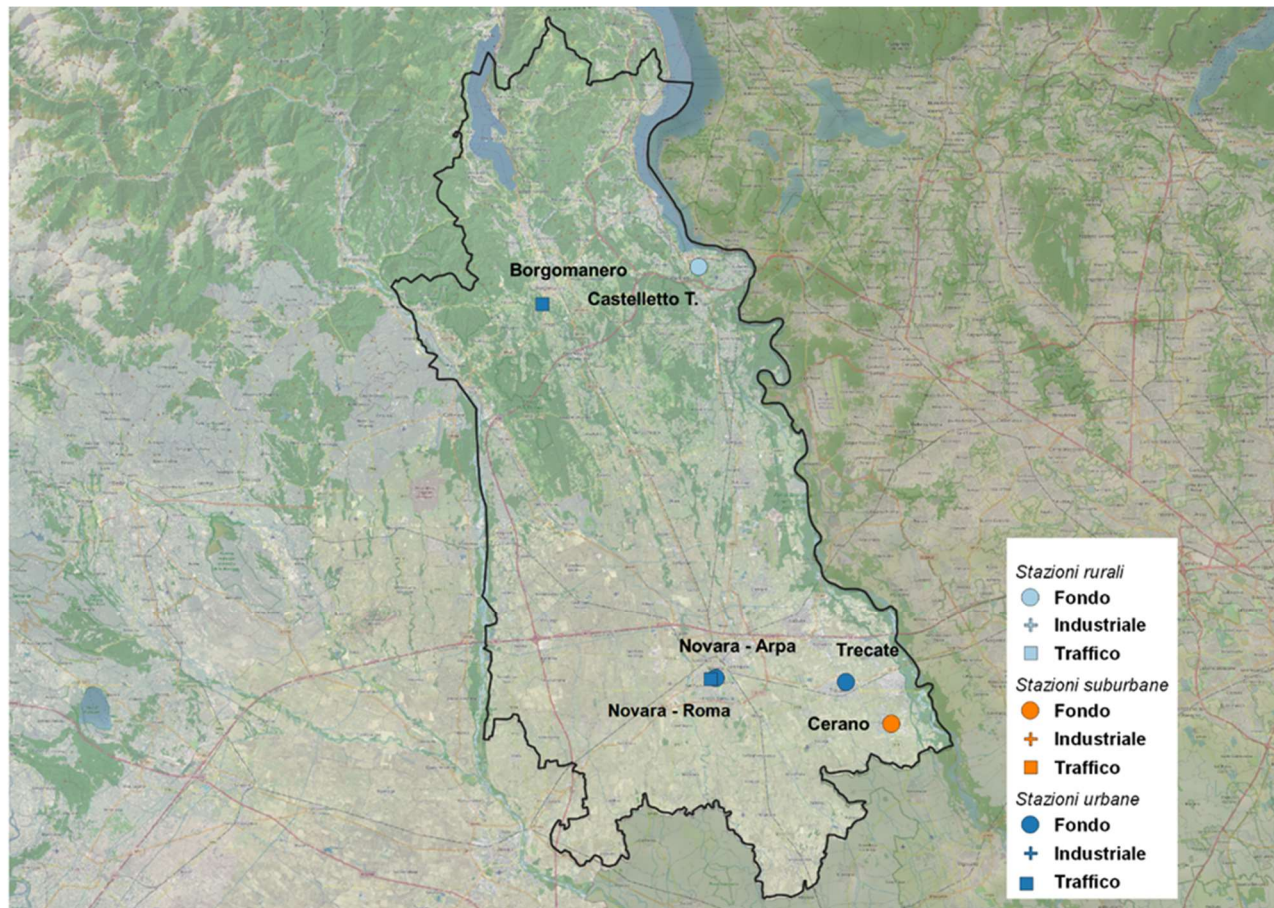


Figura 109: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Novara.

6.6.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici di Figura 110 e Figura 111, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed il numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrato presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2023 evidenziano valori medi annuali al di sotto del valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tutte le stazioni della rete ed un numero di superamenti del valore limite giornaliero rispettato (la stazione di Cerano ha registrato 21 superamenti del limite giornaliero rispetto ai 51 registrati nel 2022), evidenziando un miglioramento rispetto all'anno precedente e confermando la tendenza alla riduzione (paragrafo 5.1). La variabilità che in generale si registra per il parametro PM10 nei livelli degli ultimi anni è comunque anche imputabile alla variabilità meteorologica. L'anno 2023 ha presentato, nel periodo invernale e autunnale, condizioni meteorologiche sfavorevoli all'accumulo dell'inquinante, legate ad episodi di vento (marzo e novembre) e precipitazioni (ottobre e dicembre), oltre a una possibile riduzione delle emissioni derivanti dal riscaldamento domestico, favorita dalle temperature superiori alla media che hanno caratterizzato il periodo invernale.

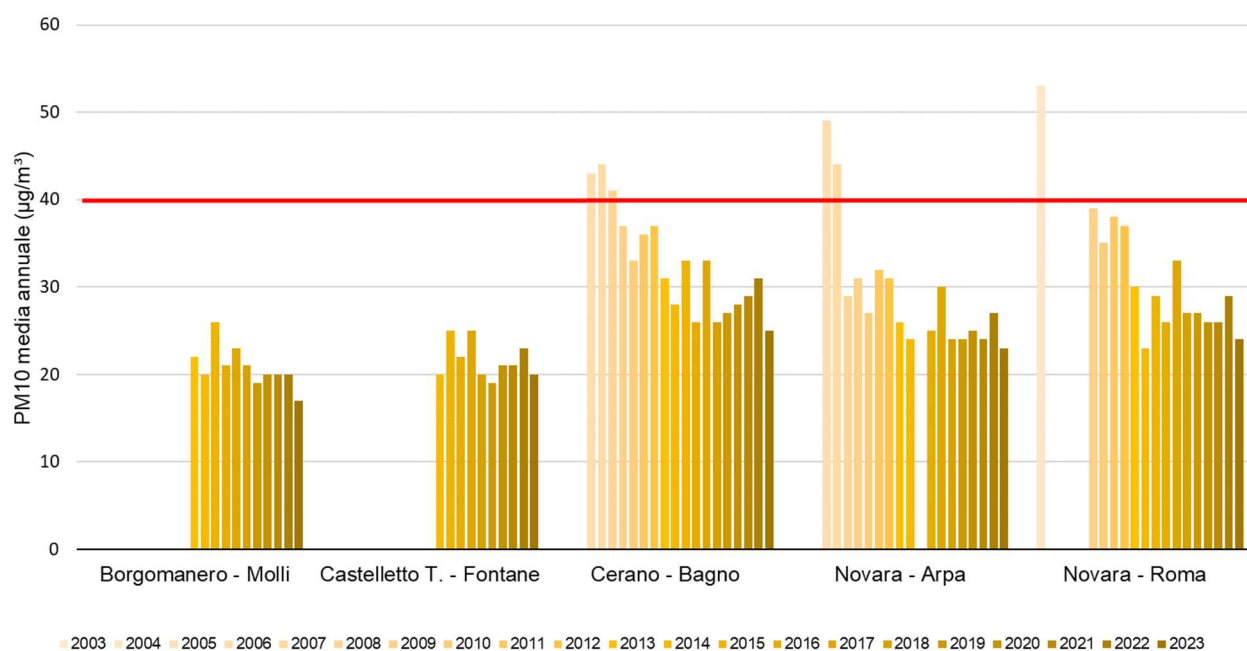


Figura 110 - PM10: confronto medie annue

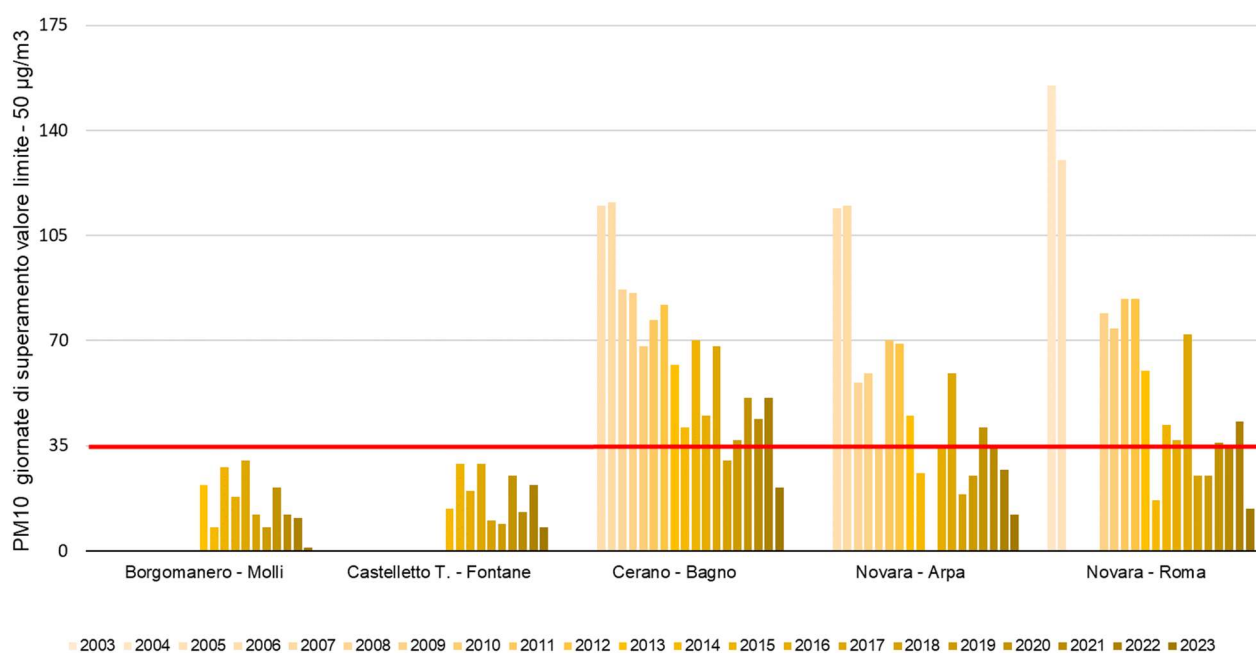


Figura 111 - PM10: numero di superamenti del limite giornaliero

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2023 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2022, sono riportate nella Figura 112. Per una migliore leggibilità dei grafici, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni giornaliere.

Nei grafici le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra) e medi (linea blu tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2022 preso come riferimento.

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero, come generalmente le concentrazioni diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno ai mesi estivi per ritornare a crescere nuovamente nell'autunno.

Dal confronto delle serie di concentrazioni misurate nell'ultimo anno (linea rossa) si delinea una flessione delle concentrazioni, in alcuni periodi particolarmente favorevoli alla dispersione, rispetto

alla media degli anni precedenti (linea blu tratteggiata), ma non si evincono scostamenti particolarmente significativi rispetto alle oscillazioni dei valori storici minimi/massimi (banda azzurra). Si evidenzia come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nella seconda metà di febbraio, marzo e agosto e nella prima metà di luglio e di ottobre, siano dovuti a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che hanno interessato il Piemonte. Mediamente nel corso dell'anno, nelle diverse zone della provincia, si sono verificati 29-30 episodi di trasporto di polveri desertiche di intensità variabile. Nel periodo autunnale si osserva invece la diminuzione delle concentrazioni di PM10, rispetto alla media storica, imputabile, come detto, alla meteorologia del periodo.

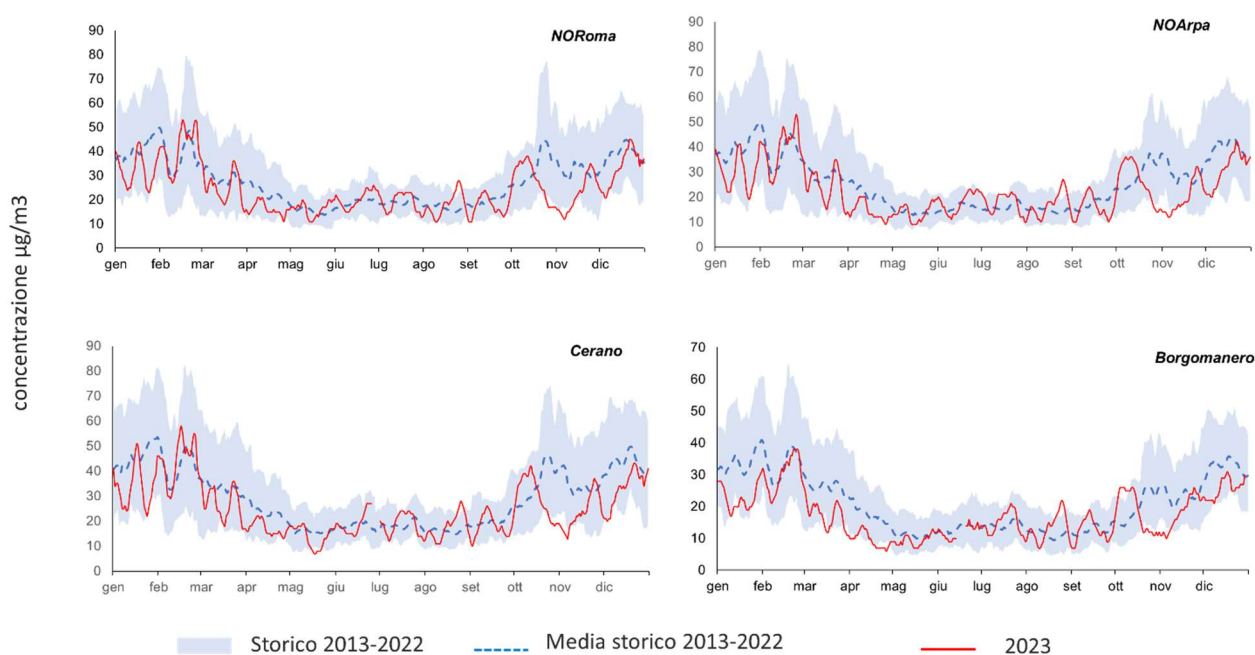


Figura 112 - PM10 Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Relativamente alle polveri sottili, si osserva come, oltre all'andamento stagionale delle concentrazioni, vi siano nel corso dell'anno importanti oscillazioni, dovute alle differenti condizioni meteorologiche: massimi di concentrazione corrispondenti, generalmente, a periodi di alta pressione persistente e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento).

L'influenza della meteorologia sulle concentrazioni di PM10 è esemplificata in Figura 113, dove sono rappresentati i giorni di accumulo a livello regionale⁴⁰, le precipitazioni giornaliere e il range di concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia nell'anno 2023 (banda grigia). Risulta evidente come le concentrazioni di questo inquinante presentino variazioni omogenee in tutte le centraline della provincia, proprio in ragione dei lunghi tempi di permanenza in atmosfera del particolato e l'influenza della meteorologia sulle variazioni. Durante le giornate caratterizzate da condizioni di accumulo le concentrazioni risultano alte e spesso sopra il limite giornaliero, mentre in corrispondenza delle precipitazioni i livelli si abbassano.

⁴⁰ Sono individuate come giornate favorevoli all'accumulo sul territorio regionale quelle in cui l'Indice Giorni Critici dell'agglomerato torinese è pari a 1, contemporaneamente la velocità mediana del vento misurato dalle stazioni meteo al di sotto dei 600m di quota è inferiore o uguale a 1.8 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

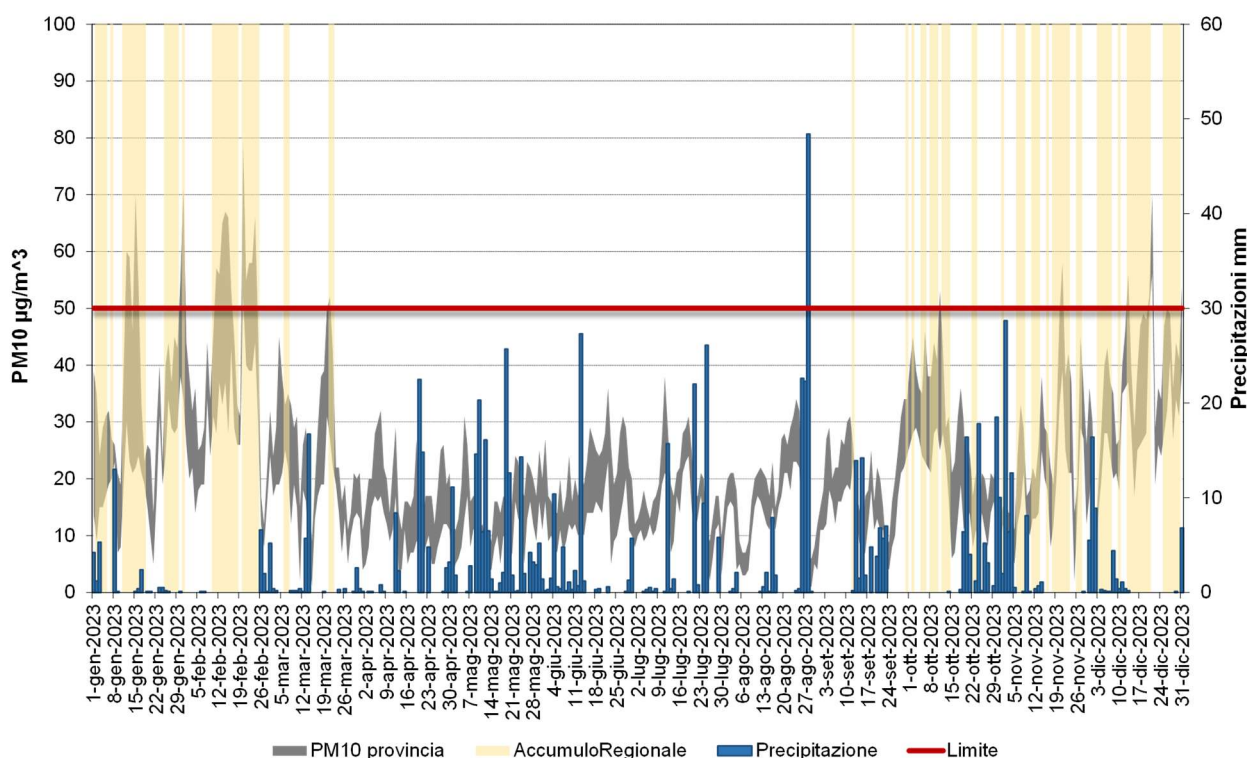


Figura 113 - PM10 Provincia di Novara: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2023; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Novara; indicatore di accumulo regionale.

6.6.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 114 sono rappresentate le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)pirene (quantificato sul PM10), registrate nelle stazioni della provincia ove è determinato, ed i valori della percentuale in cui è presente nel PM10 sempre su base mensile (per la stazione di Borgomanero il PM10 di riferimento è determinato con analizzatore automatico).

Analogamente agli inquinanti polveri sottili ed ossidi di azoto, anche i valori medi mensili di Benzo(a)pirene nel particolato presentano una variazione stagionale notevole: concentrazioni basse, uniformi e nettamente inferiori alla media annuale nei mesi caldi, generalmente da aprile a settembre, e concentrazioni maggiori nei mesi invernali.

Infatti, nei mesi più caldi l'elevata radiazione solare contribuisce alla degradazione degli IPA, mentre nei mesi freddi e autunnali si creano condizioni di inversione termica favorevoli all'accumulo degli inquinanti. In particolare, le polveri PM10 risultano arricchite di questi composti dovuti principalmente al contributo delle emissioni da combustione della legna per il riscaldamento domestico.

Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato non solo in termini di concentrazioni assolute ma anche di composizione in microinquinanti organici.

In tutti i punti di misura della provincia - Cerano, Novara - Arpa, Novara - Roma e Borgomanero - nell'anno 2023, analogamente agli anni precedenti, le concentrazioni di media annua di Benzo(a)pirene nel PM10 risultano ampiamente inferiori al valore obiettivo fissato dalla normativa a 1.0 ng/m^3 . Le concentrazioni rilevate sono comprese tra $0.2\text{-}0.3 \text{ ng/m}^3$ per le stazioni di Novara e Cerano e di 0.5 ng/m^3 per la stazione di Borgomanero, dove probabilmente è un po' più diffuso l'utilizzo della legna per il riscaldamento domestico, rispetto agli altri due siti.

Pertanto, non si evidenziano criticità, anche considerando l'andamento mensile del contributo percentuale di Benzo(a)pirene al PM10 (Figura 114). In generale, l'inquinante presenta un trend (statisticamente significativo) in diminuzione in tutte le stazioni della rete (paragrafo 5.5).

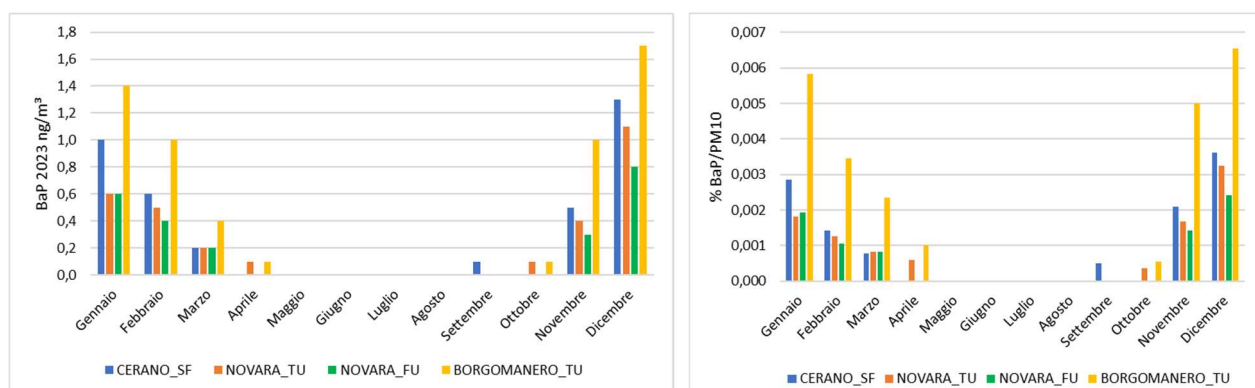


Figura 114: Benzo(a)pirene concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2023

6.6.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 115, si osservano, le concentrazioni medie delle polveri PM2.5, rilevate negli anni presso le due stazioni della rete provinciale a partire dal 2010 dove disponibili.

Solo nell'anno 2011 la stazione di Novara - Arpa, classificata di fondo urbano, presenta un valore superiore al limite normativo, mentre la stazione di Borgomanero, classificata da traffico, presenta valori sempre inferiori al valore limite. Nel 2023 si è registrato, in entrambe le stazioni, un decremento nelle concentrazioni medie annue rispetto al 2022, in linea con quanto osservato per il PM10.

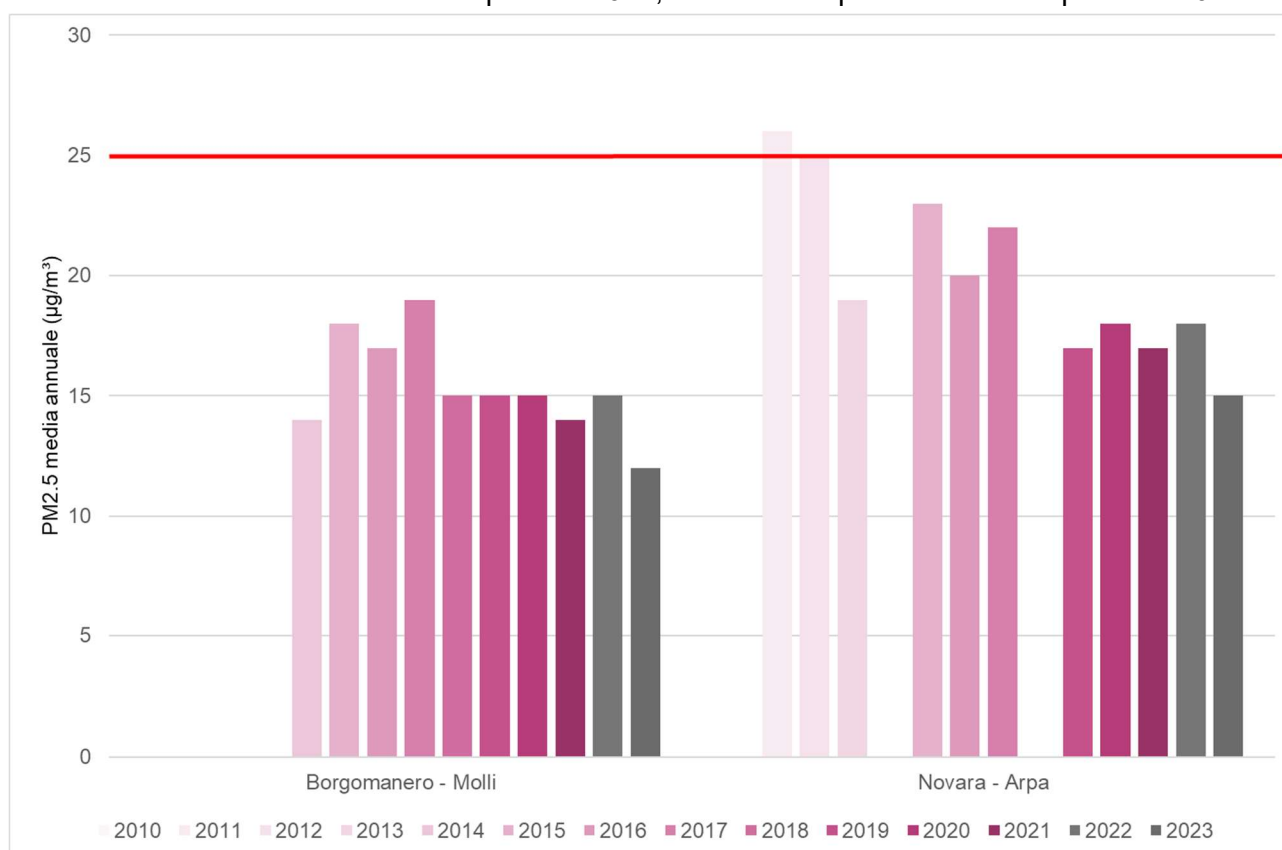


Figura 115 - PM2.5: confronto medie annue

6.6.4 Biossido di azoto (NO₂)

Nella Figura 116 sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ rilevate presso le stazioni della rete provinciale, ove disponibili, a partire dall'anno 2003 ed attive nel 2023, da cui si evince che nel 2023 il valore limite annuale (40 µg/m³) è rispettato in tutte le stazioni della provincia.

Essendo gli ossidi di azoto principalmente emessi dal traffico veicolare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni da traffico, come la stazione di Novara - Roma in cui nell'anno 2023 la

concentrazione media è stata pari a $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre la stazione di Borgomanero, pur classificata da traffico, ha registrato un dato medio più basso pari a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nelle restanti stazioni di fondo (Novara - Arpa, Cerano e Trecate) le medie rilevate si sono attestate intorno a $20\text{--}22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre la stazione di fondo rurale di Castelletto Ticino ha presentato il dato più basso della provincia, pari a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In generale per il parametro non si evidenziano particolari differenze rispetto all'anno precedente, ma si può osservare una tendenza alla riduzione delle concentrazioni medie annue nel corso degli anni.

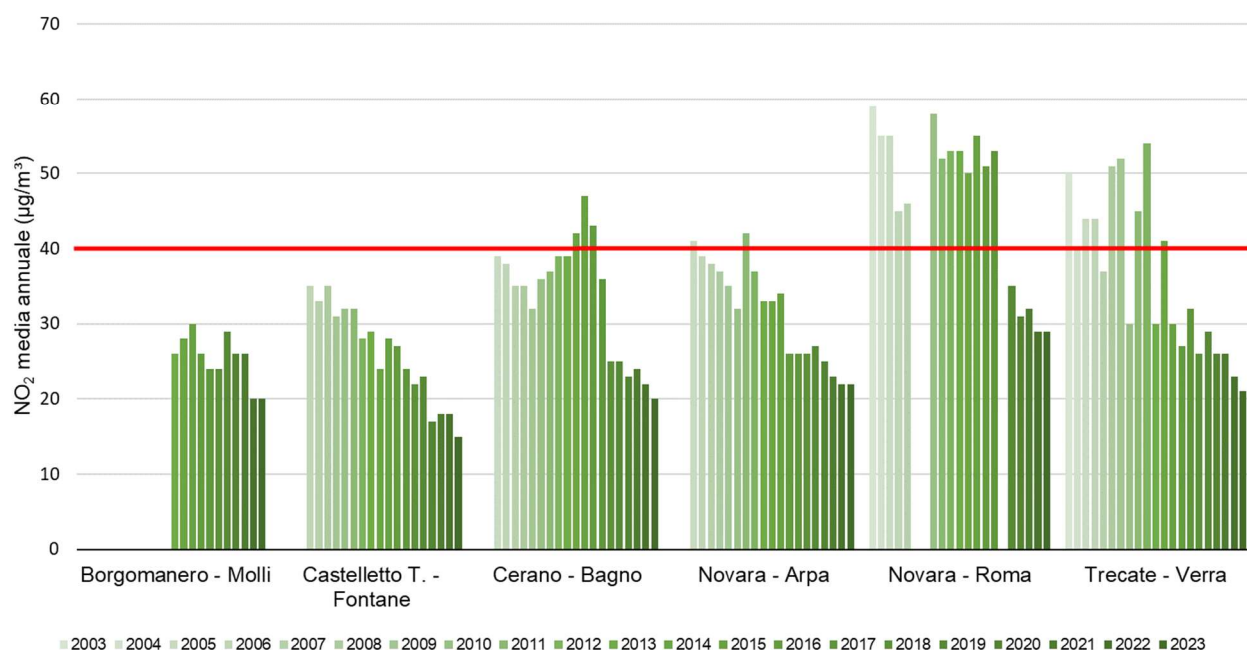


Figura 116 - NO_2 : confronto medie annue

Le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO_2 , misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono rappresentate in Figura 117 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

In tutte le stazioni della provincia i dati relativi all'anno 2023 (linea rossa) mostrano livelli mediamente più bassi, rispetto al periodo di riferimento 2013-2022 (linea blu tratteggiata, minimi e massimi banda azzurra) e in alcuni casi (NO-Roma, NO-Arpa e Cerano) anche inferiori al minimo storico.

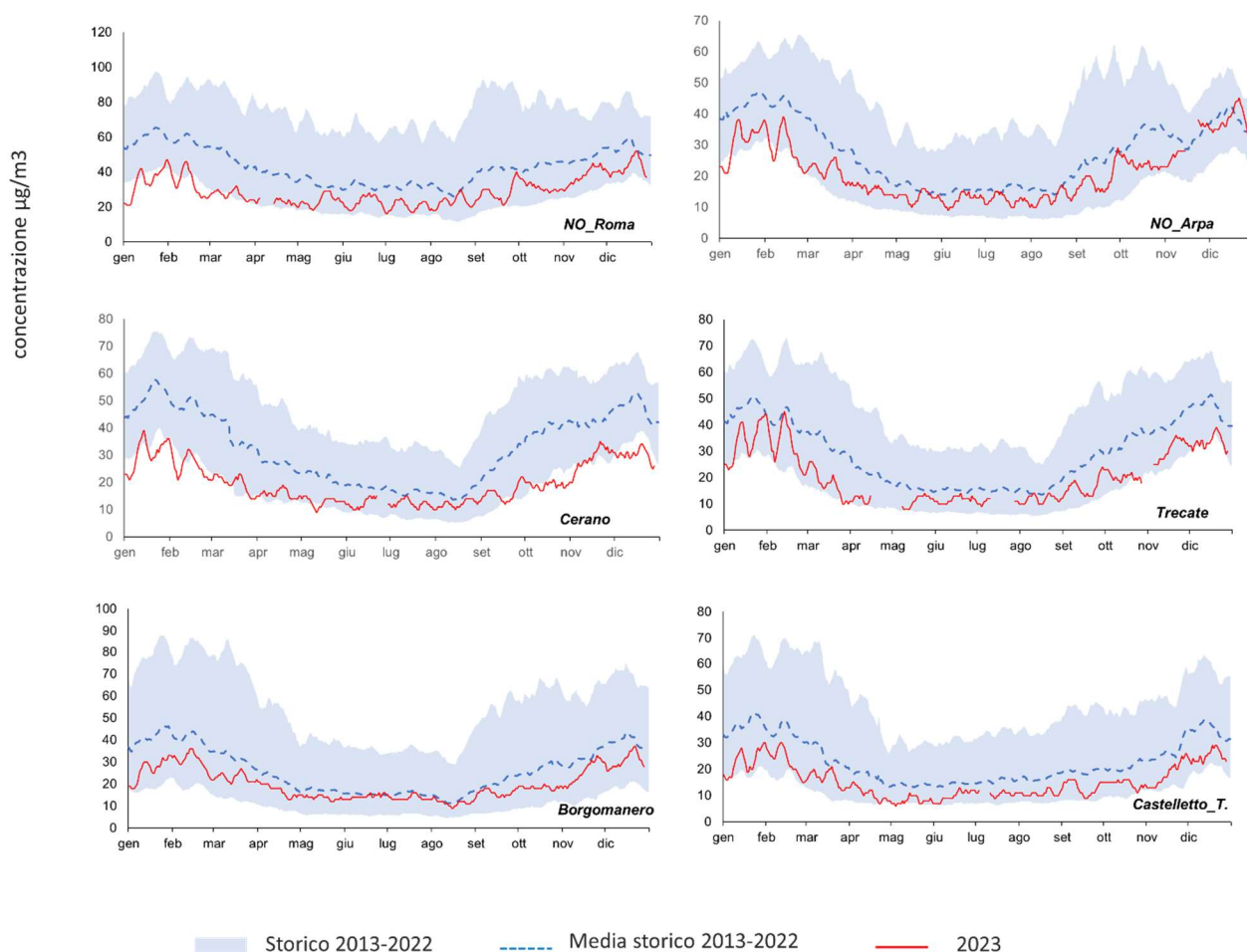


Figura 117 – NO₂ Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

Siccome per gli ossidi di azoto si dispone delle concentrazioni medie orarie, per le stazioni sotto riportate sono state calcolate le “settimane medie” su base oraria dell’anno 2023, considerando i dati del trimestre invernale (dicembre, gennaio, febbraio – linea continua) e del trimestre estivo (giugno, luglio, agosto – linea tratteggiata) e mediando i dati rilevati alla stessa ora di ciascun giorno. In tal modo è possibile individuare eventuali variazioni ricorrenti delle concentrazioni in particolari ore dei diversi giorni della settimana.

Il confronto degli andamenti del NO₂ nei diversi giorni della settimana (Figura 118), rilevati nella stazione di fondo rurale di Castelletto Ticino (linea arancione) e nella stazione da traffico di Novara - Roma (linea grigia) evidenziano le differenze di concentrazione dell’inquinante nei due differenti periodi meteorologici e la riduzione di concentrazione la domenica, in particolare la mattina, in entrambi i siti.

Come prevedibile i picchi mattutini e serali, dovuti principalmente al traffico veicolare degli spostamenti casa-lavoro, risultano più elevati presso la stazione da traffico rispetto a quella di fondo. Inoltre, considerata la somiglianza dei profili delle concentrazioni rilevati nelle due differenti stazioni, si conferma che Castelletto Ticino, pur trovandosi sotto una delle rotte dell’aeroporto di Malpensa, non risulta particolarmente gravato dalle sue potenziali ricadute emmissive.

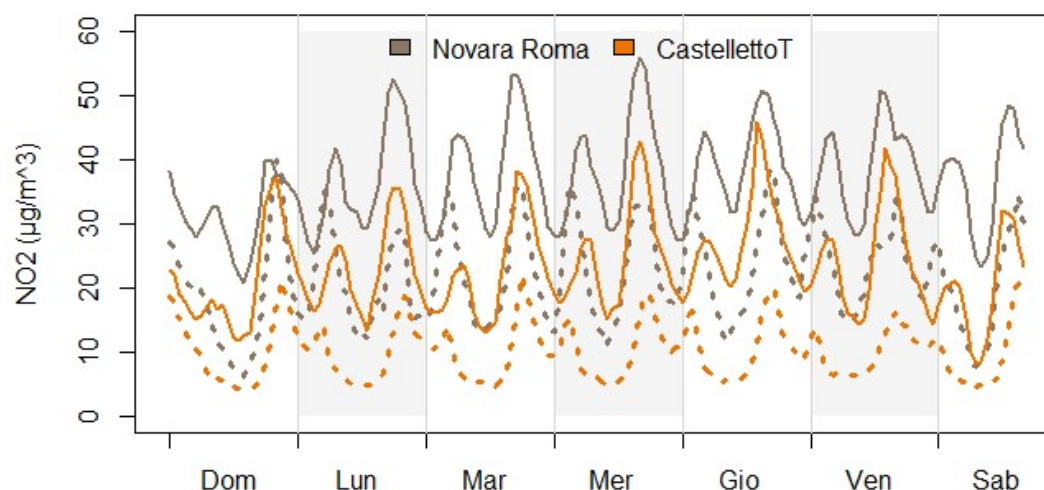


Figura 118 – NO₂ Provincia di Novara: settimane tipo stazioni di Novara Roma e Castelletto Ticino

6.6.5 Ozono (O₃)

L'inquinante ozono nella provincia di Novara è misurato presso la stazione di fondo urbano Novara - Arpa ed in quella di fondo rurale di Castelletto Ticino.

In Figura 119 è riportato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana (120 µg/m³), da non superarsi per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni, rilevati dal 2005 al 2023.

Tale valore obiettivo viene ampiamente disatteso nella stazione di Castelletto Ticino, mentre nella stazione di Novara - Arpa si conferma il dato rilevato nel 2022, in peggioramento rispetto ai due anni precedenti (nel 2021 il valore obiettivo era rispettato). Risultano, però, in diminuzione i superamenti della soglia oraria di informazione alla popolazione (180 µg/m³) che per la stazione di Castelletto Ticino sono passati da 20 nel 2022 a 4 nel 2023 (paragrafo 5.4.2).

Le complesse dinamiche di formazione e trasformazione di questo inquinante fanno sì che le concentrazioni più elevate si rilevino proprio nelle aree suburbane e rurali (Castelletto Ticino).

Anche per il 2023 si conferma il persistere della criticità legata a questo inquinante, come evidenziato a livello regionale.

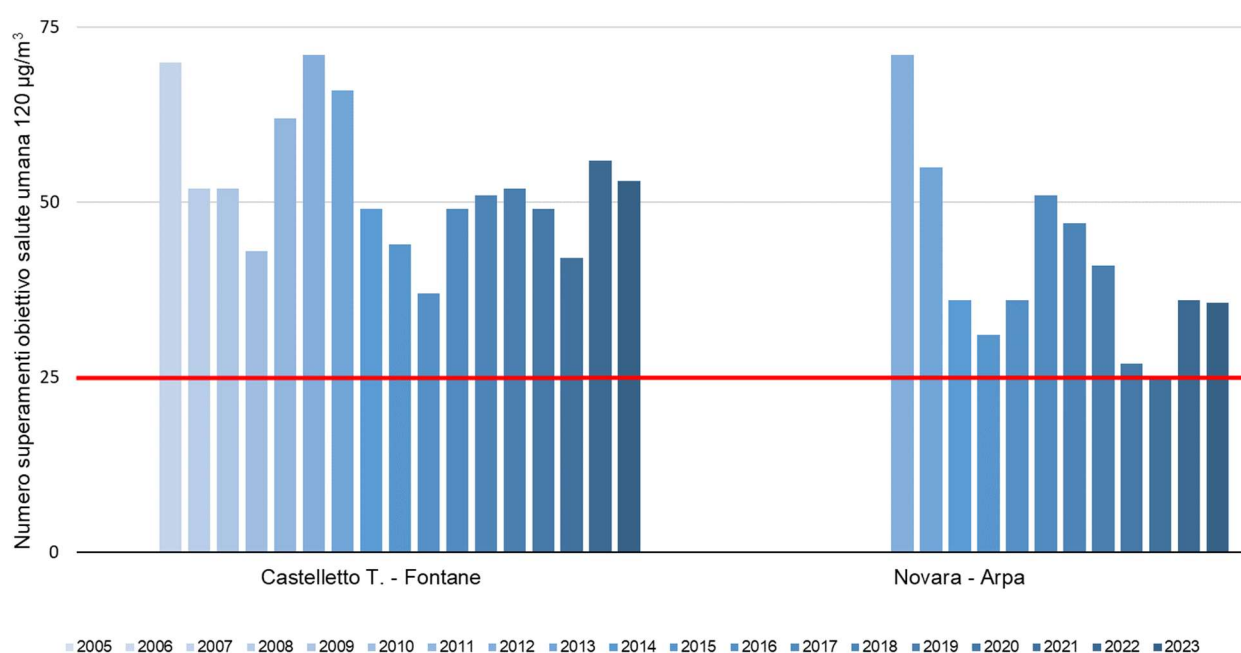


Figura 119 - O₃: numero superamenti obiettivo salute umana

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 120 si evidenziano nel 2023 (linea rossa) alcuni periodi di scostamento rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2022, per entrambe le stazioni della rete. Il 2023 è stato caratterizzato da diversi eventi rilevanti dal punto di vista pluviometrico, anemometrico e termometrico. In particolare, in estate intense ondate di calore si sono alternate a temporali e precipitazioni rilevanti, con diffusi fenomeni di ventilazione che hanno interessato tutta la regione.

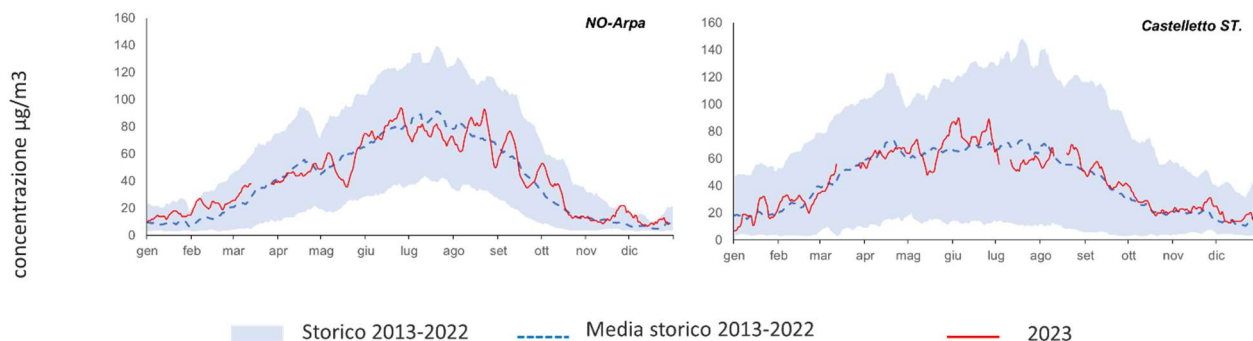


Figura 120 – O₃ Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.7 Provincia di Verbania

In provincia di Verbania le stazioni della Rete Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria si trovano nel capoluogo di provincia con la stazione Verbania - Gabardi, nei due principali comuni, Domodossola e Omegna, una stazione a Pieve Vergonte, sito caratterizzato dalla presenza di importanti insediamenti industriali, e una in area alpina a 1637 m s.l.m., la stazione Baceno - Alpe Devero, così come raffigurato in Figura 121.

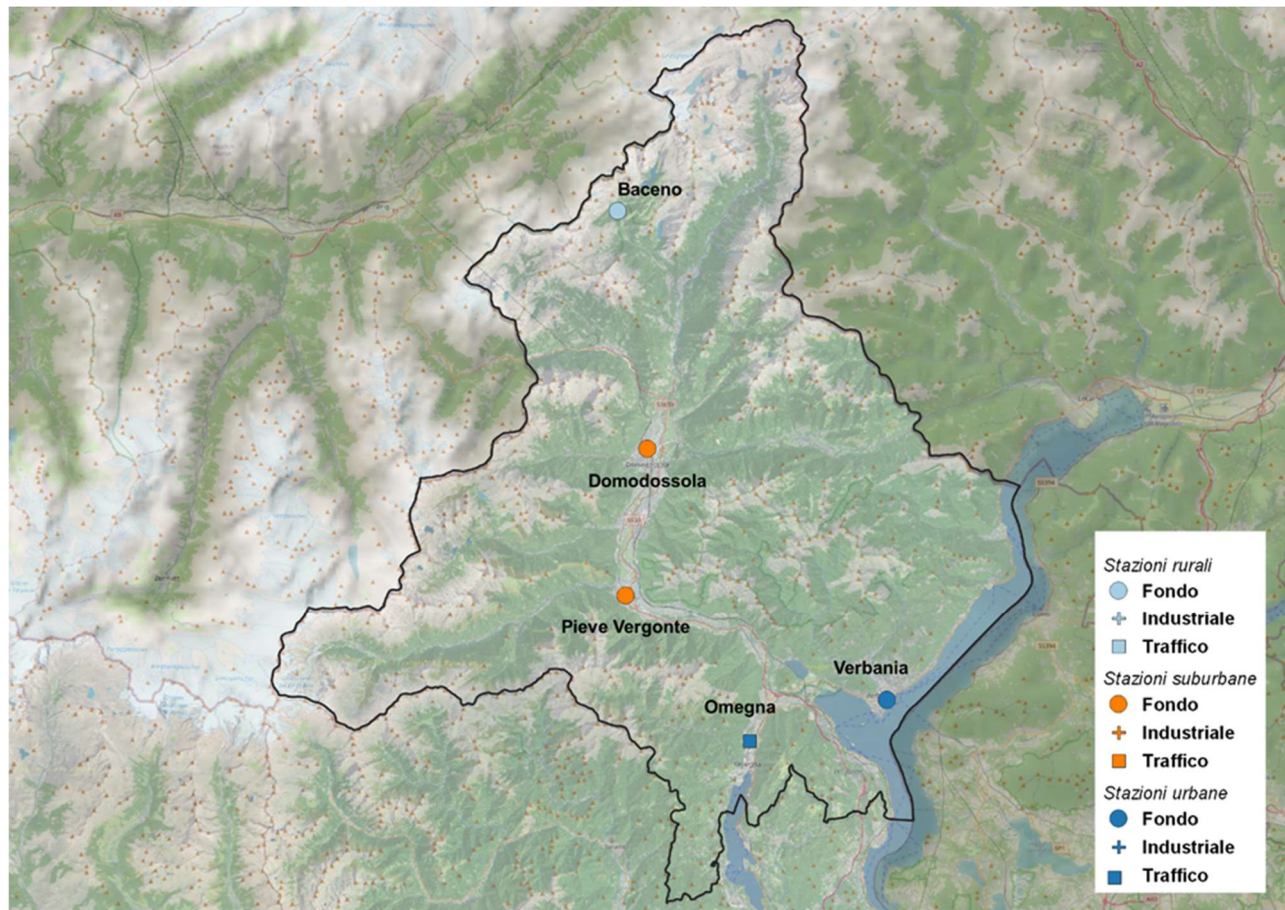


Figura 121: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Verbania.

6.7.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici di Figura 122 e Figura 123, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2023 evidenziano valori medi annuali al di sotto del valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tutte le stazioni della provincia e il rispetto del numero di superamenti del valore limite giornaliero. In generale per il parametro PM10 si registra una sostanziale stabilità dei livelli negli ultimi anni, con differenze imputabili principalmente alla variabilità meteorologica. Il 2023 mostra un decremento delle concentrazioni medie annue e del numero di superamenti del limite giornaliero, rispetto all'anno precedente. L'andamento evidenziato è probabilmente imputabile a condizioni meteorologiche sfavorevoli all'accumulo dell'inquinante legate ad episodi di vento e precipitazioni, registrati nel periodo invernale e autunnale, oltre a una possibile riduzione delle emissioni derivanti dal

riscaldamento domestico, favorita dalle temperature superiori alla media che hanno caratterizzato i mesi invernali.

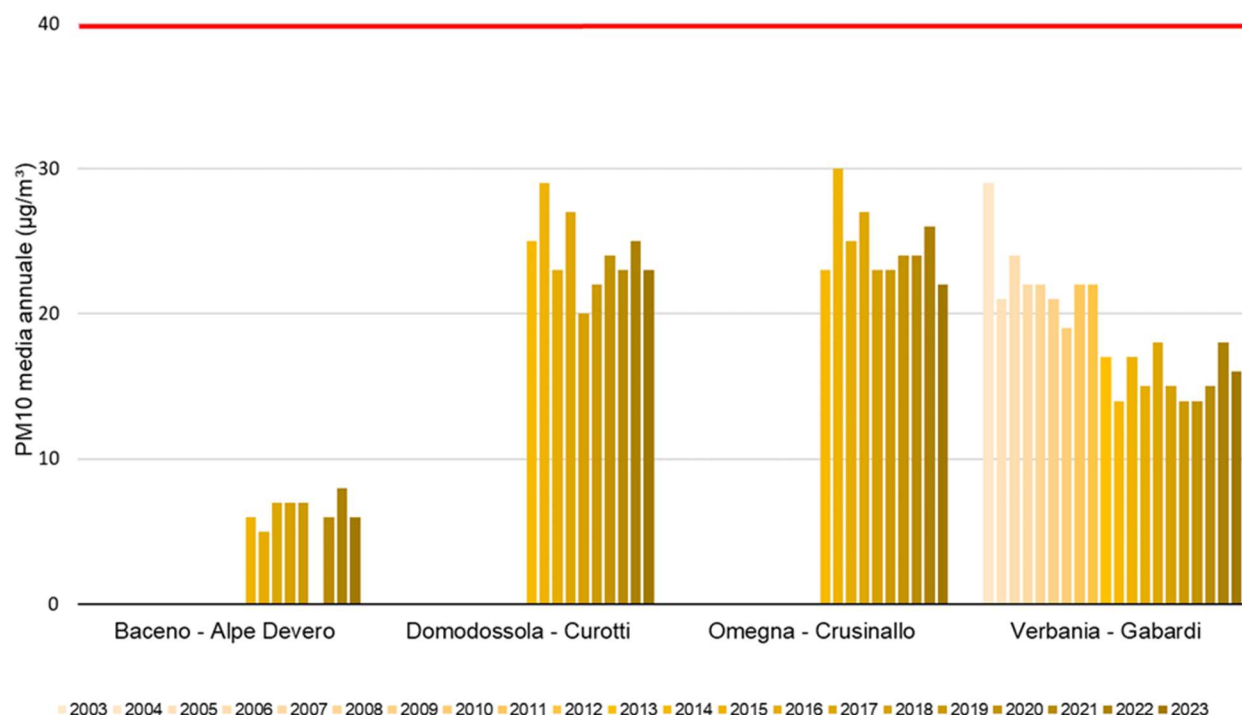


Figura 122 - PM10: confronto medie annue

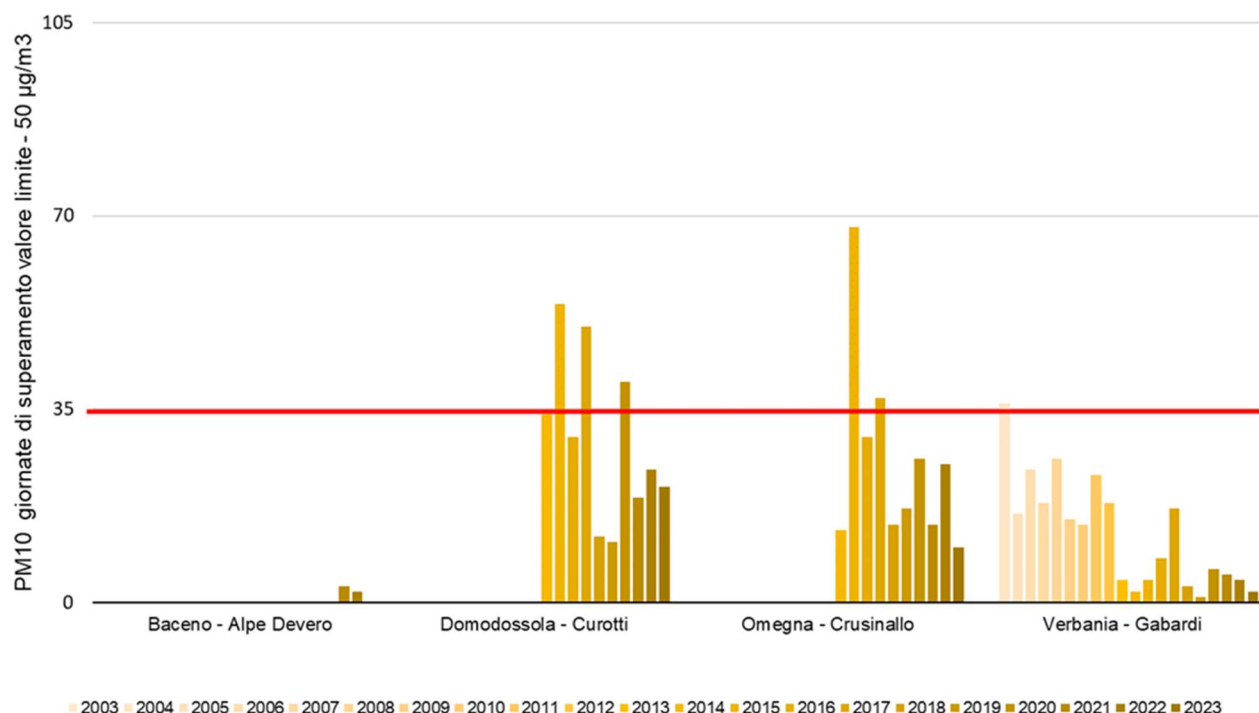


Figura 123 - PM10: numero di superamenti del limite giornaliero

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2023 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2022, sono riportate nella Figura 124. Per una migliore leggibilità dei grafici, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni giornaliere.

Nei grafici le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra) e medi (linea blu tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2022 preso come riferimento.

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero, come generalmente le concentrazioni diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno ai mesi estivi per ritornare a crescere nuovamente nell'autunno.

Dal confronto delle serie di concentrazioni misurate nell'ultimo anno (linea rossa) si delinea una flessione delle concentrazioni, in alcuni periodi particolarmente favorevoli alla dispersione, rispetto alla media degli anni precedenti (linea blu tratteggiata), ma non si evincono scostamenti particolarmente significativi rispetto alle oscillazioni dei valori storici minimi/massimi (banda azzurra).

Si evidenzia come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nella seconda metà di febbraio, marzo e agosto e nella prima metà di luglio e di ottobre, siano dovuti a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che hanno interessato il Piemonte. Il fenomeno risulta particolarmente evidente per la stazione di Baceno-Alpe Devero. Mediamente nel corso dell'anno, nelle diverse zone della provincia, si sono verificati 22-26 episodi di trasporto di polveri desertiche di intensità variabile. Nel periodo autunnale si osserva invece la diminuzione delle concentrazioni di PM₁₀, rispetto alla media storica, imputabile, come detto, alla meteorologia del periodo.

Un commento particolare va riservato alla stazione di Baceno-Alpe Devero, che generalmente presenta concentrazioni basse e in controtendenza rispetto all'andamento stagionale tipico del particolato atmosferico, con concentrazioni maggiori da aprile ad ottobre, rispetto al periodo invernale.

Tale situazione si riscontra nelle stazioni in quota per l'aumento dello strato di rimescolamento nel periodo estivo che permette agli inquinanti emessi in altre zone di raggiungere il sito. Per la stazione di Baceno, inoltre, non si possono escludere possibili apporti dovuti all'allestimento sporadico di falò e barbecue nel campeggio situato in prossimità della stazione.

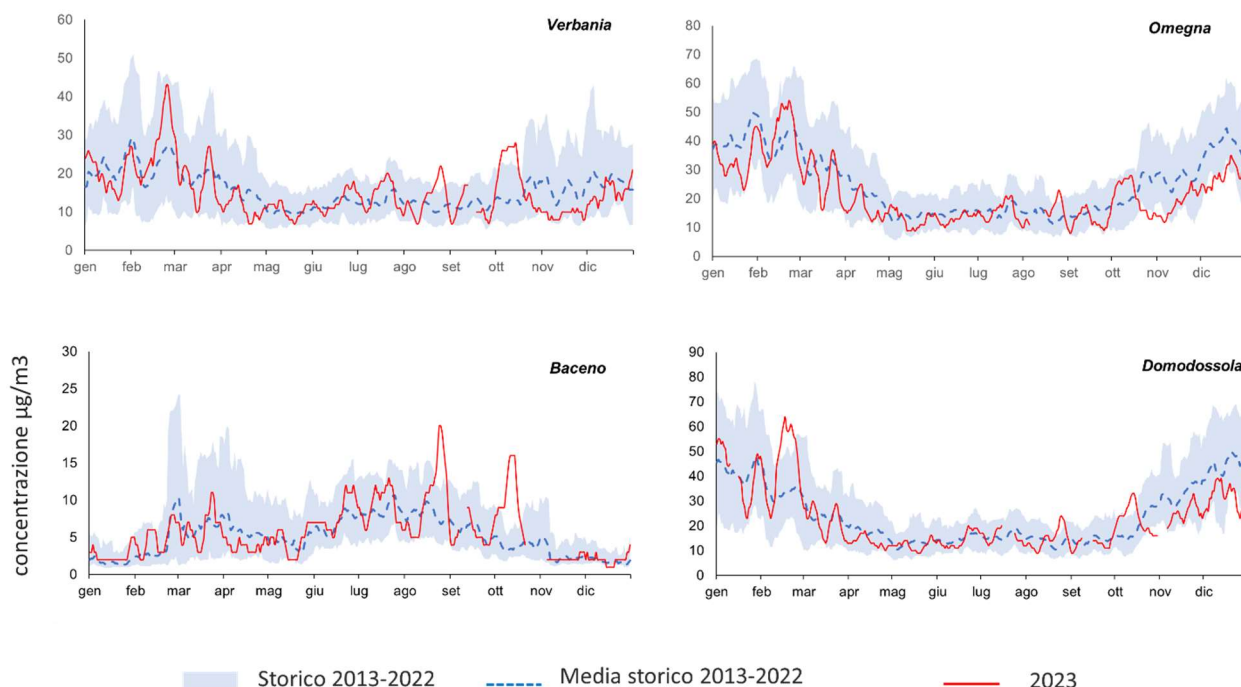


Figura 124 - PM₁₀ Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Relativamente alle polveri sottili, si osserva come, oltre all'andamento stagionale delle concentrazioni, vi siano nel corso dell'anno importanti oscillazioni, dovute alle differenti condizioni meteorologiche: massimi di concentrazione corrispondenti, generalmente, a periodi di alta pressione persistente e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento).

L'influenza della meteorologia sulle concentrazioni di PM10 è esemplificata in Figura 125, dove sono rappresentati i giorni di accumulo a livello regionale⁴¹, le precipitazioni giornaliere e il range di concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia nell'anno 2023 (banda grigia), ad eccezione della stazione di Baceno che per la sua collocazione in quota presenta un andamento del parametro a sé stante. Risulta evidente come le concentrazioni di questo inquinante presentino variazioni omogenee in tutte le centraline della provincia (proprio in ragione dei lunghi tempi di permanenza in atmosfera del particolato) e l'influenza della meteorologia sulle variazioni. Durante le giornate caratterizzate da condizioni di accumulo le concentrazioni risultano alte e spesso sopra il limite giornaliero, mentre in corrispondenza delle precipitazioni i livelli si abbassano. Nel corso dell'anno si sono verificati diversi eventi pluviometrici intensi, anche temporaleschi.

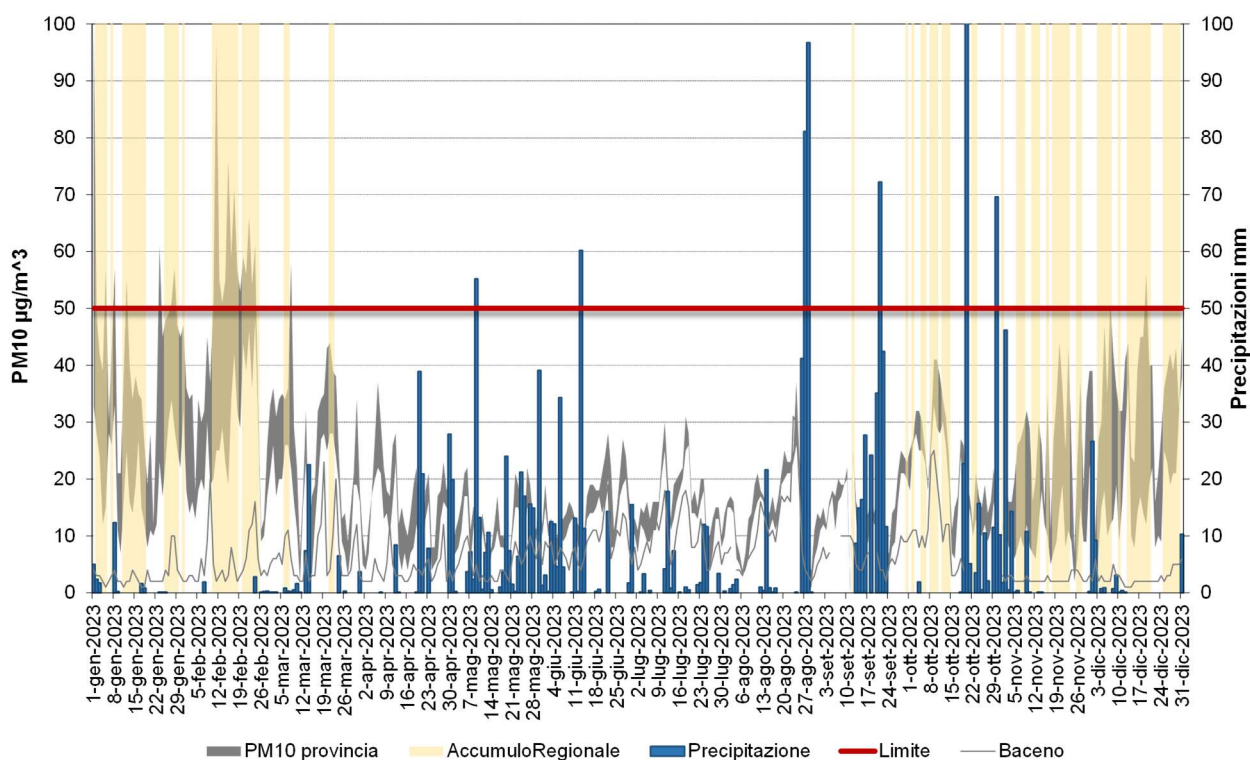


Figura 125 - PM10 Provincia di Verbania: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2023; concentrazioni medie giornaliere della stazione di Baceno; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Verbania; indicatore di accumulo regionale.

⁴¹ Sono individuate come giornate favorevoli all'accumulo sul territorio regionale quelle in cui l'Indice Giorni Critici dell'agglomerato torinese è pari a 1, contemporaneamente la velocità mediana del vento misurato dalle stazioni meteo al di sotto dei 600m di quota è inferiore o uguale a 1.8 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

6.7.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 126 sono rappresentate le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)pirene (quantificato sul PM10), registrate nelle stazioni della provincia ove è determinato il parametro, ed i valori della percentuale in cui è presente nel PM10 (determinato con analizzatore automatico) sempre su base mensile.

Analogamente agli inquinanti polveri sottili ed ossidi di azoto, anche i valori medi mensili di Benzo(a)pirene nel particolato presentano una variazione stagionale notevole: concentrazioni basse, uniformi e nettamente inferiori alla media annuale nei mesi caldi, generalmente da aprile a settembre, e concentrazioni maggiori nei mesi invernali.

Infatti, nei mesi più caldi l'elevata radiazione solare contribuisce alla degradazione degli IPA, mentre nei mesi freddi e autunnali si creano condizioni di inversione termica favorevoli all'accumulo degli inquinanti. In particolare, le polveri PM10 risultano arricchite di questi composti dovuti principalmente al contributo delle emissioni da combustione della legna per il riscaldamento domestico. Tale fenomeno è particolarmente evidente presso il sito di Domodossola, zona di fondovalle alpino, che nell'anno 2023 ha registrato, a livello regionale, le concentrazioni maggiori di Benzo(a)pirene.

Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato non solo in termini di concentrazioni assolute ma anche di composizione in microinquinanti organici.

Osservando la Figura 126, si notano le concentrazioni più elevate di Benzo(a)pirene nel PM10, rilevate a Domodossola (media annuale $0,8 \text{ ng/m}^3$), ma con un valore inferiore al valore obiettivo di 1.0 ng/m^3 fissato dalla normativa, confermando anche per questo sito il miglioramento osservato a livello regionale (paragrafo 5.5), mentre non si evidenziano differenze significative e criticità per la stazione di Verbania (media annuale 0.2 ng/m^3).

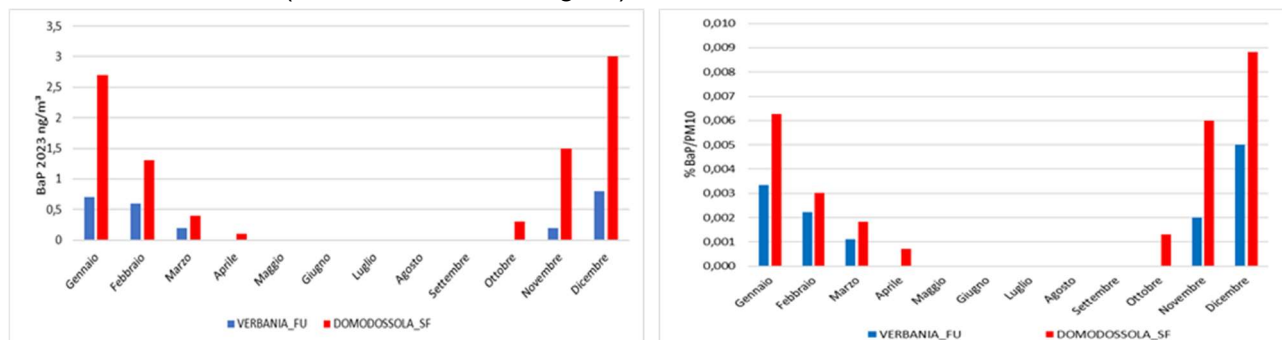


Figura 126 - benzo(a)pirene provincia di Verbania: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2023

6.7.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 127, si osservano, le concentrazioni medie delle polveri PM2.5, rilevate negli anni presso le tre stazioni della rete provinciale a partire dal 2010 dove disponibili.

In tutte le stazioni si rilevano valori sempre inferiori al valore limite, in particolare nella stazione di quota di Baceno. Nel 2023 non si rilevano variazioni significative nelle concentrazioni medie annue rispetto agli anni precedenti, mostrando una variabilità legata principalmente alle condizioni meteorologiche.

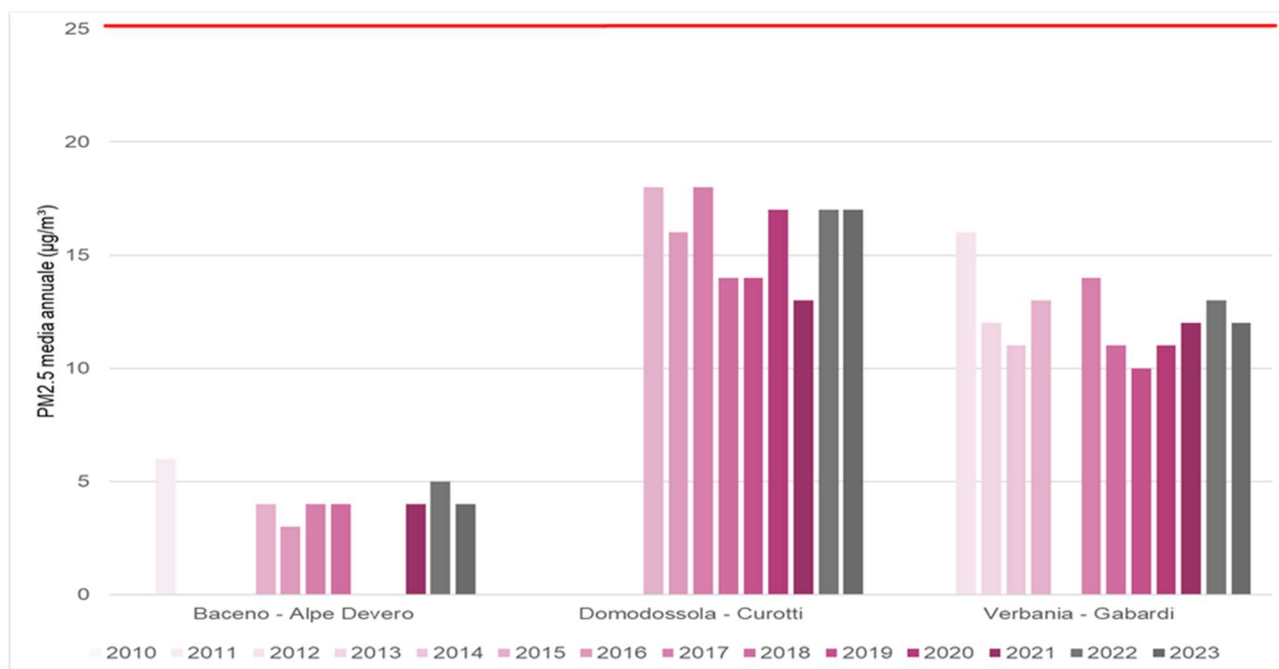


Figura 127 - PM2.5 provincia di Verbania: confronto medie annue

6.7.4 Biossido di azoto (NO₂)

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nel grafico della figura seguente, dove sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ registrate presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003. Anche nel 2023 il valore limite annuale di 40 µg/m³ è rispettato in tutte le stazioni della provincia (Figura 128).

Essendo gli ossidi di azoto emessi principalmente dal traffico veicolare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni da traffico, come la stazione di Omegna - Crusinallo che nel 2023 ha fatto registrare una media pari a 25 µg/m³. Presso le stazioni di fondo di Verbania e Domodossola le medie si attestano rispettivamente intorno a 14 µg/m³ e 16 µg/m³, a Pieve Vergonte a 10 µg/m³, mentre presso la stazione in quota di Baceno permangono basse tutto l'anno. Rispetto al 2022, anno caratterizzato da condizioni sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, nel 2023 si registra una lieve flessione delle concentrazioni dell'inquinante, ad eccezione della stazione di Domodossola-Curotti che presenta concentrazioni uguali all'anno precedente, probabilmente per apporti legati a fenomeni locali.

Le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂, misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono rappresentate in Figura 129 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

In tutte le stazioni della provincia i dati relativi all'anno 2023 (linea rossa) mostrano livelli prossimi o inferiori alla media del periodo di riferimento 2013-2022 (linea blu tratteggiata, minimi e massimi banda azzurra), in maniera meno evidente per la stazione di Domodossola-Curotti, come evidenziato anche dall'analisi dei dati di media annuale.

Le variazioni riscontrate sembrano confermare, per l'inquinante, la tendenza decrescente individuata per le stazioni della rete negli ultimi anni.

Per la stazione di Baceno - Alpe Devero, i valori più alti della media registrati nei primi mesi dell'anno sono probabilmente imputabili alle emissioni dei mezzi spazzaneve a servizio delle piste da sci, tanto che il giorno 10/02/2023 alle ore 15 la stazione ha registrato un superamento del valore limite orario di 200 µg/m³ da non superare per più di 18 volte nel corso dell'anno, unico a livello regionale nel corso del 2023. I dati dal secondo trimestre dell'anno, invece, si attestano su valori bassi e prossimi alla rilevabilità strumentale, rappresentati nel grafico dalla linea retta o spezzata.

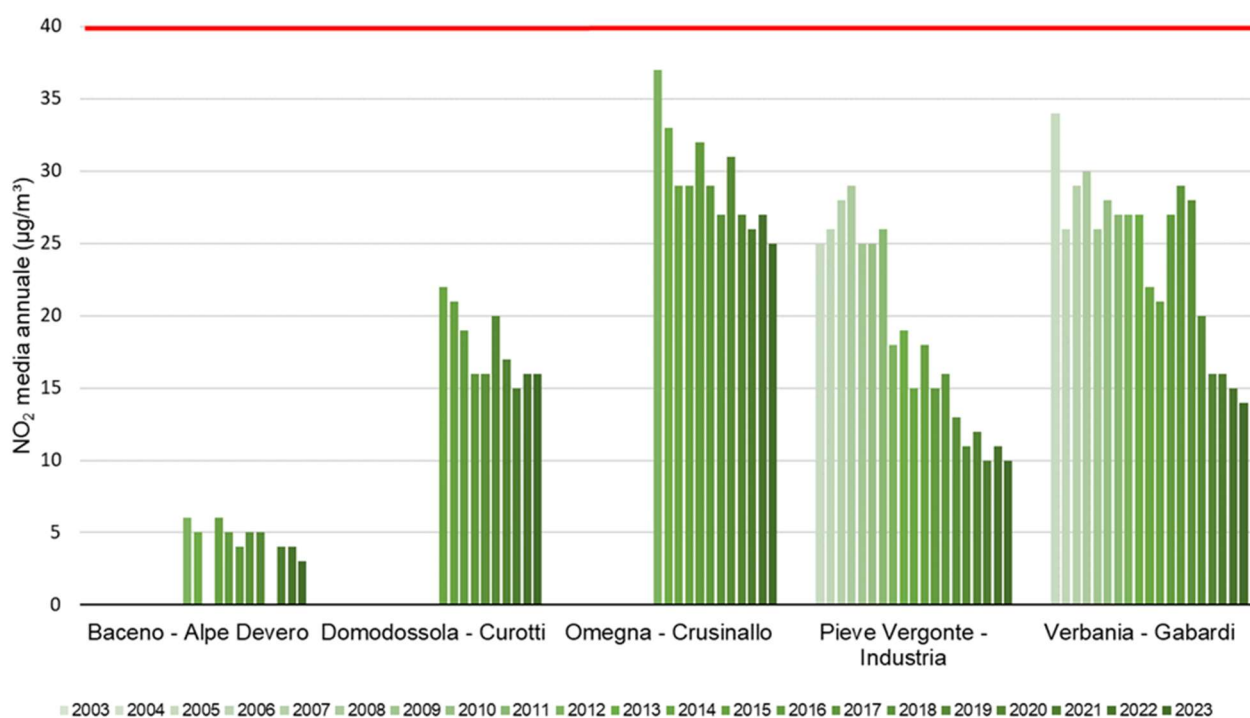


Figura 128 - NO₂ provincia di Verbania: confronto medie annue

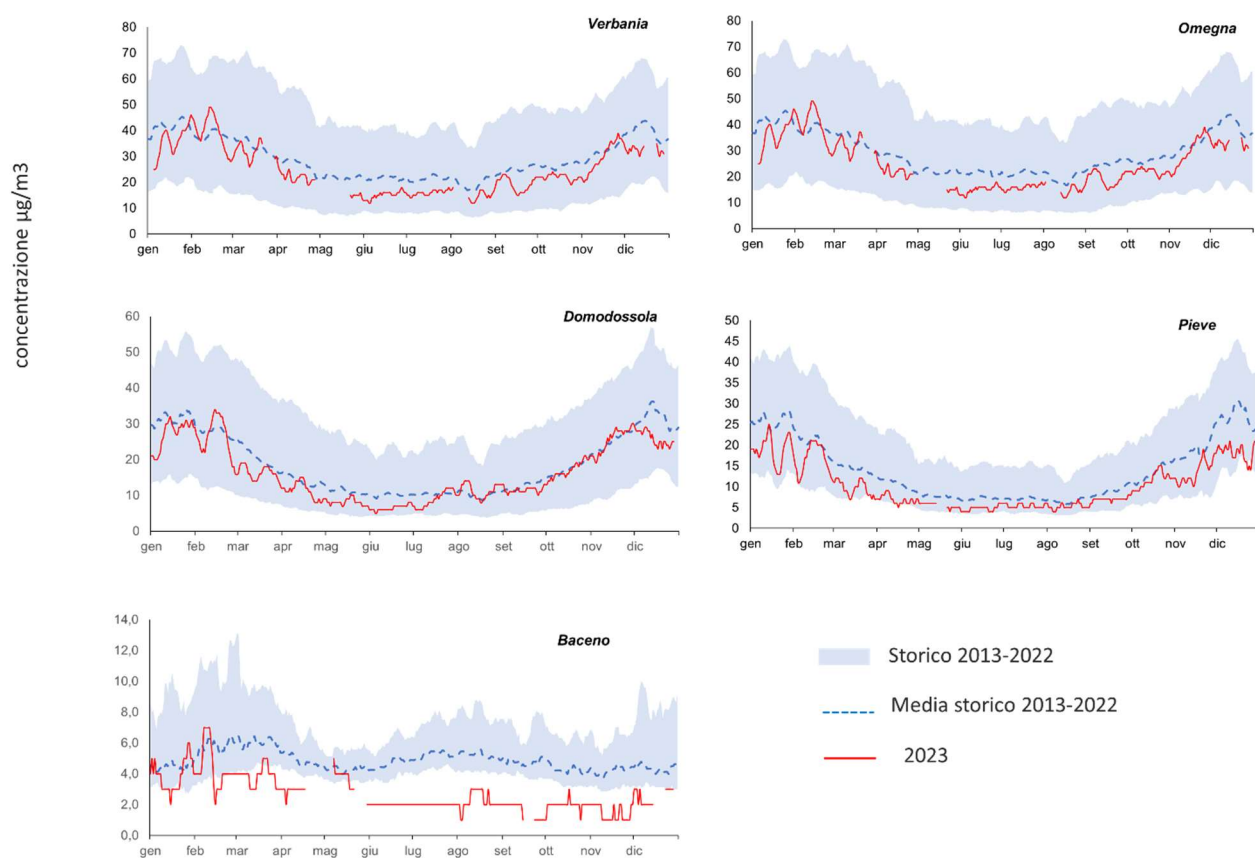


Figura 129 – NO₂ Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

Siccome per gli ossidi di azoto si dispone delle concentrazioni medie orarie, per le stazioni sotto riportate sono state calcolate le “settimane medie” su base oraria dell’anno 2023, considerando i dati

del trimestre invernale (dicembre, gennaio, febbraio – linea continua) e del trimestre estivo (giugno, luglio, agosto – linea tratteggiata) e mediando i dati rilevati alla stessa ora di ciascun giorno. In tal modo è possibile individuare eventuali variazioni ricorrenti delle concentrazioni in particolari ore dei diversi giorni della settimana.

Gli andamenti di NO₂, nelle ore del giorno nei diversi giorni della settimana (Figura 127), messi a confronto tra la stazione di fondo urbana di Verbania - Gabardi (linea arancione) e la stazione da traffico di Omegna - Crusinallo (linea grigia), nel periodo invernale ed estivo, evidenziano le differenze di concentrazione dell'inquinante nei due differenti periodi meteorologici e la riduzione di concentrazione la domenica, in particolare la mattina, in entrambi i siti. I picchi mattutini e serali presentano l'andamento tipico ricorrente condizionato dalle attività antropiche e risultano più elevati presso la stazione da traffico rispetto a quella di fondo, trovando corrispondenza con l'andamento del traffico veicolare.

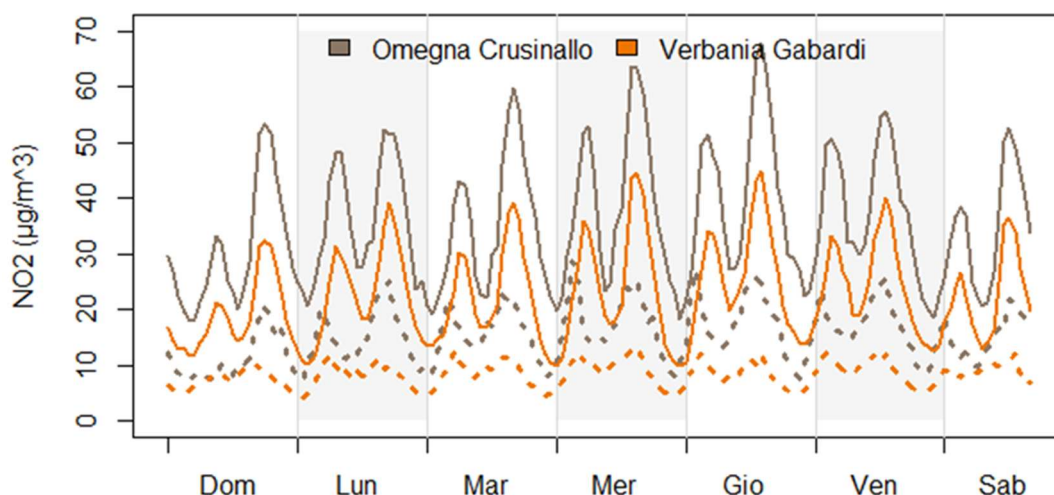


Figura 130 – NO₂ Provincia di Verbania: settimane tipo stazioni di Omegna Crusinallo e Verbania Gabardi

6.7.5 Ozono (O₃)

L'inquinante viene misurato presso le stazioni di Domodossola - Curotti, Pieve Vergonte - Industria e Verbania - Gabardi, rappresentative del fondo urbano/suburbano, ed in quella di Baceno - Alpe Devero, rappresentativa del fondo rurale in quota.

In Figura 131 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana (120 µg/m³) dal 2005 al 2023, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile, come media su 3 anni (il dato attribuito al 2023 è relativo al triennio 2021-2023).

Come risulta dal grafico (Figura 131) il valore obiettivo nel 2023 viene disatteso in tutte le stazioni della provincia, ad eccezione della stazione di Baceno - Alpe Devero che in ragione della sua collocazione in quota presenta un diverso andamento. Rispetto a un evidente miglioramento iniziale nell'andamento dell'inquinante, le variazioni osservate negli ultimi anni sono principalmente attribuibili alle caratteristiche meteorologiche degli anni di riferimento.

Anche per il 2023 si conferma il persistere della criticità legata a questo inquinante (come evidenziato a livello regionale).

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 132 si evidenziano nel 2023 alcuni periodi di scostamento rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2022, per tutte le stazioni della rete. Il 2023 è stato caratterizzato da diversi eventi rilevanti dal punto di vista pluviometrico, anemometrico e termometrico. In particolare, in estate intense ondate di calore si sono alternate a temporali e precipitazioni rilevanti, con diffusi fenomeni di ventilazione che hanno interessato tutta la regione.

Presso la stazione di Baceno - Alpe Devero, il parametro non presenta il tipico andamento stagionale a campana, coerente con l'intensità della radiazione solare, mantenendo valori quasi costanti nel corso dell'anno, per l'assenza di meccanismi di rimozione.

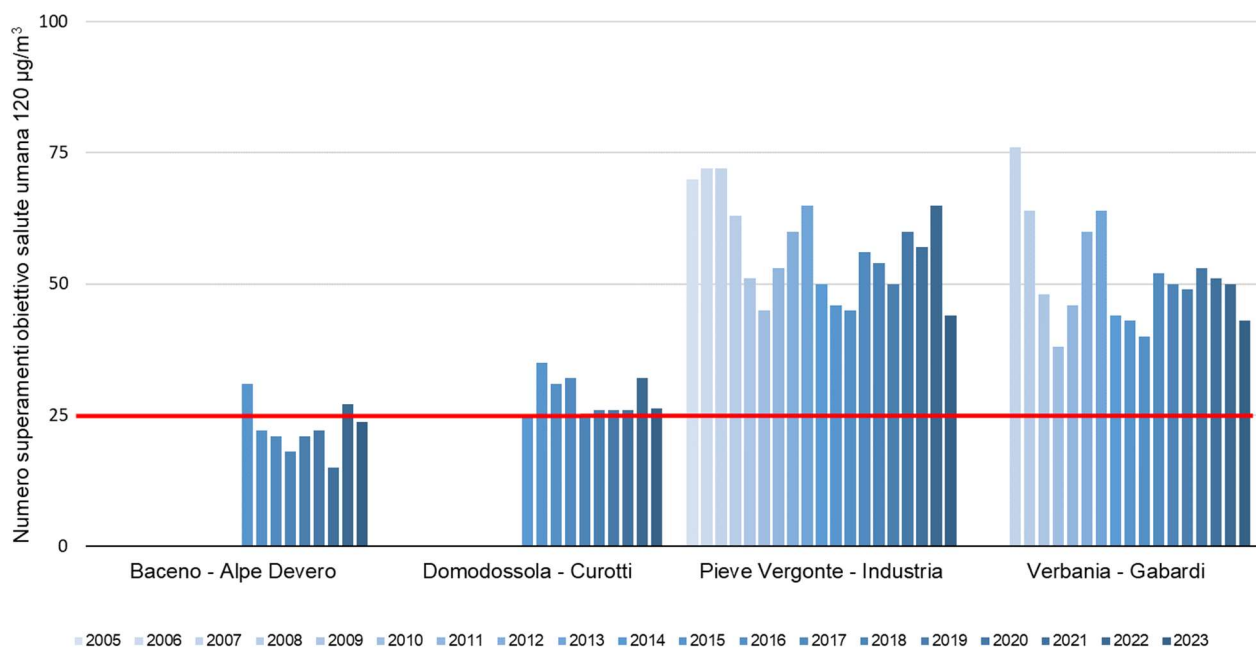


Figura 131 - O₃ Provincia di Verbania: numero superamenti obiettivo salute umana

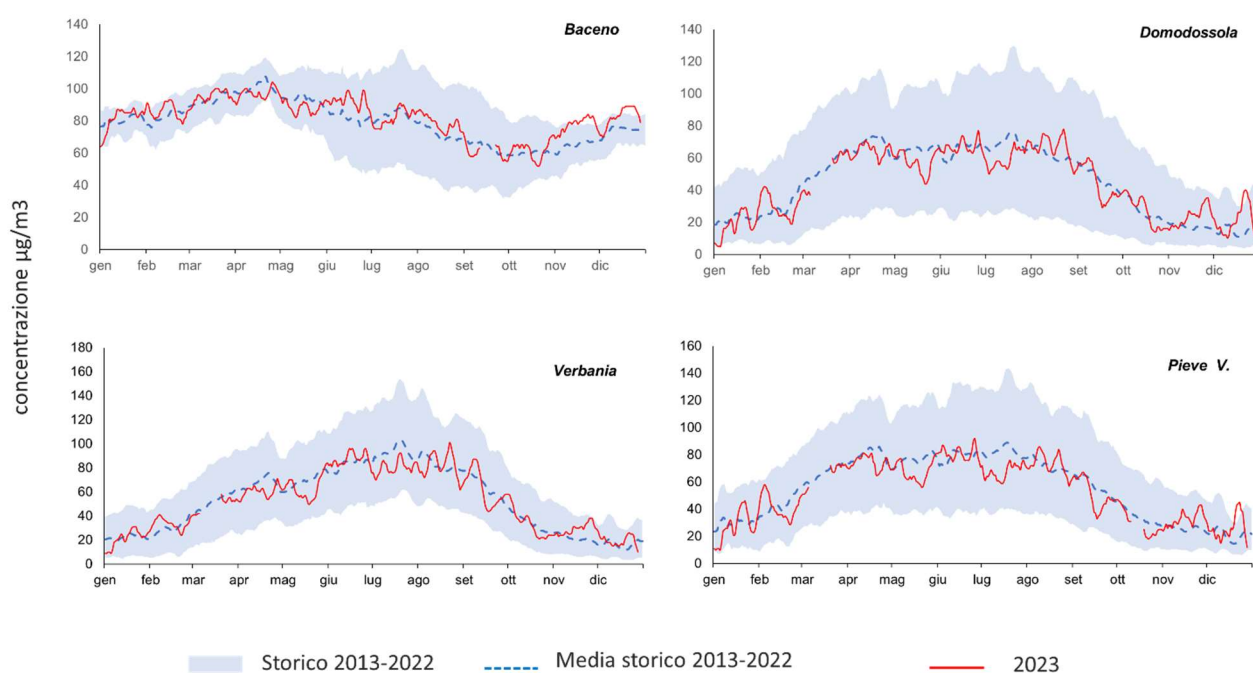


Figura 132 – O₃ Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.8 Provincia di Vercelli

In provincia di Vercelli, le stazioni della Rete Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria si trovano, secondo quanto previsto dall'ultimo Programma di valutazione della qualità dell'aria ambiente (D.G.R. 30 dicembre 2019, n. 24-903), nel capoluogo di Provincia con la stazione di fondo Vercelli - CONI e la stazione da traffico Vercelli - Gastaldi, in prossimità di un'importante arteria autostradale con la stazione di Cigliano e più a Nord con la stazione di Borgosesia, come raffigurato in Figura 133.

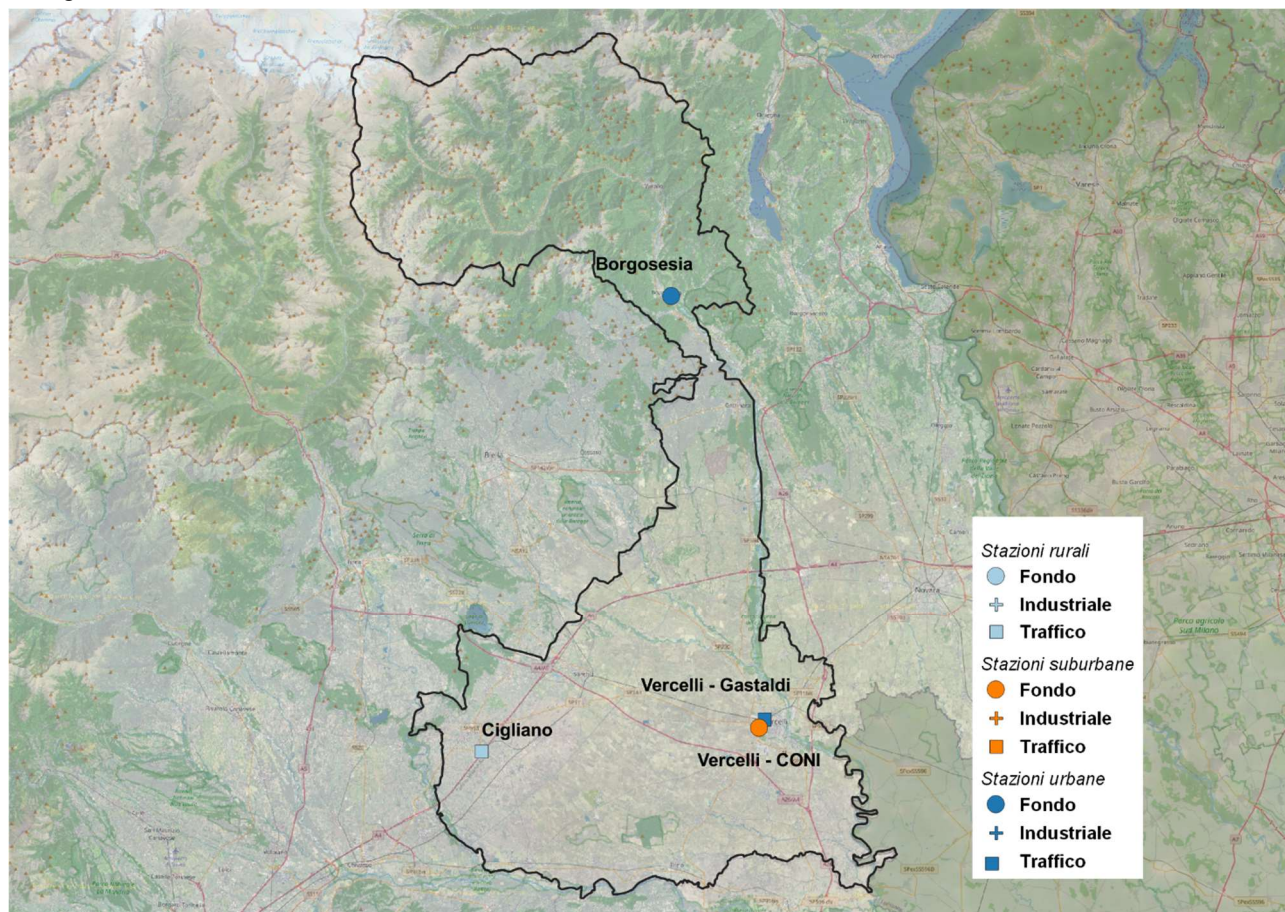


Figura 133: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Vercelli.

6.8.1 Particolato sospeso: PM10

Relativamente alle polveri sottili (PM10), la situazione rilevata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici di Figura 134 e Figura 135, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed il numero di superamenti del limite giornaliero, registrati presso le stazioni attive nel 2023 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

Come si può osservare, nonostante le oscillazioni dovute principalmente alle differenze meteorologiche tra i diversi anni, la situazione dell'inquinamento da polveri sottili è complessivamente migliorata nel tempo ed il limite sulla media annua ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a partire dal 2013, è costantemente rispettato su tutto il territorio della provincia. Il 2023 mostra un decremento delle concentrazioni medie annue, rispetto all'anno precedente, in cui si era riscontrato, invece, un lieve peggioramento. L'anno 2023 ha presentato nel periodo invernale e autunnale condizioni meteorologiche sfavorevoli all'accumulo dell'inquinante legate ad episodi di vento (marzo e novembre) e precipitazioni (ottobre e dicembre), oltre a una possibile riduzione delle emissioni derivanti dal riscaldamento domestico, favorita dalle temperature superiori alla media che hanno caratterizzato il periodo invernale.

I dati del 2023 evidenziano anche il rispetto del numero di superamenti del valore limite giornaliero consentito sull'anno, pari a 35, in tutte le stazioni della provincia dove negli ultimi anni si rileva la tendenza alla diminuzione.

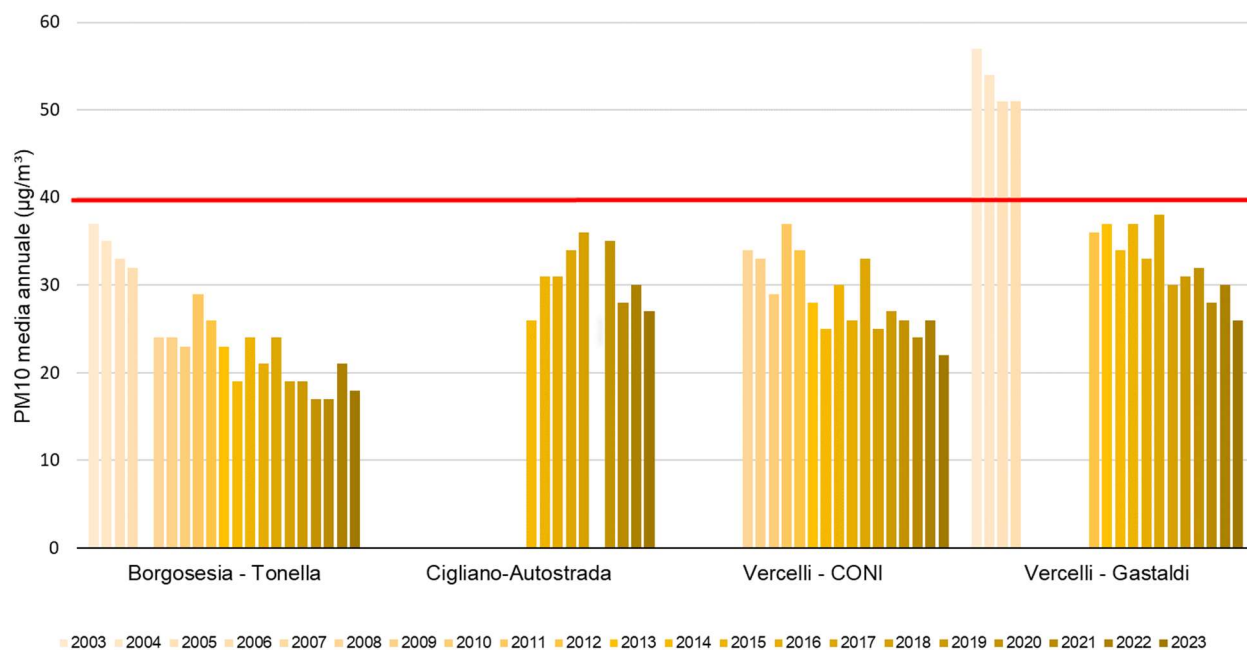


Figura 134 - PM10 provincia di Vercelli: confronto medie annue

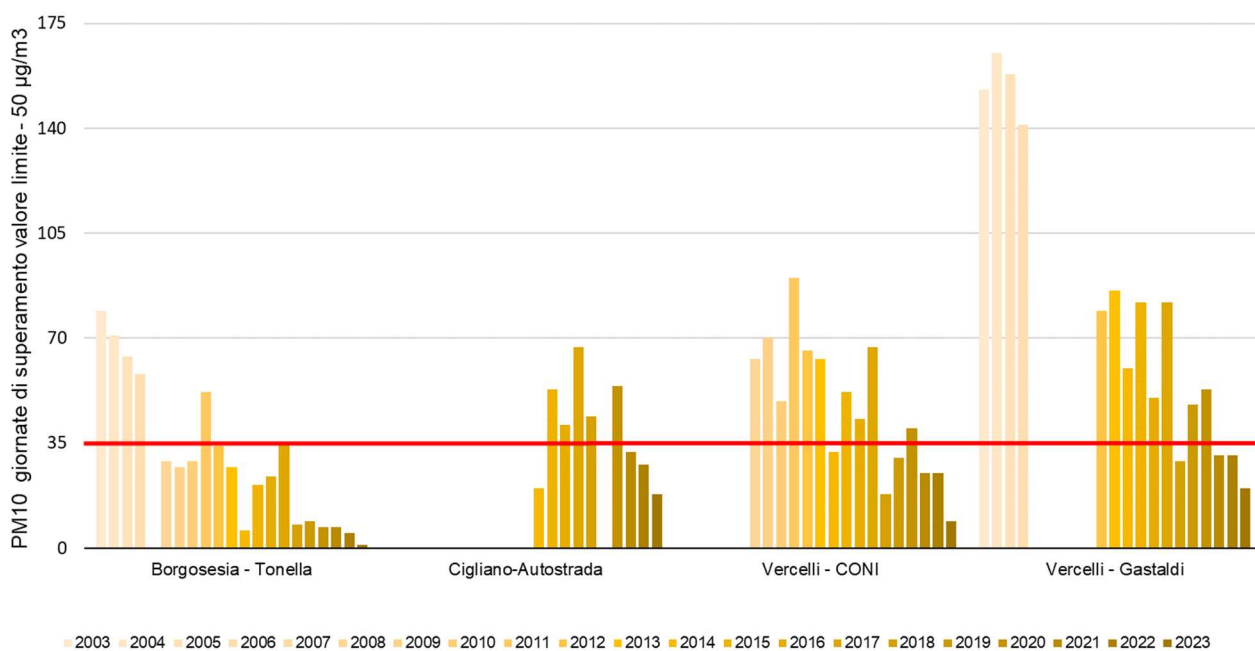


Figura 135 - provincia di Vercelli: numero di superamenti del limite giornaliero

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2023 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2022, sono riportate nella Figura 136. Per una migliore leggibilità dei grafici, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni giornaliere.

Nei grafici le concentrazioni del 2023 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra) e medi (linea blu tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2022 preso come riferimento.

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero, come generalmente le concentrazioni diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno ai mesi estivi per ritornare a crescere nuovamente nell'autunno.

Dal confronto delle serie di concentrazioni misurate nell'ultimo anno (linea rossa) si delinea una flessione delle concentrazioni, in alcuni periodi particolarmente favorevoli alla dispersione, rispetto

alla media degli anni precedenti (linea blu tratteggiata), ma non si evincono scostamenti particolarmente significativi rispetto alle oscillazioni dei valori storici minimi/massimi (banda azzurra). Si evidenzia come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nella seconda metà di febbraio, marzo e agosto e nella prima metà di luglio e di ottobre, siano dovuti a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che hanno interessato il Piemonte. Mediamente nel corso dell'anno, nelle diverse zone della provincia, si sono verificati 29-31 episodi di trasporto di polveri desertiche di intensità variabile. Nel periodo autunnale si osserva invece la diminuzione delle concentrazioni di PM10, rispetto alla media storica, imputabile, come detto, alla meteorologia del periodo.

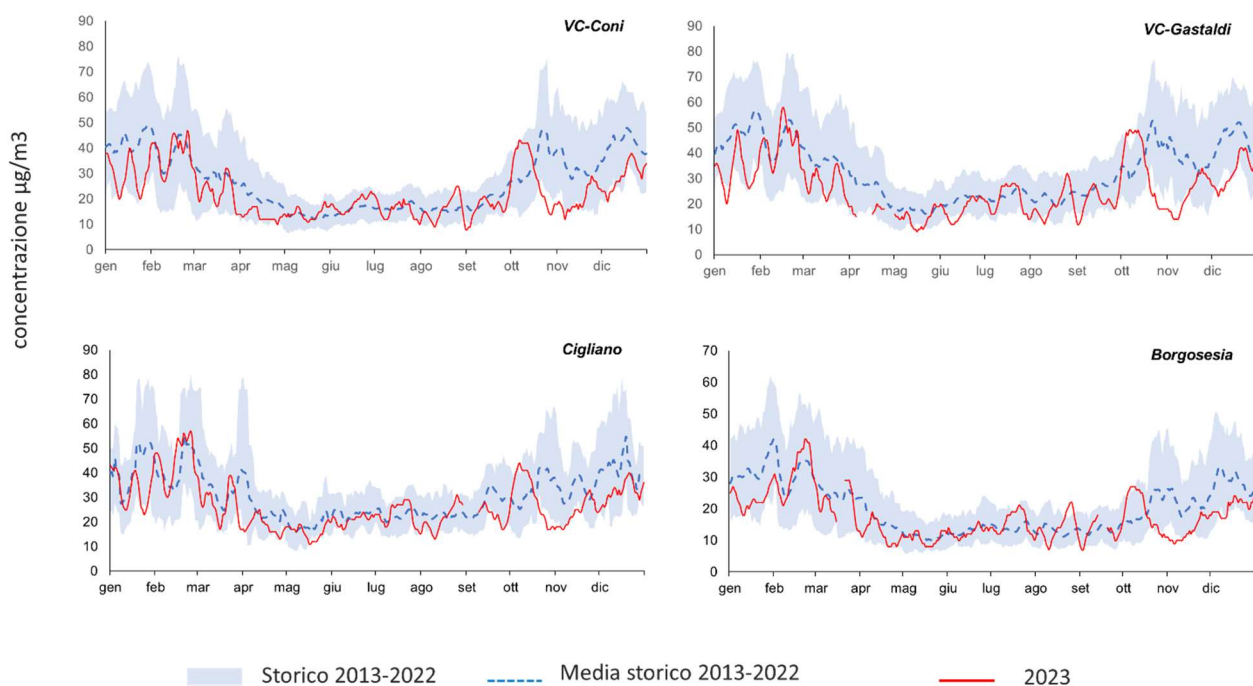


Figura 136 - PM10 Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Relativamente alle polveri sottili, si osserva come, oltre all'andamento stagionale delle concentrazioni, vi siano nel corso dell'anno importanti oscillazioni, dovute alle differenti condizioni meteorologiche: massimi di concentrazione corrispondenti, generalmente, a periodi di alta pressione persistente e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento).

L'influenza della meteorologia sulle concentrazioni di PM10 è esemplificata in Figura 137, dove sono rappresentati i giorni di accumulo a livello regionale⁴², le precipitazioni giornaliere e il range di concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia nell'anno 2023 (banda grigia). Risulta evidente come le concentrazioni di questo inquinante presentino variazioni omogenee in tutte le centraline della provincia (proprio in ragione dei lunghi tempi di permanenza in atmosfera del particolato) e l'influenza della meteorologia sulle variazioni. Durante le giornate caratterizzate da condizioni di accumulo le concentrazioni risultano alte e spesso sopra il limite giornaliero, mentre in corrispondenza delle precipitazioni i livelli si abbassano. Nel corso dell'anno si sono verificati diventi eventi pluviometrici persistenti e/o temporaleschi.

⁴² Sono individuate come giornate favorevoli all'accumulo sul territorio regionale quelle in cui l'Indice Giorni Critici dell'agglomerato torinese è pari a 1, contemporaneamente la velocità mediana del vento misurato dalle stazioni meteo al di sotto dei 600m di quota è inferiore o uguale a 1.8 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

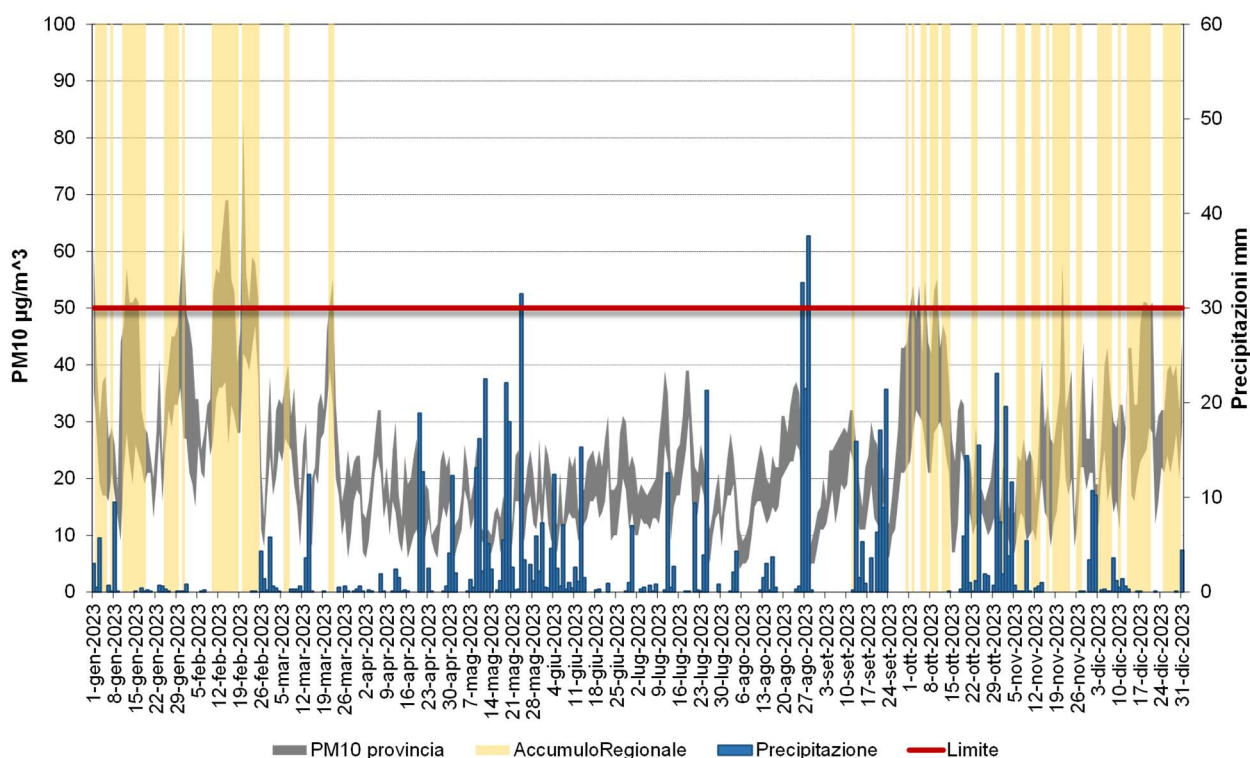


Figura 137 - PM10 Provincia di Vercelli: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2023; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Vercelli; indicatore di accumulo regionale.

6.8.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 138 sono rappresentate le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)pirene (quantificato sul PM10), registrate nelle stazioni della provincia ove è determinato, ed i valori della percentuale in cui è presente nel PM10 sempre su base mensile (per la stazione di Borgosesia il PM10 di riferimento è determinato con analizzatore automatico).

Analogamente agli inquinanti polveri sottili ed ossidi di azoto, anche i valori medi mensili di Benzo(a)pirene nel particolato presentano una variazione stagionale notevole: concentrazioni basse, uniformi e nettamente inferiori alla media annuale nei mesi caldi, generalmente da aprile a settembre, e concentrazioni maggiori nei mesi invernali.

Infatti, nei mesi più caldi l'elevata radiazione solare contribuisce alla degradazione degli IPA, mentre nei mesi freddi e autunnali si creano condizioni di inversione termica favorevoli all'accumulo degli inquinanti. In particolare, le polveri PM10 risultano arricchite di questi composti dovuti principalmente al contributo delle emissioni da combustione della legna per il riscaldamento domestico.

Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato non solo in termini di concentrazioni assolute ma anche di composizione in microinquinanti organici.

In tutti i punti di misura della provincia, Vercelli - CONI e Borgosesia, nell'anno 2023, analogamente agli anni precedenti, le concentrazioni di media annua di Benzo(a)pirene nel PM10 risultano ampiamente inferiori al valore obiettivo fissato dalla normativa (1.0 ng/m^3), attestandosi rispettivamente a 0.2 ng/m^3 e 0.5 ng/m^3 .

Pertanto, non si evidenziano criticità, anche considerando l'andamento mensile del contributo percentuale di Benzo(a)pirene al PM10 (Figura 138). In generale, l'inquinante presenta un trend (statisticamente significativo) in diminuzione in tutte le stazioni della rete (paragrafo 5.5).

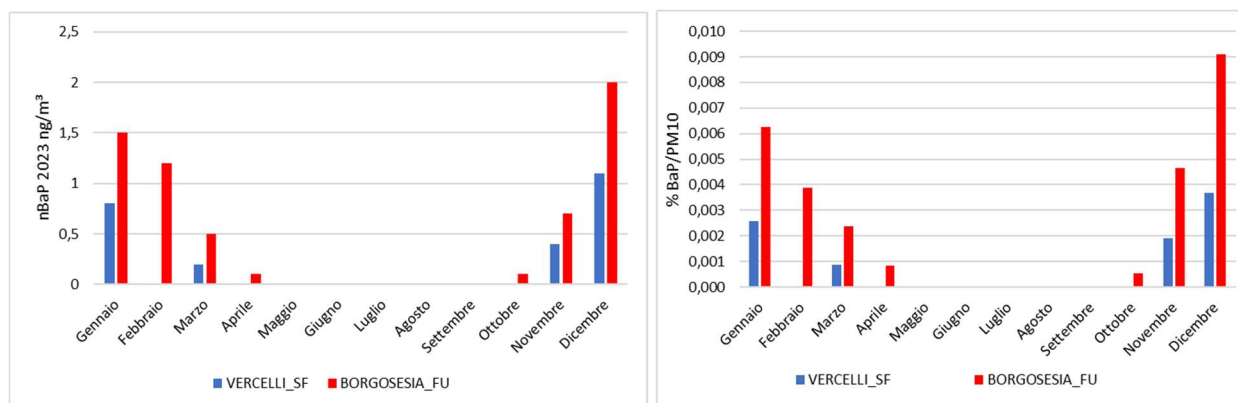


Figura 138 - benzo(a)pirene concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2022

6.8.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 139, si osservano, le concentrazioni medie delle polveri PM2.5, rilevate negli anni presso le due stazioni della rete provinciale a partire dal 2010 dove disponibili.

Solo negli anni 2011 e 2015 la stazione di Vercelli - CONI, classificata di fondo urbano, presenta un valore superiore al limite normativo, mentre le altre stazioni presentano valori sempre inferiori. Nel 2023 non si rilevano variazioni significative nelle concentrazioni medie annue rispetto agli anni precedenti, mostrando una variabilità legata principalmente alle condizioni meteo-climatiche.

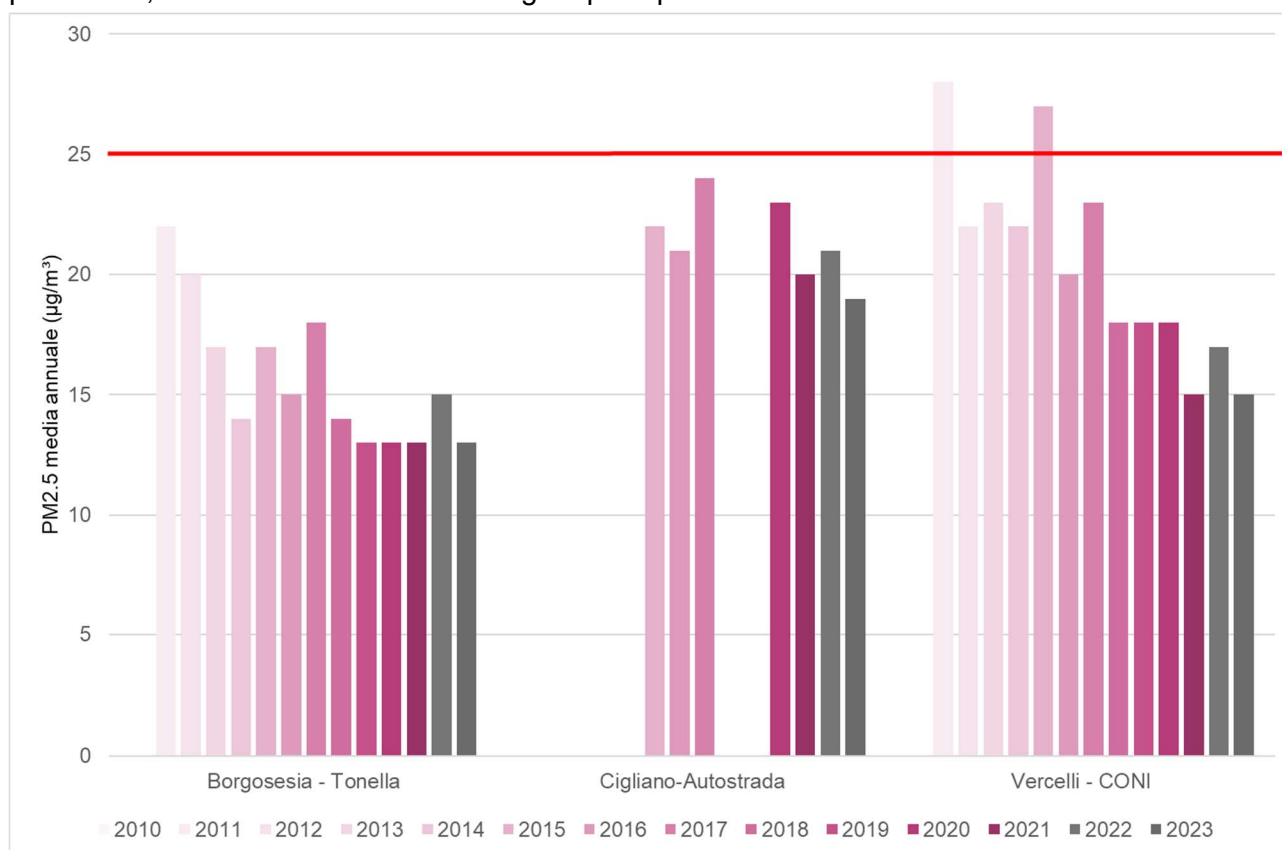


Figura 139 - PM2.5 provincia di Vercelli: confronto medie annue

6.8.4 Biossido di azoto (NO₂)

Nella Figura 140 sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ rilevate presso le stazioni della rete provinciale, ove disponibili, a partire dall'anno 2003 ed attive nel 2023, da cui si evince che anche nel 2023 il valore limite annuale è rispettato in tutte le stazioni della provincia.

Essendo gli ossidi di azoto emessi principalmente dal traffico veicolare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni da traffico, come le stazioni di Vercelli - Gastaldi e Cigliano, in cui nell'anno 2023 la concentrazione media è stata, in entrambi i siti, pari a $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nelle restanti stazioni di fondo di Vercelli - CONI e Borgosesia le medie rilevate si sono attestate a $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

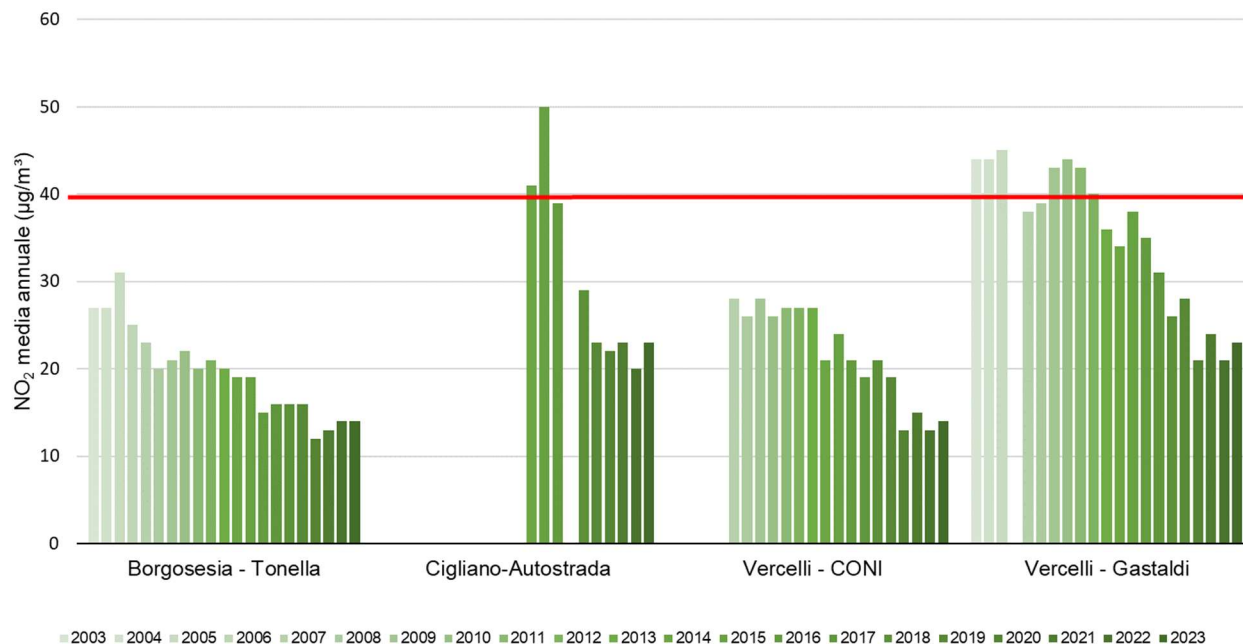


Figura 140- NO₂: confronto medie annue

Le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂, misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono rappresentate in Figura 141 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

In tutte le stazioni della provincia i dati relativi all'anno 2023 (linea rossa) mostrano livelli prossimi o inferiori alla media del periodo di riferimento 2013-2022 (linea blu tratteggiata, minimi e massimi banda azzurra). La diminuzione risulta marcata nei primi mesi dell'anno, meno evidente per la stazione di fondo urbano di Borgosesia e molto evidente per la stazione di Cigliano.

Le variazioni riscontrate sembrano confermare, per l'inquinante, la tendenza decrescente individuata nelle stazioni della rete negli ultimi anni.

La stazione di Cigliano presenta un trend di media annuale (paragrafo 5.3), statisticamente significativo, in forte diminuzione, il più elevato a livello regionale. La variazione osservata potrebbe essere dovuta ad effetti locali, come ad esempio l'influenza dei flussi autostradali (quantità e parco veicoli) che interessano il tratto dove è collocata la stazione di rilevamento.

Siccome per gli ossidi di azoto si dispone delle concentrazioni medie orarie, per le stazioni sotto riportate sono state calcolate le "settimane medie" su base oraria dell'anno 2023, considerando i dati del trimestre invernale (dicembre, gennaio, febbraio – linea continua) e del trimestre estivo (giugno, luglio, agosto – linea tratteggiata) e mediando i dati rilevati alla stessa ora di ciascun giorno. In tal modo è possibile individuare eventuali variazioni ricorrenti delle concentrazioni in particolari ore dei diversi giorni della settimana.

Il confronto degli andamenti del NO₂ nei diversi giorni della settimana (Figura 142), rilevati nella stazione di Cigliano - Autostrada (linea arancione), classificata traffico rurale e nella stazione di Vercelli - Gastaldi (linea grigia), classificata traffico urbana, evidenziano le differenze di concentrazione dell'inquinante nei due differenti periodi meteorologici e la riduzione di concentrazione il sabato e la domenica, in particolare la mattina, in entrambi i siti.

Inoltre, si osserva che i caratteristici picchi mattutini e serali, correlati al traffico veicolare, sono più elevati nella stazione urbana di Vercelli nel periodo invernale, diversamente da quanto si osserva

nella stazione di Cigliano - Autostrada che invece presenta una minima differenza tra le due stagioni in ragione della sua collocazione a ridosso dell'autostrada Torino - Milano, la cui attività resta pressoché invariata nel corso dell'anno.

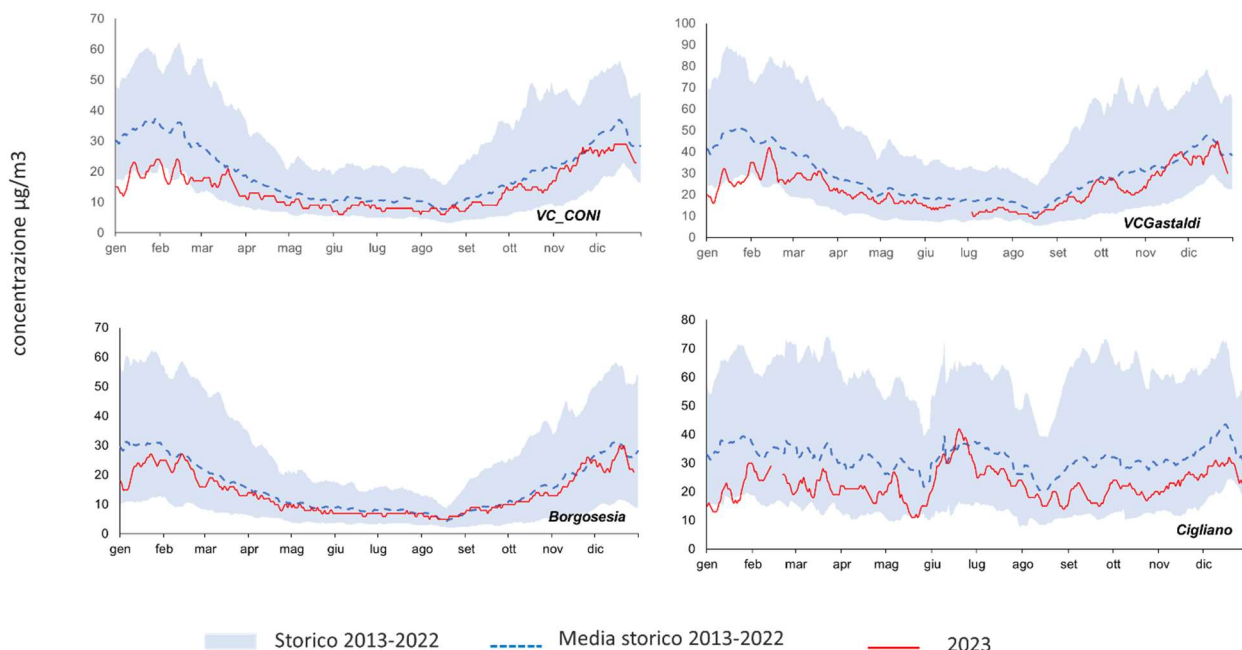


Figura 141 – NO₂ Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

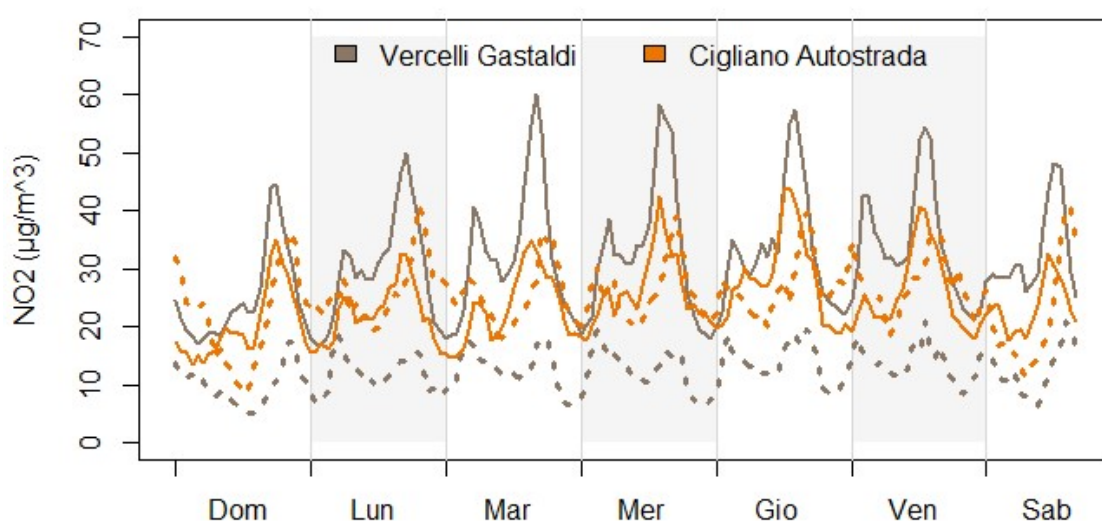


Figura 142 – NO₂ Provincia di Vercelli: settimane tipo stazioni di Vercelli Gastaldi e Cigliano Autostrada

6.8.5 Ozono (O₃)

L'inquinante viene misurato presso le stazioni di fondo di Borgosesia e Vercelli - CONI.

In Figura 143 è riportato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana (120 µg/m³), da non superarsi per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni, rilevati dal 2005 al 2023 (il dato attribuito al 2023 è relativo al triennio 2021-2023).

Tale valore obiettivo viene ampiamente disatteso nelle due stazioni considerate. Anche per il 2023 resta confermata la sua criticità, come già evidenziato a livello regionale, poiché le complesse dinamiche di formazione e trasformazione di questo inquinante sono strettamente correlate alla presenza di inquinanti precursori, ma soprattutto alle condizioni meteorologiche. Si evidenzia un peggioramento per la stazione di Vercelli-Coni dove il numero di superamenti del valore obiettivo

è aumentato, passando da 61 a 77, ma con un numero di superamenti orari della soglia di informazione alla popolazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in diminuzione, da 33 registrati nel 2022 a zero nel 2023 (paragrafo 5.4.2).

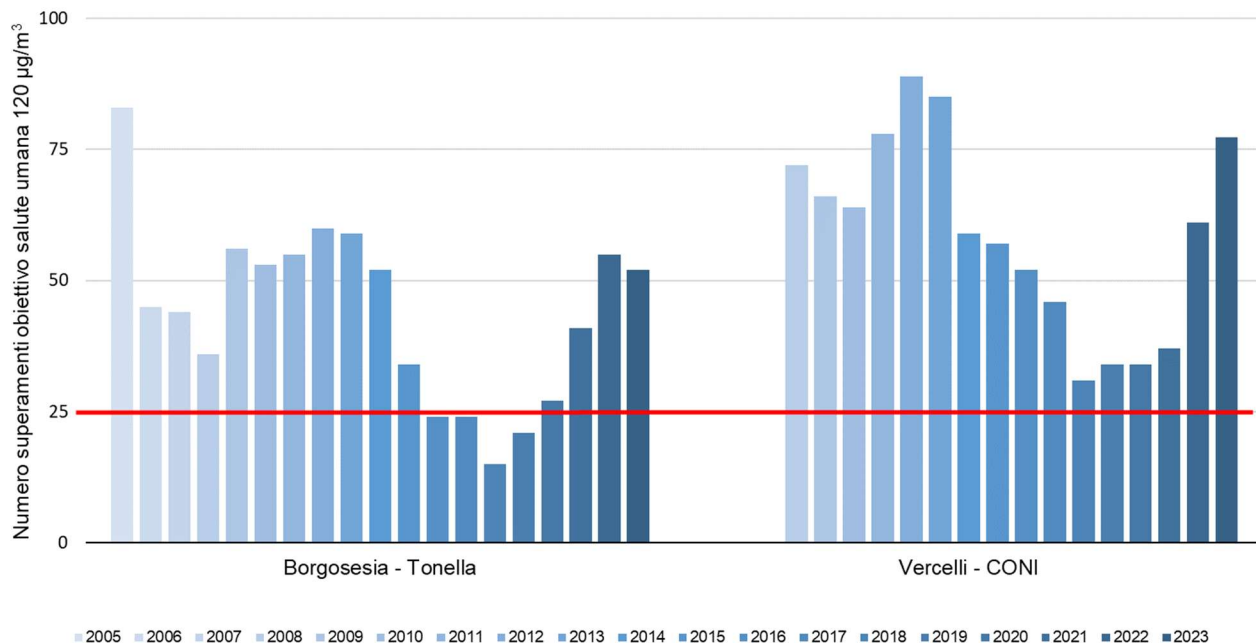


Figura 143 - O₃: numero superamenti obiettivo salute umana

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 144 nel 2023 (linea rossa) si evidenziano alcuni periodi di scostamento rispetto alla media del riferimento storico 2013-2022, in particolare nel periodo compreso tra maggio e ottobre, per entrambe le stazioni della rete. Il 2023 è stato caratterizzato da diversi eventi rilevanti dal punto di vista pluviometrico, anemometrico e termometrico. In particolare, in estate intense ondate di calore si sono alternate a temporali e precipitazioni rilevanti, con diffusi fenomeni di ventilazione che hanno interessato tutta la regione.

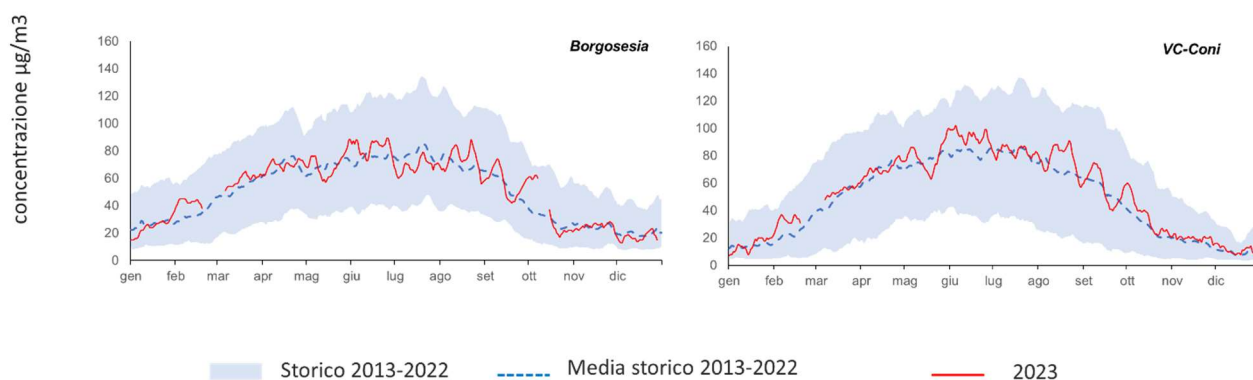


Figura 144 – O₃ Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

7 Approfondimenti

7.1 Il black carbon in Piemonte

Testo a cura di Evelina Ballato (Dipartimento Territoriale Piemonte Nord - Est) e Milena Sacco (Dipartimento Territoriale Piemonte Nord - Ovest)

7.1.1 Introduzione

Il black carbon (BC) è parte della frazione carboniosa del particolato fine, ed è definito come l'insieme delle particelle carboniose in grado di assorbire luce con lunghezza d'onda caratteristica nello spettro del visibile (380 ÷ 760 nm). Fondamentalmente, queste particelle di carbonio presentano una microstruttura simile a quella della grafite aggregata in piccole sfere con diametro indicativamente compreso tra 10 e 50 nm. Il BC proviene dalla combustione incompleta di carburanti di origine fossile, principalmente diesel, dalla combustione della biomassa (ad esempio in ambito agricolo o per gli incendi boschivi) e dal riscaldamento domestico (sia con combustibili fossili che con biomasse).

La misura viene effettuata mediante un analizzatore in continuo (Aethalometer Model AE33 – Magee Scientific, successivamente etalometro). Il principio di misura dell'etalometro è basato sull'attenuazione dell'intensità della radiazione luminosa; l'aria aspirata attraversa un nastro di materiale filtrante, creando così un deposito di PM10 a densità crescente, che viene investito da fasci luminosi a diverse lunghezze d'onda: dall'aumento dell'attenuazione della radiazione luminosa tra due misure consecutive si risale alla concentrazione del black carbon. Questa analisi viene eseguita con sette lunghezze d'onda ottiche, comprese tra vicino infrarosso e vicino ultravioletto. Per la misura del BC si utilizza la lunghezza d'onda di 880 nm.

Il BC ha effetti tossici trascurabili sui polmoni umani e animali e sulle cellule delle vie aeree come macrofagi e cellule epiteliali respiratorie. È stato invece suggerito che eserciti un ruolo chiave indiretto nella tossicità come vettore universale di sostanze organiche semi-volatili tossiche e altri composti co-rilasciati nei processi di combustione o attaccati alla loro superficie durante il trasporto regionale e a lungo raggio⁴³.

L'attenzione verso questo componente del particolato è cresciuta negli anni, poiché oltre a contribuire all'inquinamento atmosferico, influisce sul cambiamento climatico ed è stato inserito come inquinante da ridurre insieme al PM2.5 nell'aggiornamento 2012 del Protocollo di Gotheborg, entrato in vigore il 7 ottobre 2019. Il BC, infatti è noto come un forzante climatico a vita breve, ha un forte effetto di riscaldamento ma non persiste nell'atmosfera come l'anidride carbonica (CO₂). Tuttavia, ricerche più recenti mostrano che il BC intrappola il calore 680 volte più della CO₂. Pertanto, in particolare nel contesto globale dello scioglimento dei ghiacciai, della riduzione della massa di ghiaccio ai Poli, con effetti a catena sulla flora e sulla fauna e l'innalzamento del livello del mare, la riduzione delle emissioni di BC è un obiettivo fondamentale nella lotta ai cambiamenti climatici⁴⁴.

Il monitoraggio del BC con strumentazione in grado di fornire un primo livello di “source apportionment” identificando le due principali categorie di contributo (da fonti fossili e da biomassa) ha quindi rilevanza sia in termini di inquinamento atmosferico al suolo che di valutazione delle politiche di riduzione dei gas climalteranti.

7.1.2 Le misure

Il black carbon in Piemonte viene regolarmente misurato dall'estate 2018 in due stazioni, una di fondo urbano in Torino, e una di fondo suburbano a Domodossola. Le due stazioni sono collocate in contesti molto differenti, Torino-Lingotto in un parco dell'area urbana torinese, Domodossola-Curotti in una città di 18 mila abitanti, centro principale della val d'Ossola nella piana del fiume Toce, alla confluenza di più valli alpine. Questa differenza è messa in evidenza dalle misure degli inquinanti che vengono effettuate presso le due stazioni. Torino-Lingotto presenta dei valori più critici di biossido di azoto e di PM10 rispetto a Domodossola (vedi Tabella 23 e Figura 145), ma quest'ultima è caratterizzata da livelli di benzo(a)pirene generalmente superiori o prossimi al valore obiettivo

⁴³ Janssen N. et al., (2012) Health Effects Of Black Carbon, World Health Organization

⁴⁴ <http://www.unece.org/info/media/presscurrent-press-h/environment/2019/entry-into-force-of-amended-gothenburg-protocol-is-landmark-for-clean-air-and-climate-action/doc.html>

annuale fissato da normativa, pari a 1 ng/m³ (massima media annuale: 1.9 ng/m³ nel 2015 e 2016), quando Torino-Lingotto ha sempre rispettato il limite. Nel 2023 i valori di benzo(a)pirene a Domodossola sono risultati inferiori al valore obiettivo, confermando il miglioramento già osservato nei due anni precedenti, ma comunque mostra valori pari al doppio rispetto a To-Lingotto (0.8 ng/m³ contro 0.4 ng/m³ annuali). Ne risulta quindi un particolato molto più ricco di Benzo(a)pirene rispetto a quello a Torino-Lingotto, come si può osservare in Figura 146.

PARAMETRO		Domodossola – Curotti NO ₂ (µg/m ³)	To-Lingotto NO ₂ (µg/m ³)	Domodossola – Curotti NO (µg/m ³)	To-Lingotto NO (µg/m ³)	Domodossola – Curotti Black Carbon (µg/m ³)	To-Lingotto Black Carbon (µg/m ³)
Ore valide		8700	8452	8700	8478	8280	8465
Percentuale ore valide		99%	96%	99%	97%	95%	97%
Media delle medie mensili dei massimi giornalieri		32	51	39	51	4.8	3.63
Media dei massimi giornalieri		32	52	39	52	4.55	3.63
Media dei valori orari		16	31	12	21	1.89	1.82

Tabella 23: dati statistici anno 2023 per le stazioni Torino-Lingotto e Domodossola-Curotti

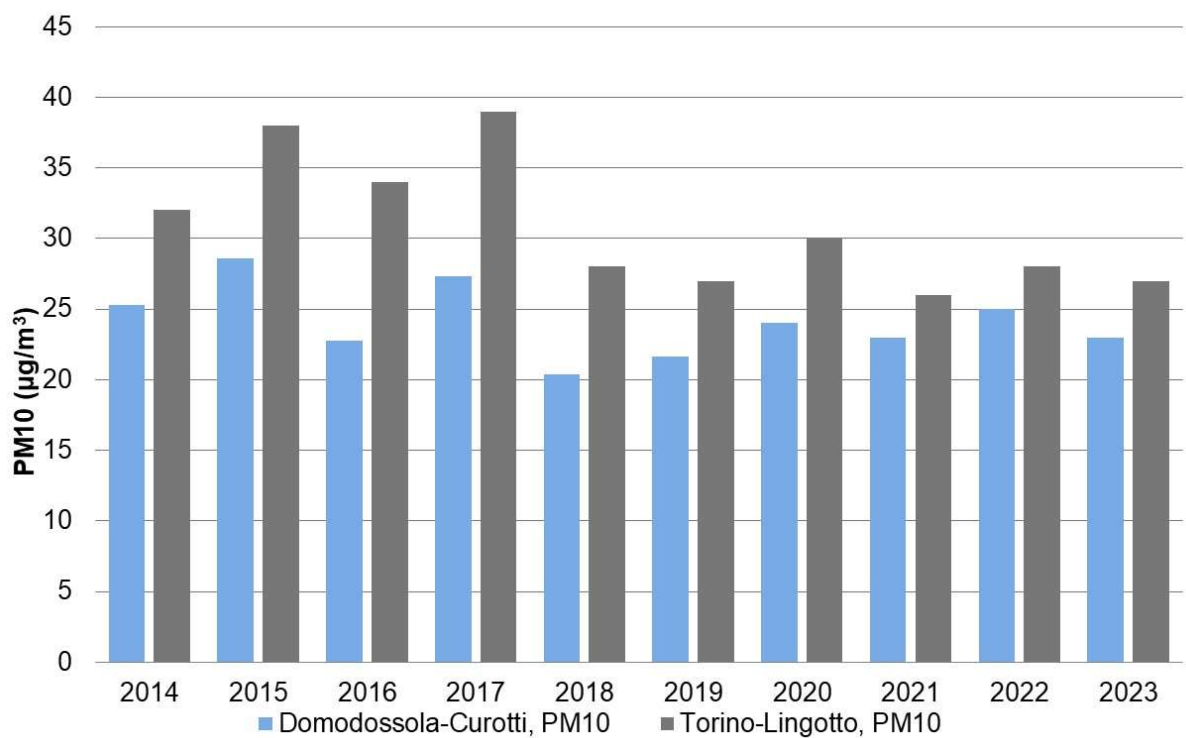


Figura 145: medie annuali di PM10 a Torino-Lingotto e Domodossola-Curotti.

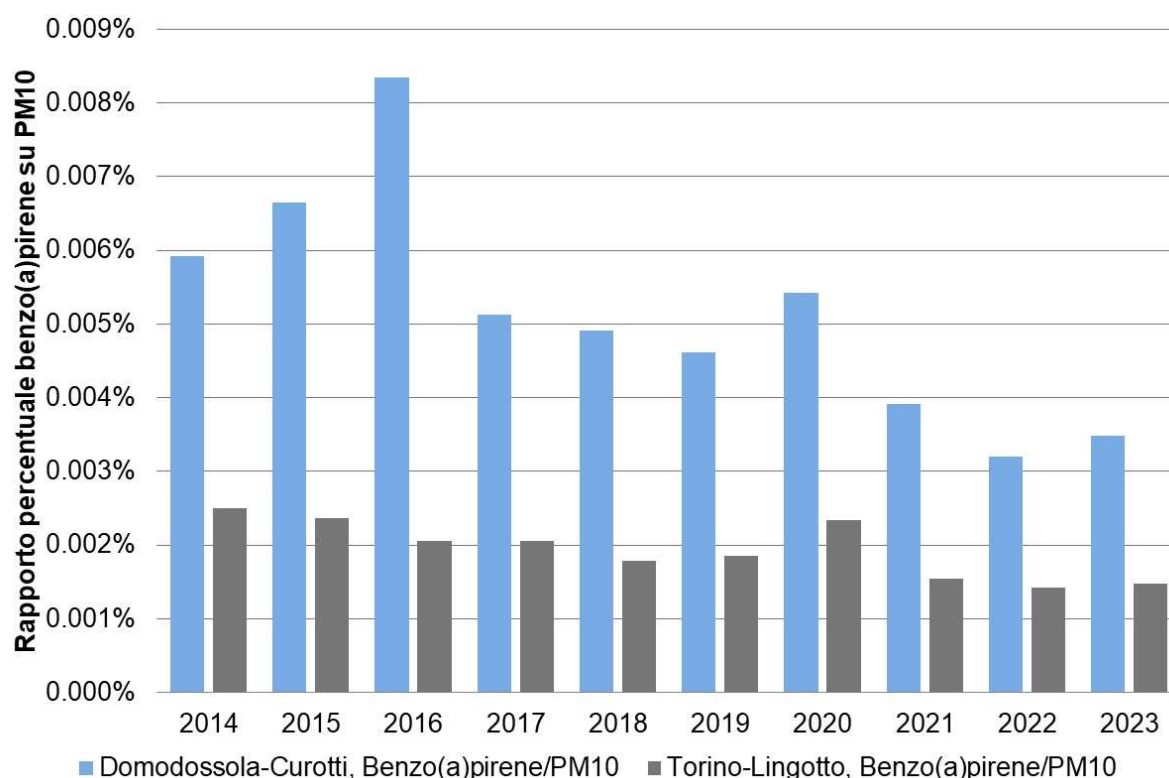


Figura 146: percentuale di benzo(a)pirene nel PM10 – anni 2014-2023

Tale criticità relativamente al benzo(a)pirene ha fatto subito supporre come molto significativa la fonte riscaldamento tramite combustione di biomasse. Questa ipotesi è stata poi supportata dal source apportionment modellistico relativo al 2015 effettuato per il nuovo Piano Regionale per la Qualità dell'Aria della Regione Piemonte, nel quale è indicato il contributo percentuale alla media annuale del PM10 del riscaldamento a legna, che è il 44.2% a Torino- Lingotto ed il 76.7% a Domodossola, mentre complessivamente il traffico veicolare contribuisce al 35.7% del PM10 a Torino-Lingotto, contro il 10.3 % di Domodossola⁴⁵.

Nel corso del 2023 come avvenuto negli anni precedenti la media annua di BC a Domodossola è superiore a quella di Torino, mentre per il PM10 vale il contrario; pertanto, il BC ha un contributo maggiore nel PM10 a Domodossola rispetto a Torino (8.2% contro 6.7%), come osservabile in Figura 147. L'unica eccezione è avvenuta nel 2022 quando i due siti hanno presentato un contributo di BC nel PM10 uguale, pari al 7.3%. I valori giornalieri mantengono l'andamento tipico annuale con massimi invernali e minimi estivi, correlato a quello del PM10.

⁴⁵ https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2019-04/prqa_allegatob.pdf

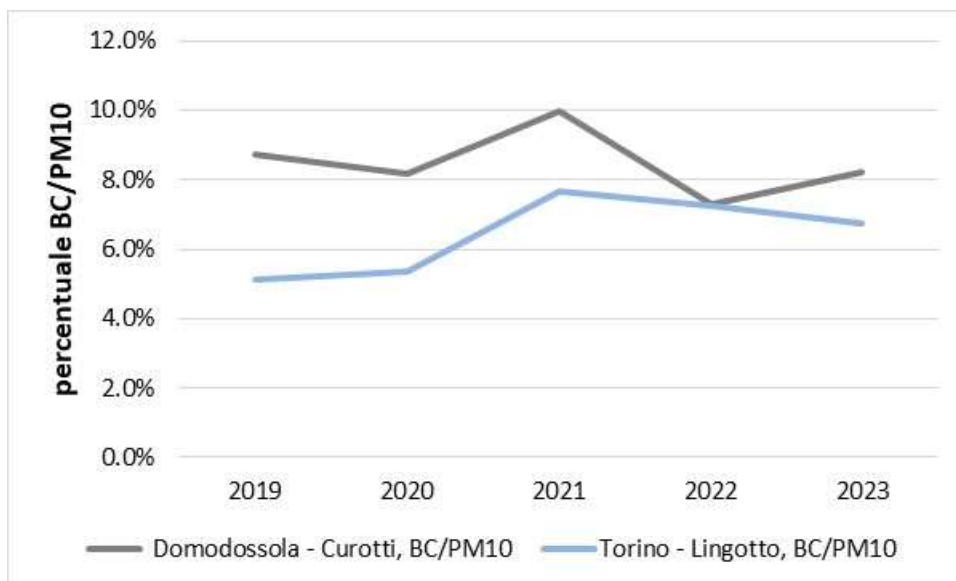


Figura 147: Andamento annuale della percentuale di BC nel PM10 a Torino e Domodossola

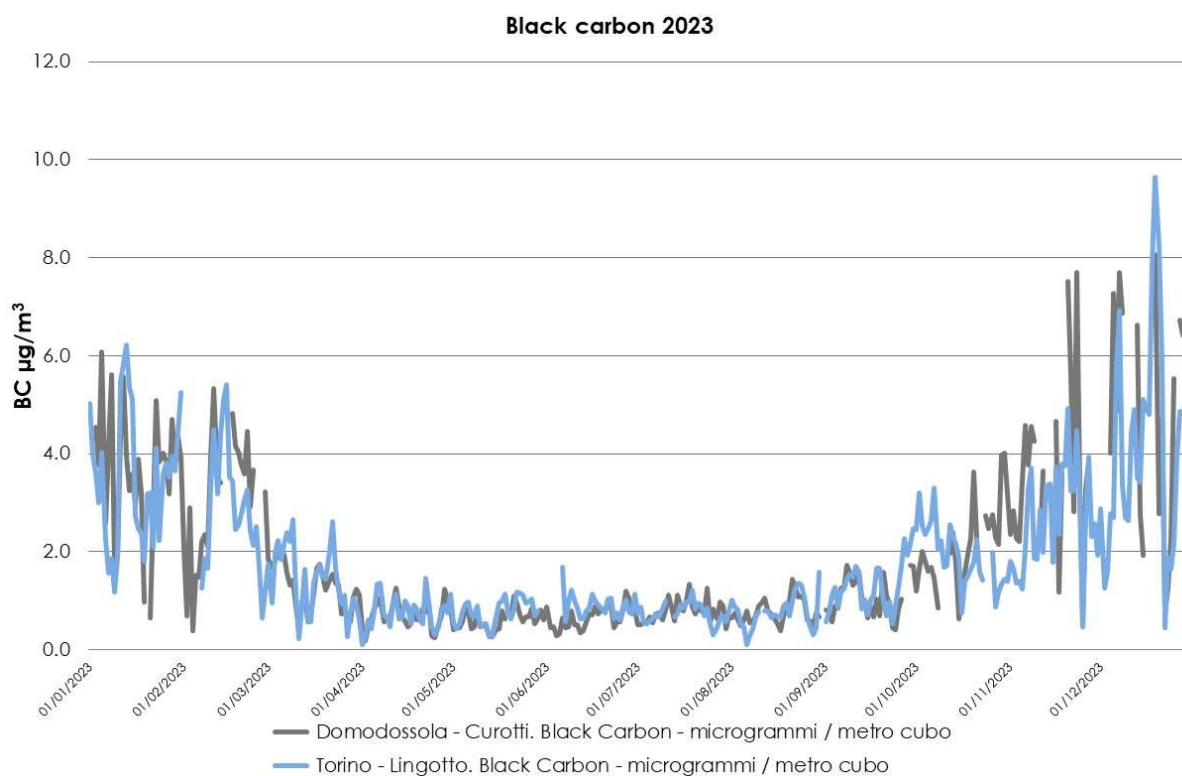


Figura 148: Andamento giornaliero del BC a Torino e Domodossola nel 2023

L'esame delle correlazione del black carbon con NO, NO₂ e PM10 misurati nelle due stazioni, fatta per il periodo invernale, maggiormente significativo per questi inquinanti, evidenzia un'ottima correlazione del PM10 con il BC per entrambe le stazioni, discreta per l'NO₂, mentre per l'NO, tipico inquinante primario da traffico, le due stazioni si differenziano: mediamente, negli ultimi sei inverni a Torino-Lingotto è ottima (R di Pearson 0.9), mentre a Domodossola è più bassa (R di Pearson 0.5), come si può vedere in Tabella 24 ed in Tabella 25. Questo indica il maggiore contributo della sorgente traffico al BC misurato a Torino, rispetto a Domodossola.

To-Lingotto - Black Carbon												
	R di Pearson n ott-dic 2018	R di Pearson n gen-mar 2019	R di Pearson n ott-dic 2019	R di Pearson n gen-mar 2020	R di Pearson n ott-dic 2020	R di Pearson n gen-mar 2021	R di Pearson n ott-dic 2021	R di Pearson n gen-mar 2022	R di Pearson n ott-dic 2022	R di Pearson n gen-mar 2023	R di Pearson n ott-dic 2023	R di Pearson n gen-mar 2024
To-Lingotto NO ₂	0.63	0.68	0.75	0.79	0.65	0.71	0.71	0.54	0.57	0.67	0.58	0.63
To-Lingotto - NO	0.90	0.93	0.90	0.95	0.90	0.88	0.88	0.90	0.87	0.91	0.91	0.91
To-Lingotto - PM10	0.80	0.88	0.78	0.88	0.82	0.83	0.82	0.92	0.82	0.87	0.87	0.91

Tabella 24: Correlazione del BC con gli altri inquinanti a Torino-Lingotto (dati orari per NO ed NO₂, giornalieri per il PM10).

Domodossola Curotti - Black Carbon												
	R di Pearson ott-dic 2018	R di Pearson n gen-mar 2019	R di Pearson n ott-dic 2019	R di Pearson n gen-mar 2020	R di Pearson n ott-dic 2020	R di Pearson n gen-mar 2021	R di Pearson n ott-dic 2021	R di Pearson n gen-mar 2022	R di Pearson n ott-dic 2022	R di Pearson n gen-mar 2023	R di Pearson n ott-dic 2023	R di Pearson n gen-mar 2024
Domodossola Curotti - NO ₂	0.61	0.70	0.60	0.74	0.65	0.66	0.71	0.78	0.69	0.70	0.47	0.58
Domodossola Curotti - NO	0.65	0.39	0.65	0.61	0.57	0.47	0.62	0.53	0.58	0.46	0.32	0.42
Domodossola Curotti - PM10	0.82	0.83	0.85	0.88	0.83	0.61	0.94	0.80	0.93	0.88	0.87	0.90

Tabella 25: Correlazione del BC con gli altri inquinanti a Domodossola-Curotti (dati orari per NO ed NO₂, giornalieri per il PM10)

L'utilizzo di un analizzatore in continuo di BC nelle due stazioni ha consentito di quantificare la percentuale di black carbon attribuibile alla combustione delle biomasse in entrambi i siti, calcolata applicando il metodo elaborato da Sandradewi, J. et al.⁴⁶. La verifica della correttezza di questo tipo di stima è stata approfondita in uno studio di Arpa Piemonte nel sito di To-Lingotto⁴⁷.

Considerando solo il periodo freddo, ottobre – marzo, i valori percentuali di black carbon attribuibile alla combustione di biomasse a Domodossola sono mediamente più alti rispetto a Torino-Lingotto nei cinque anni finora monitorati (45 % contro 29 % rispettivamente), il trend è lievemente decrescente in Domodossola, con un minimo nell'ultimo inverno, mentre a Torino la percentuale negli ultimi quattro inverni risulta una decina di punti in più rispetto agli anni 2018-2019 e 2019-2020, attestandosi attorno al 30% (Tabella 26).

L'andamento nel tempo delle concentrazioni di BC totale e di BC attribuibile alle due principali componenti (combustione delle biomasse e dei combustibili fossili) sono visualizzabili in Figura 149 e Figura 150, rappresentate come concentrazioni medie mensili.

⁴⁶ Sandradewi, J. et al., (2008) Using Aerosol Light Absorption Measurements for the Quantitative Determination of Wood Burning and Traffic Emission Contributions to Particulate Matter, Environ. Sci. Technol. 42, 3316–3323

⁴⁷ Sacco M. et al, (2019) Caratterizzazione della componente carboniosa del particolato aero-disperso in un sito di fondo urbano torinese, Atti VII Convegno Nazionale Il controllo degli agenti fisici - Monitoraggio ambientale: dalla produzione all'analisi del dato, Arpa Piemonte in collaborazione con AIRP (Associazione Italiana di Radioprotezione)

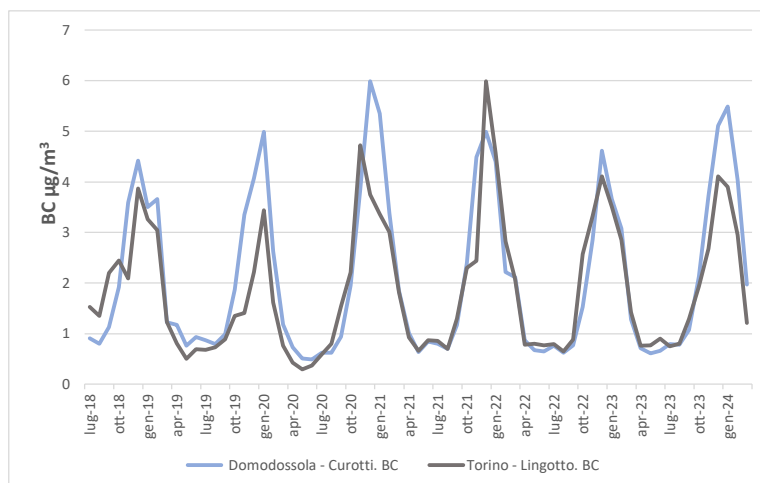


Figura 149: andamento medio BC - medie mensili - a Torino-Lingotto e Domodossola-Curotti luglio 2018-marzo 2024

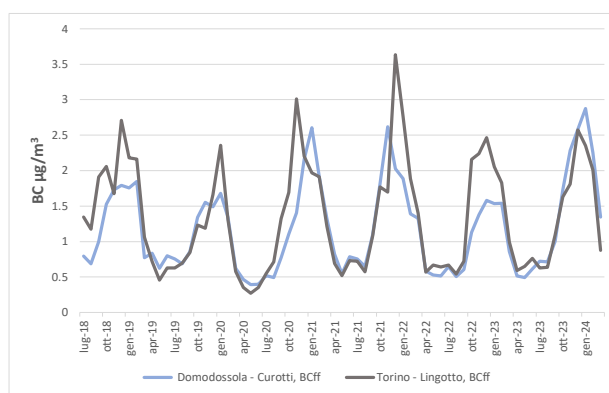
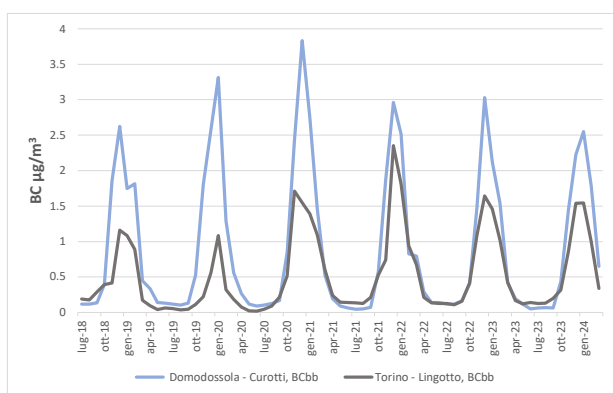


Figura 150: andamento medio BC da combustione delle biomasse (BCbb) e da combustione di combustibili fossili (BCff) - medie mensili - a Torino-Lingotto e Domodossola-Curotti luglio 2018-marzo 2024

Anche l'analisi del profilo medio giornaliero dell'ultimo inverno del BC da combustione di biomasse e da combustione di combustibili fossili indica che a Domodossola ci sia una fonte aggiuntiva di BC attribuibile alla combustione di biomasse rispetto al sito torinese, come osservabile nella Figura 151 a sinistra.

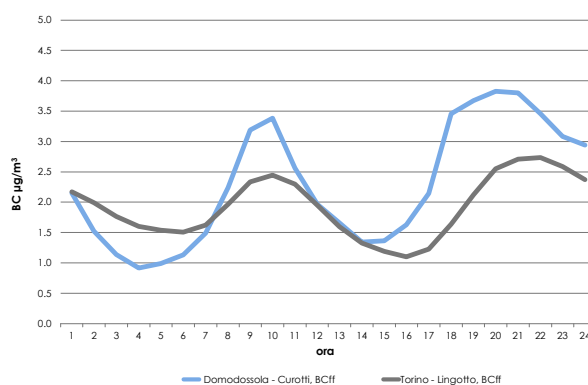
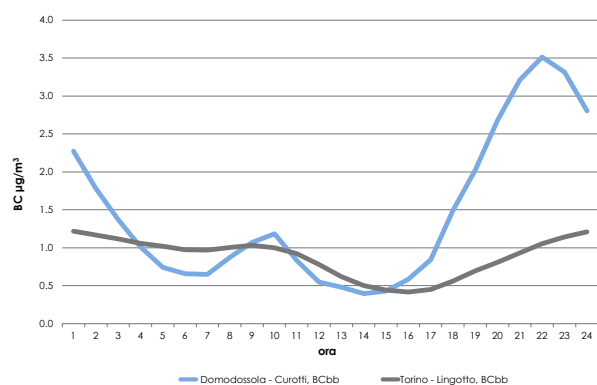


Figura 151: andamento del giorno medio per il BC da combustione di biomasse (sinistra) e per il BC da combustione di combustibili fossili (destra) nel periodo ottobre 2023 – marzo 2024

Il profilo medio giornaliero del BC da combustione di combustibili fossili a Domodossola è differente da quello degli anni passati, quando i valori medi orari erano spesso inferiori ai dati di Torino; nell'ultimo inverno, soprattutto nelle ore tardo serali e notturne, pare esserci un maggior contributo della combustione di combustibili fossili rispetto al sito di Torino.

È interessante il confronto nella variazione dei parametri misurati nel periodo freddo (ottobre-marzo) finora disponibili (Tabella 26): per Torino-Lingotto il PM10 nell'ultimo inverno è in aumento rispetto

a quello precedente, mentre per Domodossola, dopo tre inverni di concentrazioni stabili, si evidenzia una diminuzione. Il BC dell'inverno 2023-24 è in diminuzione a Torino, mentre sale a Domodossola. A To-Lingotto risulta stabile il rapporto tra la componente da combustione di biomassa e combustibili fossili (circa 31% BC_{bb} e 69% BC_{ff}).

A Domodossola nel 2023-2024, invece, risulta in netto decremento la stima percentuale di BC da combustione di biomassa (passa da 47% a 36%), evidenziando, in presenza di concentrazioni medie di PM₁₀ inferiori, concentrazioni più alte di BC rispetto all'inverno precedente, ma meno ricche nella componente da combustione da biomassa.

Per comprendere meglio le variazioni osservate non è possibile prescindere da una valutazione meteorologica complessiva, nel seguito si analizzano i principali indicatori meteorologici.

In generale l'inverno 2023/2024 ha presentato una temperatura media di circa 4.5°C, con un'anomalia termica positiva di 2.8°C rispetto alla media del periodo 1991-2020, ed è risultata la stagione invernale più calda degli ultimi 67 anni. Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state superiori alla media degli anni 1991-2020, con 234.5 mm medi ed un surplus di 87.9 mm (pari al 60%), ponendo l'inverno 2024/2024 al tredicesimo posto tra le stagioni invernali più ricche di precipitazioni degli ultimi 67 anni. Per la prima volta dall'inverno 2006-2007 non è caduto neppure un centimetro di neve a Torino città ed è mancato un episodio di neve diffusa in pianura.

In particolare, l'inverno 2023-24 a Domodossola ha registrato temperature medie più alte di 0.3 °C (7.9°C) rispetto a quelle, già alte, dell'inverno 2022-23 (7.6°C), con una media dei massimi giornalieri superiore (14.2°C contro 14°C). Anche a Torino le temperature medie sono state più alte di 0.3°C nel 2023-24 rispetto al 2022-23 (10°C contro 9.7°C), anche qui con una media dei massimi giornalieri superiore (14°C contro 13,5°C). Per quanto riguarda le precipitazioni, a Domodossola i mm di pioggia totali caduti da ottobre a marzo sono risultati quasi quattro volte tanto quelli dell'inverno precedente (+758.9 mm), a Torino si è registrato un incremento di 308.2 mm. Le precipitazioni nevose sono state nulle. Precipitazioni piovose così significative hanno determinato un notevole decremento del PM₁₀ e del numero di superamenti del limite giornaliero in Domodossola. A Torino, invece, periodi di stabilità atmosferica verificatisi a gennaio 2024 e nella seconda metà di febbraio hanno causato numerosi superamenti del valore limite.

Si può supporre che grazie alle temperature mediamente più alte registrate nell'inverno 2023-24, in entrambi i siti le emissioni di BC da combustione di biomassa siano state ridotte. In generale le politiche messe in atto negli ultimi due inverni per il contenimento dei consumi energetici, insieme alle più miti temperature, potrebbero aver contribuito alla riduzione del black carbon da combustione di biomasse rispetto all'inverno dell'anno 2021-2022.

	media inverno 2018-2019	media inverno 2019-2020	media inverno 2020-2021	media inverno 2021-2022	media inverno 2022-2023	media inverno 2023-2024
To-Lingotto, PM10	40	39	40	39	35	37
To-Lingotto, Stima % BC da combustione di biomassa	23	21	35	33	33	31
To-Lingotto, BC	2.63	1.79	3.12	3.33	2.98	2.84
To-Lingotto, BCbb	0.71	0.44	1.11	1.18	1.02	0.95
To- Lingotto, BCff	1.92	1.34	1.97	2.15	1.94	1.89
Domodossola Curotti, PM10	24	30	33	34	34	28
Domodossola Curotti, Stima % BC da combustione di biomassa	46	51	48	43	47	36
Domodossola Curotti, BC	3.28	2.96	3.63	3.46	2.82	3.64
Domodossola Curotti, BCbb	1.69	1.71	1.97	1.68	1.54	1.51
Domodossola Curotti, BCff	1.52	1.25	1.65	1.79	1.26	2.15

Tabella 26: medie e variazioni percentuali degli inquinanti invernali (ott-mar) dal 2018 al 2024

Per poter valutare se le concentrazioni di black carbon misurate sia imputabili prevalentemente a sorgenti di emissioni a carattere locale o più esterne rispetto al punto di monitoraggio, si sono esaminati i grafici “polar plot”. Il grafico bivariato in coordinate polari (polar plot), permette di tracciare, rispetto al punto di misura, le concentrazioni dell'inquinante in funzione della direzione e velocità del vento. La coordinata radiale indica la velocità del vento (m/s), l'angolo polare individua la direzione (gradi nord), mentre nel piano sono riprodotte le concentrazioni, in base alla legenda con gradiente di colore.

L'analisi dei grafici polar plot delle due stazioni, relativi al periodo invernale 01/10/2023-31/03/2024, Figura 152 e Figura 153, mostra una differenza rispetto agli inverni precedenti per il sito di Domodossola, generalmente caratterizzato da un modello di dispersione in cui le concentrazioni di BC sono più alte a bassa velocità del vento (in ragione delle condizioni anemologiche del sito) e diminuiscono con l'aumentare della velocità, quindi le concentrazioni più alte si evidenziano al centro del grafico. Nell'elaborazione dei dati di quest'ultimo inverno compare, invece, una fonte aggiuntiva di BC, esterna all'area di monitoraggio. Le concentrazioni più alte si osservano nelle ore notturne, con venti di provenienza sud, sud-est e velocità superiori a 1 ms^{-1} . Si conferma così quanto evidenziato dall'analisi del profilo medio giornaliero (Figura 151), per il quale a Domodossola, rispetto agli anni passati, pare esserci un maggior contributo al BC dalla combustione di combustibili fossili. Purtroppo, il numero di dati disponibili non permette una descrizione robusta del fenomeno.

Per la stazione di Torino-Lingotto, si conferma quanto rilevato negli inverni precedenti. Le concentrazioni più elevate di BC si osservano con venti di provenienza sud, sud-ovest, in particolare nelle ore notturne, denotando un possibile apporto dovuto a sorgenti di emissione esterne all'area di monitoraggio, genericamente identificabili in alcuni Comuni della prima cintura della conurbazione, caratterizzati da una tipologia di edilizia residenziale maggiormente predisposta all'uso della biomassa per il riscaldamento domestico, rispetto alla Città di Torino.

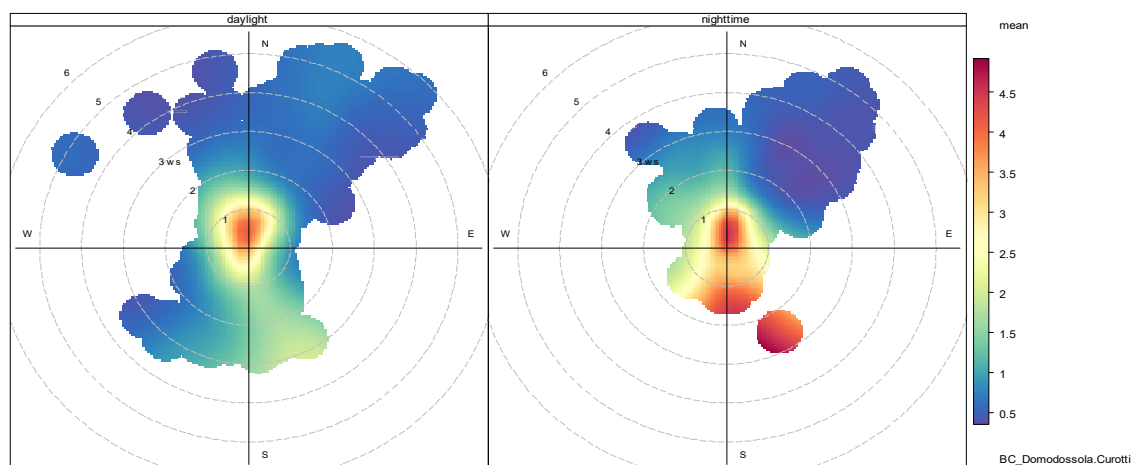


Figura 152: Domodossola-Curotti, polar plot delle concentrazioni di BC in funzione di direzione e velocità del vento

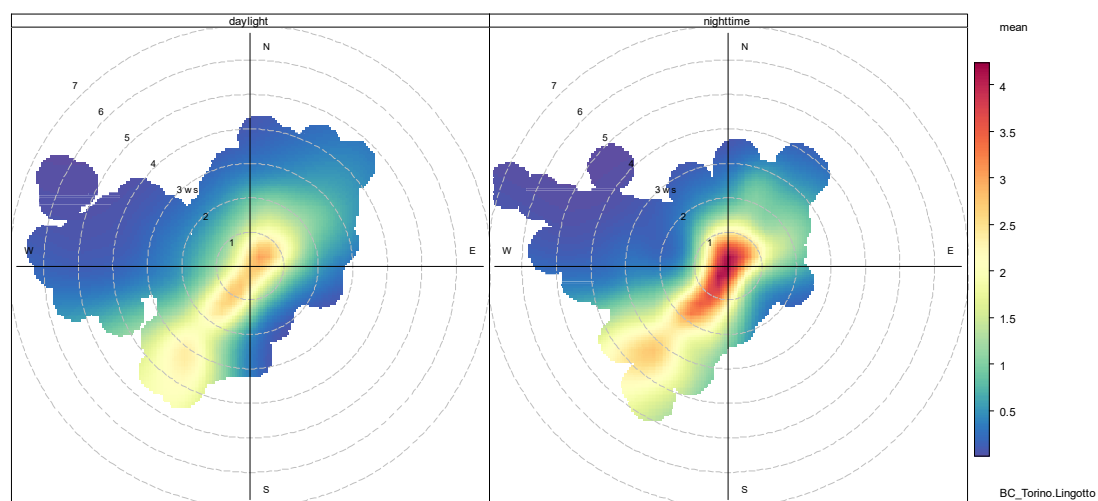


Figura 153: Torino-Lingotto, polar plot delle concentrazioni di BC in funzione di direzione e velocità del vento

7.2 Analisi delle concentrazioni di ammoniaca in Piemonte

Testo a cura di Luisella Bardi (Dipartimento Territoriale Sud – Ovest), Francesca Bissardella, Roberta De Maria, Stefania Ghigo, (Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali), Milena Sacco, (Dipartimento Territoriale Piemonte Nord – Ovest)

L'ammoniaca gassosa (NH₃) svolge un ruolo importante nel campo della qualità dell'aria in quanto, partecipando al ciclo dell'azoto, contribuisce alla neutralizzazione degli acidi (come acido nitrico e acido solforico, derivanti dall'ossidazione in fase gassosa, rispettivamente, di SO₂ ed NO_x) e alla formazione del particolato atmosferico, in particolare quello fine (PM_{2.5}).

Le normative nazionale e comunitaria sulla qualità dell'aria non prevedono valori limite o standard da rispettare per le concentrazioni in atmosfera di ammoniaca. La proposta di nuova direttiva sulla qualità dell'aria indica la misura dell'ammoniaca nelle stazioni individuate come supersiti, ovvero stazioni di monitoraggio in siti di fondo urbano o rurale nei quali condurre il campionamento per raccogliere dati a lungo termine su diversi inquinanti atmosferici anche non regolamentati, al fine di contribuire alla comprensione scientifica dei loro effetti sulla salute e sull'ambiente.

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria della regione Piemonte è attualmente dotata di due analizzatori di ammoniaca che nel tempo sono stati utilizzati per monitorarne le concentrazioni in diversi siti in provincia di Cuneo e nella Città Metropolitana di Torino. Nella Tabella 27 si riportano i periodi di monitoraggio presso i vari siti.

PROVINCIA DI CUNEO	STAFFARDA 28/05/2016 - 27/03/2018	BRA 28/03/2018 - 21/04/2021	CAVALLERMAGGIORE 22/04/2021 - oggi
	TORINO - RUBINO 24/05/2016 - 14/11/2016	TORINO - LINGOTTO 15/11/2016 - oggi	

Tabella 27: Ammoniaca: periodi di monitoraggio nei diversi siti

Secondo l'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (IREA) piemontese, riferito all'anno 2019 (ultima release a disposizione), il comparto agricoltura e allevamento contribuisce all'emissione totale regionale di NH₃ per il 92%, di cui l'86% proveniente dal settore "gestione dei reflui azotati". Il restante 8% di ammoniaca deriva principalmente dai macrosettori: trattamento e smaltimento rifiuti (3%), riscaldamento domestico (3%) e trasporti stradali (1%). La Figura 154 rappresenta la pressione emissiva dell'ammoniaca a livello comunale derivante dalla totalità delle emissioni di NH₃ (a sinistra) e quella riconducibile al solo comparto emissivo agricoltura e allevamento a destra) per l'anno 2019.

Per il comune di Torino, in cui lo strumento di misura dell'ammoniaca è attualmente localizzato nella stazione di Torino - Lingotto, l'apporto relativo al macrosettore agricoltura e allevamento sul totale di NH₃ è esiguo (22%), mentre tale apporto risulta decisamente sostanziale (pari al 99%) nei tre comuni cuneesi in cui è stato posizionato il secondo strumento (ovvero Bra, Cavallermaggiore e Staffarda).

La Figura 155 mostra un focus delle emissioni di ammoniaca provenienti dal comparto agricoltura e allevamento disaggregate spazialmente ad una risoluzione di 4 km, relative all'area del basso torinese e alto cuneese; tale disaggregazione spaziale prevede l'attribuzione dei quantitativi emessi alle porzioni territoriali che ne sono effettivamente responsabili, tenendo conto degli elementi cartografici disponibili (uso del suolo, layer tematici). Guardando alla zona del cuneese, si osserva la differenza di quantitativi emessi nelle celle in cui sono localizzate le tre centraline, con un apporto di ammoniaca emessa nell'intorno della stazione di Bra decisamente inferiore.

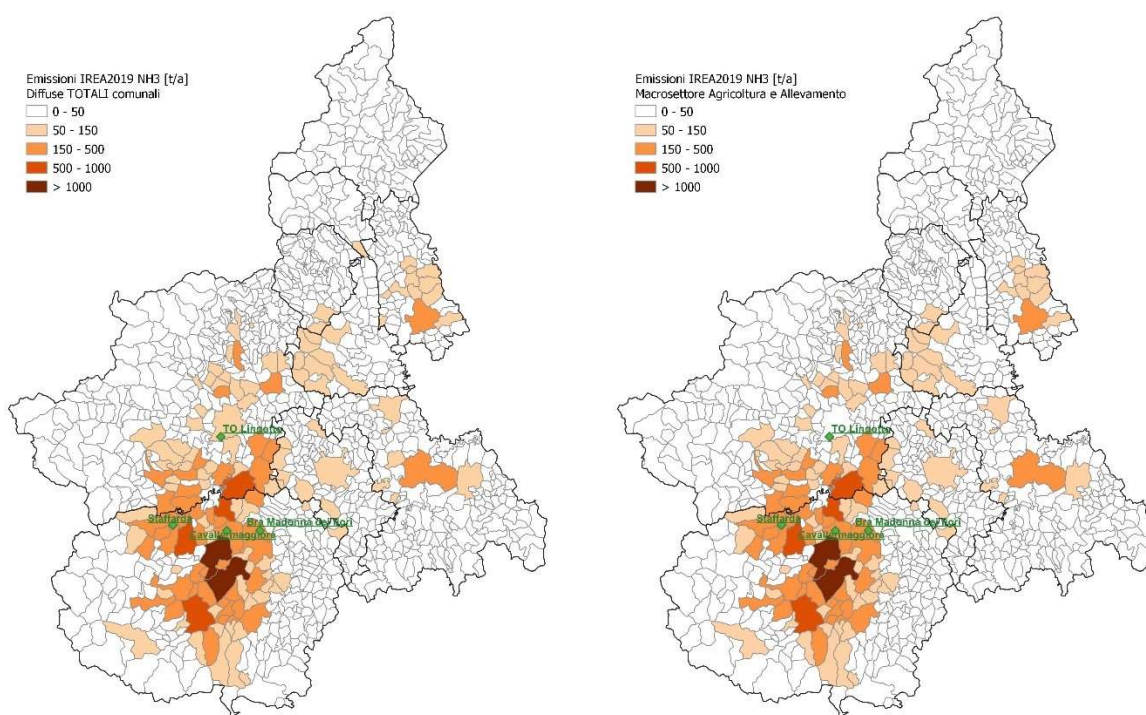


Figura 154: Emissioni a livello comunale di NH₃ relative alla totalità dei comparti emissivi (a sinistra) e al solo comparto Agricoltura e Allevamento (a destra)

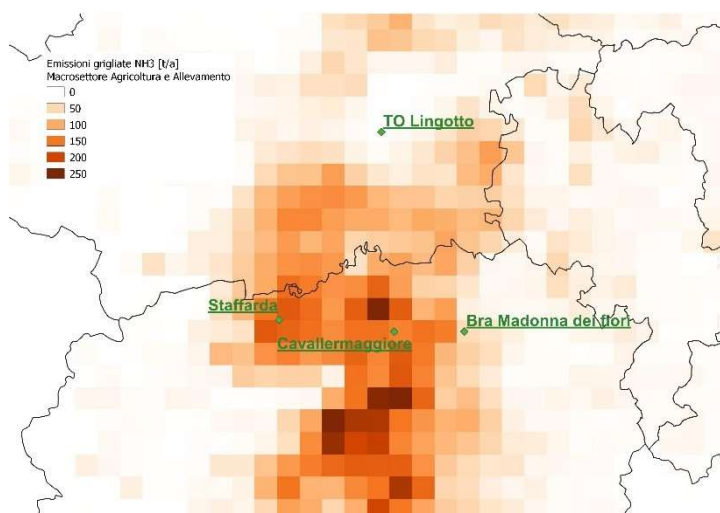


Figura 155: distribuzione spaziale su maglia 4x4 km delle emissioni di NH₃ del comparto Agricoltura e Allevamento: focus della zona relativa al basso torinese e alto cuneese

I dati acquisiti dagli analizzatori di ammoniaca dal 2016 ad oggi sono stati elaborati al fine di confrontare le distribuzioni delle concentrazioni misurate, nei diversi periodi, presso i vari punti di monitoraggio; nel caso di Torino, le concentrazioni misurate presso le stazioni di Torino - Lingotto e Torino - Rubino sono state rappresentate come una sola serie, data la sostanziale analogia dei punti di misura. Dall'esame dei box-plot di Figura 156 emerge come il sito di Cavallermaggiore sia quello caratterizzato dalle concentrazioni mediamente più alte, mentre le concentrazioni di picco orarie più elevate, anche superiori ai 300 µg/m³, si registrano presso il sito di Staffarda. Le stazioni di Bra e di

Torino presentano invece concentrazioni fra di loro confrontabili. Tale situazione è compatibile con quanto emerso dal quadro emissivo sopra descritto.

Complessivamente i valori medi di Torino - Lingotto sono meno della metà rispetto a quelli di Cavallermaggiore nello stesso periodo (rispettivamente 11 e 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

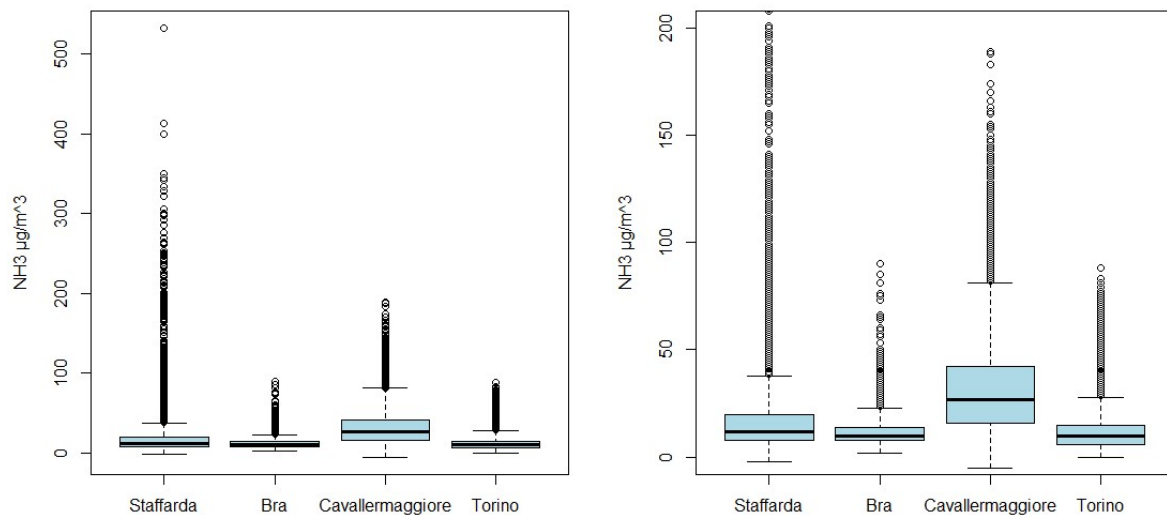


Figura 156: Box plot delle concentrazioni orarie rilevate nelle varie stazioni di monitoraggio

Le elaborazioni sulle medie mensili del periodo 22 aprile 2021 – 21 aprile 2024 su Cavallermaggiore e Torino – Lingotto (Figura 157), mostrano come per il sito di Cavallermaggiore le concentrazioni medie più elevate si osservino nei mesi di febbraio, giugno e nei mesi autunnali, mentre a Torino - Lingotto il picco di concentrazioni sia limitato al mese di febbraio.

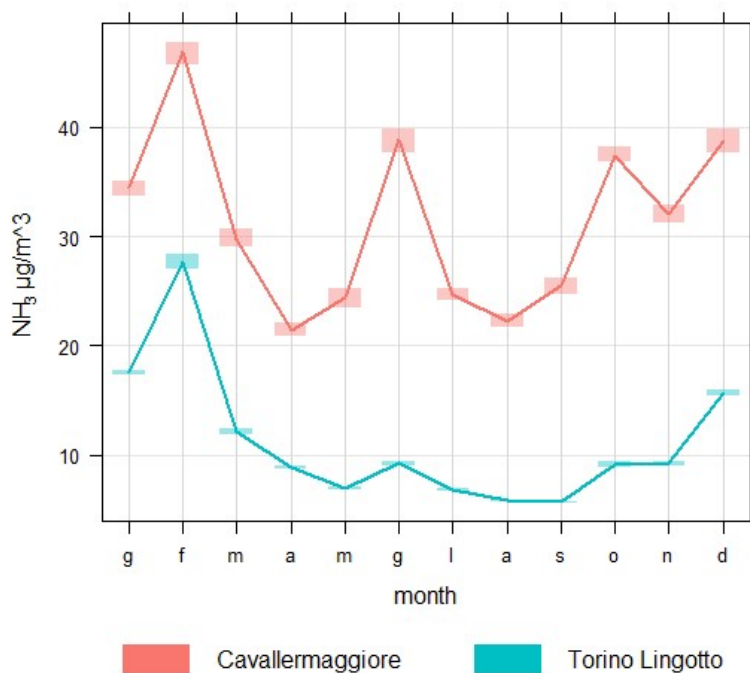


Figura 157: Andamento delle concentrazioni medie mensili del periodo 22 aprile 2021 - 21 aprile 2023 rilevate a Cavallermaggiore e Torino - Lingotto. La banda colorata indica l'intervallo di confidenza al 95% della media

I grafici dei giorni tipo suddivisi per stagioni non evidenziano andamenti particolari per le concentrazioni misurate nel sito di Torino se non nel periodo invernale quando si presentano due picchi, sempre molto contenuti, centrati intorno alle 12 e alle 22. Di maggior ampiezza sono le oscillazioni delle concentrazioni di ammoniaca evidenziate dai giorni tipo del sito cuneese.

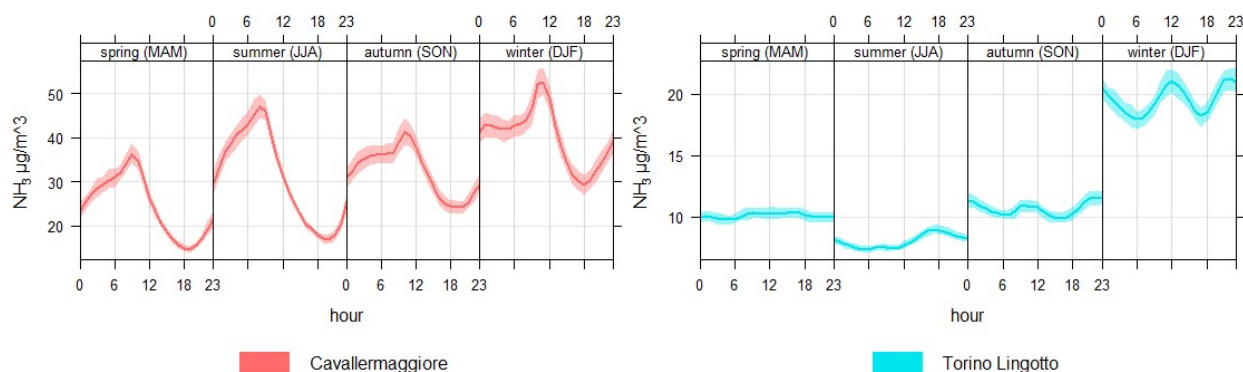


Figura 158: Andamento dei giorni tipo rilevati a Cavallermaggiore e Torino - Lingotto. Le bande colorate indicano l'intervallo di confidenza al 95% della media

A Cavallermaggiore durante le ore della giornata, le concentrazioni risultano condizionate dall'altezza dello strato di rimescolamento (H_{mix} nella figura – calcolata ora per ora a partire dai dati di temperatura, radiazione solare e velocità del vento locali): crescono durante la notte e nelle prime ore del mattino, quando sono minori le condizioni di diluizione e gli inquinanti, tra i quali l'ammoniaca, vengono accumulati negli strati più bassi dell'atmosfera. Iniziano poi a diminuire non appena la radiazione solare permette l'insorgere della turbolenza atmosferica e la crescita dello strato in cui gli inquinanti si diluiscono. La diluizione è minore, si può osservare sia dall'altezza che dall'ampiezza del giorno tipo dell' H_{mix} , in autunno e in inverno, ciò favorisce un innalzamento dei minimi pomeridiani in tali stagioni.

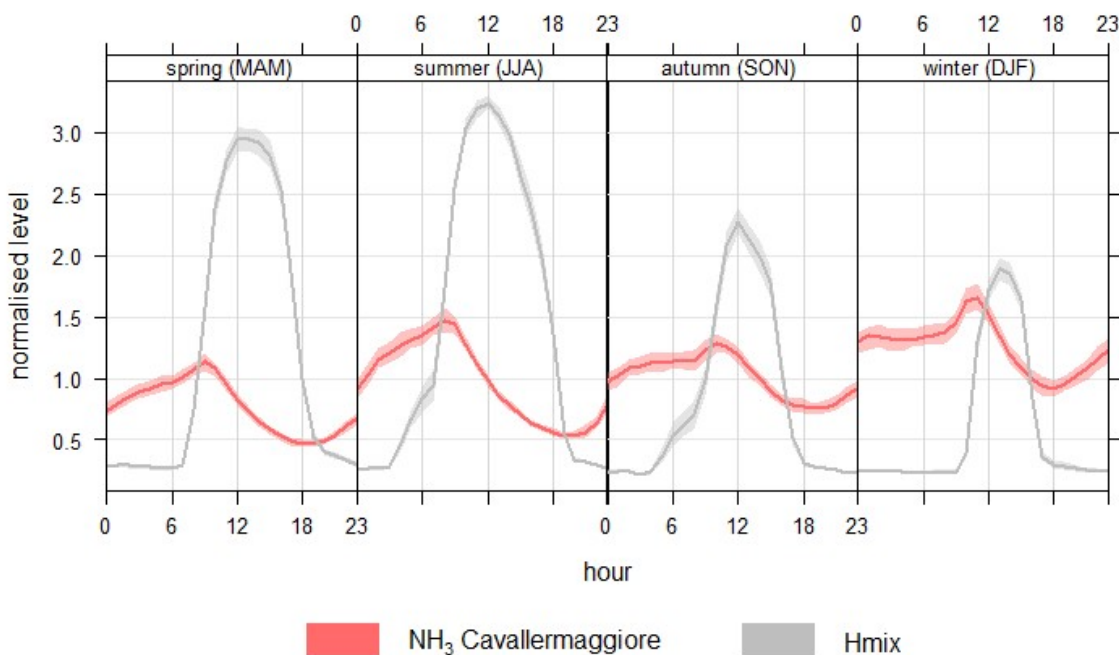


Figura 159: Andamento del giorno tipo dell'ammoniaca di Cavallermaggiore e dell'altezza dello strato di rimescolamento. Le bande colorate indicano l'intervallo di confidenza al 95% della media.

7.3 Valutazione del contributo dovuto al trasporto di polveri desertiche alle concentrazioni di PM10 in Piemonte

Testo a cura di Stefano Bande (Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali)

L'avvezione di polveri minerali dalle regioni aride è una delle principali fonti di aerosol naturali sulla Terra. Per l'Italia e l'Europa meridionale in generale la principale fonte di avvezione è sicuramente rappresentata dalla regione del Sahara settentrionale. Il trasporto di polveri sahariane (nel seguito SDA, Saharan Dust Avvection) verso i paesi del Mediterraneo è regolato dalla meteorologia, secondo schemi stagionali piuttosto regolari: generalmente le SDA si verificano durante le condizioni cicloniche in inverno, primavera e autunno e durante le condizioni anticicloniche in estate. Le particelle di polvere in atmosfera interagiscono in modo diretto con la radiazione solare, diffondendola e assorbendola, creando un effetto di "cielo lattiginoso" (Figura 160) nelle zone interessate dal trasporto. Il ritorno dei cieli sereni, o comunque sgombri dal carattere lattiginoso, può avvenire per avvezione di massa d'aria non di origine sahariana oppure per deposizione, secca o umida. Per deposizione secca si intendono tutti quei processi di varia natura che, senza coinvolgere l'acqua presente in troposfera, determinano un flusso della polvere verso il basso (ad esempio i moti discensionali). Per deposizione umida si intendono tutti quei processi di impoverimento attraverso l'interazione con acqua liquida o solida presenti nella troposfera. In questo caso, i due fenomeni principali sono: il *rainout*, ovvero polvere direttamente catturata dalle nuvole, oppure il *washout*, ovvero attraverso la precipitazione, come ad esempio pioggia o neve (causando in questo caso il fenomeno della neve rossa). La deposizione di polvere sahariana verso il Mediterraneo centrale è per lo più secca in estate e mista (umida e/o secca) nei restanti mesi.

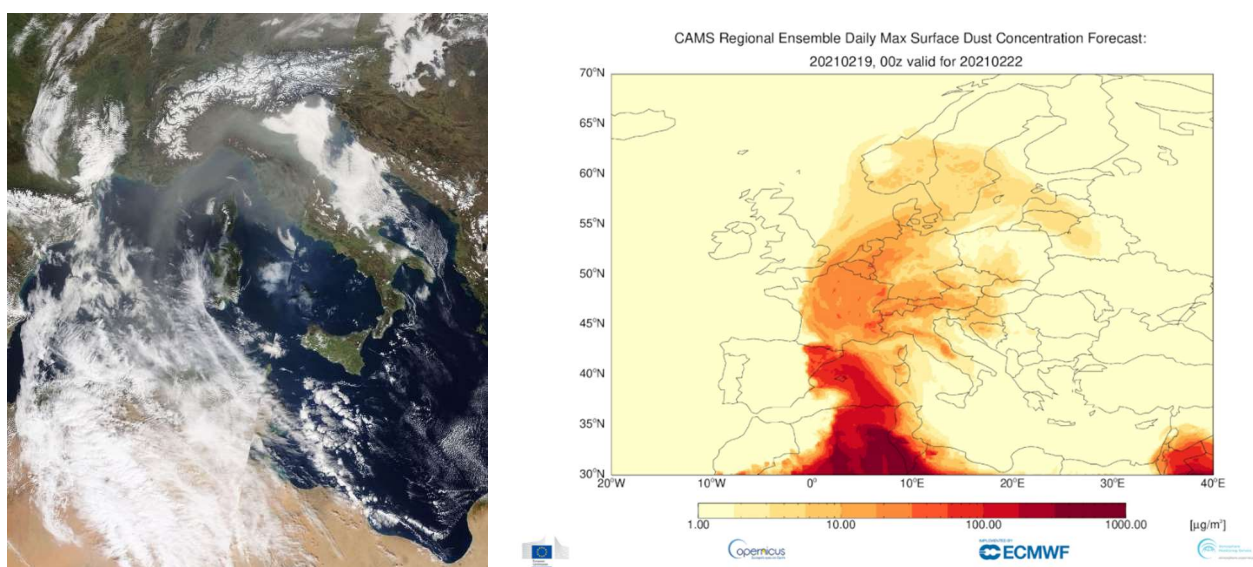


Figura 160: A sinistra immagine del satellite MODIS-TERRA per la giornata del 23 febbraio 2021 in cui è ben visibile la presenza di polveri trasportate dal Sahara anche sull'Italia settentrionale; a destra massima concentrazione di polvere (dust) prevista per il 22 febbraio 2021 dall'ensemble di modelli del servizio CAMS COPERNICUS⁴⁸

Possono verificarsi spesso anche eventi estremi di trasporto e singoli episodi molto intensi possono rappresentare in alcune aree più del 50% della deposizione totale annuale di polvere sahariana. Questi episodi più intensi possono a volte causare anche il superamento dei limiti giornalieri e annuali di PM10 stabiliti dalla vigente normativa di qualità dell'aria (Direttiva 2008/50/CE recepita a livello nazionale dal D.Lgs 155/2010), ossia $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera da non superare per più di 35 giorni per anno civile e $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media annuale.

⁴⁸ Copernicus Atmosphere Monitoring Service, implemented by ECMWF as part of The Copernicus Programme, <https://atmosphere.copernicus.eu/>

Sebbene sulla nostra regione la frequenza degli eventi di SDA sia minore che in altre regioni italiane (si vedano le statistiche riportate in Figura 161 relative al lavoro di Barnaba et al, 2022⁴⁹), è comunque importante identificarne e valutarne il contributo. La legislazione europea sulla qualità dell'aria consente infatti di sottrarre, ai fini del computo del rispetto dei limiti normativi, i contributi sahariani e altri contributi naturali dalle concentrazioni totali di PM10 osservate nelle stazioni di monitoraggio di qualità dell'aria. Il legislatore ha ritenuto infatti che tali fenomeni possano essere valutati, ma, a differenza delle emissioni di origine antropica, non possano essere controllati e quindi non devono essere considerati ai fini degli obblighi in carico agli Enti competenti nella gestione della qualità dell'aria.

A riguardo, l'articolo 15 del D.Lgs 155/2010 specifica che “Le regioni e le province autonome comunicano al Ministero dell'ambiente, per l'approvazione e per il successivo invio alla Commissione europea, l'elenco delle zone e degli agglomerati in cui, relativamente ad un determinato anno, i livelli degli inquinanti [...], superano i rispettivi valori limite o livelli critici a causa del contributo di fonti naturali. La comunicazione [...] contiene gli elementi atti a dimostrare il contributo dato dalle fonti naturali ai superamenti, sulla base degli indirizzi espressi dal Coordinamento di cui all'articolo 20 ed utilizzando, ove esistenti, gli indirizzi formulati dalla Commissione europea”. Le linee guida della Commissione Europea⁵⁰ non richiedono una prova diretta della presenza di polveri desertiche, ma delegano tale dimostrazione ad una serie di informazioni indirette quali, ad esempio, le immagini satellitari, le previsioni dei modelli numerici e l'analisi della retro-traiettorie delle particelle.

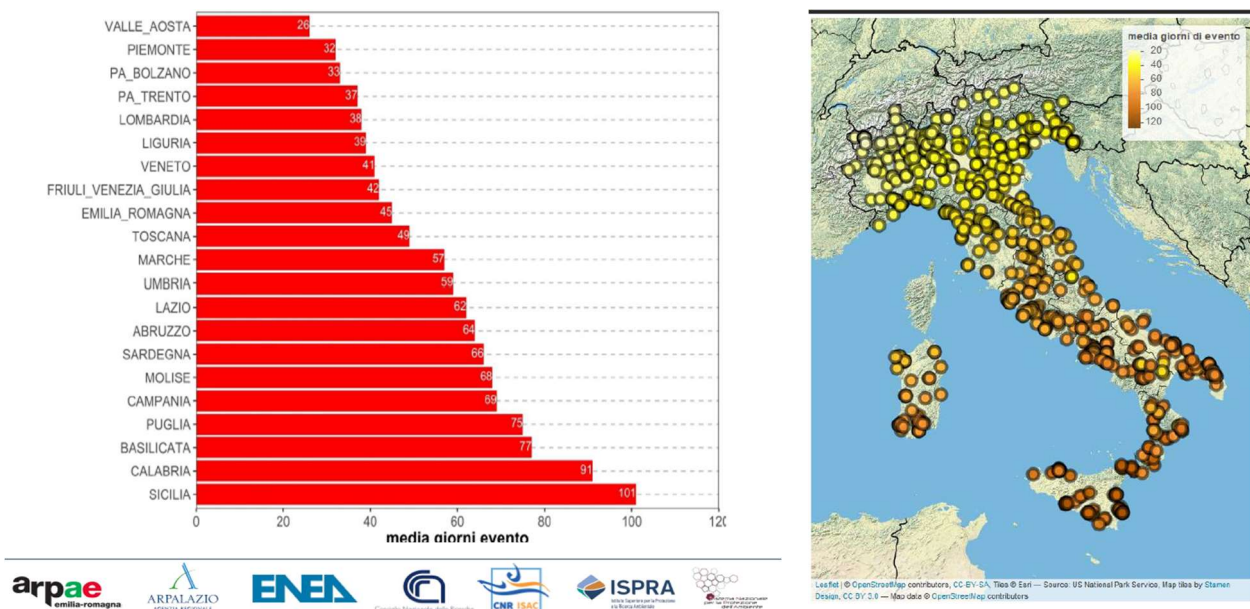


Figura 161: Numero medio di giorni con eventi di trasporto di sabbie sahariane in Italia nel periodo 2013-2020: a sinistra media per regione, a destra mappa con il numero medio di giorni per ogni stazione facente parte della rete nazionale di rilevamento della qualità dell'aria (Elaborazione a cura di SNPA, ISPRA, CNR, ENEA, ARPA Lazio ed ARPAAE).

Nel 2014, il progetto LIFE+ DIAPASON⁵¹, coordinato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (CNR-ISAC), ha testato metodi di rilevamento innovativi per fornire prove dirette della presenza di polvere sahariana nei siti di osservazione (Gobbi et al.,

⁴⁹ Barnaba F, Romero NA, Bolignano A, Basart S, Renzi M, Stafoggia M. Multiannual assessment of the desert dust impact on air quality in Italy combining PM10 data with physics-based and geostatistical models. Environment International, Volume 163, 2022, 107204, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107204>.

⁵⁰ EC SEC(2011) 208 (18/2/2011) “GUIDELINES for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe”, <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-6771-2011-INIT/en/pdf>

⁵¹ DIAPASON, Desert-dust Impact on Air quality through model-Predictions and Advanced Sensors ObservationNs, <https://www.mase.gov.it/pagina/progetto-diapason-cnr-isac-desert-dust-impact-air-quality-through-model-predictions-and>

2019)⁵². Parallelamente, la metodologia delle linee guida europee per quantificare il contributo delle polveri al PM₁₀ è stata rivista per superare alcuni limiti riscontrati nella sua applicazione sul territorio italiano e non solo. La metodologia rivista DIAPASON (Barnaba et al., 2017)⁵³ consente di quantificare e dedurre il contributo delle polveri desertiche alle medie giornaliere di PM₁₀ in modo automatico, combinando dati numerici provenienti da simulazioni di modelli di chimica atmosferica con moduli specifici per il trattamento della polvere desertica e misure di PM₁₀ da stazioni di monitoraggio.

A partire dal 2024, in riferimento agli adempimenti di reporting alla Commissione Europea per l'anno 2023⁵⁴, la metodologia DIAPASON è stata adottata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) per stimare il contributo delle polveri del deserto sull'intero territorio nazionale. Questa stima ha coinvolto CNR-ISAC, l'Istituto Superiore per la Protezione e la ricerca Ambientale (ISPRA) e il Sistema Nazionale a Rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA).

La metodologia DIAPASON si applica alle stazioni di monitoraggio di qualità dell'aria equipaggiate con analizzatori/campionatori di PM₁₀ e consta di due fasi:

- nella prima vengono identificate, in ogni sito, le giornate con la presenza di eventi di trasporto di polveri desertiche;
- nella seconda è calcolato, per ogni sito e per ognuna delle date in precedenza identificate, il contributo della componente naturale di polvere desertica alla concentrazione giornaliera di PM₁₀.

La prima fase si basa sull'utilizzo dei dati numerici del modello di chimica atmosferica BSC-Monarch⁵⁵ implementato dal WMO Barcelona Dust Regional Center. Per ogni sito analizzato, sono individuate le date in cui lo stesso è stato interessato da un evento di trasporto (i giorni con trasporto) utilizzando una soglia per la concentrazione di polvere desertica nel PM₁₀ calcolata dal modello MONARCH pari a 5 µg/m³.

Nella seconda fase, in ogni punto di campionamento, per determinare nei giorni con trasporto la quota della frazione di PM₁₀ non attribuita al carico di polvere desertica, viene calcolato, per ogni giorno della serie temporale di PM₁₀ misurato nel sito in esame, il 50° percentile mobile su sei giorni, escludendo dal calcolo i giorni con trasporto. Nei giorni di trasporto, il valore del 50° percentile mobile così calcolato viene quindi sottratto dalla media giornaliera del PM₁₀, quantificando per differenza il contributo della polvere desertica. I dettagli completi sulla procedura sono riportati Barnaba et al., 2017⁹ a cui si rimanda per tutti i dettagli e gli approfondimenti sulla metodologia DIAPASON.

Alla fine dell'anno, per ogni singolo punto di campionamento del PM₁₀ si ottengono una serie di informazioni sul contributo naturale di polvere desertica, con le statistiche di conformità sul rispetto dei limiti normativi dopo l'attualizzazione del contributo naturale.

A livello regionale, questi dati sono utilizzati da ARPA Piemonte nelle attività legate alla produzione delle informazioni annuali richieste dal reporting annuale per la Commissione Europea ed in particolare nella compilazione dei *Dataset "G - Information on Attainment of Environmental*

⁵² Gobbi GP, Barnaba F, Di Liberto L, Bolignano A, Lucarelli F, Nava S, Perrino C, Pietrodangelo A, Basart S, Costabile F, Dionisi D, Rizza U, Canepari S, Sozzi R, Morelli M, Manigrasso M, Drewnick F, Struckmeier C, Poenitz K, Wille H. An inclusive view of Saharan dust advections to Italy and the Central Mediterranean. *Atmospheric Environment*, Volume 201, 2019, Pages 242-256, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.01.002>

⁵³ Barnaba F, Bolignano A, Di Liberto L, Morelli M, Lucarelli F, Nava S, Perrino C, Canepari S, Basart S, Costabile F, Dionisi D, Ciampichetti S, Sozzi R, Gobbi GP. Desert dust contribution to PM₁₀ loads in Italy: Methods and recommendations addressing the relevant European Commission Guidelines in support to the Air Quality Directive 2008/50. *Atmospheric Environment*, Volume 161, 2017, Pages 288-305. ISSN 1352-2310. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.038>.

⁵⁴ La Decisione 2011/850/CE ha definito i requisiti, lo schema logico e le modalità con cui gli Stati Membri devono fornire le informazioni sulla qualità dell'aria richieste dalla Direttiva 2008/50/CE. Tutti i dati ed i metadati forniti possono essere visualizzati sul European Air Quality (AQ) Portal <https://eeadmz1-cws-wp-air02.azurewebsites.net/>, gestito dall'Agenzia Europea per l'Ambiente.

⁵⁵ Multiscale Online Nonhydrostatic Atmosphere Chemistry model (MONARCH), <https://dust.aemet.es/about-us/monarch>

Objectives”, contenente tutte le informazioni sul rispetto dei limiti e dei valori obiettivi di qualità dell’aria⁵⁶.

Nelle successive Tabella 28 e Tabella 29 sono riportati i risultati della valutazione effettuata sull’anno 2023, rispettivamente per la media annuale e per il numero di giorni di superamento del valore limite giornaliero. In ogni tabella sono riportati il nome della stazione, il numero di giorni di misura validi nel corso dell’anno, il numero di giorni con eventi di trasporto di polveri desertiche (eventi di dust), il valore calcolato dell’indicatore (media annua e numero di superamenti), il contributo della polvere desertica all’indicatore e il valore dell’indicatore al netto di tale contributo.

PM10, media annua 2023						
Zona QA	Nome stazione	n° di giorni validi	n° di giorni con eventi di dust	A – media annuale	B – contributo dust sulla media annuale	C – media annuale dopo la deduzione del contributo di dust (C = A-B)
IT0118	Borgaro T. - Caduti	354	31	26	0	26
	Chieri - Bersezio	338	32	27	1	26
	Druento - La Mandria	337	34	19	1	18
	Leini (ACEA) - Grande Torino	344	34	23	0	23
	Torino - Consolata	321	33	32	1	31
	Torino - Rebaudengo	347	33	33	1	32
	Torino - Rubino	338	34	27	0	27
	Torino Lingotto	308	35	24	1	23
IT0119	Cigliano-Autostrada	347	29	27	1	26
	Vercelli - CONI	361	30	22	0	22
	Cerano - Bagno	354	30	25	0	25
	Novara - Roma	361	29	24	0	24
	Novara - Arpa	359	29	23	1	22
	Cavallermaggiore - Galilei	359	32	27	1	26
	Cuneo - Alpini	361	41	22	0	22
	Asti - D'Acquisto	344	26	26	1	25
	Asti - Baussano	363	26	31	1	30
	Alessandria - D'Annunzio	344	28	30	0	30
	Alessandria - Volta	346	28	27	1	26
	Biella - Sturzo	335	32	16	1	15
IT0120	Ivrea - Liberazione	363	33	22	0	22
	Susa - Repubblica	316	32	16	0	16
	Borgosesia - Tonella	356	31	18	1	17
	Borgomanero - Molli	304	29	16	0	16
	Alba - Tanaro	349	27	25	0	25
	Mondovì Aragno	358	37	25	0	25
	Saliceto - Moizo	360	29	20	1	19
	Vinchio - San Michele	308	27	20	1	19
	Dernice - Costa	338	30	12	1	11
	Cossato - Pace	355	31	18	0	18
	Omegna - Crusinallo	355	26	22	1	21
	Verbania - Gabardi	360	25	16	1	15
IT0121	Ceresole Reale – Diga	305	28	10	1	9
	Oulx - Roma	326	36	17	1	16
	Trivero - Ronco	331	30	14	0	14
	Baceno - Alpe Devero	347	23	6	0	6
	Domodossola - Curotti	347	22	23	1	22

Tabella 28. Contributo dovuto al trasporto di polvere desertica alla concentrazione media annuale 2023 di PM10 sulle stazioni nazionali (ovvero facenti parte della rete nazionale di SNPA ed utilizzate nel Reporting alla Commissione Europea) del SRRQA.

Nel 2023 i giorni con eventi di trasporto di polveri desertiche variano da un minimo di 22 giorni (stazione di Domodossola – Curotti) ad un massimo di 41 giorni (stazione di Cuneo-Alpini). La zona in media interessata per più tempo dal trasporto di polvere è la IT0118 con una media di 33 giorni, a fronte di 30 giorni circa sulla IT0119 e IT0120 e 27 sulla zona IT0121.

Per quanto riguarda la media annuale (Tabella 28) è stato stimato un contributo di polvere nel PM10 non nullo in 21 punti di misura su un totale di 39; in tutte le stazioni il contributo stimato alla media annuale è pari a pari a 1 µg/m³.

Analizzando invece il contributo di polvere desertica alla media giornaliera di PM10 (Tabella 29), possiamo osservare come in 20 punti di misura (su 39) ci sia almeno un giorno di superamento del

⁵⁶https://discomap.eea.europa.eu/App/AQViewer/index.html?fq=Airquality_Dissemin.complanalysis.ExceedingGroupAndMeasures

valore limite giornaliero attribuibile al trasporto sahariano, con un massimo di 3 giorni per la stazione di Druento – La Mandria; complessivamente nella zona IT0118 si hanno 10 giorni di superamento deducibili, nella zona IT0119 14 giorni, 6 nella zona IT0120 e nessuno nella zona IT0121. Se si considerano però solo le stazioni che non hanno rispettato il limite di 35 giorni di superamento nel corso del 2023, i giorni deducibili si riducono solamente a 3 nella zona IT0118 (1 giorno a testa per Torino – Rubino, Torino – Rebaudengo e Torino – Consolata) e a 2 nella stazione di Asti – Baussano della zona IT0119.

In conclusione, quindi in nessuna stazione si assiste ad un rientro dalla situazione di non rispetto del limite giornaliero di PM10.

PM10, n° superamenti del valore limite giornaliero, 2023						
Zona QA	Nome stazione	n° di giorni validi	n° di giorni con eventi di dust	AS – n° di giorni di superamento misurati	BS – n° di giorni di superamento dopo la deduzione del contributo del dust	CS – n° di giorni di superamento dopo la deduzione del contributo del dust (CS=AS-BS)
IT0118	Borgaro T. - Caduti	354	31	25	1	24
	Chieri - Bersezio	338	32	33	1	32
	Druento - La Mandria	337	34	6	3	3
	Leini (ACEA) - Grande Torino	344	34	17	1	16
	Torino - Consolata	321	33	53	1	52
	Torino - Rebaudengo	347	33	63	1	62
	Torino - Rubino	338	34	37	1	36
	Torino Lingotto	308	35	19	1	18
IT0119	Cigliano-Autostrada	347	29	18	0	18
	Vercelli - CONI	361	30	9	2	7
	Cerano - Bagno	354	30	21	2	19
	Novara - Roma	361	29	14	1	13
	Novara - Arpa	359	29	12	1	11
	Cavallermaggiore - Galilei	359	32	18	0	18
	Cuneo - Alpini	361	41	10	1	9
	Asti - D'Acquisto	344	26	27	2	25
	Asti - Baussano	363	26	47	2	45
	Alessandria - D'Annunzio	344	28	37	0	37
	Alessandria - Volta	346	28	22	0	22
	Biella - Sturzo	335	32	1	0	1
IT0120	Ivrea - Liberazione	363	33	22	2	20
	Susa - Repubblica	316	32	0	0	0
	Borgosesia - Tonella	356	31	1	1	0
	Borgomanero - Molli	304	29	1	0	1
	Alba - Tanaro	349	27	17	1	16
	Mondovì Aragno	358	37	16	2	14
	Saliceto - Moizo	360	29	3	0	3
	Vinchio - San Michele	308	27	4	0	4
	Dernice - Costa	338	30	1	0	1
	Cossato - Pace	355	31	1	0	1
	Omegna - Crusinallo	355	26	10	0	10
IT0121	Verbania - Gabardi	360	25	2	0	2
	Ceresole Reale - Diga	305	28	0	0	0
	Oulx - Roma	326	36	0	0	0
	Trivero - Ronco	331	30	0	0	0
	Baceno - Alpe Devero	347	23	0	0	0
	Domodossola - Curotti	347	22	21	0	21

Tabella 29 Contributo dovuto al trasporto di polvere desertica ai superamenti della concentrazione media giornaliera 2023 di PM10 sulle stazioni nazionali (ovvero facenti parte della rete nazionale di SNPA ed utilizzate nel Reporting alla Commissione Europea) del SRRQA. In rosso i valori relativi alle stazioni in cui non è rispettato il valore limite per la media giornaliera.

7.4 Ozono: analisi degli eventi di superamento verificatisi nel mese di ottobre 2023.

Testo a cura di Salvatore Magri e Federica Libanoro (Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali)

Nel 2023 l'ozono ha fatto ancora registrare una situazione di diffuso superamento degli obiettivi previsti dalla normativa sia per la protezione della salute che della vegetazione, con episodi acuti però generalmente meno accentuati del ventennio precedente (2003-2023), rispetto al quale si posiziona come il secondo miglior anno della serie, nonostante le temperature spesso particolarmente elevate registrate nella stagione estiva, caratterizzata anche da un'intensa ondata di calore nella seconda metà di agosto.

Il protrarsi di condizioni meteo quasi estive fino all'inizio dell'autunno, con un'importante ondata di calore tra la fine di settembre e l'inizio di ottobre, hanno favorito il verificarsi di episodi critici per l'ozono fino all'inizio del mese di ottobre. In particolare, si sono avuti episodi di superamento degli obiettivi previsti dalla normativa per la protezione della salute e, più in generale, di concentrazioni più elevate, in riferimento al periodo, rispetto agli anni precedenti.

Se nel 2023, infatti, i primi superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la salute umana sono stati registrati approssimativamente negli stessi giorni in cui erano stati rilevati nel 2022 (il 22 marzo nella stazione di Baldissero), nel mese di ottobre 2023 sono stati misurati, su tutto il territorio regionale, 18 superamenti contro nessun superamento nel 2022.

Inoltre, tra le 31 stazioni di misura dell'ozono della rete regionale, in 11 è stata rilevata almeno una concentrazione oraria maggiore di $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel mese di ottobre, solitamente caratterizzato da concentrazioni progressivamente inferiori rispetto ai mesi estivi.

Questi dati costituiscono un'anomalia, ma non un'eccezione, rispetto all'andamento tipico del parametro poiché l'ozono è un inquinante prettamente estivo.

Episodi analoghi si erano già verificati, con minore intensità, negli anni 2004, 2007, 2008 e 2017 (1-2 superamenti) e, con maggior frequenza, nel 2011, quando i superamenti sul territorio regionale erano stati ben 65 (Figura 162).

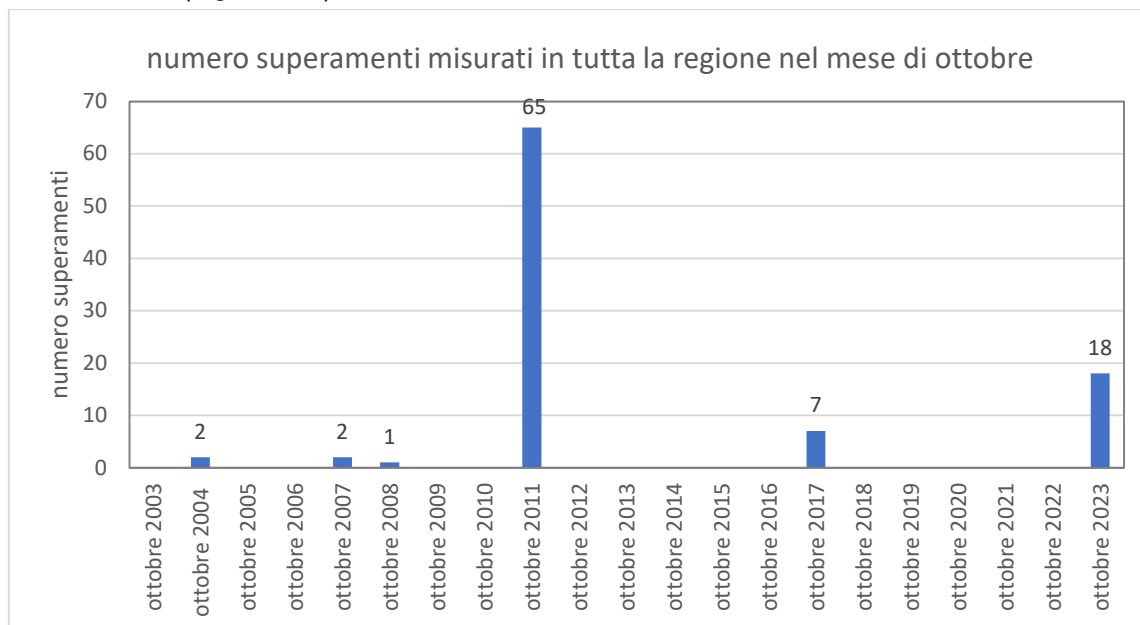


Figura 162: somma dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine registrati in tutto il Piemonte nel solo mese di ottobre dall'anno 2003 al 2023

Il fattore che accomuna tali eventi e che sembra spiegare i valori elevati osservati nel periodo è rappresentato dalle condizioni meteorologiche verificatesi nel mese di ottobre degli anni indicati.

Il mese di ottobre 2023, risultato il secondo più caldo dell'intera serie storica dal 1958, dopo ottobre 2022, è stato contraddistinto da un andamento climatico molto differente tra la prima e la seconda

metà del mese: i primi quindici giorni - periodo in cui si sono verificati i superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana - hanno avuto caratteristiche sostanzialmente estive, con una marcata anomalia termica positiva di circa 7°C rispetto alla norma del periodo 1991-2020, culminata l'8 ottobre, il giorno con le temperature più elevate per il mese di ottobre degli ultimi 66 anni. Le temperature più elevate sono state registrate in particolare sul medio e basso Piemonte tra Torinese, Cuneese, Astigiano ed Alessandrino, aree in cui sono stati misurati i superamenti per l'ozono.

La prima metà del mese è stata anche contraddistinta da scarsità di precipitazioni.

La seconda parte del mese, invece, è stata di stampo autunnale, con temperature nella norma ed abbondanza di precipitazioni. In sostanza il vero passaggio dalla stagione estiva a quella autunnale per l'anno 2023 è avvenuto a metà ottobre. Da questo momento in poi l'ozono non ha più presentato criticità.

Il 2011, come il 2023, è stato in Piemonte un anno particolarmente caldo (attualmente al dodicesimo posto dal 1958) che ha registrato, in particolare nei mesi di aprile ed ottobre, numerosi record storici sulla regione e nei capoluoghi di provincia, a cui sono corrisposti, per l'ozono, superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana. In particolare, sono state critiche le giornate di ottobre comprese fra il primo e il 6 ottobre in cui sono stati raggiunti numerosi record positivi di temperatura.

Anche ottobre 2017 presenta una singolarità, risultando il quarto mese di ottobre più caldo dal 1958 in poi, con un'anomalia termica positiva di circa 2.9°C in relazione alla climatologia degli anni 1971-2000; il mese è stato contraddistinto anche da elevata siccità. Il picco termico mensile a ottobre 2017 è stato raggiunto intorno alla metà del mese; nello stesso periodo, dal 14 (giorno in cui la stazione termometrica di Capanna Margherita, in provincia di Vercelli, aveva registrato il primato di temperatura massima per il mese di ottobre) al 18 ottobre circa, l'ozono ha misurato diversi superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana.

Bisogna tenere presente che l'ozono è caratterizzato da fenomeni di trasporto su lunghe distanze e da una fenomenologia complessa e non lineare, che rende spesso difficile correlare la sua produzione alle concentrazioni dei principali precursori (gli ossidi di azoto e i composti organici volatili), che reagiscono in presenza della radiazione solare.

Sono state di seguito analizzate alcune stazioni di collina, come Vinchio - S. Michele e Dernice-Costa, ed alcune stazioni di pianura (Alessandria Volta, Chieri-Bersezio e Vercelli Coni), che nel mese di ottobre 2023 hanno presentato superamenti, generati da cause diverse. In particolare, da fenomeni di accumulo per le stazioni di collina, e da fenomeni di intensa formazione e/o trasporto di inquinante secondario per quelle di pianura.

7.4.1 Stazioni collinari di Vinchio – San Michele e Dernice - Costa

Nei grafici sottostanti sono riportati i valori della massima media mobile sulle 8 ore giornaliere di ozono misurati nei mesi di ottobre 2011, 2017, 2022 e 2023 nella stazione collinare di fondo rurale di Vinchio – San Michele (AT), confrontati con le temperature medie (Figura 163) e con la radiazione globale (Figura 164) rilevate nello stesso periodo presso la stazione meteo di Alessandria-Lobbi. Nella Figura 165 sono invece riportati i due parametri meteo (temperatura massima e radiazione globale) e le massime medie mobili di 8 ore giornaliere.

È possibile notare come nel mese di ottobre degli anni in cui sono stati rilevati superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la salute umana (2011, 2017, 2023), i valori di temperatura e radiazione fossero contemporaneamente più elevati rispetto al mese di ottobre 2022, in cui non sono stati misurati superamenti.

Nei grafici (Figura 163, Figura 164, Figura 165) spiccano i superamenti del mese di ottobre 2011, 2017, 2023, dovuti a condizioni di accumulo e a condizioni meteorologiche favorevoli alla produzione di ozono, visibili in Figura 166, Figura 167, Figura 169. Nei periodi tardo-primaverili ed estivi, ma anche nei mesi in cui permangono condizioni estive (come i mesi di ottobre presi in considerazione), infatti, le particolari condizioni di alta pressione, elevate temperature e scarsa ventilazione, favoriscono il ristagno e l'accumulo degli inquinanti. Il forte irraggiamento solare innesca una serie di reazioni fotochimiche che determinano concentrazioni di ozono più elevate rispetto al livello abituale.

Nonostante nel 2022 le temperature del mese di ottobre siano state particolarmente elevate, l'assenza di fenomeni di accumulo e la bassa intensità della radiazione solare misurata presso le stazioni, non hanno determinato superamenti del limite (Figura 168).

La stessa situazione di accumulo, che ha generato superamenti, si è verificata nella stazione collinare di fondo rurale di Dernice-Costa (Figura 170).

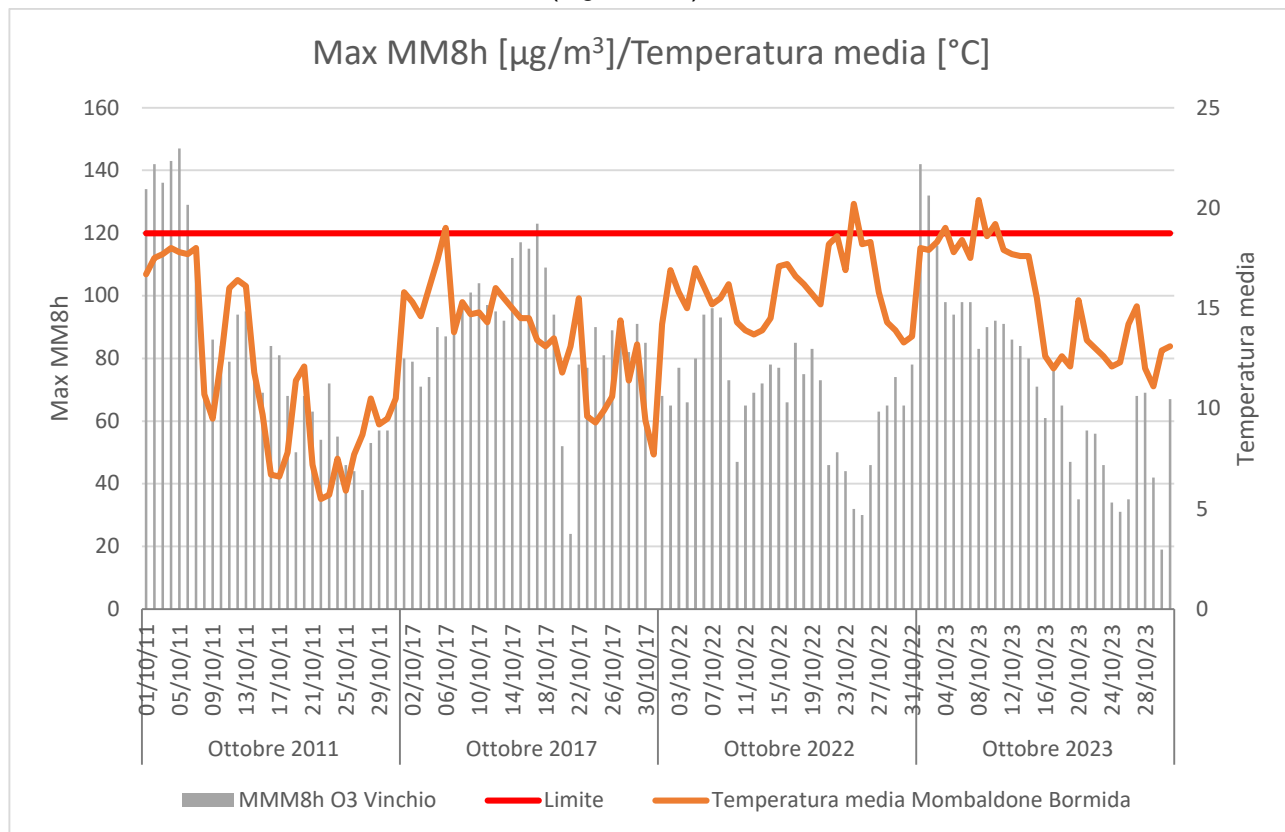


Figura 163: Vinchio – San Michele, Massima media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono - temperatura media giornaliera

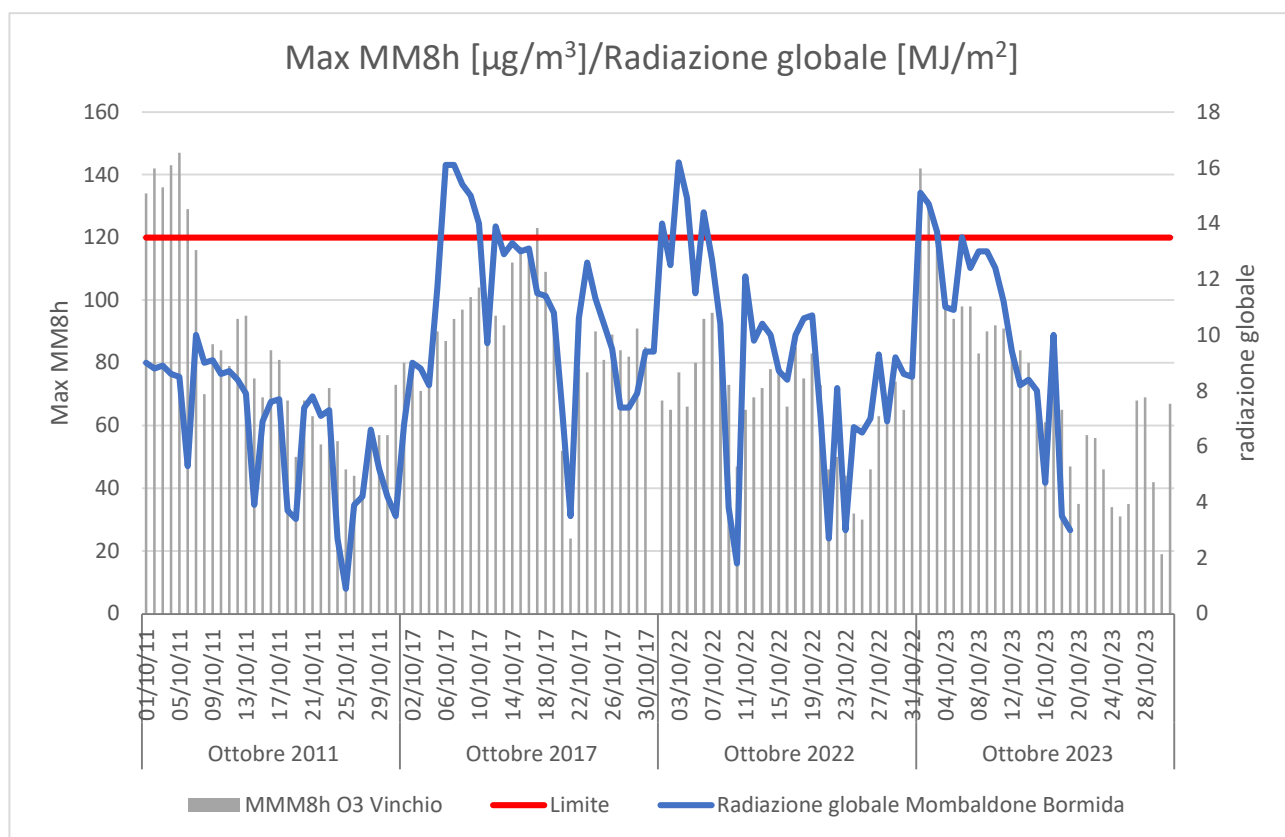


Figura 164: Vinchio – San Michele, Massima media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono – Radiazione globale

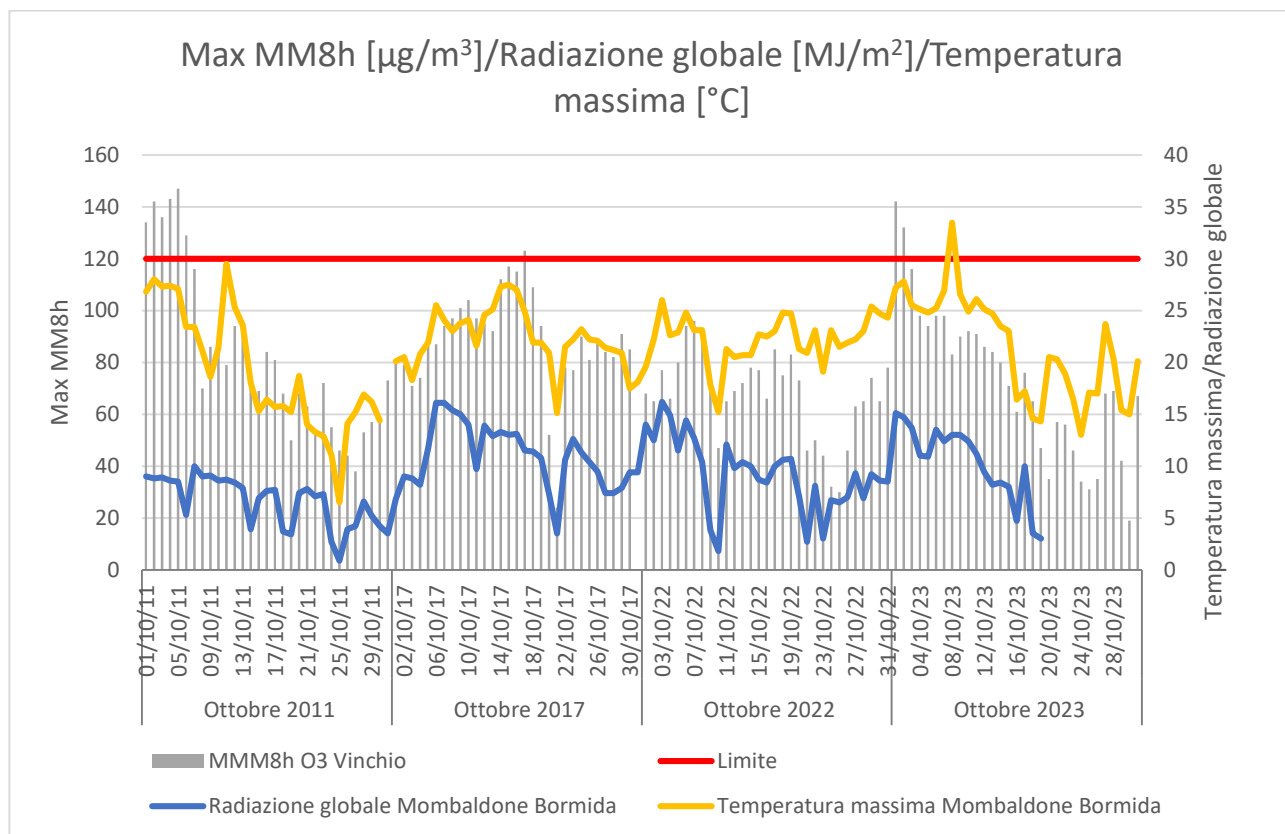


Figura 165: Vinchio – San Michele, Massima media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono – Radiazione globale – Temperatura massima giornaliera

Vinchio-San Michele – ottobre 2011 (fondo scala 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

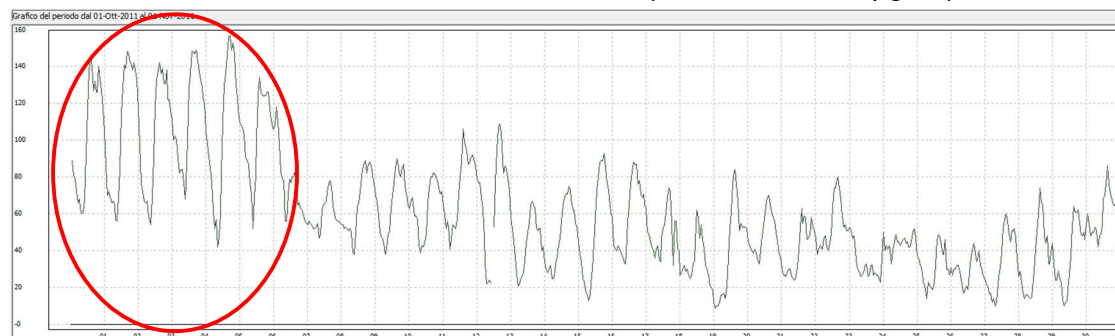


Figura 166: andamento delle concentrazioni di ozono nel mese di ottobre 2011

Vinchio-San Michele – ottobre 2017 (fondo scala 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Figura 167: andamento delle concentrazioni di ozono nel mese di ottobre 2017

Vinchio-San Michele – ottobre 2022 (fondo scala 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

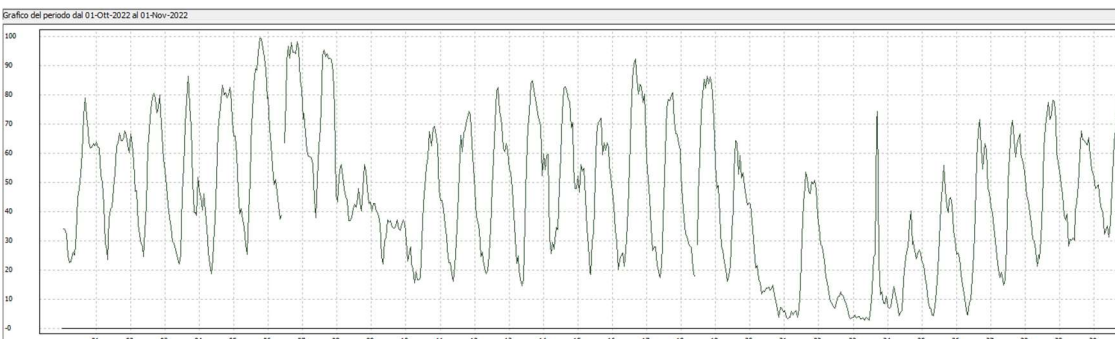


Figura 168: andamento delle concentrazioni di ozono nel mese di ottobre 2022

Vinchio-San Michele – ottobre 2023 (fondo scala 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

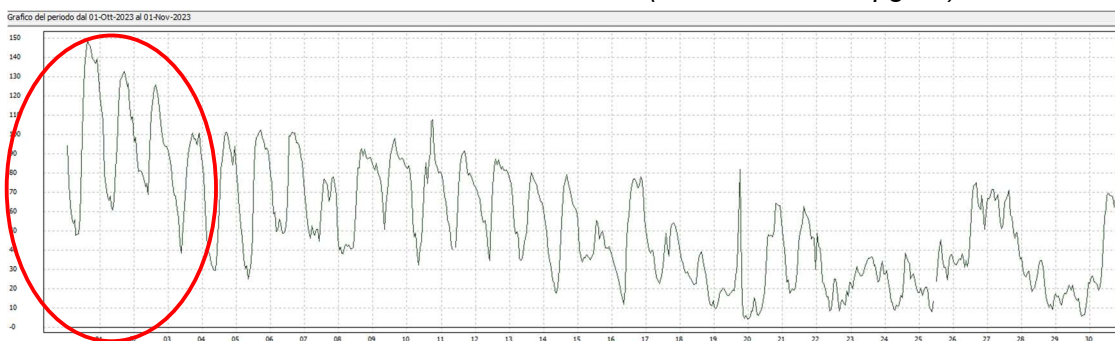


Figura 169: andamento delle concentrazioni di ozono nel mese di ottobre 2023

Dernice-Costa - ottobre 2023 (fondo scala 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

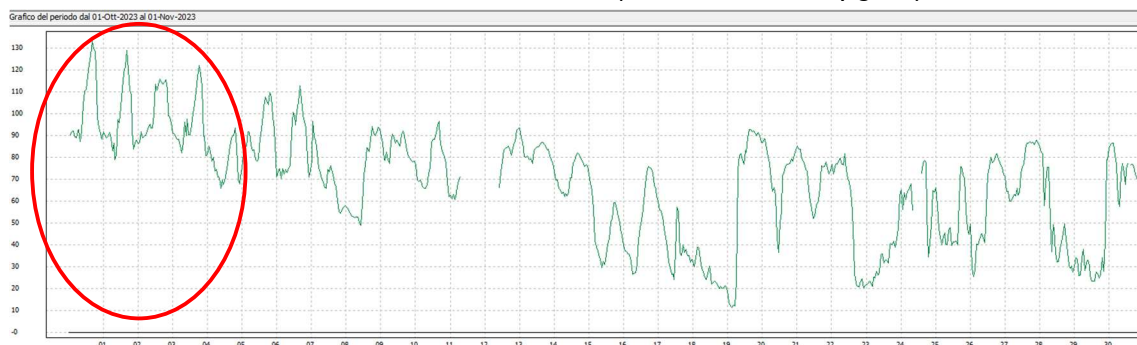


Figura 170: andamento delle concentrazioni di ozono nel mese di ottobre 2023

7.4.2 Stazioni di pianura di Alessandria – Volta, Chieri – Bersezio e Vercelli - Coni

A differenza delle stazioni di collina, i superamenti dei primi giorni di ottobre 2023, visibili in Figura 171, Figura 172, Figura 173, sono da attribuire principalmente (Figura 174, Figura 175 e Figura 176) alla meteorologia del periodo (radiazione globale e temperatura).

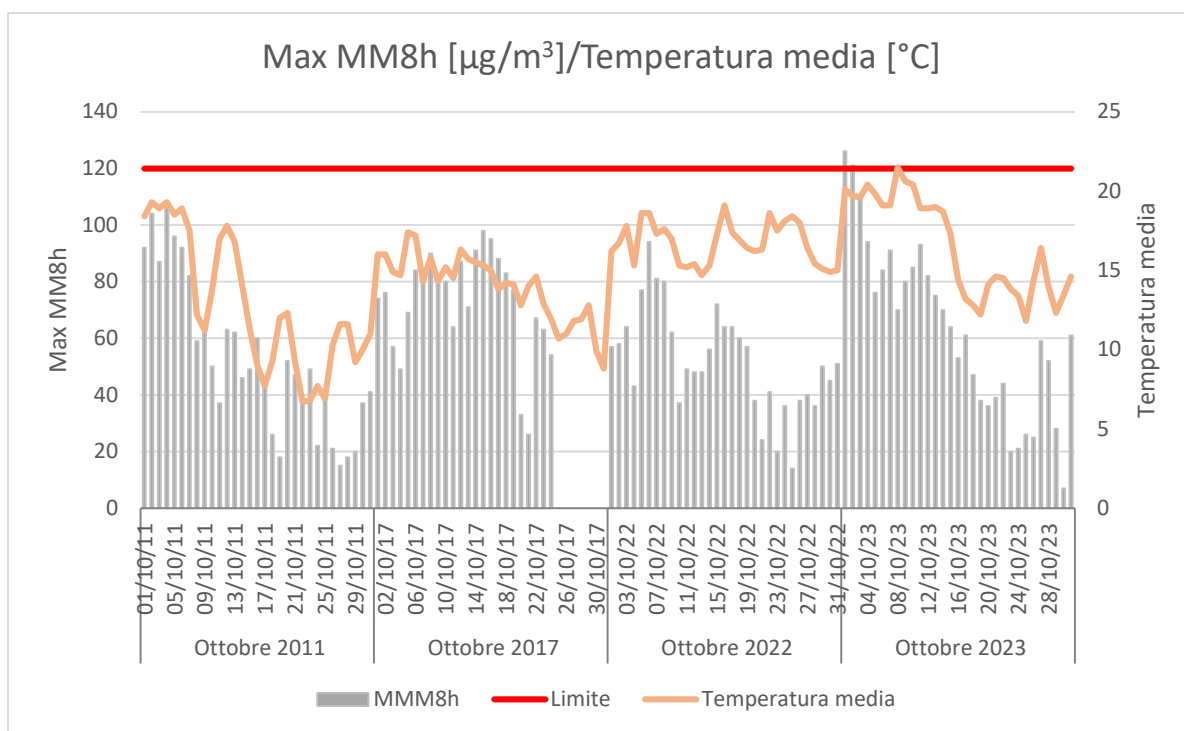


Figura 171: Alessandria -Volta, Massima media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono – Temperatura media giornaliera

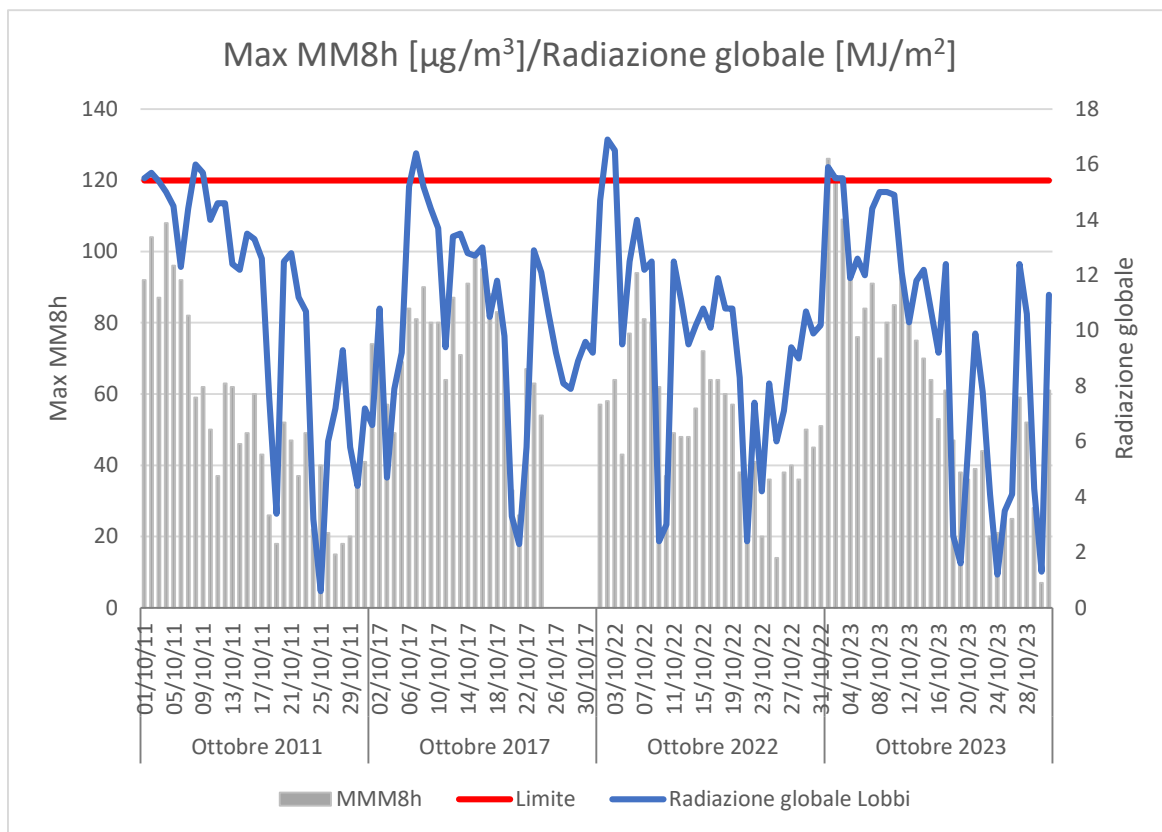


Figura 172: Alessandria -Volta, Massima media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono – Radiazione globale

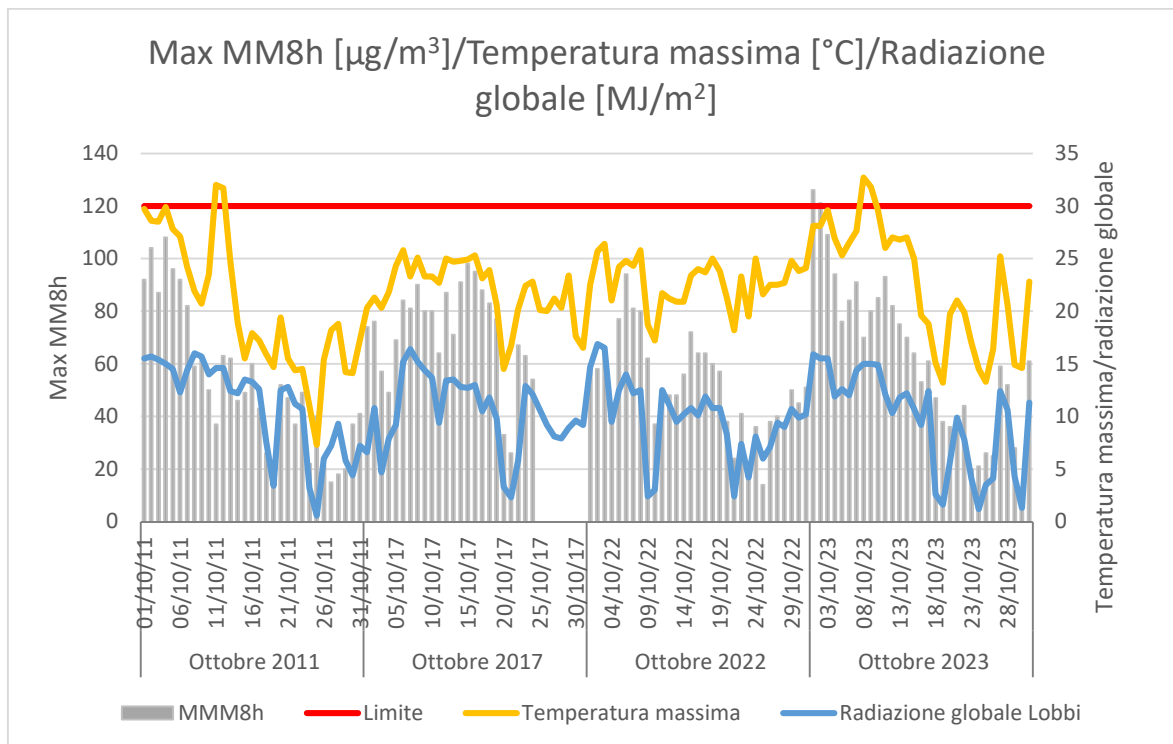


Figura 173 Alessandria -Volta, Massima media mobile sulle 8 ore della concentrazione di ozono – Radiazione globale – Temperatura massima giornaliera

Alessandria - Volta (fondo scala 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

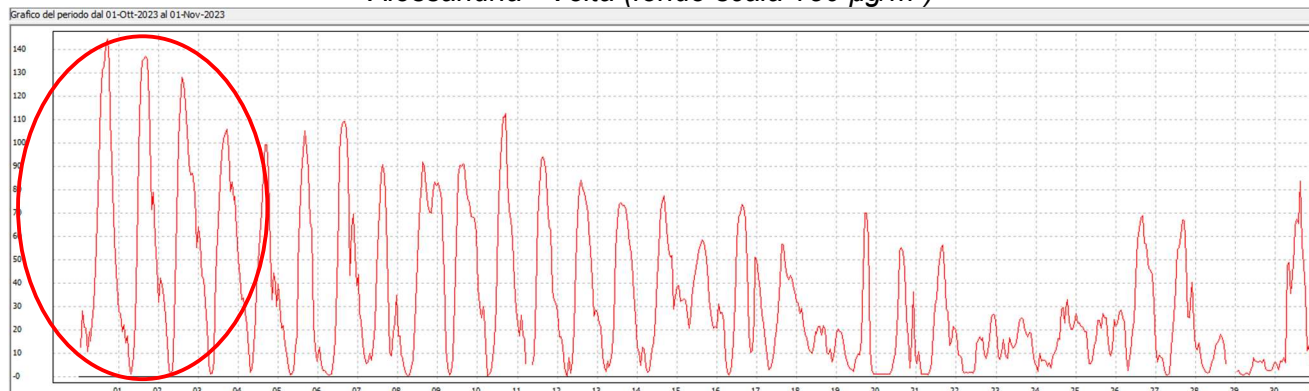


Figura 174: andamento delle concentrazioni di ozono nel mese di ottobre 2023

Chieri – Bersezio (fondo scala 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

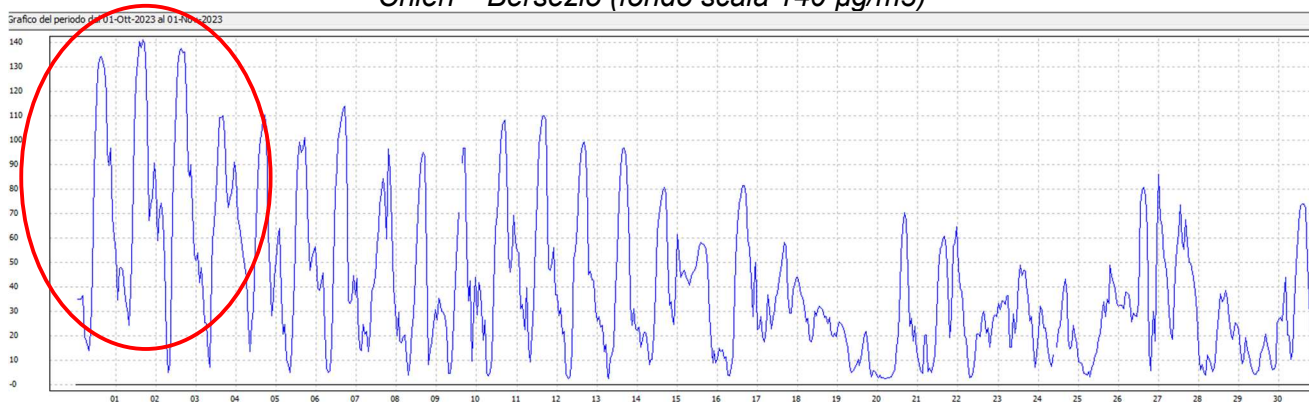


Figura 175: andamento delle concentrazioni di ozono nel mese di ottobre 2023

Vercelli - Coni (fondo scala 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

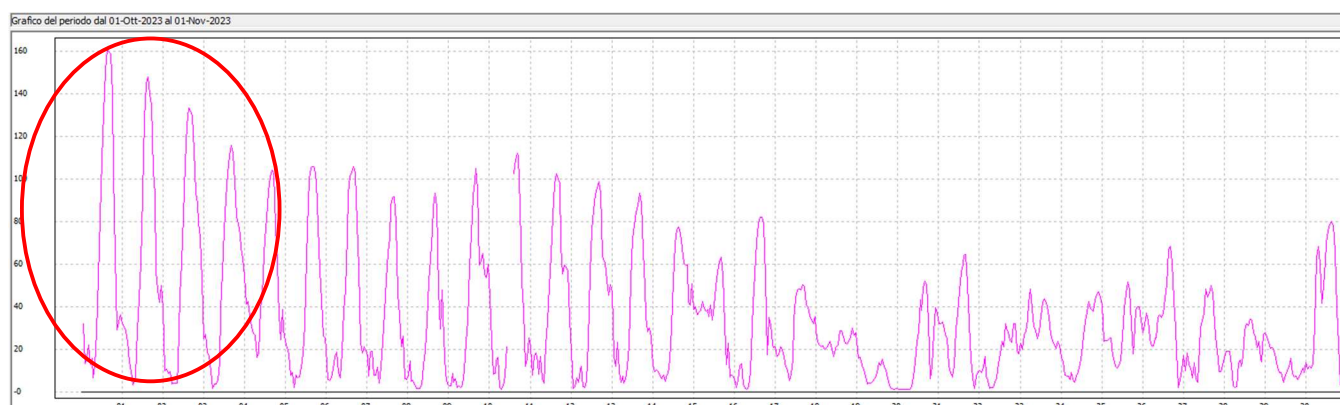


Figura 176: andamento delle concentrazioni di ozono nel mese di ottobre 2023

8 Appendice A1

PM10 - 90,41° Percentile

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	37	50	42	32		30	23	22	15		43	36	34	28
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				68	58	73	60	76	53	55	61	54	53	47
		Borgaro T. - Caduti	FS	74	90	84	67	55	70	62	75	53	50	60	58	53	54
		Chieri-Bersezio	FS											57	53	54	51
		Collegno - Francia	TU				72	60	78	65	80	58	60	70	63	64	51
		Druento - La Mandria	FR	52	65	58	47	38	45	43	55	38	36	40	36	36	34
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS		82	69	61	51	77	66	71		54	64	57	52	43
		Settimo T. - Vivaldi	TU			94	85	74	91	75		63	74	72	62	65	
		Torino - Consolata	TU	85	109	99	85	67	85	74	85	60	59	74		57	59
		Torino - Grassi	TU	95	120		100			81	87	69	73	83	66	73	64
		Torino - Lingotto	FU	78	100	91	81	65	84	72	84	55	58	69	55	60	52
		Torino - Rebaudengo	TU					82	84	80	94	67	68	75	64	66	59
		Torino - Rubino	FU	84	108	89	74	63	82	70	79	55	59	68	62	61	52
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS	70	61	53	47	41		57	64	50	45	48	52	46	36
		Dernice - Costa	FR	27	37	35	25	26	27	27	29	26	23	23	24	25	20
	AT	Vinchio - San Michele	RF	57	66	60	55	53	57	53	58	45	44	51	47	45	
	BI	Cossato - Pace	FU	58	70	58	50	39	49	46	56	41		43	41	40	32
	CN	Alba - Tanaro	FU	62	72	71	58	52	58	52	59	50	46	53	46	46	41
		Mondovi' - Aragno	TU				47	50	50	54	44	39	43	46	47	41	
	NO	Saliceto - Moizo	FR	55	59	51	44	43	42	40	46	38	38	42	38	39	34
		Borgomanero - Molli	TU				45	38	48	41	46	38	34	40	37	37	29
		Castelletto T. - Fontane	FR					39	49	45	50	39	37	42	40	44	37
		Ivrea - Liberazione	FS	60	78	78	64	47	61	54	68	49	51	56	49	51	43
	TO	Pinerolo - Alpini	FU	50	63	61	50		38	43	55	37	35	36	30	33	35
		Susa - Repubblica	FS	40	42	42	32	29	33	30	40	31	27	27	29	30	29
	VB	Omegna - Crusinallo	TU					42	62	47	54	42	42	45	44	47	39
		Verbania - Gabardi	FU	32	39	42	32	25	31	28	35	25	24	23	25	31	27
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	46	60	50	48	35	45	43	51	37	34	30	28	34	29
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			33	29	27	28	29	38	28	25	22	27	29	26
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	13	17	16	13	12	15	18	23	20	20		19	22	
		Oulx - Roma	TS	34	35	30	31	31		28	31	31	27	26	26	31	29
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR						11	10	13	12	14		11	15	12
Pianura	AL	Domodossola - Curotti	FS					49	60	49	57	40	39	51	45	47	44
		Alessandria - D'Annunzio	TU	64	94	89	75	71	71	66	82	57	63	71	64	60	51
		Alessandria - Volta	FU	73	81	82	70	59	65	53	75	53	56	64	56	53	44
		Casale M.to - Castello	FU				52	54	65	53	69	49			48	44	38
		Novi Ligure - Gobetti	TU						61	56	65	52	50	54	48	49	40
	AT	Tortona - Carbone	TU	73	83	86	69	64		56	65	50			52	52	
		Asti - Baussano	TU	91	88	79	72	61	77	66	81	59	61	64	60	65	56
		Asti - D'Acquisto	FU	62	78	61	67	52	53	49	57	51	57	58	55	53	46
	BI	Biella - Lamarmora	TU	55	69	57	53	44	56	48		45	40	47	42	39	32
		Biella - Sturzo	FU	50	57	45	38	33	42	41	48	32	29	34	29	32	24
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	74	82	79	68	64	64	54	65	49	45	54	53	49	43
		Cuneo - Alpini	FU	48	52	55	44	37	38	45	48	37	30	35	39	52	38
		Cavallermaggiore-Galilei	FS												53	41	44
	NO	Cerano - Bagno	FS	64	71	73	63	52	68	55	72	49	52	59	54	56	44
		Novara - Roma	TU	67	80	69	58	42	57	52	67	47	49	53	50	48	40
		Novara - Arpa	FU	53	66	62	56	47		52	61	44	47	52	50	52	39
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU	87	87	97	84	69	83	70	83	60	65	68	56	65	54
		Cigliano-Autostrada	TR					47	59	55	70	57		66	49	49	45
	VC	Vercelli - CONI	FS	59	74	69	60	50	62	55	70	46	49	54	48	48	41
		Vercelli - Gastaldi	TU			80	70	59	72	56	73	49	58	58	48	49	47

TU = Stazione di Traffico Urbano
 FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS = Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo Rurale
 IS = Stazione Industriale di Fondo
 TR = Stazione di Traffico Rurale

PM10 90,41° percentile dati giornalieri (µg/m³)
 Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all'80% fino al 2022, all'85% dal 2023
 n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 30: PM10, 90,41° percentile delle concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

N02 - 99,79° Percentile dei dati orari

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - Parco	FR	105	120	106	78	79	75	72	91	60	70	78	58		57
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				137	120	135	132	173	122	122	96	95	90	71
		Borgaro T. - Caduti	FS	112	137	151	125	114	143	145	117	93	100	86	91	89	89
		Chieri - Bersezio	FS			149	111	109	115	93	96	83	92	65	73	76	68
		Collegno Francia	TU			144	179	144		162	182	131	159	124	142	86	107
		Druento - La Mandria	FR	84	89	118	63	68	81	71	68	59	65	61	52	57	
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	115	106	133	115	93	132	93	122	82	90	87	87	79	74
		Orbassano - Gozzano	FS	126	134	132	119	106	164	108	128	98	114	108	106	92	84
		Settimo T. - Vivaldi	TU	159	166	196	166	112	134	144	145	95	143	95	106	99	100
		Torino - Consolata	TU	179	173	171	176	165	165	157	160	129	147	131	120	122	98
		Torino - Lingotto	FU	133	174	158	147	131	118	171	128	103	110	79	93	83	93
		Torino - Rebaudengo	TU	197	190	195	208	175	204	213	208	153		137	144	141	134
		Torino - Rubino	FU	140	148	154	134	130	127	116	111	91	118	85	85	84	86
		Vinovo - Volontari	FS	109	122	134	93	102	120	88	121	92	109	83	81	87	82
Collina	AL	Dernice - Costa	FR	65	63	55	65	53	56	68	64	55	52	58	48	44	31
	AT	Vinchio - San Michele	FR	93	74	72	65	52	65	58	66	49	56	53	54	39	39
	BI	Cossato - Pace	FU	84	96	99	85	65	83	70	77	57	68	64	68	57	57
	CN	Alba - Tanaro	FU	104	101	125	98	73	83	84	89	67	68	69	63	61	63
		Mondovì - Aragno	TU					92	94	95	87	86	91	75	86	78	73
	NO	Saliceto - Moizo	FR	71	66	54	56	42	49	49	55	42	51	34	42	45	32
		Borgomanero - Molli	TU				111	117	125	107	117	90	112	96	94	87	78
	TO	Castelletto T. - Fontane	FR	116	105	113	105	98	109	121	82	75	79	66	65	69	64
		Ivrea - Liberazione	FS	95	103	117	106	87	99	98	96	80	94	80	75	82	74
	VB	Susa - Repubblica	FS	102	78	83	70	70	94	69	75	67	63	56	71	53	49
		Omegna - Crusinallo	TU			112	111	112	91	91	93	79	86	84	78	77	82
	VC	Verbania - Gabardi	FU	95	92	89	82	65	68	79	91	80	76	65	67	62	59
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			73		66	79	65	54		52	44		47	47
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	29	30	32	19	33	20	18	21	25	25	28	26	18	11
		Oulx - Roma	TS	99	84	81	86	85	89	80	79	73	79	63		62	55
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR			21	18		29	19	25	19	15		18	22	35
		Domodossola - Curotti	FS					69	72	62	57	52	71	60	58	59	61
		Pieve Vergonte - Industria	FS	78	78	77	69	57	66	59	66	46	50	48	46	43	43
Pianura	AL	Alessandra - D'Annunzio	TU	162	166	182	110	117	146	147	137	114	134	114	115	122	109
		Alessandra - Volta	FU	86	109	166	78	64	54	86	119	83	90	68	74	78	68
		Casale M.to - Castello	FU	96	119	151	109	111	127	115	113	93	100	82	89	86	84
		Novi Ligure - Gobetti	TU	160	142	122	134	94	100	85	178	201	94	81	72	80	
	AT	Tortona - Carbone	TU	115	160	132	124	93	96	101	123	101	117	85	91	81	75
		Asti - Baussano	TU	139	137	149	119	96	99	112	117	90	114	88	82	81	70
		Asti - d'Acquisto	FU	113	114	136	108	100	102	103	123	118	90	73	73	76	76
	BI	Biella - Lamarmora	TU	117	124	124	113	75	100	107	83	77	87	90	85	87	
		Biella - Sturzo	FU	104	116	117	89	69	80	73	66	65	71	69	66	61	60
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	123	96	127	100	75	85	81	102	73	82	69	70	65	66
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												66	65,9	59
		Cuneo - Alpinì	FU	119	99	108	103	81	97	86	103	80	86	85	77	75	70
	NO	Revello - Staffarda	FR					61	48	43	58	42	43	36	42	35	34
		Cerano - Bagno	FS	101	119	135	115	104	115	113	110	73	82	71	69	64	61
		Novara-Roma	TU	164	172	167	163	151	157	142	156	129	119	102	94	76	105
		Novara - Arpa	FU	107	138	114	108	102	108	78	87	97	92	94	66	89	79
	TO	Treccate - Verra	FU	98	139	157	95	135	96	88	103	85	90	90	78	78	82
		Carmagnola - I Maggio	TU					119	127	136	136	111	107	118	92	90	99
	VC	Cigliano-Autostrada	TR					143		112		90	90	63	68	64	74
		Vercelli - CONI	FS	87	106	116	108	86	91	83	84	72	64	69	57	57	62
		Vercelli - Gastaldi	TU	140	165	164	137	112	131	138	143	98	140	91	106	98	103

Legenda
TU = Stazione di Traffico Urbano
FU = Stazione di Fondo Urbano
FS =Stazione di Fondo Suburbano
FR = Stazione di Fondo Rurale
IS = Stazione Industriale di Fondo
TR = Stazione di Traffico Rurale

N02 **99.79° percentile dati orari** (µg/m³)
 n **Dato assente perché strumento non presente o**
 per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022, al 85% dal 2023
 dato con percentuale dati validi compresa fra
 80 e 90% fino al 2022

Tabella 31: NO₂, 99.79° percentile delle concentrazioni medie orarie misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

O3 - 93,15° percentile dei dati orari

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	133	130	130	133	121	130	123	126	126	124	119	126	137	119
		Borgaro T. - Caduti	FS	112	114	112	105	99	124	116	107	108	105		118	127	100
		Chieri - Bersezio	FS				109	116	124	115	120	121	115	96	107	115	111
		Druento - La Mandria	FR	117	128	131	122	106	119	115	115	111	106		117	119	108
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	119	122	105	107	91	107	111	107	104	112	107	113	122	104
		Orbassano - Gozzano	FS	107	119	120	120	112	130	130	132	127	120	120	128	148	114
		Torino - Lingotto	FU	107	105	114		114	117	111	110	116	117	113	126	136	111
		Torino - Rubino	FU					105	114	111	111	115	116	116	115	136	115
		Vinovo - Volontari	FS	110	121	119	114	102	101	108	116	122	115	110	108	141	102
Collina	AL	Dernice - Costa	FR	127	122	127	122	112	122	117	127	120	123	125	115	128	119
	AT	Vinchio - San Michele	FR	123	128	130	125	111	119	129	121	118	115	122	116	130	117
	BI	Cossato - Pace	FU	123	128	106	116	115	120	109	116	110	110	113	112	129	112
	CN	Alba - Tanaro	FU	115	122	119	111	105	110	109	113	109	110	107	113	125	108
		Saliceto - Moizo	FR	109	107	116	105	100	107	103	107	113	102	100	106	113	104
	NO	Castelletto T. - Fontane	FR	111	124	118	114	104	113	106	117	116	111	113	108	128	110
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	116	114	110	107	103	117	100	113	114	106	112	114	120	102
		Susa - Repubblica	FS	107	110	110	107	97	100	113	116	109	106	106	114	124	111
	VB	Verbania - Gabardi	FU	113	127	118	115	100	123	110	115	116	115	117	110	112	109
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	113	112	133	113	106	102	98	103	98	102	112	117	124	107
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			120	102	91	114	103	106	102	111	103	101	125	104
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	129	124	125	119	112	119	117	115	106	112	109	109	123	104
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR	97	99	101	113		111	109	110	112			109	114	111
		Domodossola - Curotti	FS					107	108	98	104	103	102	109	106	112	100
		Pieve Vergonte - Industria	FS	104	122	119	113	109	118	112	117	113	109	130	111	121	109
Pianura	AL	Alessandria - Volta	FU	122	111	117	101	98	118	129	116	125	118	115	118	125	111
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	116	118	121	119	104	120	114	120	114	112	118	109	120	111
	BI	Biella - Sturzo	FU	103	121	129	113	99	92	106	111	112	117	113	97	116	95
	CN	Cuneo - Alpini	FU	110	119	116	114	100	115	114	116	105	112	117	119	120	95
		Revello - Staffarda	FR					105	119	111	110	99	101	101	110	119	103
	NO	Novara - Arpa	FU	125	125	119	101	87	118	109	116	111	104	101	99	121	105
	VC	Vercelli - CONI	FS	118	133	130	113	113	129	111	99	110	111	106	116	137	120

Legenda
TU = Stazione di Traffico Urbano
FU = Stazione di Fondo Urbano
FS = Stazione di Fondo Suburbano
FR = Stazione di Fondo Rurale
IS = Stazione Industriale di Fondo
TR = Stazione di Traffico Rurale

O3 93.15° percentile dati orari (µg/m³)
 Dato assente perché strumento non presente o
 per percentuale dati validi inferiore al 80% fino al 2022, al 85% dal 2023
n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90% fino al 2022

Tabella 32: Ozono, 93.15° percentile del massimo giornaliero della concentrazione media sulle otto ore misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2023.

9 Appendice A2

PARTICOLATO ATMOSFERICO – PM₁₀ - PM_{2.5}

Caratteristiche	Il particolato atmosferico è formato da particelle, solide o aerosol, sospese in aria. Con il termine PM₁₀ si intende il particolato formato da particelle con diametro aerodinamico medio inferiore a 10 µm (micrometri), mentre il termine PM_{2.5} comprende la frazione di particolato costituito da particelle aventi diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm.
Sorgenti	Naturali: azione del vento sulla polvere e sul terreno, incendi boschivi, eruzioni vulcaniche, aerosol marino, ecc. Antropiche: rappresentano l'apporto principale alle concentrazioni di PM. Le fonti più significative sono le emissioni industriali, il traffico veicolare (gas di scarico, l'usura di pneumatici e freni, il risollevarimento delle polveri depositate sulle strade), gli impianti di riscaldamento e la zootecnia.
Tipologia	Primario: immesso direttamente in atmosfera Secondario: prodotto da trasformazioni chimico-fisiche che coinvolgono diverse sostanze quali SO₂, NO_x, COVs, NH₃.
Permanenza spazio temporale	Il particolato risulta ubiquitario su vasta scala a causa del <i>lungo tempo di permanenza nell'aria</i> (da giorni a settimane) che ne consente il <i>trasporto su grandi distanze</i>. Questo fa sì che le variazioni nel tempo delle concentrazioni siano principalmente condizionate da fattori meteoroclimatici. In particolare, inverni con lunghi periodi di situazioni anticicloniche persistenti e precipitazioni limitate, sono caratterizzati da concentrazioni di polveri atmosferiche elevate.
Effetti	Il rischio sanitario legato al particolato sospeso nell'aria dipende, oltre che dalla concentrazione, anche dalla dimensione delle particelle. Le particelle con dimensioni inferiori costituiscono un pericolo maggiore per la salute umana, in quanto possono penetrare in profondità nell'apparato respiratorio. Infatti: - il PM₁₀, polvere inalabile, è in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore (laringe e faringe) e le particelle con diametro compreso fra circa 5 e 2.5 µm giungono sino a livello dei bronchi principali. - Il PM_{2.5}, polvere respirabile, è in grado di penetrare profondamente nei polmoni giungendo sino ai bronchi secondari; le frazioni con diametro inferiore possono giungere sino a livello alveolare. Salute: gli studi epidemiologici mostrano relazioni tra le concentrazioni di materiale particolato in aria e l'insorgenza di malattie dell'apparato respiratorio, quali asma, bronchiti ed enfisemi nonché danni al sistema cardiocircolatorio. Il PM inoltre agisce da veicolo per sostanze ad elevata tossicità, quali ad esempio gli idrocarburi policiclici aromatici. Nel 2013 il particolato atmosferico è stato classificato dallo IARC come cancerogeno per l'uomo (Gruppo 1). Ambiente: la deposizione del materiale particolato può causare effetti negativi sulla vegetazione inibendo il processo di fotosintesi e lo sviluppo delle piante; inoltre, il danneggiamento per abrasione meccanica può rendere le foglie più esposte agli attacchi degli insetti. Materiali: i materiali subiscono danni diretti legati a fenomeni di imbrattamento e fenomeni di corrosione in relazione alla composizione chimica del particolato.

BIOSSIDO DI AZOTO – NO₂

Caratteristiche	Gli ossidi di azoto (NO, NO₂, N₂O ed altri) vengono generati in tutti i processi di combustione che utilizzano l'aria come comburente. L'NO₂ è un gas tossico, di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente, con grande potere irritante ed è un energico ossidante, molto reattivo. Gli ossidi di azoto sono da ritenersi fra gli inquinanti atmosferici maggiormente pericolosi, perché, oltre ad essere tossici, svolgono un ruolo fondamentale nella formazione dello "smog fotochimico": sono infatti importanti precursori dell'ozono in estate e del PM₁₀ in inverno.
Sorgenti	Naturali: gli ossidi di azoto sono prodotti dall'attività batterica sui composti dell'azoto, dall'attività vulcanica e dai fulmini: ciò produce un apporto minimo ai livelli di fondo. Antropiche: costituiscono le principali fonti dell'NO₂, legate ai processi di combustione in condizioni di elevata temperatura e pressione: ne consegue che, in contesto urbano, le emissioni dei motori a scoppio e quindi il traffico veicolare ne rappresentano la fonte più significativa.
Tipologia	Primario: il biossido di azoto rappresenta, in genere, al massimo il 5% degli ossidi di azoto emessi direttamente dalle combustioni in aria. Secondario: la maggior parte dell'NO₂ presente in atmosfera deriva dall'ossidazione del monossido di azoto ed è quindi di natura secondaria.
Permanenza spazio temporale	Il tempo medio di permanenza in atmosfera degli ossidi di azoto è breve: circa tre giorni per NO₂ e quattro giorni per l'NO.
Effetti	Salute: gli effetti sulla salute prodotti dall'NO₂ sono dovuti alla sua azione irritante sugli occhi e sulle le mucose dell'apparato respiratorio. Gli effetti acuti sull'apparato respiratorio comprendono riacutizzazioni di malattie infiammatorie croniche delle vie respiratorie, quali bronchite cronica e asma, e riduzione della funzionalità polmonare. Ambiente: Gli ossidi di azoto contribuiscono, per circa il 30%, al fenomeno delle "piogge acide", con conseguenti danni alla vegetazione e alterazioni degli equilibri degli ecosistemi coinvolti. Materiali: le piogge acide producono fenomeni corrosivi sui metalli e scolorimento e perdita di resistenza dei tessuti e delle fibre tessili. L'azione sulle superfici degli edifici e dei monumenti comporta un invecchiamento più rapido delle strutture.

OZONO – O₃

Caratteristiche	L'Ozono è un gas molto reattivo, fortemente ossidante, di odore pungente caratteristico, la cui molecola è costituita da tre atomi di ossigeno.
Sorgenti	È un gas presente nell'atmosfera la cui origine e concentrazione dipendono dalla porzione di atmosfera a cui le osservazioni si riferiscono. Negli strati alti dell'atmosfera, la stratosfera, esso è presente naturalmente e svolge un'importante azione protettiva per la salute umana e per l'ambiente, assorbendo un'elevata percentuale delle radiazioni UV provenienti direttamente dal sole. A questo livello l'ozono si produce a partire dalla reazione dell'ossigeno con l'ossigeno nascente (O), prodotto dalla scissione della molecola di ossigeno ad opera delle radiazioni ultraviolette. Negli strati di atmosfera più prossimi alla superficie terrestre, la troposfera, l'ozono si può originare dalla presenza di precursori sia naturali che antropici. Naturali: composti organici volatili biogenici prodotti dalle piante Antropiche: ossidi di azoto e sostanze organiche volatili emessi da attività umane.
Tipologia	A livello troposferico l'ozono è un inquinante cosiddetto secondario , cioè non viene emesso direttamente da una sorgente, ma è prodotto dalle complesse trasformazioni chimico-fisiche che avvengono in atmosfera fra i precursori (principalmente ossidi di azoto e composti organici volatili) in presenza di elevate temperature e forte irraggiamento solare. L'insieme dei prodotti di queste reazioni costituiscono il cosiddetto inquinamento fotochimico.
Permanenza spazio temporale	L'inquinamento secondario trae generalmente origine da contesti fortemente antropizzati, dove può essere elevata l'emissione di precursori, durante episodi estivi caratterizzati da condizioni meteorologiche stagnanti, quando persistono forte insolazione ed elevate temperature. Gli inquinanti secondari prodotti in queste condizioni possono dar luogo a grandi concentrazioni e <i>fenomeni di accumulo anche a notevoli distanze</i> dalle zone di immissione. Per tale motivo l'inquinamento da ozono rappresenta un fenomeno su scala regionale e/o transfrontaliero.
Effetti	Salute: i principali effetti sulla salute si riscontrano a carico delle vie respiratorie dove, all'aumentare della concentrazione, possono essere indotti effetti infiammatori di gravità crescente, sino ad una riduzione della funzionalità polmonare. Ambiente: sugli ecosistemi vegetali gli effetti ossidanti della molecola interferiscono con la funzione clorofilliana e con la crescita delle piante. Materiali: i materiali, come la gomma e le fibre tessili, subiscono alterazioni chimiche che ne compromettono le caratteristiche e la resistenza.

IPA - Benzo(a)pirene

Caratteristiche	Il benzo(a)pirene - B(a)P - è stato scelto come marker dell'esposizione agli IPA nell'aria ambiente. Il termine IPA è l'acronimo di Idrocarburi Policiclici Aromatici, una classe numerosa di composti organici tutti caratterizzati strutturalmente dalla presenza di due o più anelli aromatici condensati fra loro. Gli IPA costituiti da tre a cinque anelli possono essere presenti sia come gas che come particolato, mentre quelli caratterizzati da cinque o più anelli tendono a presentarsi per lo più in forma solida. Gli IPA sono generalmente composti persistenti, caratterizzati da un basso grado di idrosolubilità e da una elevata capacità di aderire al materiale organico.
Sorgenti	Queste sostanze si trovano in atmosfera come prodotto di processi di pirolisi e di combustioni incomplete, con formazione di particelle carboniose che li adsorbono e li veicolano. Naturali: eruzioni vulcaniche ed incendi boschivi. Antropiche: processi di combustione incompleta di materiale organico e uso di olio combustibile, gas, carbone e legno nella produzione di energia e riscaldamento. Anche l'utilizzo dei vari carburanti produce una notevole quantità di queste sostanze: le emissioni dovute al traffico stradale sono infatti una componente dominante nella emissione di IPA e di B(a)P nelle aree urbane, mentre nelle aree rurali un importante contributo deriva dalla combustione della legna.
Tipologia	È un inquinante primario .
Permanenza spazio temporale	In genere gli idrocarburi policiclici aromatici presenti nell'aria possono degradarsi reagendo con la luce del sole e con altri composti chimici nel giro di qualche giorno o settimana; quelli di massa maggiore aderiscono al particolato aerodisperso. Per questa loro relativa stabilità gli IPA si possono riscontrare anche a grandi distanze in località remote e molto lontane dalle zone di produzione.
Effetti	Salute: gli studi condotti sulla pericolosità degli IPA sembrano dimostrare che l'esposizione a concentrazioni significative di queste sostanze comporti vari danni a livello ematico, immunosoppressione e problemi al sistema polmonare. In particolare, il benzo(a)pirene produce tumori a livello di diversi tessuti sugli animali da laboratorio ed è inoltre l'unico idrocarburo policiclico aromatico per il quale sono disponibili studi approfonditi di tossicità per inalazione, dai quali risulta che questo composto induce il tumore polmonare in alcune specie. L'organo legislativo ha pertanto stabilito un valore obiettivo per tale composto.

BENZENE - C₆H₆

Caratteristiche	Il benzene è un idrocarburo aromatico, che si presenta a temperatura ambiente come un liquido incolore, dal tipico odore aromatico, in grado di evaporare velocemente. Ottenuto prevalentemente come prodotto della distillazione del petrolio, viene impiegato come materia prima per numerosi composti secondari, a loro volta impiegati per produrre plastiche, resine, detergenti, pesticidi, intermedi per l'industria farmaceutica, vernici, collanti, inchiostri, adesivi e prodotti per la pulizia. È utilizzato per conferire proprietà antidetonanti nelle benzine "verdi".
Sorgenti	Naturali: incendi boschivi ed eruzioni vulcaniche, ma le conseguenti concentrazioni in atmosfera sono quantitativamente irrilevanti. Antropiche: costituiscono le sorgenti principali. La maggior fonte di esposizione per la popolazione deriva dai gas di scarico degli autoveicoli, in particolare dei veicoli alimentati a benzina: stime effettuate a livello di Unione Europea attribuiscono a questa categoria di veicoli più del 70% del totale delle emissioni di benzene. Una fonte importante, in ambienti indoor, è rappresentata dal fumo di tabacco.
Tipologia	È un inquinante primario .
Permanenza spazio temporale	Il benzene rilasciato in atmosfera si trova prevalentemente in fase vapore, non è soggetto direttamente a fotolisi, ma reagisce con gli idrossi-radicali prodotti fotochimicamente. Il tempo teorico di dimezzamento della concentrazione è di circa 13 giorni, ma in atmosfera inquinata, in presenza di ossidi di azoto o zolfo, l'emivita si riduce a 4 – 6 ore.
Effetti	Salute: il benzene è tossico, molto irritante per pelle, occhi e mucose ed è inserito dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) tra le sostanze con accertato potere cancerogeno per l'uomo. La principale via di esposizione per l'uomo è l'inalazione, a causa della sua notevole volatilità.

MONOSSIDO DI CARBONIO – CO

Caratteristiche	Il monossido di carbonio è un gas incolore, inodore e insapore, infiammabile, e molto tossico. Viene generato durante la combustione di materiali organici, come intermedio di reazione, quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente. Il monossido di carbonio è l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera.
Sorgenti	Naturali: incendi boschivi, eruzioni vulcaniche, emissioni da oceani e da paludi. Antropiche: la fonte antropica più significativa è rappresentata dal traffico veicolare, in particolare dalle emissioni prodotte dagli autoveicoli a benzina in condizioni tipiche di traffico urbano rallentato (motore al minimo e fasi di decelerazione): per questi motivi viene identificato come tracciante di inquinamento veicolare. Altre fonti, aventi contributo emissivo minore in quanto la combustione avviene in condizioni più controllate, sono gli impianti di riscaldamento domestico, le centrali termoelettriche, gli inceneritori di rifiuti.
Tipologia	Il monossido di carbonio viene emesso come tale in atmosfera ed è quindi un inquinante primario.
Permanenza spazio temporale	Nonostante il tempo di permanenza in atmosfera sia elevato (anni), meccanismi di rimozione naturali (assorbimento da parte di terreno, delle piante, ossidazione in atmosfera) limitano l'azione inquinante del monossido di carbonio prevalentemente a scala locale, urbana.
Effetti	Salute: il monossido di carbonio ha effetti particolarmente pericolosi in quanto forma con l'emoglobina del sangue la carbossiemoglobina, un composto fisiologicamente inattivo, che impedisce l'ossigenazione dei tessuti, ed è in grado di produrre, ad elevate concentrazioni, esiti letali. A basse concentrazioni provoca emicranie, vertigini, e sonnolenza. Essendo inodore e incolore, è un inquinante insidioso soprattutto nei luoghi chiusi dove si può accumulare in concentrazioni elevate. Sull'ambiente ha effetti trascurabili.

BIOSSIDO DI ZOLFO – SO₂

Caratteristiche	Il biossido di zolfo, o anidride solforosa, è un gas incolore, di odore pungente, prodotto dell'ossidazione dello zolfo.
Sorgenti	Antropiche: processi di combustione che utilizzano combustibili fossili (gasolio, olio combustibile, carbone), in cui lo zolfo è presente come impurità, e processi metallurgici. Una percentuale molto bassa di SO ₂ proviene dal traffico veicolare, in particolare dai veicoli con motore diesel. La concentrazione di SO ₂ presenta una variazione stagionale molto evidente, con i valori massimi nella stagione invernale, laddove sono in funzione impianti di riscaldamento domestici, alimentati con combustibili solidi o liquidi.
Tipologia	L'ossido di zolfo è un inquinante primario .
Permanenza spazio temporale	Il tempo medio di permanenza in atmosfera del biossido di zolfo varia da alcuni giorni a settimane e l'estensione dei fenomeni interessa la scala locale e regionale
Effetti	Salute: il biossido di zolfo è un forte irritante delle vie respiratorie. Un'esposizione prolungata a concentrazioni basse può causare patologie all'apparato respiratorio (asma, tracheiti, bronchiti) mentre esposizioni di breve durata a concentrazioni elevate possono provocare aumento della frequenza respiratoria e del ritmo cardiaco oltre a irritazione agli occhi, gola e naso. Ambiente: gli ossidi di zolfo sono stati i principali responsabili dell'acidificazione delle precipitazioni meteorologiche (<i>piogge acide</i>). Sulle piante l'aumento delle concentrazioni di SO₂ provoca danni via via crescenti agli apparati fogliari sino alla necrosi tessutale. Materiali: l'azione sui materiali interessa maggiormente i metalli, nei quali viene accelerato il fenomeno di corrosione, ed i materiali da costruzione (in particolare di natura calcarea) sui quali l'azione acida, comportando una trasformazione dei carbonati in solfati solubili, diminuisce la resistenza meccanica dei materiali, da cui i conseguenti danneggiamenti dei monumenti e delle facciate degli edifici.

METALLI PESANTI: Piombo, Arsenico, Cadmio e Nichel

Caratteristiche	I metalli pesanti sono costituenti naturali della crosta terrestre e molti di essi, in determinate forme e a concentrazioni opportune, sono essenziali alla vita. Non venendo però degradati dai processi naturali, tendono ad accumularsi negli organismi biologici (bioaccumulo) e possono causare effetti negativi, anche gravi, sulla salute umana e sull'ambiente in generale. La scelta normativa di monitorare Piombo, Arsenico, Cadmio e Nichel discende dalla rilevanza che essi manifestano sotto il profilo tossicologico. In atmosfera sono rintracciabili prevalentemente nel particolato aereo-disperso.
Sorgenti	Naturali: eruzioni vulcaniche, fenomeni di erosione. Antropiche: le principali sorgenti sono le combustioni, i processi industriali (industrie minerarie, metallurgiche e siderurgiche) e le abrasioni dei materiali.
Tipologia	I metalli pesanti sono inquinanti primari .
Permanenza spazio temporale	Essendo rintracciabili prevalentemente nel particolato aereo-disperso, l'inquinamento da metalli pesanti presenta distribuzione spazio-temporale analoga a quella dei PM ₁₀ .
Effetti	Salute: i metalli pesanti entrano nell'organismo umano principalmente con l'assunzione di cibo e acqua, ma l'apporto dovuto ad inalazione, in determinate realtà, può risultare estremamente significativo. All'esposizione ai metalli pesanti sono associati molteplici effetti sulla salute, con diversi gradi di gravità e condizioni: problemi ai reni ed alle ossa, disordini neuro-comportamentali e dello sviluppo, elevata pressione sanguigna e, potenzialmente, anche cancro al polmone. Ambiente: nell'ambiente, il fenomeno dell'accumulo sui terreni può danneggiare la fertilità del suolo e favorire l'ingresso dei metalli nella catena alimentare.