

LA QUALITÀ DELL'ARIA IN PIEMONTE

PM10

NO_x

PM10



ARIA

RAPPORTO 2022

Redazione a cura di:

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Stefano Bande, Manuela Bernardi, Francesca Bissardella, Roberta De Maria, Daniele Gandini, Flora Garofalo, Stefania Ghigo, 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)

Annalisa Bruno, Milena Sacco

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

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Roberto Almasio, Silvio Bo

Dipartimento Territoriale di Alessandria e Asti (Piemonte Sud Est)

Giancarlo Mensi

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, Laura Milizia, Francesco Romeo, Roberto Sergi

Laboratorio specialistico strumentale (Piemonte Nord Ovest)

Sabina Bertero, Carla Bugnone, Michele Carrera, Iacopo Coretti, Giuseppina Gallina, 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

Settembre 2023

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

Sommario

1	Introduzione.....	7
2	Inquadramento Normativo.....	8
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 2022 13	
4	Considerazioni sulla meteorologia del 2022.....	15
4.1	Le temperature.....	15
4.2	Le precipitazioni.....	15
4.3	La ventilazione.....	17
4.4	Le nebbie.....	17
4.5	Le condizioni meteo-diffusive.....	18
5	Il quadro regionale.....	20
5.1	Particolato sospeso: PM10.....	20
5.1.1	Media annua.....	20
5.1.2	Superamenti del valore limite giornaliero.....	25
5.2	Particolato sospeso: PM2.5.....	29
5.2.1	Media annua.....	29
5.3	Biossido di azoto (NO ₂).....	35
5.3.1	Media annua.....	35
5.3.2	Superamenti del valore limite orario.....	40
5.4	Ozono (O ₃).....	42
5.4.1	Media massima giornaliera su 8 ore.....	42
5.4.2	Massime medie orarie.....	47
5.4.3	Soglie per la protezione della vegetazione.....	48
5.5	Benzo(a)pirene nel PM10.....	49
5.5.1	Media annua.....	49
5.6	Benzene.....	53
5.6.1	Media annua.....	53
5.7	Monossido di carbonio e biossido di zolfo.....	54
5.7.1	CO - Massima media su 8 ore.....	54
5.7.2	SO ₂ - Massima media giornaliera.....	55
5.8	Metalli nel PM10.....	57
6	Il dettaglio per provincia.....	61

6.1	Città Metropolitana di Torino.....	61
6.1.1	Particolato sospeso: PM10.....	61
6.1.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	66
6.1.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	67
6.1.4	Biossido di azoto (NO ₂).....	68
6.1.5	Ozono (O ₃).....	72
6.2	Provincia di Alessandria.....	74
6.2.1	Particolato sospeso: PM10.....	74
6.2.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	78
6.2.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	79
6.2.4	Biossido di azoto (NO ₂).....	80
6.2.5	Ozono (O ₃).....	83
6.3	Provincia di Asti.....	85
6.3.1	Particolato sospeso: PM10.....	85
6.3.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	88
6.3.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	89
6.3.4	Biossido di azoto (NO ₂).....	90
6.3.5	Ozono (O ₃).....	91
6.4	Provincia di Biella.....	93
6.4.1	Particolato sospeso: PM10.....	93
6.4.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	96
6.4.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	97
6.4.4	Biossido di azoto (NO ₂).....	97
6.4.5	Ozono (O ₃).....	100
6.5	Provincia di Cuneo.....	102
6.5.1	Particolato sospeso: PM10.....	102
6.5.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	105
6.5.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	106
6.5.4	Biossido di azoto (NO ₂).....	107
6.5.5	Ozono (O ₃).....	110
6.6	Provincia di Novara.....	112
6.6.1	Particolato sospeso: PM10.....	112
6.6.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	115
6.6.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	116
6.6.4	Biossido di azoto (NO ₂).....	116
6.6.5	Ozono (O ₃).....	119

6.7	Provincia di Verbania.....	121
6.7.1	Particolato sospeso: PM10.....	121
6.7.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	124
6.7.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	125
6.7.4	Biossido di azoto (NO ₂).....	126
6.7.5	Ozono (O ₃).....	128
6.8	Provincia di Vercelli.....	130
6.8.1	Particolato sospeso: PM10.....	130
6.8.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	133
6.8.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	134
6.8.4	Biossido di azoto (NO ₂).....	134
6.8.5	Ozono (O ₃).....	136
7	Approfondimenti.....	138
7.1	Il black carbon in Piemonte.....	138
7.1.1	Introduzione.....	138
7.1.2	Le misure.....	138
7.2	Aggiornamento dell’Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera per l’anno 2019.....	147
7.2.1	Approfondimenti sui comparti riscaldamento civile e allevamento.....	147
7.3	Realizzazione di un grafo di rete stradale di bacino padano e relativa stima dei flussi veicolari. .	151
7.3.1	Introduzione.....	151
7.3.2	Metodologia.....	151
7.3.3	Risultati.....	152
7.4	Analisi delle concentrazioni di ozono nell’estate del 2022.....	157
7.5	Analisi delle concentrazioni di ammoniaca in Piemonte.....	163
8	Appendice A1.....	166
9	Appendice A2.....	169

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 2022 di Arpa Piemonte è un documento avente come obiettivo la 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 meteorodispersive,
- 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, incluso un breve cenno sulle modalità di realizzazione della valutazione modellistica della qualità dell'aria con il sistema modellistico di Arpa Piemonte. 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 2022, 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.

Mentre per inquinanti quali monossido di carbonio, biossido di zolfo, benzene, metalli pesanti, il confronto con i limiti previsti dal D.Lgs. 155/2010 evidenzia la conformità agli stessi, le concentrazioni di alcuni degli inquinanti più critici a livello regionale nel corso del 2022 sono state significativamente influenzate dalle caratteristiche meteorologiche verificatesi nel corso dell'anno.

La scarsa piovosità, concentrata soprattutto nel primo bimestre, ha permesso di classificare il 2022 come il secondo anno meno piovoso dal 1958; nei mesi di gennaio e febbraio l'assenza di precipitazioni, insieme a condizioni meteorologiche già tipicamente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti in atmosfera (sull'area metropolitana torinese si sono avuti 55 giorni, su 59, favorevoli all'accumulo degli inquinanti), ha inciso sulle concentrazioni del particolato atmosferico con un incremento delle concentrazioni medie annue e del numero di superamenti del valore limite giornaliero per il PM10 in diverse stazioni di monitoraggio della rete regionale. Tuttavia, nonostante l'influenza meteorologica, il valore limite di 40 µg/m³ per la media annua del particolato PM10 non è stato superato sul territorio regionale e il trend generale risulta essere comunque in diminuzione anche per il numero dei superamenti giornalieri, sebbene il valore limite per la concentrazione media giornaliera sia stato superato in diverse aree urbane della Città Metropolitana di Torino, delle province di Alessandria, Asti, Novara. Non si sono registrati superamenti del valore limite della media annua per il particolato PM2.5.

L'anno 2022 è risultato anche il più caldo della serie storica dal 1958, con anomalia termica positiva in buona parte dell'anno e, in particolare, in estate, risultata la più calda dopo quella del 2003. Queste condizioni hanno contribuito ad incrementare le concentrazioni di ozono, inquinante che ha registrato superamenti sia dell'obiettivo per la protezione della salute umana sia dell'obiettivo a lungo termine praticamente su tutto il territorio regionale. Anche la soglia di informazione è stata superata in gran parte delle stazioni dell'Agglomerato di Torino e in quelle di Cossato (Biella) e Vercelli – CONI.

Per il biossido d'azoto si conferma come significativo il trend di decrescita delle concentrazioni, sebbene permangano due stazioni della città di Torino (Torino – Consolata e Torino – Rebaudengo) nelle quali non si rispetta il valore limite su base annuale previsto dalla normativa.

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 dei valori limite previsti dalla normativa vigente.

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.

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

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.

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	
PM2,5	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 PM10 del materiale particolato
Arsenico (As)	Anno civile	Valore obiettivo	6,0 ng/m ³	tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM10 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	

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:

- il Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA);
- l'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (IREA);
- 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 56 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 31/12/2022

		Agglomerato (IT0118)	Pianura (IT0119)	Collina (IT0120)	Montagna (IT0121)														
PROVINCIA	STAZIONE	Tipo stazione	zona	SO ₂	CO	CO ₂	NOx	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	Mondovi - 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	53	31	22	38	2	1	2	2	2	
Legende	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.

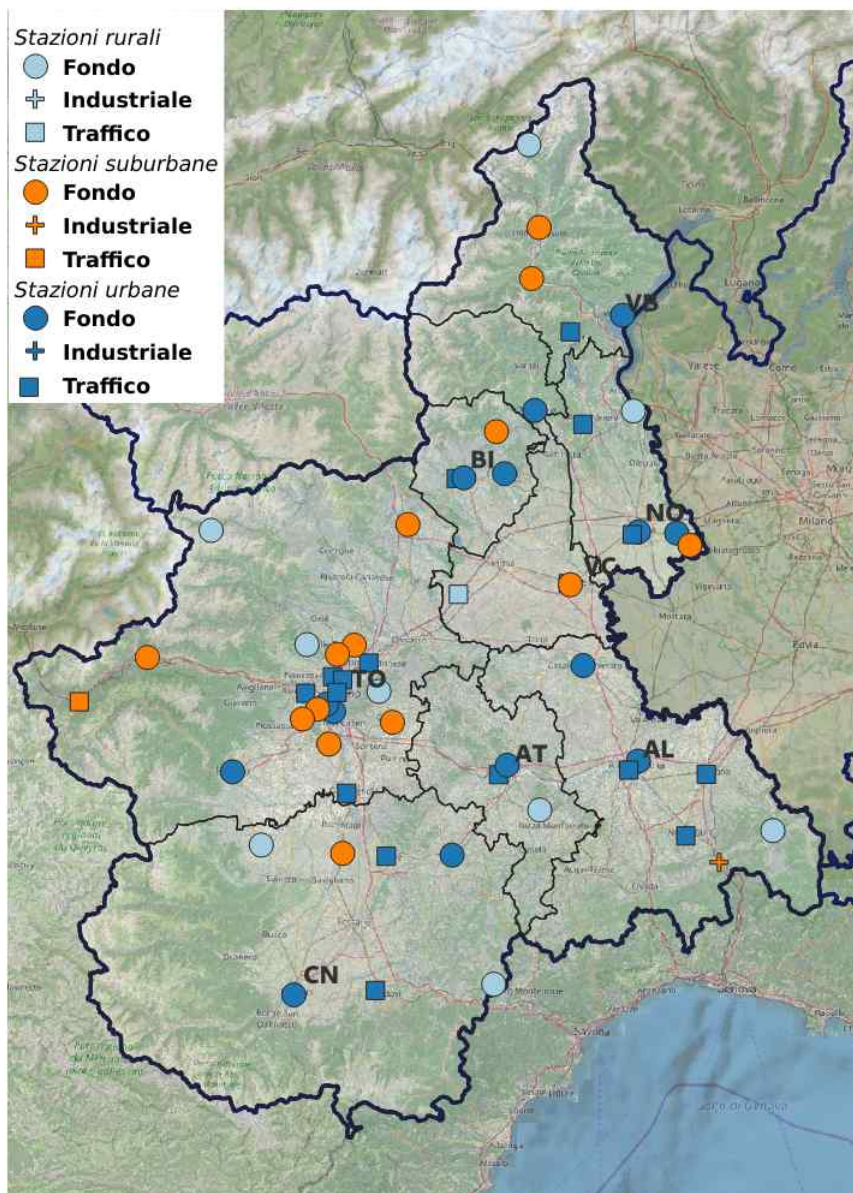


Figura 1: Localizzazione delle stazioni del SRRQA, differenziate per tipologia di stazione (fondo/traffico/industriali) e per tipologia di zona (urbana/suburbana/rurale).

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 2015⁶.

La Figura 1 rappresenta, in modo sintetico, il contributo percentuale alle emissioni dei principali inquinanti da parte dei differenti comparti emissivi. Il comparto riscaldamento incide per il 45% sulle emissioni di PM10, seguito dal comparto trasporti stradali (32%). Per quanto riguarda le

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

6 Vedi paragrafo 7.2 per un approfondimento su alcuni aspetti innovativi presenti nella prossima versione di IREA di Regione Piemonte all'anno 2019 e sulle elaborazioni condotte da Arpa Piemonte sui dati dell'inventario per le attività istituzionali e progettuali.

emissioni degli ossidi di azoto il maggior contributo è dato dai trasporti stradali (50%), a cui seguono la combustione nell'industria (20%), i trasporti off-road (10%) e il riscaldamento non industriale (9%). Le emissioni di NMVOC derivano principalmente dalle sorgenti biogeniche sia del comparto natura e foreste (42%), sia del comparto agricoltura e allevamento (22%); quest'ultimo comparto incide per il 95% sulle emissioni di NH₃. Il settore industriale è la principale sorgente emissiva per il biossido di zolfo con un contributo del 47% relativo alla combustione e del 39% 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 (62%) sia dei comparti riscaldamento (26%) e traffico (30%).

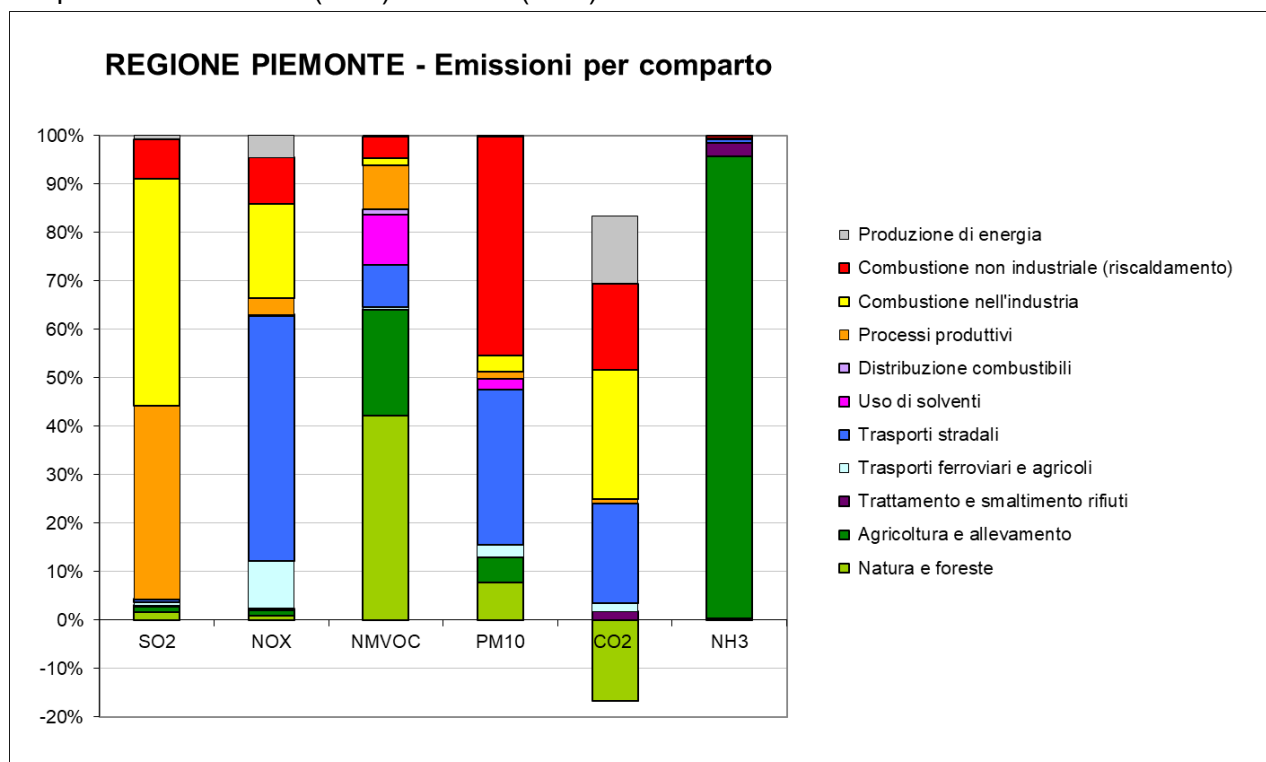


Figura 1: Contributo percentuale ai principali inquinanti per comparto emissivo (Macrosettore SNAP) - IREA 2015.

3.3 Il Sistema Modellistico Regionale e la valutazione modellistica di qualità dell'aria per l'anno 2022

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 multiscala, 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), sul dominio di background (risoluzione orizzontale di 8 km) e su un sottodominio target ad alta risoluzione (1 km) descritti in Figura 1. Le simulazioni del modello di qualità dell'aria (FARM²) sono guidate dai campi meteorologici del

modello di previsione numerica COSMO-I5⁸, sono inizializzate ai bordi del dominio di calcolo con i dati messi a disposizione dalla banca dati Prev'Air⁹ ed utilizzano come dati emissivi di ingresso l'inventario IREA per il territorio piemontese (anno 2015¹⁰), integrato con le informazioni riguardanti gli inventari delle regioni confinanti e comprese nel dominio di calcolo.

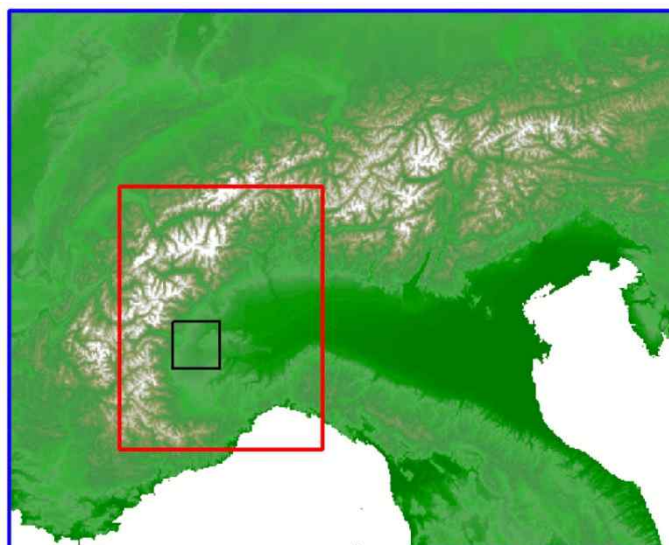


Figura 1: Domini di applicazione del sistema modellistico regionale

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 geostatistica¹¹: 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 2021 non inferiore al 90% dei dati acquisiti e tali da garantire nel loro insieme una copertura sufficientemente omogenea del territorio regionale.

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

9 <http://www2.prevaire.org/>

10 Vedi paragrafo 7.2 per un approfondimento sulle elaborazioni relative alla prossima versione di IREA aggiornato, a cura di Regione Piemonte, all'anno 2019

11 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 2022

L'anno 2022 è risultato il più caldo e il secondo meno piovoso dell'intera serie storica dal 1958, sia come quantitativi di precipitazione, sia come numero di giorni piovosi. Principalmente per questo motivo il 2022 ha avuto condizioni sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti; particolarmente critici ed estremamente sfavorevoli sono stati i mesi di gennaio, febbraio e, anche se in misura minore, ottobre, mentre il mese di dicembre risulta essere tra i meno critici del periodo di riferimento.

La combinazione di alte temperature e di siccità osservate dell'anno 2022 non ha precedenti nel periodo storico preso in considerazione e ridefinisce il concetto di estremo.

4.1 Le temperature

Entrando nel dettaglio, il 2022 è stato il più caldo osservato in Piemonte nell'intera serie storica 1958-2022, con una temperatura media di circa 11.4°C ed un'anomalia termica positiva stimata di +1.52°C rispetto al trentennio di riferimento 1991-2020.

Analizzando l'andamento giornaliero in Figura 2, si nota come l'anomalia termica negativa sia stata presente con una buona frequenza e continuità solo a marzo (unico mese ad avere avuto una temperatura nella norma degli anni 1991-2020), aprile, nell'ultima decade di settembre e nelle prime due di dicembre. Lo scostamento termico positivo è stato marcato soprattutto durante l'estate, risultata la seconda più calda dopo il 2003. Sostanziale assenza di giorni più freddi della norma anche a ottobre 2022, con prima posizione nella rispettiva serie storica dei mesi più caldi. Da citare anche il secondo posto di gennaio e maggio 2022.

Piemonte anno 2022: Temperature medie giornaliere (°C)

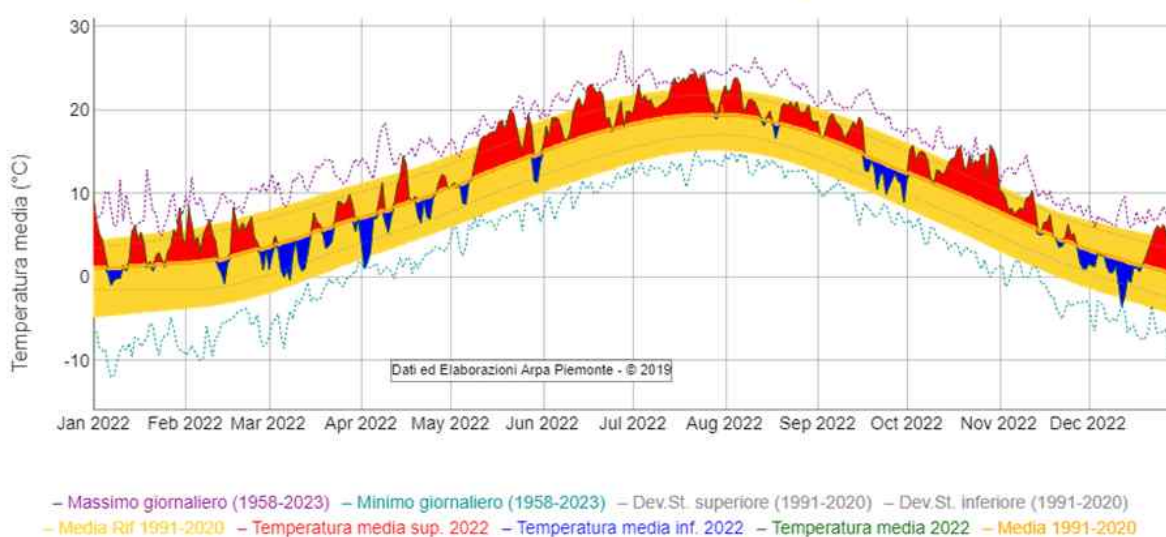


Figura 2: Andamento giornaliero della temperatura media in Piemonte nel corso dell'anno 2022

Il mese più caldo dell'anno è stato luglio con 22.1°C medi, mentre dicembre è risultato il mese più freddo, con 2.2°C.

La caratteristica termica principale del 2022 è stata quindi quella di una temperatura frequentemente e quasi costantemente al di sopra della norma climatica, piuttosto che di periodi brevi di anomalie termiche positive intense come accaduto in passato.

4.2 Le precipitazioni

Le precipitazioni cumulate medie dell'anno 2022 in Piemonte sono state pari a 587.1 mm e sono risultate inferiori alla norma del periodo 1991-2020, con un deficit di 412.9 mm, che corrisponde al 41% circa; il 2022 è il 2° anno meno piovoso nella distribuzione storica degli anni 1958-2022 dopo

il 2001. Hanno principalmente contribuito al deficit pluviometrico i primi tre mesi dell'anno: il 9 dicembre 2021 ha avuto inizio un lungo periodo di "giornate secche" (precipitazione giornaliera inferiore a 5 mm/24h) che è terminato il 29 marzo 2022. Tale serie di 111 giorni si è posizionata ufficialmente al 2° posto tra i periodi secchi invernali più lunghi degli ultimi 65 anni, dopo la stagione 1999-2000 (137 giorni).

L'esame dell'andamento nei singoli mesi (Tabella 3) mostra come solo dicembre abbia avuto un'anomalia pluviometrica positiva mentre tutti gli altri mesi sono risultati più secchi della norma. Agosto è stato il mese più piovoso dell'anno 2022 con 81.5 mm medi e un lieve deficit del 7%. Gennaio con soli 4.8 mm medi e un'anomalia negativa del 90% è risultato il mese più secco dell'annata. Il giorno più piovoso dell'anno è stato il 23 aprile con una media giornaliera di 31.6 mm sul territorio piemontese.

Precipitazione	Anomalia pluviometrica (%)	Posizione nella distribuzione storica	Valore medio (mm)	Percentuale record pluviometrici in 24 ore stabiliti
Gennaio 2022	-90	5° meno piovoso	4.8	0
Febbraio 2022	-77	8° meno piovoso	9.9	0
Marzo 2022	-69	11° meno piovoso	19.7	0
Aprile 2022	-46	15° meno piovoso	58.0	0
Maggio 2022	-35	22° meno piovoso	80.4	1
Giugno 2022	-22	24° meno piovoso	73.9	1
Luglio 2022	-44	11° meno piovoso	37.4	1
Agosto 2022	+7	nella norma	81.5	13
Settembre 2022	-47	23° meno piovoso	54.0	0
Ottobre 2022	-46	20° meno piovoso	63.0	0
Novembre 2022	-62	20° meno piovoso	50.6	0
Dicembre 2022	+37	17° più piovoso	79.0	0
Anno 2022	-41	2° meno piovoso	587.1	0

Tabella 3: Precipitazioni cumulate medie mensili in Piemonte. Per ciascun mese è riportata l'anomalia percentuale dalla norma 1991-2020, la posizione relativa rispetto al mese corrispondente più secco o più piovoso dell'intera serie storica, la percentuale di stazioni meteorologiche che hanno fatto registrare il loro record di precipitazione cumulata giornaliera. In arancione (secco) o blu (piovoso) i mesi nelle prime 10 posizioni storiche, in grassetto quelli tra i primi tre. Sono prese in considerazione solo le stazioni attive da almeno dieci anni.

Non ci sono stati ovviamente record assoluti di precipitazione in 24 ore.

Nell'anno 2022 in Piemonte le zone che hanno ricevuto la maggiore quantità di pioggia annua sono il Verbanò, i settori settentrionali delle province di Vercelli e Biella e l'Appennino alessandrino, mentre i settori pianeggianti del torinese e del basso Piemonte hanno registrato i valori cumulati più bassi di precipitazione.

Tale distribuzione territoriale è ricorrente; infatti, la mappa con l'anomalia percentuale di precipitazione rispetto alla media del periodo 1991-2020 (Figura 3) evidenzia un deficit pluviometrico diffuso su tutta la regione, con scarti negativi generalmente compresi tra il 30 e il 60% con carenza maggiore su Torino città.

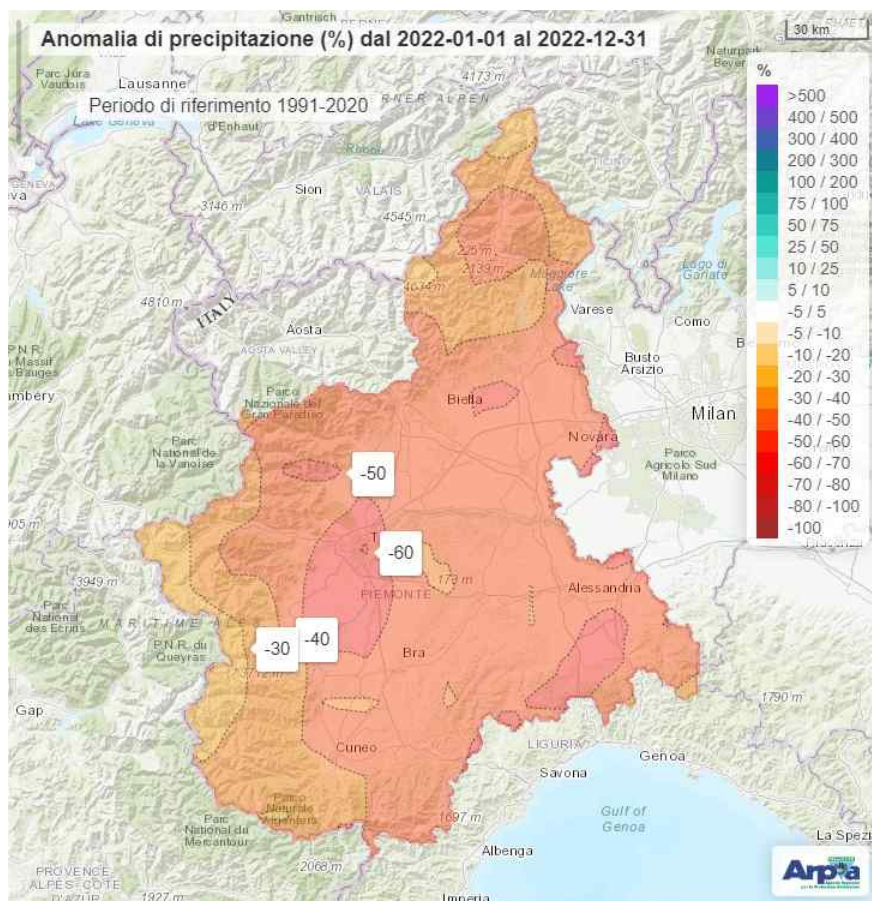


Figura 3: Anomalia percentuale della precipitazione nell'anno 2022 rispetto alla media del periodo 1991-2020. Elaborazione Arpa Piemonte

4.3 La ventilazione

Nel 2022 si sono avuti, complessivamente sulla regione, 78 giorni di foehn che risultano superiori alla media annuale del periodo 2000-2020, pari a 66. In Tabella 4 è riportato il numero di giorni di foehn su base mensile, confrontato con la media climatica.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
2022	16	17	0	4	0	5	5	3	10	2	9	7
Media 2000-2020	9	7	8	4	5	3	4	4	4	5	5	8

Tabella 4: Numero di giorni di foehn per mese sul Piemonte, anno 2022 e media climatica a confronto.

4.4 Le nebbie

A fare da contro-altare agli episodi di vento di foehn, che sono una delle situazioni meteorologiche più importanti per contribuire a disperdere gli inquinanti in particolare sulle pianure della regione, vi sono le giornate nebbiose.

Nell'anno 2022 si sono verificati 114 giorni di nebbia ordinaria (visibilità inferiore ad 1 km), leggermente inferiori (-6%) rispetto ai 121 attesi dalla climatologia recente del periodo 2004-2021. Andamento simile anche per gli episodi annuali di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m): 19 rilevati e 21 attesi dalla norma climatica, con un deficit del 10%, come si evince dai dati riportati in Tabella 5.

	Giorni nebbia	Climatologia giorni	Giorni nebbia fitta	Climatologia giorni

	ordinaria (vis < 1 km)	nebbia ordinaria (vis < 1 km)	(vis < 100 m)	nebbia fitta (vis < 100 m)
Gennaio	17	19	5	5
Febbraio	17	16	5	4
Marzo	1	9	0	1
Aprile	1	5	0	0
Maggio	1	3	0	0
Giugno	2	1	0	0
Luglio	1	2	0	0
Agosto	0	1	0	0
Settembre	3	6	0	0
Ottobre	24	19	2	3
Novembre	19	19	2	4
Dicembre	28	21	5	4
Anno	114	121	19	21

Tabella 5: Giorni di nebbia ordinaria e fitta registrati in Piemonte nell'anno 2022, comparati con le medie del periodo 2004-2021.

L'analisi degli eventi nebbiosi nei singoli mesi evidenzia la marcata anomalia negativa dei giorni di nebbia ordinaria durante la primavera e in settembre; invece, le nebbie fitte sono state inferiori alla norma soprattutto in autunno. Da notare i 28 giorni di nebbia ordinaria a dicembre, valore inferiore solo ai 30 episodi giornalieri del 2015 per quanto riguarda i fenomeni nebbiosi dell'ultimo mese dell'anno.

4.5 Le condizioni meteo-diffusive

La caratterizzazione delle condizioni meteo-diffusive nell'anno 2022 è stata realizzata anche calcolando l'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10"¹².

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 4 sono riportati i valori mensili dell'indice calcolati per l'anno 2022, confrontati con i massimi e i minimi mensili della climatologia del periodo 2006-2021.

I dati dell'indice riportati in Figura 4 evidenziano come nei mesi di gennaio e febbraio si siano avuti sull'area metropolitana torinese complessivamente 55 giorni (su 59 totali) favorevoli all'accumulo degli inquinanti, valori tra i più alti del periodo di riferimento. Tali condizioni sono state in parte mitigate, specie a febbraio e fuori dall'area di riferimento dell'indice, da un surplus di eventi di foehn (Tabella 4). Critico risulta essere anche il mese di ottobre, con un numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 superiore al 75°percentile del periodo di riferimento e con un numero di eventi di foehn e quantitativi di precipitazione (Tabella 4 e Tabella 3) inferiori al riferimento climatologico.

12 Bande S., L'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10", Relazione "Uno sguardo all'aria 2016", pp. 86-90, 2017.

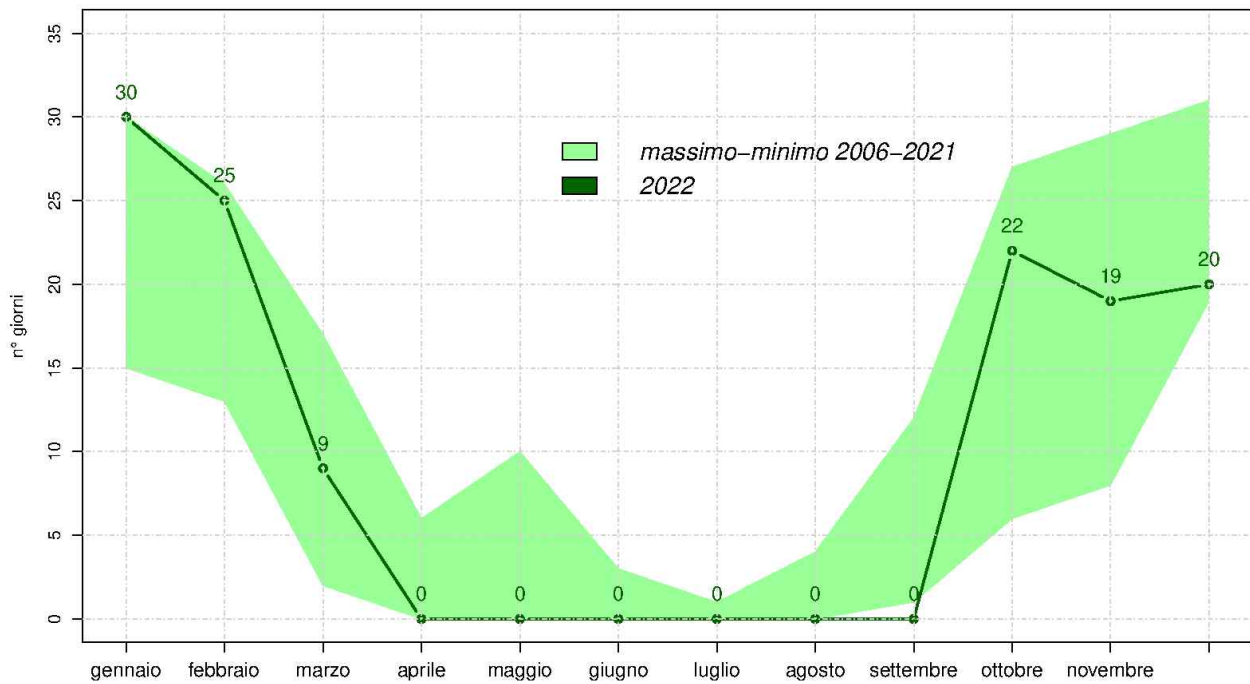


Figura 4: Andamento mensile dell'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10" sull'agglomerato urbano di Torino nell'anno 2022, confrontato con i massimi ed i minimi mensili del periodo di riferimento 2006-2021.

Il mese di marzo presenta, seppure in misura minore, le stesse caratteristiche del mese di ottobre, mentre novembre e dicembre hanno un numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 sotto la mediana del periodo di riferimento (dicembre è vicino ai minimi storici), con surplus di eventi di foehn a novembre ed un surplus di precipitazioni a dicembre a livello regionale.

5 Il quadro regionale

5.1 Particolato sospeso: PM10

5.1.1 Media annua

Nel corso del 2022, su tutto il territorio regionale, come già accaduto nel 2021, è stato rispettato il valore limite medio annuo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come si può osservare dalla Figura 5 che sovrappone i valori delle concentrazioni misurate presso le stazioni della rete regionale ai campi prodotti nella valutazione modellistica di qualità dell'aria con il sistema modellistico regionale. Le zone di pianura del torinese, cuneese, astigiano, alessandrino e quelle al confine con la Lombardia risultano essere quelle con le concentrazioni relativamente più elevate. Dalle mappe si osserva inoltre come le concentrazioni registrate presso le stazioni siano correttamente rappresentate dalla valutazione modellistica, seppur con una 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.

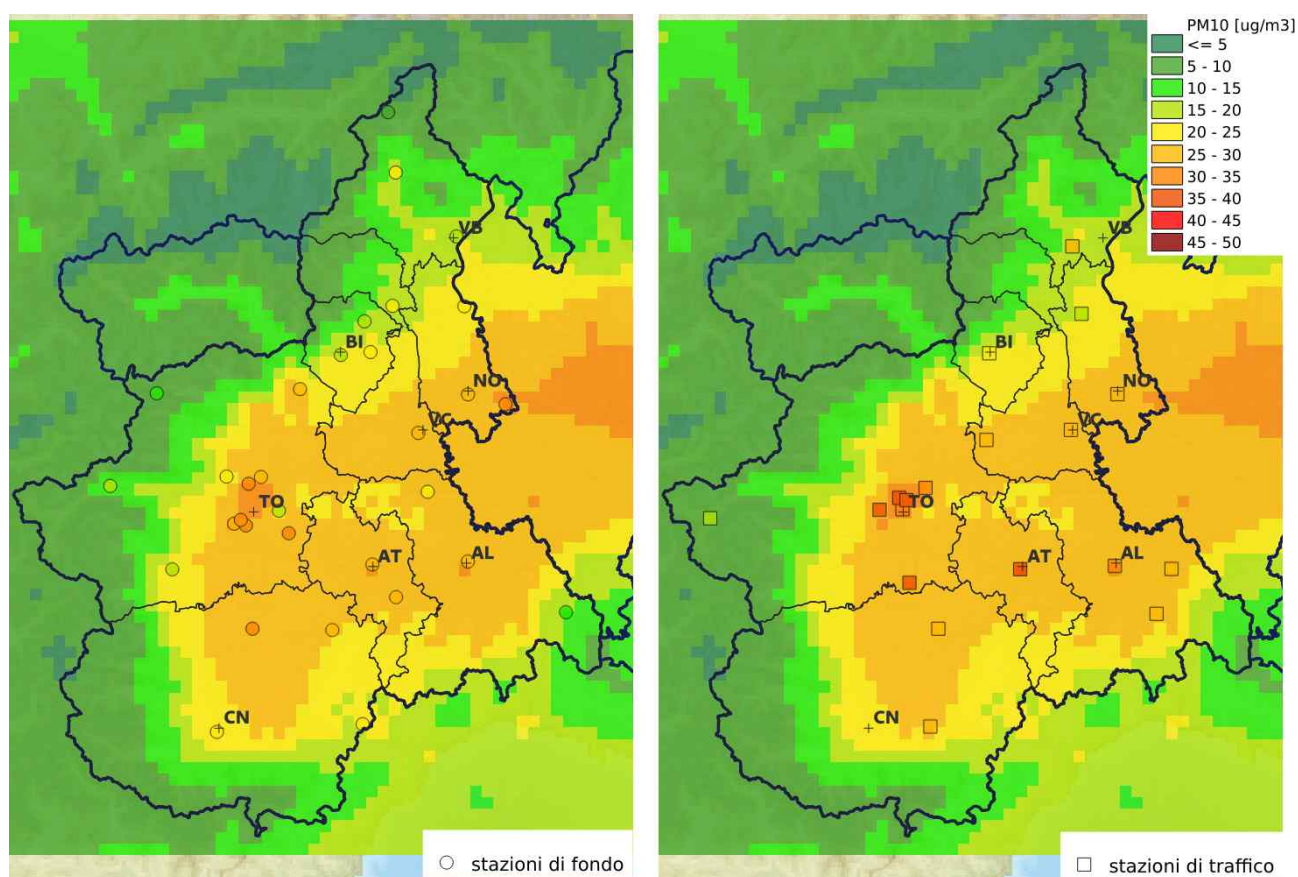


Figura 5: PM10: concentrazioni medie per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

Il confronto fra i valori registrati presso le stazioni di monitoraggio, riportato in Figura 6, mostra che le concentrazioni maggiori si hanno presso le stazioni di traffico delle maggiori aree urbane, quali Torino – Grassi ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'unica stazione della SRRQA ad aver raggiunto il valore limite medio annuo imposto dalla legge) e Torino – Rebaudengo ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Asti – Baussano ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Alessandria D'Annunzio ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Per quanto riguarda le stazioni di fondo, i valori di media annuale più elevati si osservano nelle stazioni urbane di Torino – Lingotto ($34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Torino – Rubino ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e nella stazione suburbana di Cavallermaggiore – Galilei ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il grafico illustrato in Figura 7 descrive l'andamento della media mensile di tutte le stazioni della rete regionale, suddivise in stazioni di fondo e di traffico per l'anno 2022. Il profilo temporale presenta valori più elevati nei primi tre mesi dell'anno e nel mese di ottobre caratterizzati, da un punto di vista meteorologico, da un lungo periodo di "giornate secche" con deficit pluviometrico; da

notare come nel mese di marzo si abbiano concentrazioni di PM10 in media superiori a quelle del mese di febbraio e nel mese di ottobre si registrino valori medi paragonabili a quelli di febbraio e superiori a quelli di novembre e dicembre; si tratta di condizioni non usuali, dovute probabilmente all'instaurarsi sulla regione di condizioni mediamente meno favorevoli all'accumulo del PM10, grazie ad un surplus di eventi di foehn (febbraio e novembre) e di precipitazione (dicembre).

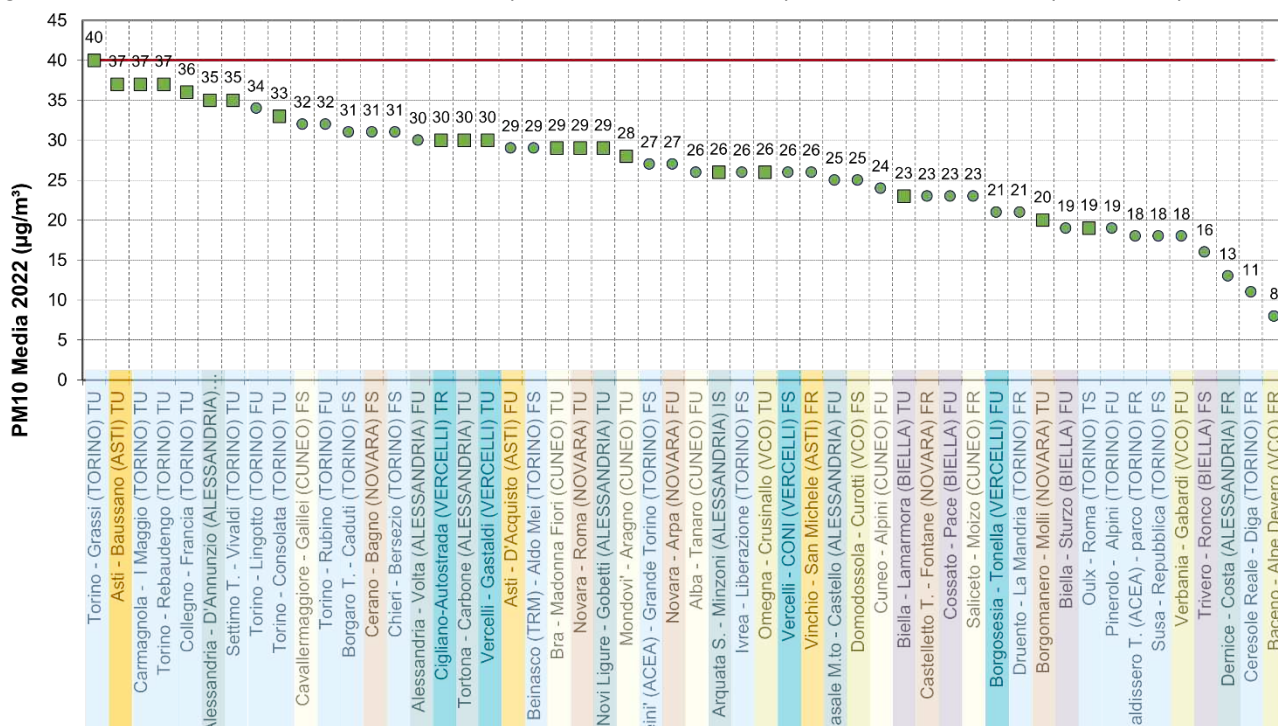


Figura 6: PM10: concentrazioni medie per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).



Figura 7: PM10: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2022 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

**PM10 - Media annuale (Valore limite: 40 µg/m3)
(percentuale dati validi >=80%)**

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

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 al 80%
 n Dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90%
 * Stazione con percentuale dati validi pari a 79% . I dati mancanti sono in un periodo in cui normalmente non si verificano superamenti

Tabella 6: PM10: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

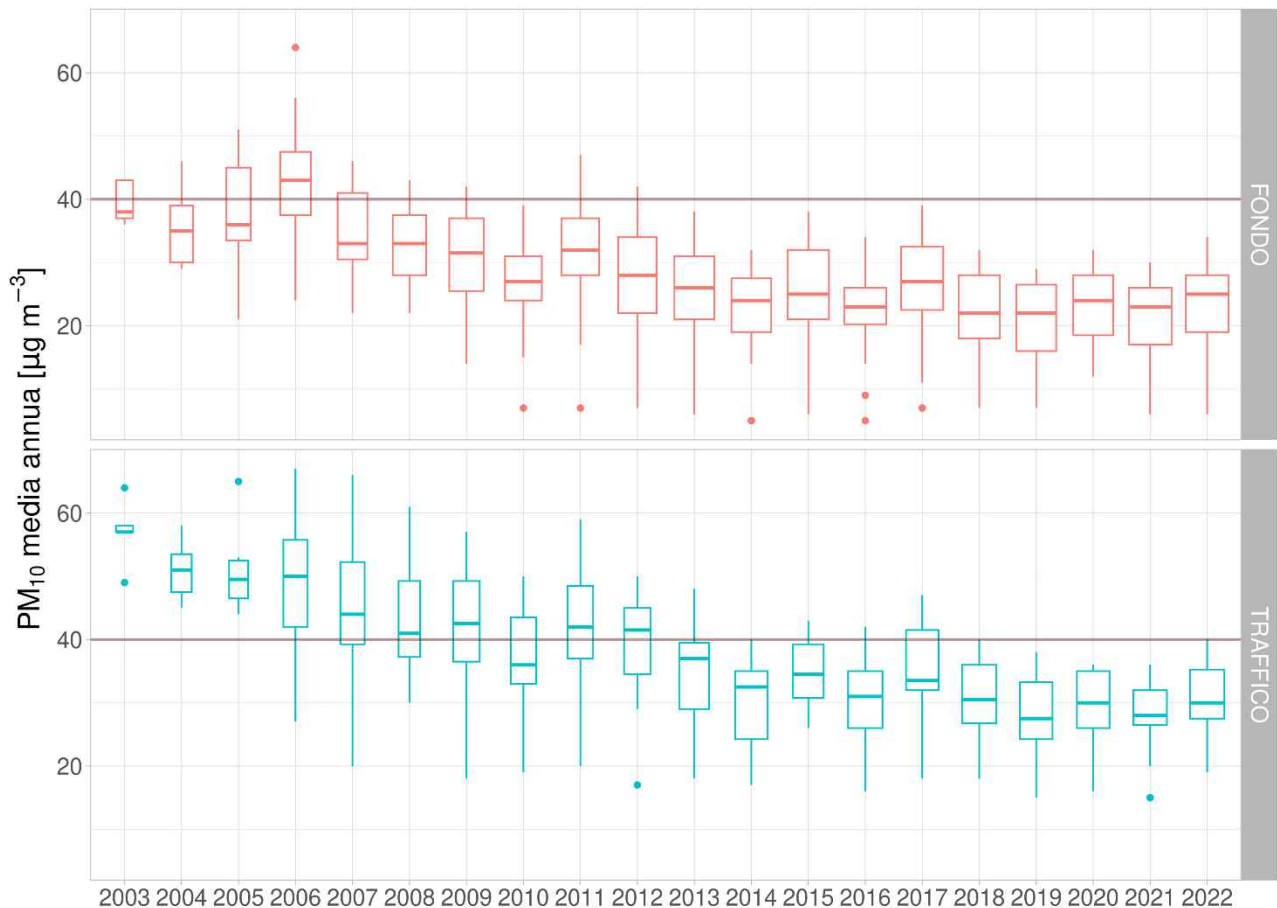


Figura 8: PM10: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2022 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

La Tabella 6 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 2022 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 fortemente influenzata dalle condizioni meteorologiche che, nel 2022, hanno fatto registrare – grazie al periodo siccitoso di inizio anno - valori della media annua lievemente superiori a quelle misurate nel 2021.

Il trend decrescente delle concentrazioni è evidenziato anche dalle elaborazioni in Figura 8 ed in Figura 9. Nella prima sono riportati i box plot¹³ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2003 - 2022, suddivise per tipologia di stazione (di fondo e di traffico). 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 trend di riduzione per la media annuale di ciascuna stazione è stato infine valutato numericamente¹⁴ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair¹⁵. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati (sono state analizzate solo le

13 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)

stazioni attive con almeno cinque anni di dati), sono mostrati in Figura 9 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 nessuna stazione è stato calcolato un trend in aumento, tranne in quella di Ceresole che presenta un trend lievemente positivo seppure in un contesto di concentrazioni molto basse. In generale, nella quasi totalità delle stazioni analizzate (43 sul totale di 49 analizzate) la diminuzione è statisticamente significativa.

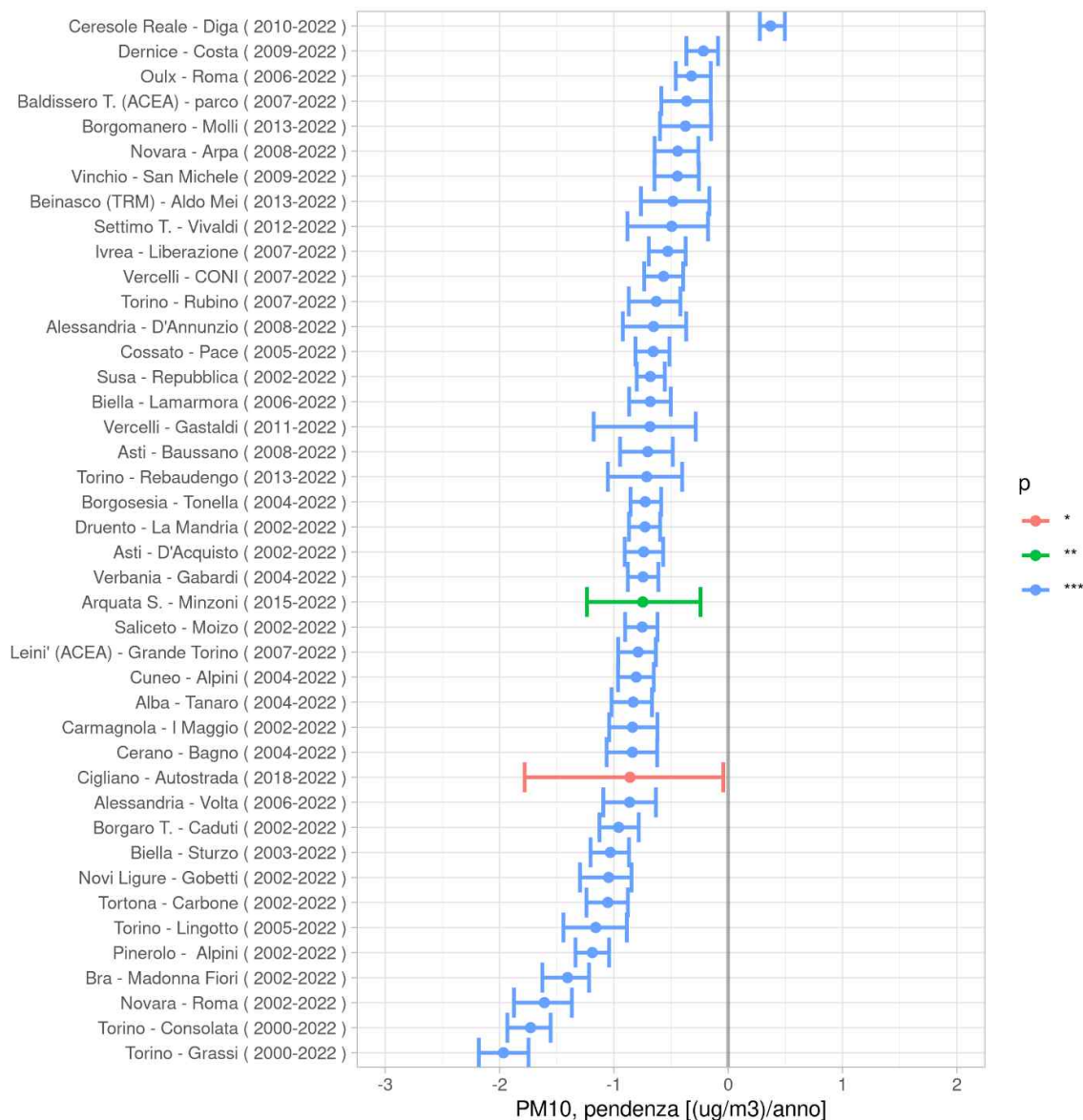


Figura 9: PM10: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue di PM10, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione per l'anno 2022. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (blu al 99%, verde al 95% e rosso al 90%).

5.1.2 Superamenti del valore limite giornaliero

L'anno 2022 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

- 14 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.
- 15 Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair - an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

35 superamenti per anno solare. Come si può osservare dalla Figura 10, che sovrappone il numero dei superamenti registrati presso le stazioni del SRRQA a quelli stimati nella valutazione modellistica, essi sono distribuiti in alcuni capoluoghi della regione (Torino, Asti e Alessandria), nelle aree circostanti ed in alcune zone di pianura tra il torinese e la provincia di Cuneo. Sia le stazioni di fondo (mappa a sinistra) che quelle di traffico (mappa a destra) sono generalmente ben rappresentate dalla valutazione modellistica, fatta eccezione per qualche stazione di fondo nell'Agglomerato di Torino e per Domodossola Curotti nella parte più a nord della regione.

La Figura 11 illustra il numero dei superamenti registrati nel 2022 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria. I superamenti che eccedono il limite di legge si hanno principalmente nelle stazioni, sia di traffico che di fondo urbano della Città Metropolitana di Torino e in alcune stazioni delle province di Asti (Asti – Baussano e Asti – D'Acquisto), Alessandria (Alessandria – D'Annunzio, Alessandria – Volta e Tortona – Carbone), Novara (Cerano – Bagno e Novara – Roma), mentre nella provincia di Cuneo nella sola stazione di Cavallermaggiore – Galilei. Le province di Vercelli, Biella e Verbano-Cusio-Ossola non riportano un numero di superamenti superiore al limite di legge.

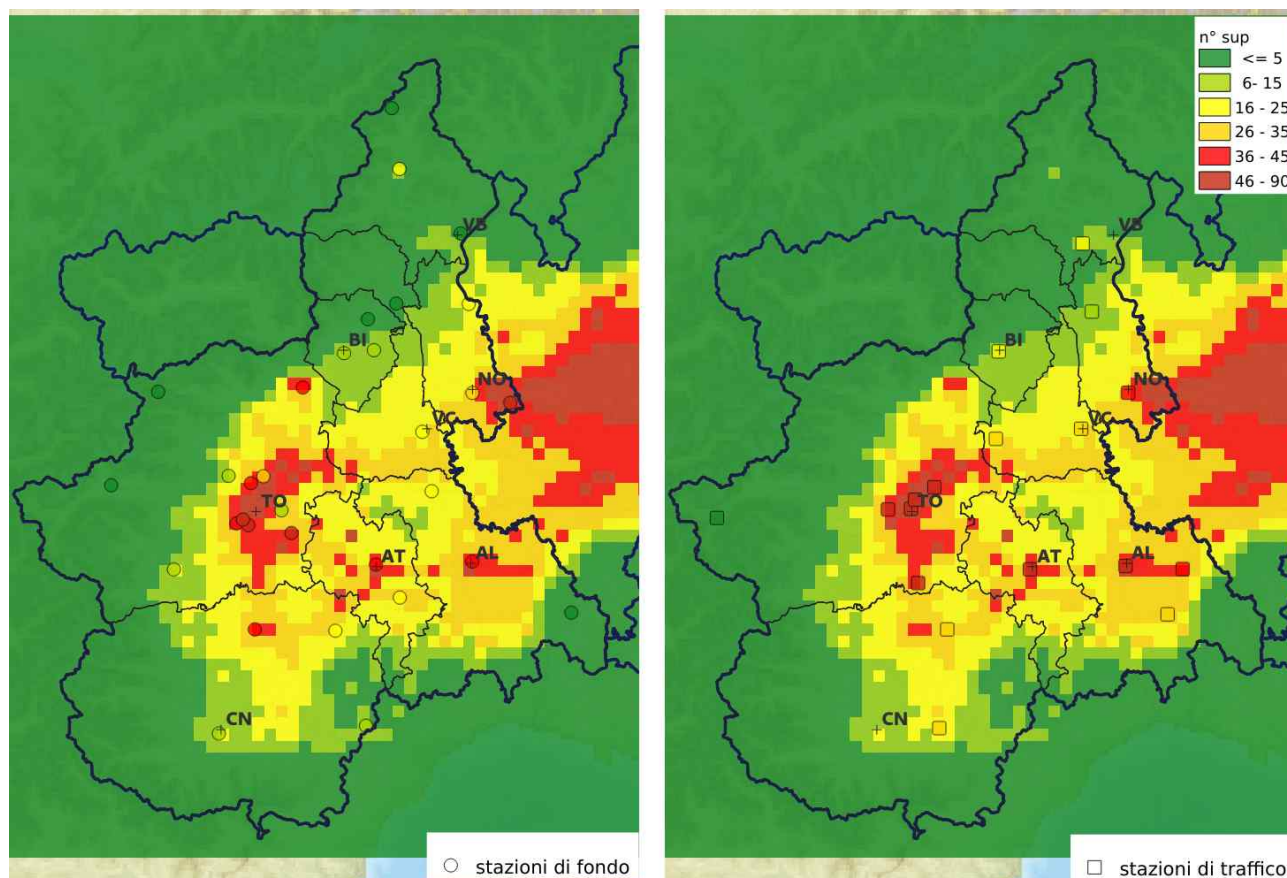


Figura 10: PM10: numero superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

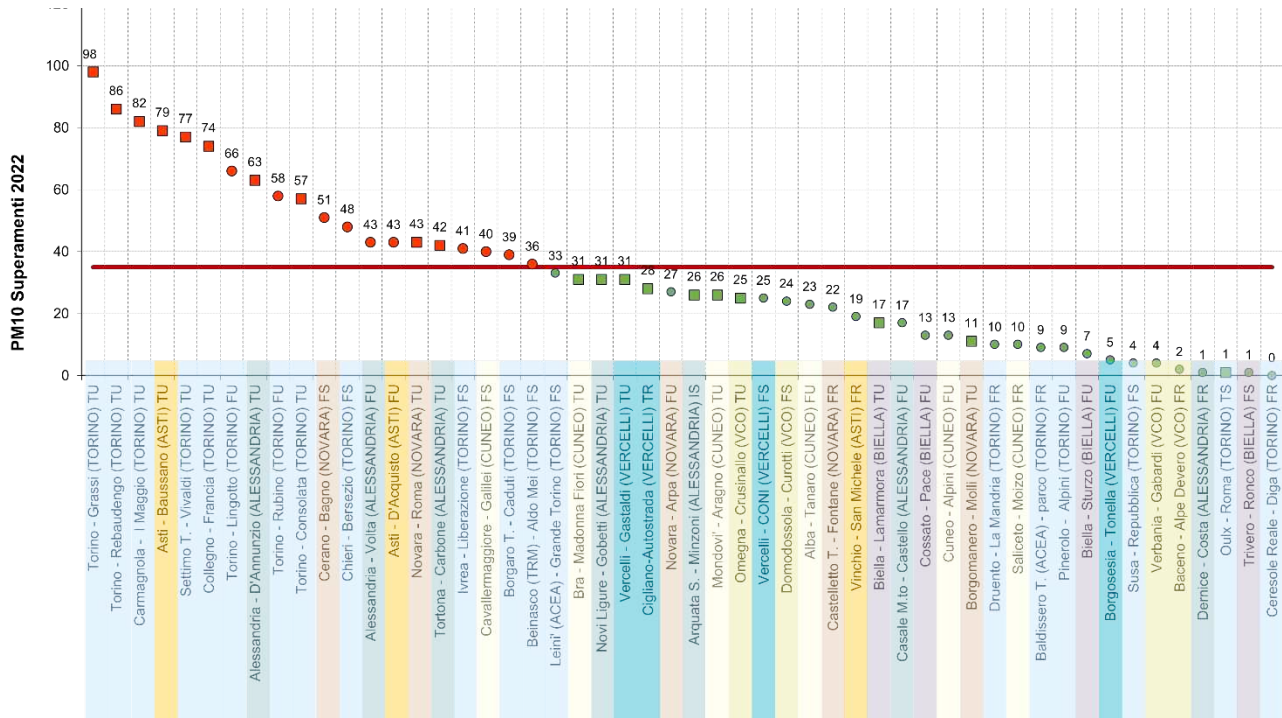


Figura 11: PM10: numero superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente per il numero di superamenti. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

La Tabella 7 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 2022 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 importante di stazioni, localizzate principalmente 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 38% nel 2022.

Per il particolato PM10 quindi 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 sufficienti a garantirne il rispetto dei limiti.

In Appendice A1 è riportata, per completezza d'informazione, una tabella contenente i valori del 90.41^o16 percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 rilevate negli anni dal 2010 al 2022 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria aventi almeno l'80% dei dati validi.

16 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)
(percentuale dati validi >= 80%)**

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

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	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

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

* 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: numero di superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

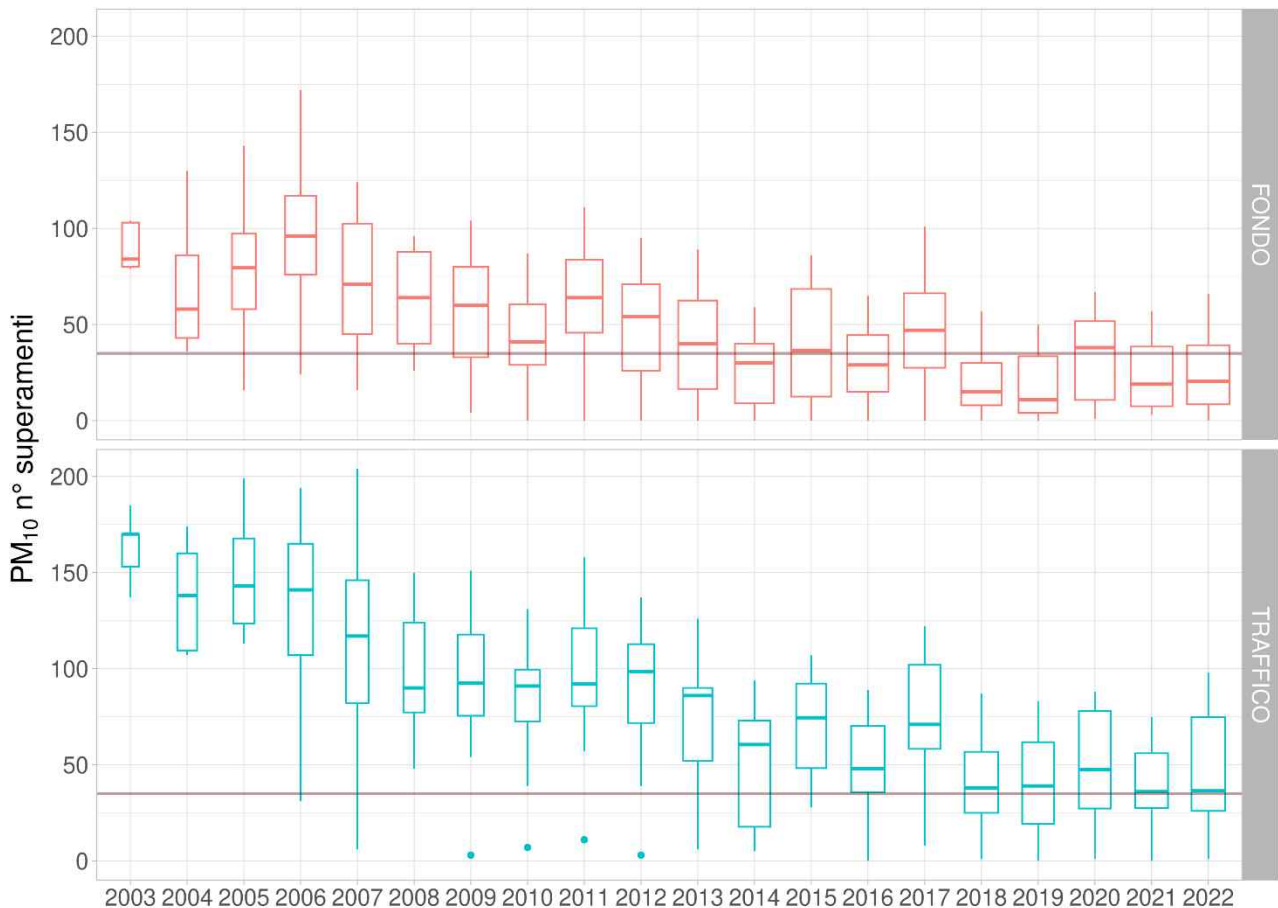


Figura 12: PM10: box plot delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2022 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

Il trend comunque decrescente delle concentrazioni medie giornaliere è evidenziato anche dalla elaborazione di Figura 12, in cui sono riportati i box plot¹⁷ delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite giornaliero misurati da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2003 - 2022, suddivise per tipologia di stazione (di fondo e di traffico). Si può osservare, per entrambe le tipologie di stazioni, un trend di decrescita abbastanza evidente nella prima parte del periodo ma non negli ultimi anni, nei quali le distribuzioni non sembrano variare di molto se non per oscillazioni probabilmente dovute alle variazioni interannuali delle condizioni meteorologiche.

Il trend di riduzione delle medie giornaliere di ciascuna stazione è stato infine valutato numericamente¹⁸ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair¹⁹, considerando il percentile 90.41 della distribuzione annuale delle medie giornaliere. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati (sono state analizzate solo le stazioni attive con almeno cinque anni di dati), sono mostrati in Figura 13 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. Analogamente all'analisi condotta sulle medie annuali di PM10, il trend

17 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)

18 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.

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

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 numero di stazioni in cui il trend di riduzione è statisticamente significativo (36 stazioni) è minore rispetto a quanto visto per la concentrazione media annuale (43 stazioni), a conferma della criticità per questo indicatore su tutto il territorio regionale.

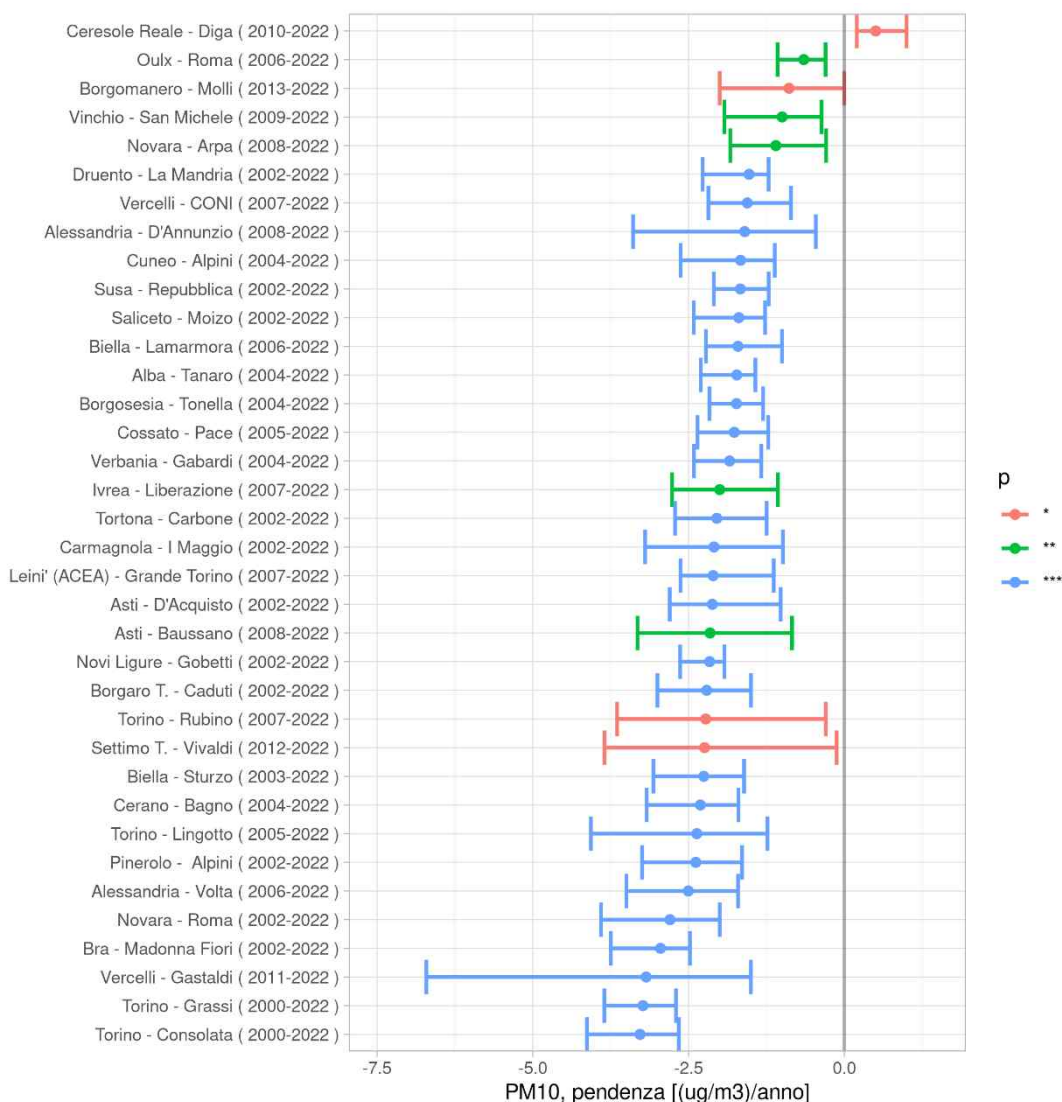


Figura 13: PM10: stima del trend del percentile 90.4 della distribuzione delle medie giornaliere di PM10 calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (blu al 99%, verde al 95% e rosso al 90%).

5.2 Particolato sospeso: PM2.5

5.2.1 Media annua

Nel corso del 2022, su tutto il territorio regionale è stato rispettato il valore limite per la media annua di 25 µg/m³, come si può osservare dalla Figura 14 che sovrappone i valori delle concentrazioni misurate presso le stazioni della rete regionale ai campi prodotti nella valutazione modellistica di qualità dell'aria con il sistema modellistico regionale. La distribuzione spaziale della media annua mostra concentrazioni comprese tra 15 e 20 µg/m³ sulla maggior parte del territorio regionale, con valori localmente superiori ai 20 µg/m³ (valore indicato nella Direttiva 2008/50/CE come limite a partire dal 01/01/2020, ma non ancora recepito a livello nazionale) principalmente nell'Agglomerato di Torino. Dalle mappe si osserva inoltre come le concentrazioni registrate presso le stazioni siano correttamente rappresentate dalla valutazione modellistica, seppur con locali tendenze alla sovrastima su alcune stazioni di fondo dell'Agglomerato di Torino.

Il confronto fra i valori registrati presso le stazioni di monitoraggio, riportato in Figura 15, mostra che le concentrazioni maggiori sono state registrate presso le stazioni da traffico dell'agglomerato urbano di Torino, Settimo T.se – Vivaldi ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Torino – Rebaudengo ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$), nelle stazioni di fondo urbano di Torino – Lingotto ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e di fondo suburbano di Cavallermaggiore – Galilei e Chieri – Bersezio (entrambe a $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

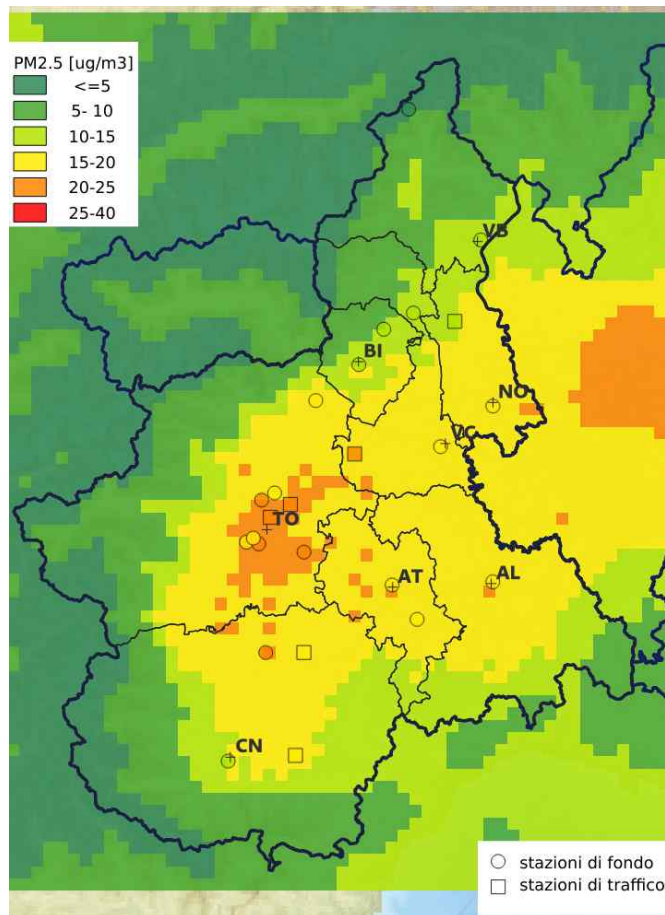


Figura 14: PM2.5: concentrazioni medie per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

Il grafico illustrato in Figura 16 descrive l'andamento della media mensile di tutte le stazioni della rete regionale, suddivise in stazioni di fondo e di traffico. Come già per il particolato PM10, il profilo temporale trova riscontro nella meteorologia dell'anno 2022, caratterizzato da assenza di precipitazioni nei primi mesi dell'anno dove si registrano le medie più elevate; si notano tuttavia alcune differenze rispetto al PM10 nei mesi di ottobre e novembre, con concentrazioni medie mensili nei due mesi più simili tra loro. In generale è possibile inoltre osservare minori differenze, sempre rispetto al PM10, tra le concentrazioni medie mensili misurate nelle stazioni di fondo e nelle stazioni di traffico.

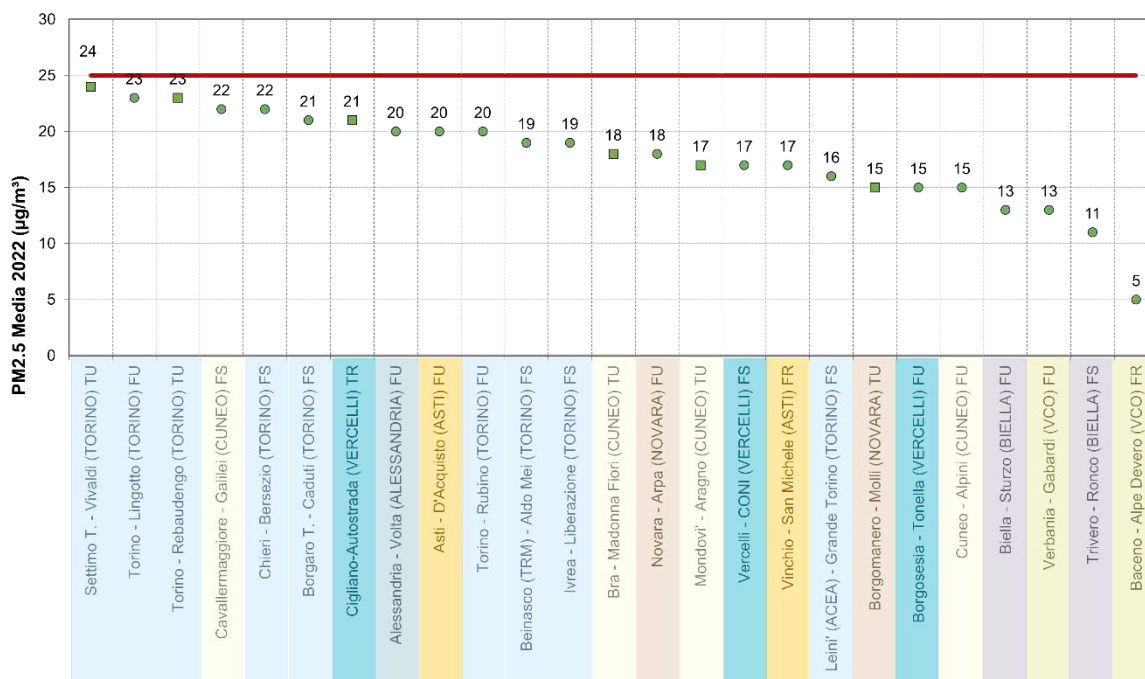


Figura 15: PM2.5: concentrazioni medie per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

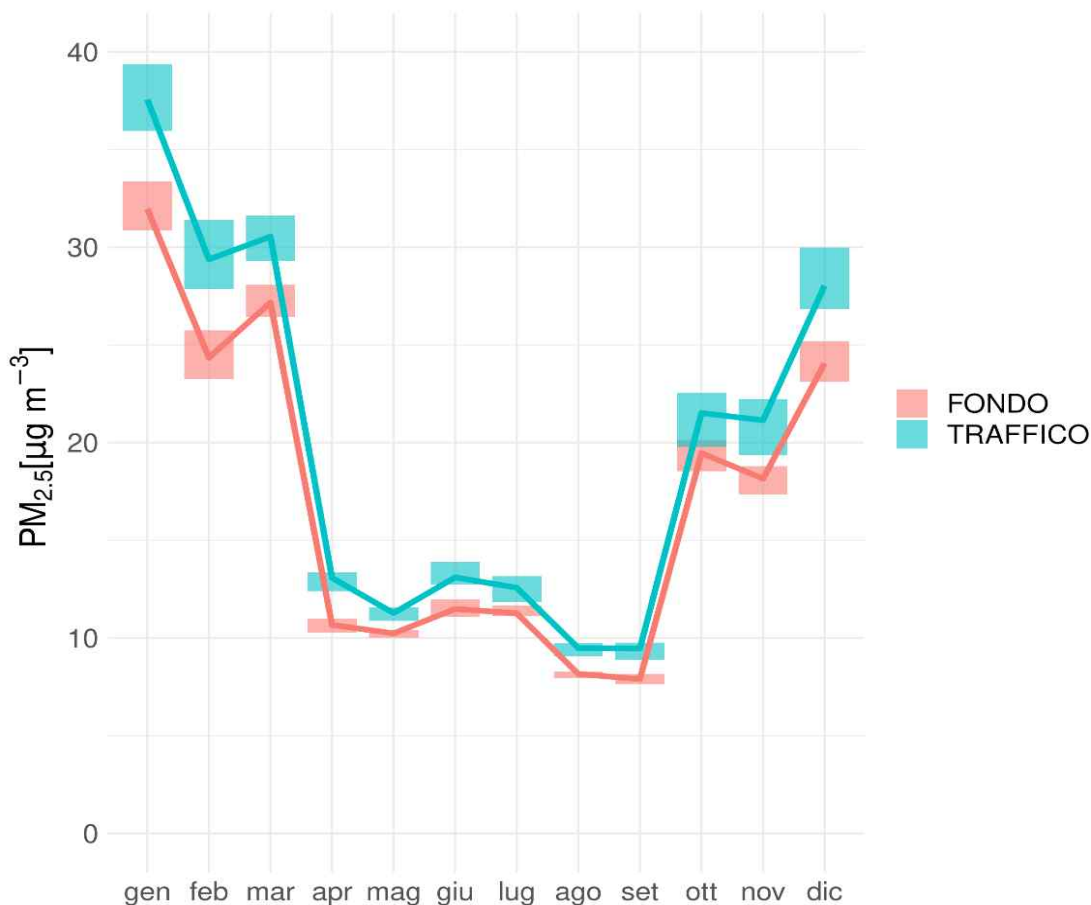


Figura 16: PM2.5: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2022 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

La Tabella 8 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 registrate nell'anno 2022 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.

PM2,5 - Media annuale (Valore limite: 25 µg/m³) Percentuale dati validi ≥ 80%																
ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Agglomerato	TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS			25	25	23	26	23	26	20	20	21	18	19
		Borgaro T. - Caduti	FS		33	31	27	23	26	23	27	22	19	21	20	21
		Chieri - Bersezio	FS				28	22	24	22	27	22	20	22	21	22
		Leini' (ACEA) - Grande Tori	FS		29	26	26	22	30	24	26			22	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
		TO - Rebaudengo	TU					25		29	33	25	25	22	23	23
		TO - Rubino	FU								27	23	20	20	19	20
Collina	AL	Dernice - Costa	FR		13	13	11	11	11	10	12	11	9	9	9	10
	AT	Vinchio - San Michele	FR	21	23	22	20	19	21	19	21	19	16	18	17	17
	CN	Mondovì - Aragno	TU					16	18	18	20	17	15	16	17	17
	NO	Borgomanero - Molli	TU					14	18	17	19	15	15	14	15	
	TO	Ivrea - Liberazione	FS		28	27	24	19	24	20	24	19	16	19	17	19
	VB	Verbania - Gabardi	FU			16	12	11	13		14	11	10	11	12	13
	VC	Borgosesia - Tonella	FU		22	20	17	14	17	15	18	14	13	13	13	15
	Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			13	11	10	13	11	13	10	10	10	10
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
		Domodossola - Curotti	FS						18	16	18	14	14	17	13	17
Pianura	AL	Alessandria - Volta	FU		27	30	27	22	24	22	26	22	20	21	19	20
	AT	Asti - d'Acquisto	FU		29									22	20	20
	BI	BI - Sturzo	FU		22	16	14	12	16	14	16	13	11	12	12	13
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU											20	19	18
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												22	22
	CN - Alpini	FU		21	20	15	15	16	17	19	15	13	14	15	15	
	NO	NO -Verdi/Arpa	FU		26	25	19		23	20	22		17	18	17	18
	VC	Cigliano - Autostrada	TR						22	21	24			23	20	21
		VC - CONI	FS		28	22	23	22	27	20	23	18	18	18	15	17

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

PM2.5 media annuale (µg/m³)

≤ 5	≤ 12
> 5	≤ 17
> 12	≤ 25
> 17	
> 25	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

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

Tabella 8: PM2.5: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

Questo comportamento è confermato anche dalle elaborazioni in Figura 17 ed in Figura 18. Nella prima sono riportati i box plot²⁰ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2010 - 2022, suddivise per tipologia di stazione (di fondo e di traffico). Si può notare il trend decrescente delle concentrazioni, con i box plot delle

20 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)

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 quinquennio.

Il trend di riduzione per la media annuale è stato infine valutato numericamente²¹ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair²². I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati (sono state analizzate solo le stazioni attive con almeno cinque anni di dati), sono mostrati in Figura 18 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 cinque stazioni il trend è risultato essere non significativo, mentre nelle restanti 19 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 Ceresole Reale - Diga dove si osserva, come già per il PM10, un trend di crescita statisticamente significativo. Le ragioni della differenza fra i trend 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.

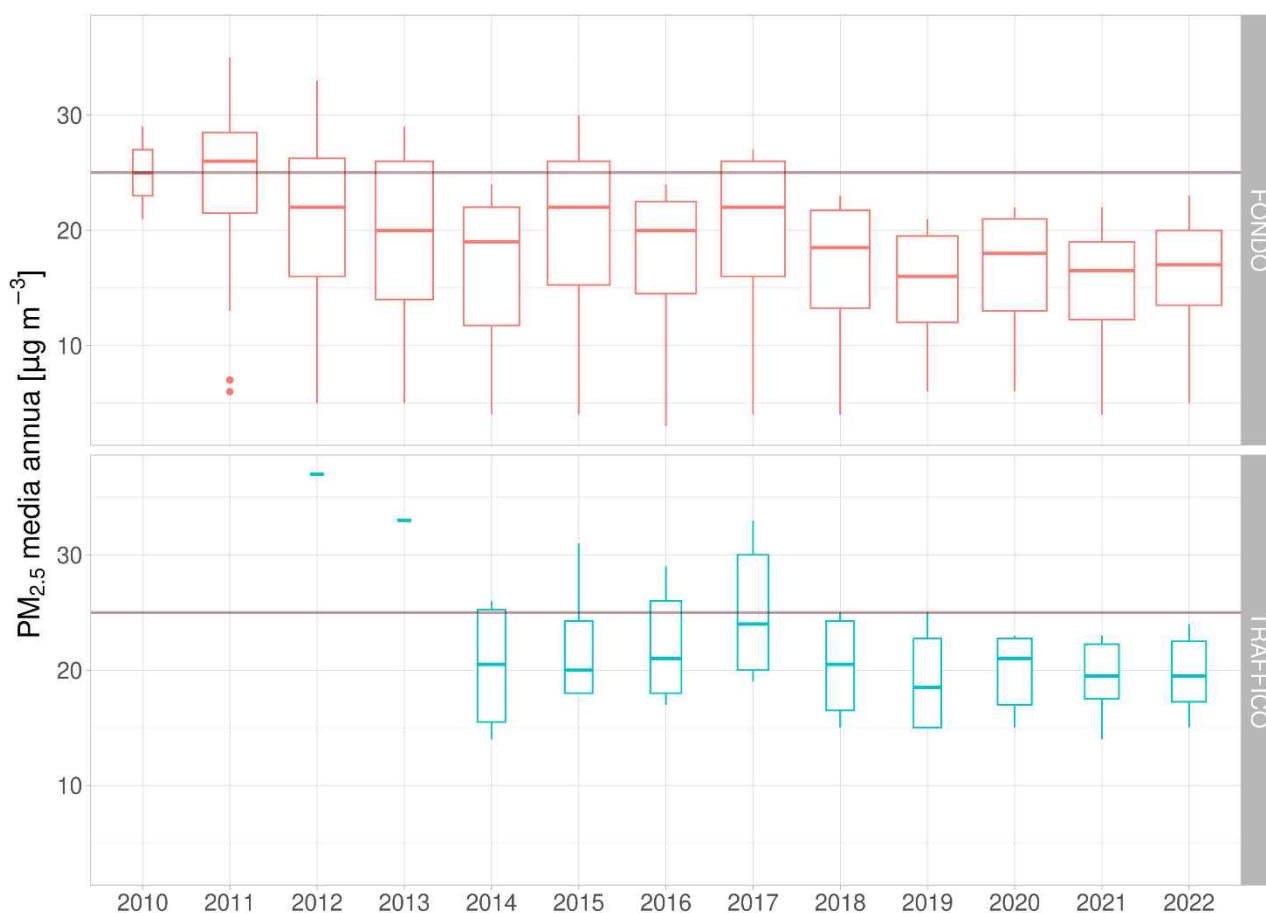


Figura 17: PM2.5: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2021 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

21 Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliera, 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.

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

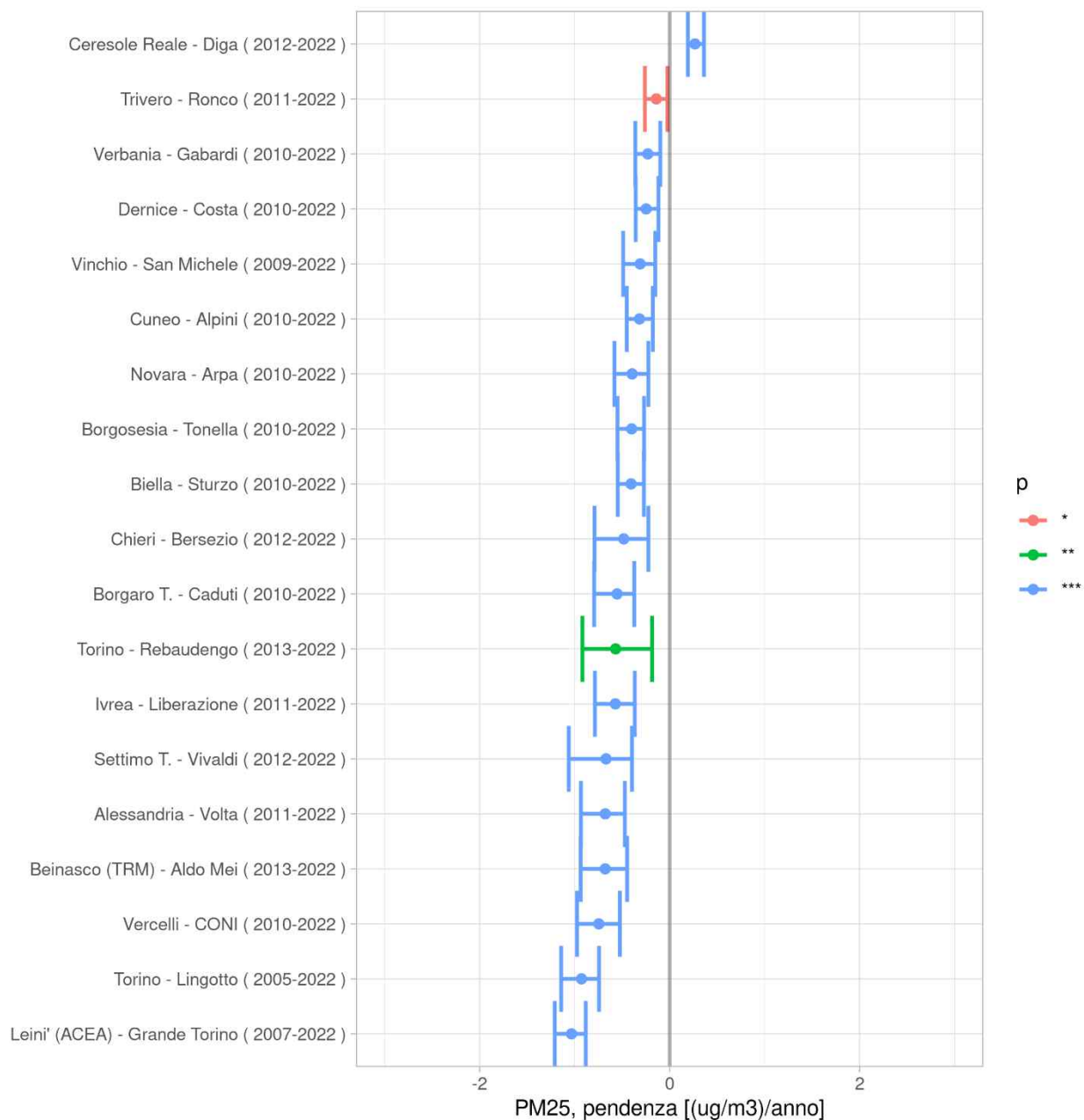


Figura 18: PM2.5: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (blu al 99%, verde al 95% e rosso 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 19 sovrapposta ai valori delle concentrazioni misurate presso le stazioni di monitoraggio, mostra come i valori più elevati si abbiano nell'agglomerato urbano torinese, nei principali centri urbani, lungo i principali assi di comunicazione 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 registrano superamenti del limite solo nelle stazioni di traffico di Torino - Rebaudengo (48 µg/m³) e Torino - Consolata (42 µg/m³). Il confronto con i valori registrati presso le altre stazioni di monitoraggio, riportato in Figura 20, mostra nel resto della regione valori di media annua ampiamente inferiori al valore limite, sia nelle stazioni di traffico (con le concentrazioni maggiori pari a 35 µg/m³ ad Alessandria – D'Annunzio e 29 µg/m³ a Carmagnola – I Maggio e Novara – Roma) sia in quelle di fondo (28 µg/m³ a Torino – Rubino e 27 µg/m³ a Beinasco (TRM) – Aldo Mei).

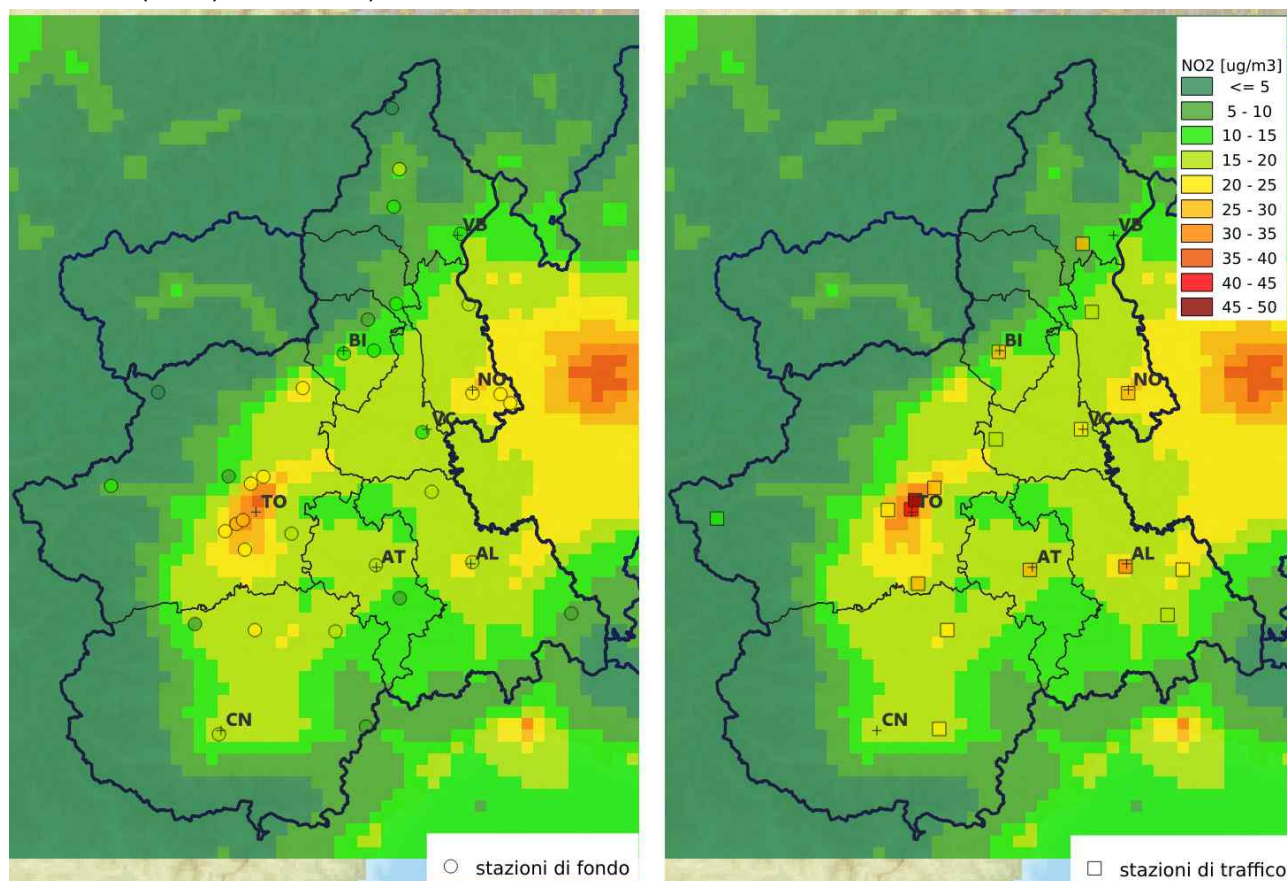


Figura 19: NO₂: concentrazioni medie per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

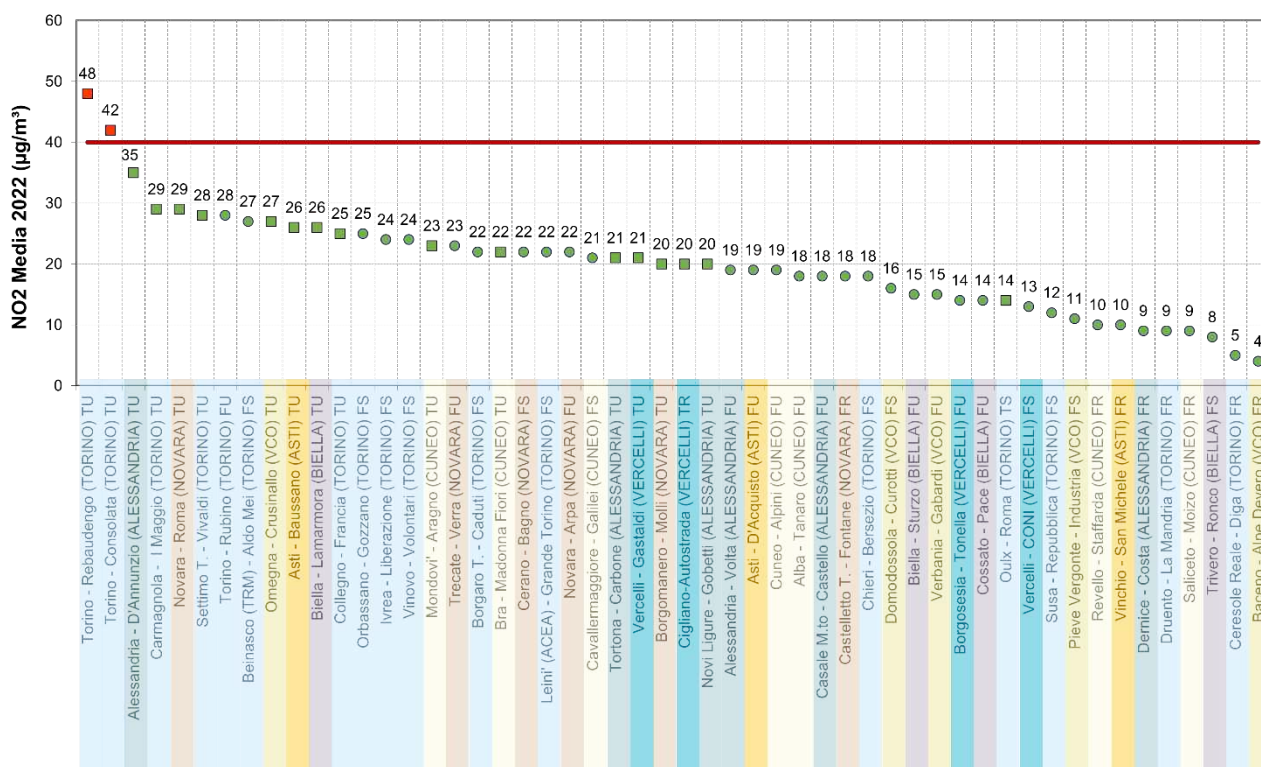


Figura 20: NO₂: concentrazioni medie per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).



Figura 21: NO₂: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2022 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

NO2 - Media annua (Valore limite annuale per la protezione della salute umana: 40 µg/m ³) (Percentuale dati validi)≥80%)																							
ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022							
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - Parco	FR	20	20	16	12	14	14	12	15	11	15	11	10								
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				41	38	47	41	48	38	31	26	27	27							
		Borgaro T. - Caduti	FS	31	34	32	31	26	29	30	30	30	25	23	24	22							
		Chieri - Bersezio	FS	39	39	33	28	23	25	19	23	20	21	14	17	18							
		Collegno Francia	TU			40	44	47	36	46	58	53	46	30	33	25							
		Druento - La Mandria	FR	16	18	18	12	14	16	11	12	12	11	11	9	9							
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	32	30	28	33	31	31	24	32	25	23	21	24	22							
		Orbassano - Gozzano	FS	37	39	35	32	32	35	32	34	30	31	29	29	25							
		Settimo T. - Vivaldi	TU	46	49	49	43	35	41	36	36	33	36	26	30	28							
		Torino - Consolata	TU	65	65	59	60	59	53	50	59	52	53	42	43	42							
		Torino - Lingotto	FU	42	51	43	43	41	37	40	40	35	37	31	31								
		Torino - Rebaudengo	TU	74	72	70	65	70	68	70	80	56		46	48	48							
Torino - Rubino	FU	44	50	49	42	39	44	35	37	31	33	26	25	28									
Vinovo - Volontari	FS	35	40	34	31	30	43	33	35	26	28	21	25	24									
Collina	AL	Derrice - Costa	FR	10	10	11	11	11	12	12	11	10	9	9	9								
	AT	Vinchio - San Michele	FR	22	18	18	15	14	17	14	14	12	13	11	10								
	BI	Cossato - Pace	FU	23	27	25	22	17	20	20	21	16	18	16	17								
	CN	Alba - Tanaro	FU	30	31	31	29	22	24	24	26	22	21	18	18								
		Mondovi' - Aragno	TU					29	29	28	28	26	25	21	25								
	NO	Saliceto - Moizo	FR	16	17	12	15	12	13	13	14	9	10	8	9								
		Borgomanero - Molli	TU				26	28	30	26	24	24	29	26	20								
	TO	Castelletto T. - Fontane	FR	32	32	28	29	24	28	27	24	22	23	17	18								
		Ivrea - Liberazione	FS	26	29	25	25	24	26	23	25	22	24	22	24								
	VB	Susa - Repubblica	FS	24	23	22	19	20	22	20	19	16	15	14	15								
Omegna - Crusinallo		TU			37	33	29	29	32	29	27	31	27	26									
VC	Verbania - Gabardi	FU	28	27	27	27	22	21	27	29	28	20	16	16									
	Borgosesia - Tonella	FU	22	20	21	20	19	19	15	16	16	16	12	13									
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			19		22	18	16	17		11	10									
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	6	7	7	6	4	5	4	5	6	6	6									
		Oulx - Roma	TS	21	20	21	21	21	20	18	17	19	21	17									
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR			6	5		6	5	4	5	5	4									
		Domodossola - Curotti	FS					22	21	19	16	16	20	17									
Pieve Vergonte - Industria	FS	25	26	18	19	15	18	15	16	13	11	12	10										
Pianura	AL	Alessandra - D'Annunzio	TU	47	45	43	33	36	35	43	38	31	32	32									
		Alessandria - Volta	FU	34	31	36	22	21	18	23	35	24	25	19									
		Casale M.to - Castello	FU	31	33	35	32	30	33	26	29	25	24	20									
		Novi Ligure - Gobetti	TU	53	39	40	38	42	32	30	33	30	30	23									
		Tortona - Carbone	TU	42	59	42	37	27	29	29	31	28	29	24									
	AT	Asti - Baussano	TU	49	46	47	41	37	35	39	40	31	34	28									
		Asti - d'Acquisto	FU	35	34	30	25	24	25	27	29	23	23	18									
	BI	Biella - Lamarmora	TU	45	39	37	34		37	34	29	22	30	27									
		Biella - Sturzo	FU	31	29	24	21	18	30	27	17	20	18	16									
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	30	29	30	29	23	26	23	26	22	24	21									
		Cavallermaggiore - Galilei	FS											21									
		Cuneo - Alpini	FU	34	31	31	28	25	28	26	26	23	23	21									
	NO	Revello - Staffarda	FR				12	12	12	14	12	11	10	10									
		Cerano - Bagno	FS	36	37	39	39	42	47	43	36	25	25	23									
		Novara-Roma	TU	58	52	53	53	50	55	51	53		35	31									
		Novara - Arpa	FU	32	42	37	33	33	34	26	26	26	27	25									
		Treccate - Verra	FU	30	45	54	30	41	30	27	32	26	29	26									
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU					36	38	39	42	38	34	30									
		Cigliano-Autostrada	TR					41	50	39		29	23	22									
	VC	Vercelli - CONI	FS	26	27	27	27	21	24	21	19	21	19	13									
Vercelli - Gastaldi		TU	44	43	40	36	34	38	35	31	26	28	21										
													24										

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 - media annuale (µg/m3)

≤ 10	≤ 26
> 10	≤ 32
> 26	≤ 40
> 32	
> 40	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

n Dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90%

Tabella 9: NO₂: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

Il grafico illustrato in Figura 21 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 e marzo, in corrispondenza sia di emissioni più elevate sia di condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti e assenza di precipitazioni; il mese di marzo in particolare mostra concentrazioni medie più elevate del mese invernale di dicembre, quest'ultimo caratterizzato dalla presenza di precipitazioni medie più elevate rispetto ad altri mesi dell'anno 2022. Per lo stesso motivo il mese di maggio presenta concentrazioni medie inferiori a quelle dei rimanenti mesi del periodo caldo.

La Tabella 9 permette di avere una visione d'insieme negli anni e nelle varie stazioni e quindi valutare come si collocano le concentrazioni di NO₂ registrate nell'anno 2022 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 22 sono riportati i box plot²³ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2003 - 2022, suddivise per tipologia di stazione (di fondo e di traffico).

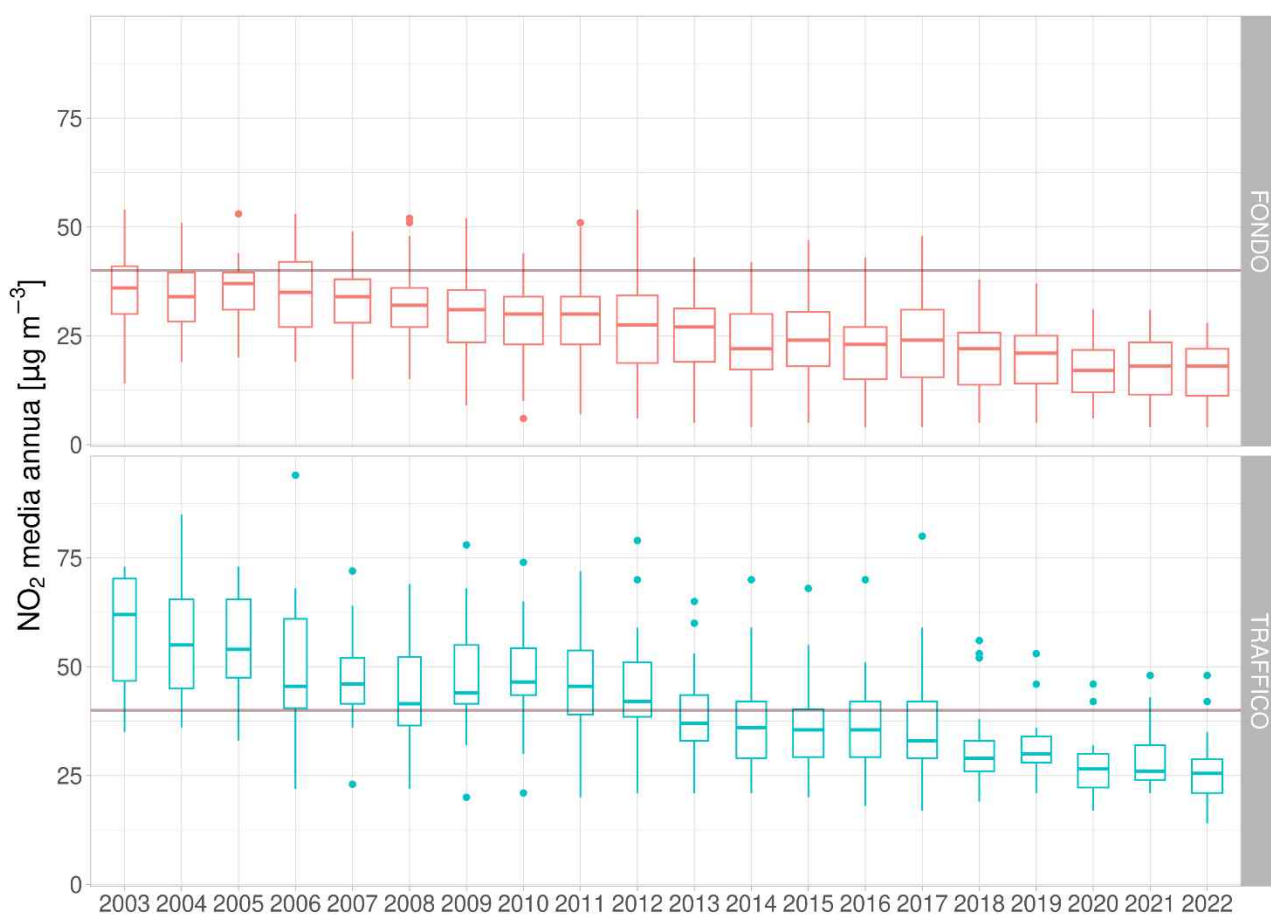


Figura 22: NO₂: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2022 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

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 restano critiche anche nel 2022 Torino - Consolata e Torino - Rebaudengo. Ciononostante, negli ultimi anni il trend di decrescita sembra comunque essersi stabilizzato e sono prevalenti le oscillazioni annuali delle distribuzioni dovute alla variazione delle condizioni meteorologiche.

23 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)

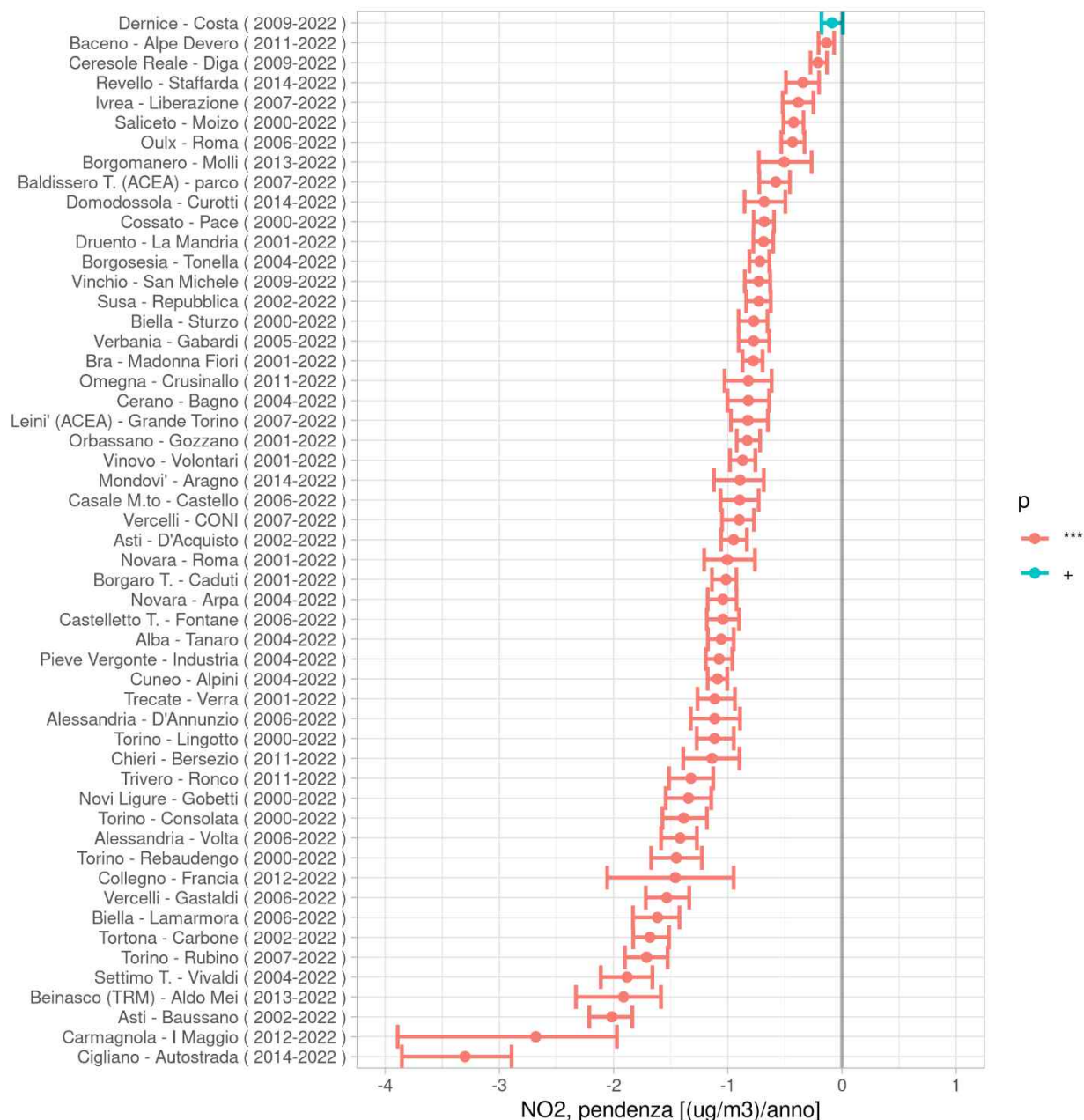


Figura 23: NO₂: stima del trend, in µg/m³ all'anno, delle concentrazioni medie annue, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (blu al 90%, verde al 95% e rosso al 99%).

Il trend di riduzione per la media annuale è stato infine valutato numericamente²⁴ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair²⁵. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati (sono state analizzate solo le stazioni attive con almeno cinque anni di dati, ovvero 53 su un totale di 54 stazioni disponibili con analizzatori di ossidi di azoto), sono mostrati in Figura 23 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. Tutte le stazioni presentano un livello di significatività statistica pari al 99%, tranne

24 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.

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

Dernice-Costa in cui la significatività scende al 90%. In nessuna stazione è stato calcolato un trend in aumento statisticamente significativo, nelle restanti stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa: numericamente si osservano differenze anche importanti tra le stazioni – si va ad esempio da un trend di poco inferiore allo zero con un livello di significatività del 99% nella stazione di Dernice - Costa ad un valore inferiore a 3 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 2022 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 10 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^{o26} percentile delle concentrazioni medie orarie di biossido di azoto rilevate negli anni dal 2010 al 2022 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria aventi almeno l'80% dei dati validi.

26 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)
(percentuale dati validi>=80%)**

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - Parco	FR	0	1	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
		Borgaro T. - Caduti	FS	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
		Chieri - Bersezio	FS	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
		Collegno Francia	TU			0	5	0	0	4	6	0	0	0	0	0
		Druento - La Mandria	FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Leini ¹ (ACEA) - Grande Torino	FS	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
		Orbassano - Gozzano	FS	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
		Settimo T. - Vivaldi	TU	2	3	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Torino - Consolata	TU	5	5	3	5	1	1	1	0	1	0	0	0	0
		Torino - Lingotto	FU	0	4	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Torino - Rebaudengo	TU	15	10	13	31	0	21	28	25	1	0	0	4	2		
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	
	AT	Vinchio - San Michele	FR	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	
	CN	Alba - Tanaro	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Mondovì - Aragno	TU					0	0	0	0	0	0	0	0	
	NO	Saliceto - Moizo	FR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Borgomanero - Molli	TU					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	
		Ivrea - Liberazione	FS	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	
Omegna - Crusinallo		TU					0	0	0	0	0	0	0	0		
VC	Verbania - Gabardi	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Borgosesia - Tonella	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			0		0	0	0	0		0	0		
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	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		
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR			0		0	0	0	0	0		0		
		Domodossola - Curotti	FS					0	0	0	0	0	0	0		
		Pieve Vergonte - Industria	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Pianura	AL	Alessandria - D'Annunzio	TU	1	7	7	0	0	1	3	0	0	0	0	0	
		Alessandria - Volta	FU	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Casale M.to - Castello	FU	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0		
		Novi Ligure - Gobetti	TU	0	0	0	0	0	0	0	13	19	0	0		
		Tortona - Carbone	TU	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0		
	AT	Asti - Baussano	TU	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		
	BI	Biella - Lamarmora	TU	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0		
		Biella - Sturzo	FU	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		
		Cavallermaggiore - Galilei	FS											0		
		Cuneo - Alpini	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Revello - Staffarda	FR					0	0	0	0	0	0	0		
	NO	Cerano - Bagno	FS	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		
		Novara - Roma	TU	1	6	0	0	0	1	0	0		0	0		
	TO	Treccate - Verra	FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Carmagnola - I Maggio	TU					0	0	1	0	0	0	0		
	VC	Cigliano-Autostrada	TR					0	0	0		0	0	0		
		Vercelli - CONI	FS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Vercelli - Gastaldi		TU	2	5	8	1	0	0	0	1	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 al 80%

n Dato con percentuale dati validi compresa fra 80% e 90%

Tabella 10: 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 2022.

5.4 Ozono (O₃)

5.4.1 Massima media giornaliera su 8 ore

La distribuzione 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 24 - che sovrappone i superamenti misurati presso le stazioni della rete regionale ai campi prodotti nella valutazione modellistica di qualità dell'aria con il sistema modellistico regionale - mostra come il 2022, anno più caldo dell'intera serie storica 1958-2022, sia stato particolarmente critico con un numero elevato di superamenti distribuiti prevalentemente nelle zone pianeggianti, collinari e prealpine della regione. Il confronto con i superamenti registrati presso le stazioni evidenzia una corretta rappresentazione da parte della valutazione modellistica, seppur con qualche sottostima in stazioni in zone montane, ad indicare la diffusione del fenomeno anche nelle aree meno antropizzate. Il numero di superamenti misurato presso le stazioni, dettagliato in Figura 25, mostra come l'obiettivo a lungo termine sia ampiamente superato su tutto il territorio regionale.

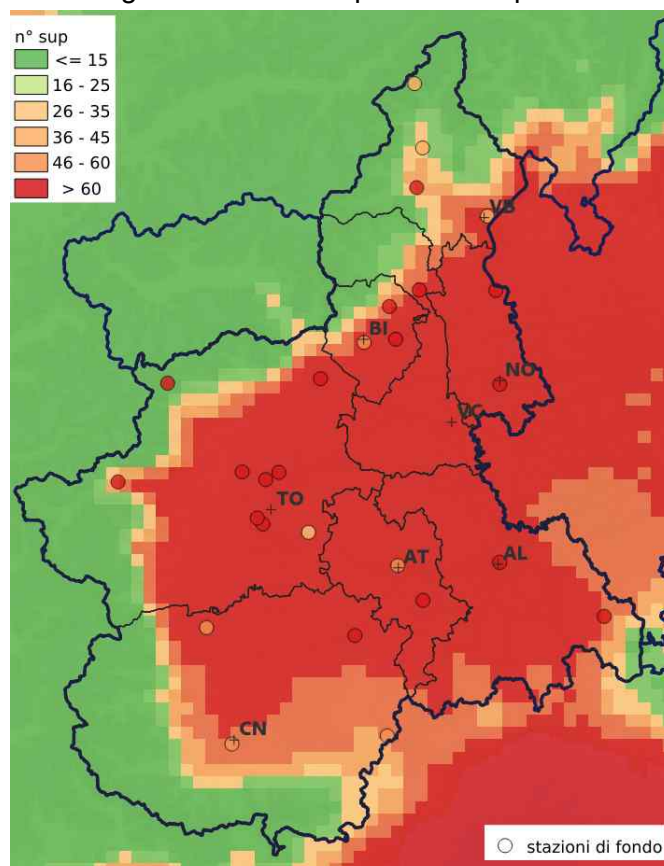


Figura 24: Ozono: numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

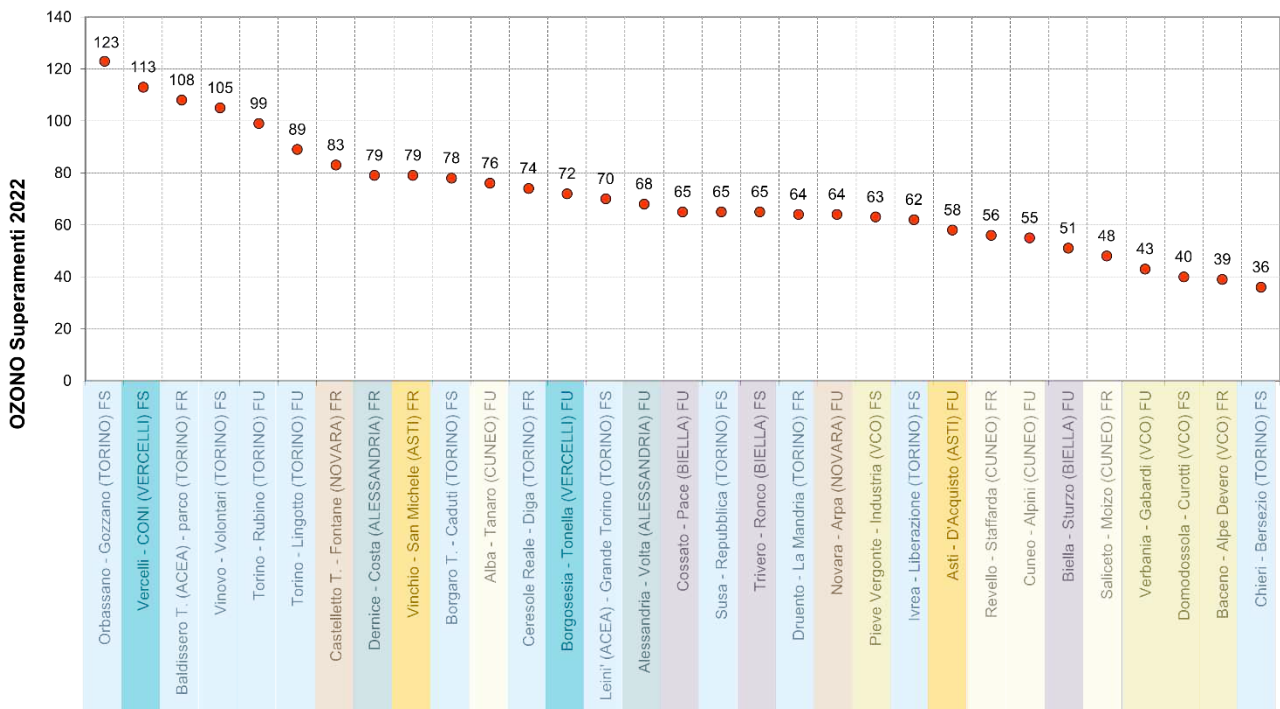


Figura 25: Ozono: numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente per il numero di superamenti. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio 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 stazione di Chieri Bersezio ha avuto però una percentuale di dati validi pari all'87%.

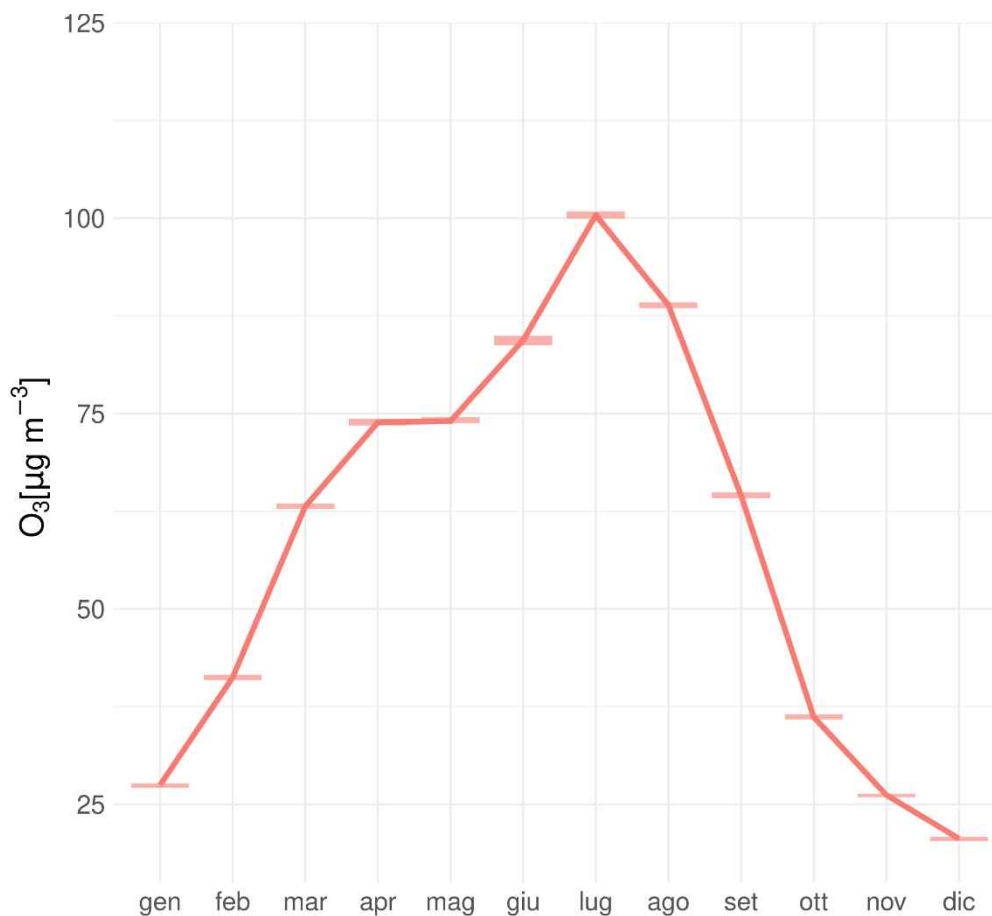


Figura 26: Ozono: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2022, con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

Il grafico illustrato in Figura 26 descrive l'andamento della media mensile di tutte le stazioni della rete regionale, con l'atteso incremento delle concentrazioni nel periodo primaverile – estivo in corrispondenza dell'aumento delle temperature e dell'irraggiamento solare. A maggio si osserva una flessione nella crescita dei valori medi mensili, attribuibile alle precipitazioni occorse nel mese, mentre il picco è stato registrato nel mese di luglio, mese più caldo dell'anno 2022.

La Tabella 11 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 mediando i valori di tre anni (ad es. il valore del 2022 corrisponde alla media sugli anni dal 2020 al 2022)²⁷, considerando solamente gli anni caratterizzati da una percentuale di dati validi maggiori o uguali al 90%. Anche in questo caso la situazione risulta critica su tutto il territorio regionale.

Una valutazione di criticità diffusa emerge anche dall'analisi dei box plot²⁸ 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 2022, riportati in Figura 27. Il dettaglio a livello annuale mette in evidenza gli anni nei quali la meteorologia ha giocato un ruolo significativo sulle concentrazioni misurate, evidente anche nei box plot di Figura 28 relativi al numero di superamenti del valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2005 al 2022: 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. Nonostante il 2022 sia stato il più caldo dell'intera serie storica 1958-2022, il numero di superamenti sia del valore obiettivo per la protezione della salute umana sia dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana risulta inferiore ai valori registrati nel 2003. L'analisi del trend delle concentrazioni di ozono di ciascuna stazione è stata infine eseguita numericamente²⁹ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair³⁰, considerando il percentile al 93.15³¹ della distribuzione annuale della massima media mobile su 8 ore giornaliera. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati (sono state analizzate solo le stazioni attive con almeno cinque anni di dati), sono mostrati in Figura 29 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 (9 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 2022 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria aventi almeno l'80% dei dati validi.

27 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)

28 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)

29 Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliera, 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.

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

31 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) - Percentuale dati validi >=90%

Zona UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
AGGLOMERATO	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	102	88	85	71	67	58	65	66	70	57	61	75
		Borgaro T. - Caduti	FS	44	46	38	26	36	41	56	40	37	35	47	71
		Chieri - Bersezio	FS			36	36	55	63	63	52	42	24	26	18
		Druento - La Mandria	FR	68	80	84	60	51	46	57	54	48	45	52	64
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	64	56	47	26	27	31	39	40	37	34	38	48
		Orbassano - Gozzano	FS	55	54	64	55	58	54	79	80	73	68	71	92
		Torino - Lingotto	FU	33	36	38	44	50	48	46	41	50	51	58	67
		Torino - Rubino	FU				18	36	41	49	48	47	52	53	69
		Vinovo - Volontari	FS	65	57	61	41	30	22	42	52	52	34	36	59
PIEMONTE	AL	Alessandria - Volta	FU	59	55	46	37	38	53	66	74	64	63	56	59
		Dernice - Costa	FR	55	68	63	51	45	43	62	60	64	65	60	66
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	53	58	60	64	58	56	59	59	56	55	49	53
		Vinchio - San Michele	FR	84	87	85	63	48	56	68	70	55	55	51	64
	BI	Biella - Sturzo	FU	35	50	66	49	25	18	27	37	46	46	38	37
		Cossato - Pace	FU	80	62	62	37	43	39	45	41	42	37	39	49
		Trivero - Ronco	FS		53	40	30	26	27	34	26	31	25	24	32
	CN	Alba - Tanaro	FU	59	62	60	40	31	29	38	41	40	36	38	52
		Cuneo - Alpini	FU	47	48	52	37	38	35	48	38	37	39	51	57
		Revello - Staffarda	FR				22	22	34	37	29	21	14	22	33
		Saliceto - Moizo	FR	38	35	35	29	22	21	24	29	28	25	19	28
	NO	Castelletto T. - Fontane	FR	62	71	66	49	44	37	49	51	52	49	42	56
		Novara - Arpa	FU	75	71	55	36	31	36	51	47	41	31	25	36
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	82	80	68	54	47	41	45	39	31	23	22	39
		Ivrea - Liberazione	FS	46	45	41	31	40	35	44	39	42	38	38	48
		Susa - Repubblica	FS	36	37	40	29	21	24	41	44	37	25	31	45
	VCO	Baceno - Alpe Devero	FR					31	22	21	18	21	22	15	27
		Domodossola - Curotti	FS				25	35	31	32	25	26	26	26	32
		Pieve Vergonte - Industria	FS	53	60	65	50	46	45	56	54	50	60	57	65
		Verbania - Gabardi	FU	46	60	64	44	43	40	52	50	49	53	51	50
VC	Borgosesia - Tonella	FU	55	60	59	52	34	24	24	15	21	27	41	55	
	Vercelli - CONI	FS	78	89	85	59	57	52	46	31	34	34	37	61	

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 perchè strumento non presente o percentuale dati validi inferiore al 90%

Tabella 11: 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 2022.

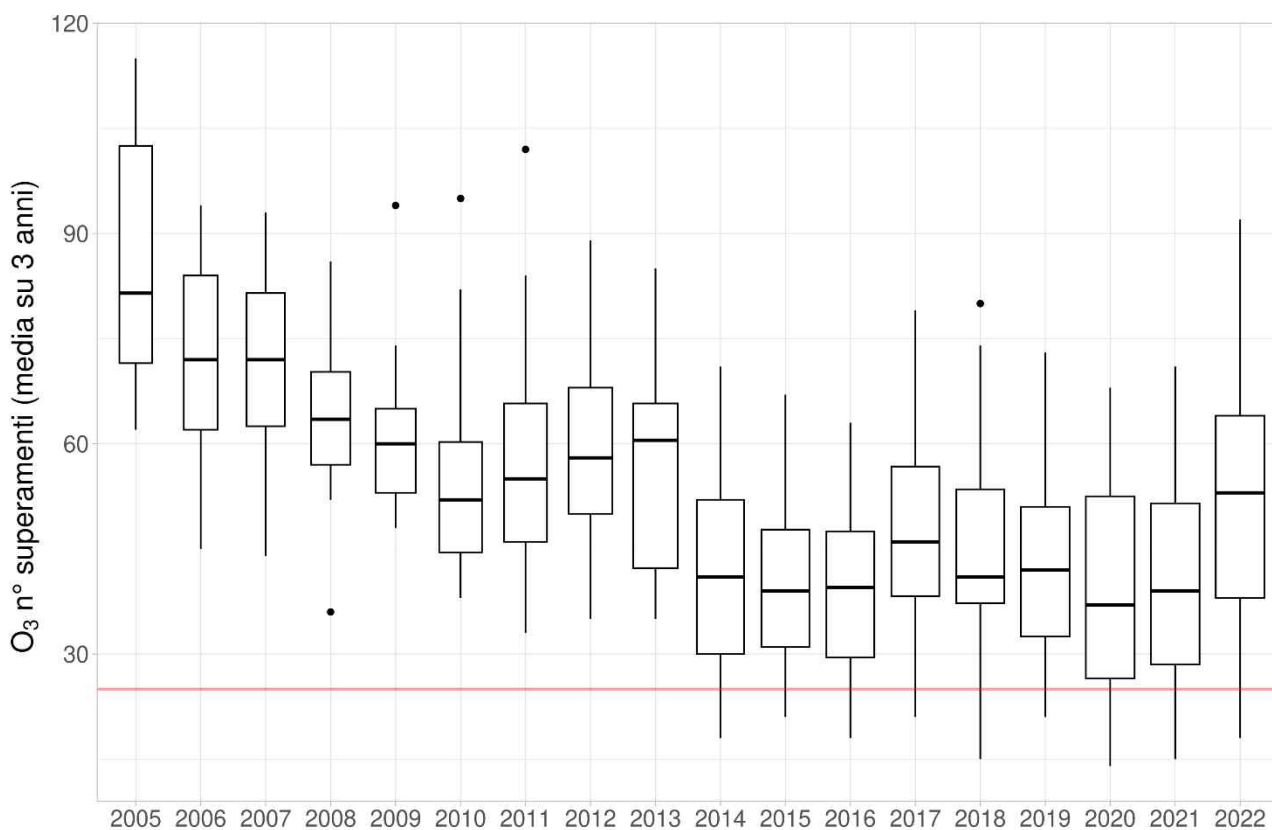


Figura 27: Ozono: box plot del numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2005 al 2022.

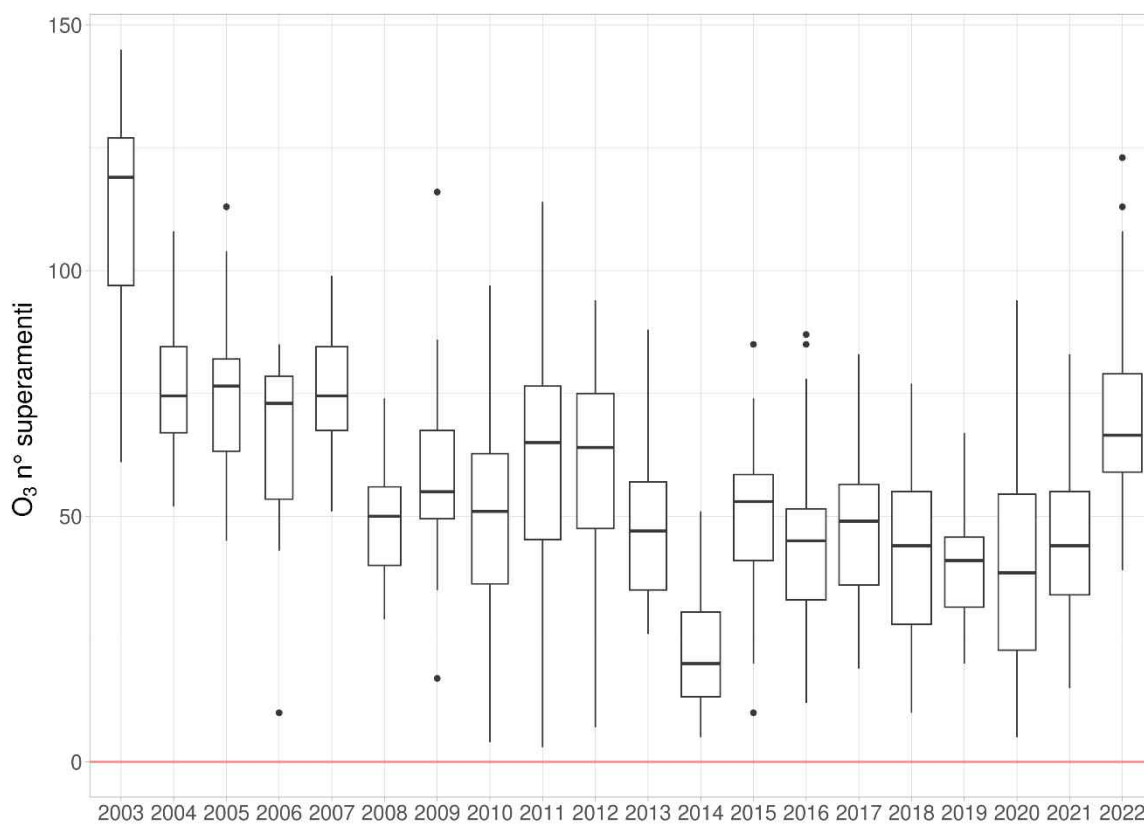


Figura 28: Ozono: box plot del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2022.

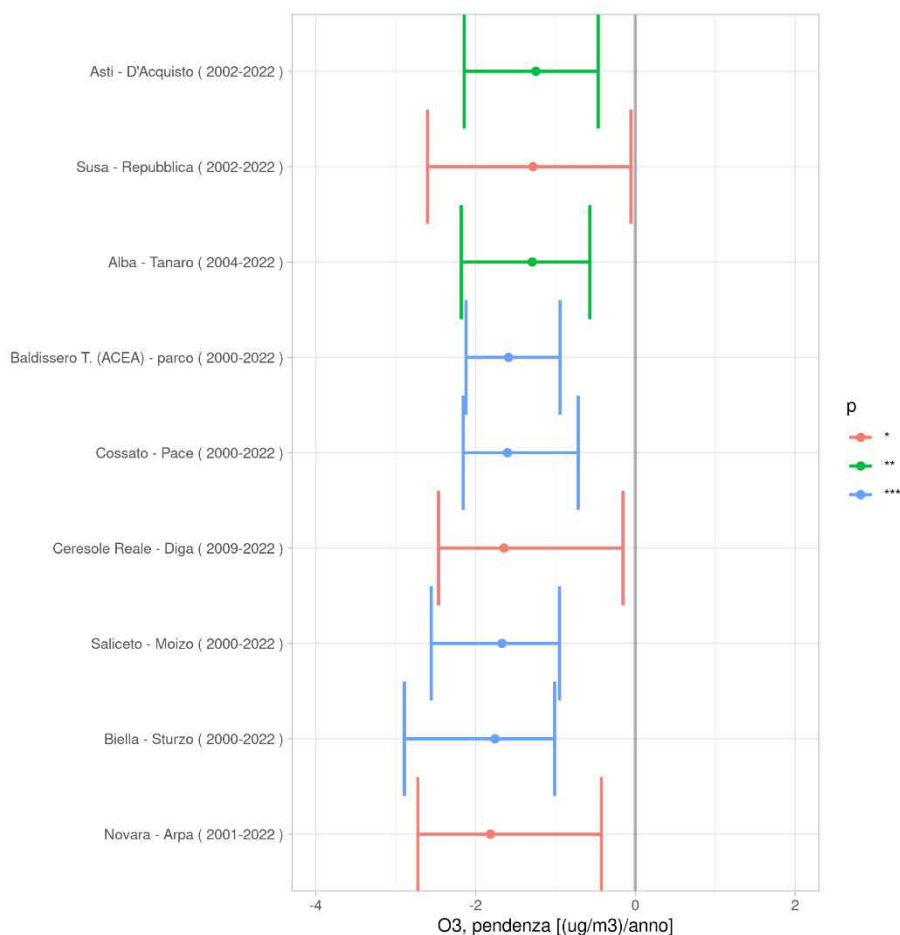


Figura 29: Ozono: stima del trend del percentile 93.15 della distribuzione delle massime medie mobili sulle 8 ore calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (blu al 99%, verde al 95% e rosso 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 $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La Tabella 12 descrive l'andamento del numero di superamenti della soglia per l'informazione della popolazione registrato negli anni dal 2011 al 2022: 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. Nonostante su tutto il territorio regionale, nel corso degli anni, si sia assistito ad una riduzione del numero di superamenti della soglia di informazione, il 2022 – grazie alle condizioni meteorologiche che lo hanno caratterizzato - è risultato critico per questo indicatore, con un numero di superamenti piuttosto elevato specialmente nell'area dell'Agglomerato di Torino, che ha registrato ben 125 superamenti nella stazione di Orbassano – Gozzano.

Nel corso del 2022 e negli ultimi 4 anni non sono stati registrati superamenti della soglia di allarme, fatta eccezione per Verbania – Gabardi dove nel 2019 la concentrazione di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è stata superata per 7 ore consecutive³².

³² 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)
(Percentuale dati validi >= 80%)**

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
AGGLOMERATO	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	4	12	16	14	26	1	3	0	3	0	0	29
		Borgaro T. - Caduti	FS	0	2	0	2	32	15	6	2	5		4	20
		Chieri - Bersezio	FS			0	9	0	1	4	0	1	0	0	14
		Druento - La Mandria	FR	19	63	42	26	69	36	46	3	17		10	25
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	4	0	0	2	3	4	1	0	5	0	0	8
		Orbassano - Gozzano	FS	6	14	4	7	68	39	79	9	34	1	18	125
		Torino - Lingotto	FU	1	3		18	8	8	7	3	18	0	1	39
		Torino - Rubino	FU				6	3	12	6	4	29	0	2	58
		Vinovo - Volontari	FS	5	0	0	4	1	4	12	9	8	0	0	86
PIEMONTE	AL	Alessandria - Volta	FU	3	35	3	16	21	64	14	5	29	0	19	10
		Dernice - Costa	FR	0	17	14	0	8	4	8	0	10	0	0	5
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	1	6	25	8	15	14	6	1	2	0	0	4
		Vinchio - San Michele	FR	2	8	21	19	0	32	7	0	10	0	0	6
	BI	Biella - Sturzo	FU	1	13	0	13	0	0	4	0	11	0	0	4
		Cossato - Pace	FU	11	0	0	27	24	0	2	0	5	0	0	21
			Trivero - Ronco	FS		7	0	0	0	0	0	3	0	0	8
	CN	Alba - Tanaro	FU	6	5	5	14	1	0	3	0	9	0	0	8
		Cuneo - Alpini	FU	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		Revello - Staffarda	FR				1	4	0	2	0	0	0	0	6
			Saliceto - Moizo	FR	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	NO	Castelletto T. - Fontane	FR	14	30	20	11	49	2	20	9	7	1	0	20
		Novara - Arpa	FU										22	0	0
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	4	5	6	0	0	1	1	0	0	0	0	3
		Ivrea - Liberazione	FS	1	0	0	1	4	0	7	0	1	2	0	6
		Susa - Repubblica	FS	0	0	0	0	0	12	5	0	0	0	0	11
	VCO	Baceno - Alpe Devero	FR	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0
		Domodossola - Curotti	FS				0	4	0	0	0	5	0	0	0
		Pieve Vergonte - Industria	FS	13	18	13	11	28	11	23	7	8	19	0	7
			Verbania - Gabardi	FU	46	34	27	3	73	24	30	16	16	0	5
VC	Borgosesia - Tonella	FU	0	62	4	6	0	0	0	0	6	0	2	11	
	Vercelli - CONI	FS	8	10	1	10	27	0	0	0	15	0	0	33	

LEGENDA	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 perchè strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

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

Tabella 12: Ozono: numero di superamenti della soglia di informazione misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2011 al 2022.

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 13 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 misurato³³. 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

33 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)

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)
(percentuale dati validi >=90%)

Zona UE	Provincia	Stazione	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	39836	37748	36460	37861	34818	34218	34901	36100				29443	33105	
		Borgaro T. - Caduti	FS	27215	24904	21865	22021	20111	22863	24168	24168						28456
		Chieri - Bersezio	FS													16504	16504
		Druento - La Mandria	FR	41582	35744	35844	35443	33258	33685	33107	31575	30687	26693				
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	31576	30571	27030	25635	21564	20470	20237	21123	21133	28887	22383	20875	23981	
		Orbassano - Gozzano	FS	27643	25777	24532	26631	22485						31519	33243	39044	
		Torino - Lingotto	FU	31866	26639	21275	21275	22570	25339	28626							31456
		Torino - Rubino	FU													26297	30999
Vinovo - Volontari	FS	28322	28250	28178	28719	24358	24179	23215	21658					22052	29248		
Piemonte	AL	Alessandria - Volta	FU	32037	30185	29512	27806	24693	24403	28276	28409	31190	32254	31916	28926	30209	
		Dernice - Costa	FR			30619	31554	29951	28578	28969	29976	28265	29561	30274	28969	28648	
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	33246	28942	29043	31211	28888	29311	29749	29746	27811	28613	27121	25447	25260	
		Vinchio - San Michele	FR		31931	33321	33102	31450	31359	33327	31489	28849	25808	27130	22926	23696	
	BI	Biella - Sturzo	FU	32336	28839	28683	28230	24983	23189	23209	20658	19281	25288	26085	23125	24223	
		Cossato - Pace	FU	39725	35589	32221	32845	30567	28002					27762	27615	26306	
	CN	Trivero - Ronco	FS					18327	20533	19150	17889	17875	22312	17723	17715	19888	
		Alba - Tanaro	FU	36357	29261	29557	28178	27009	26344	25317	24221	23542	24996	21971	22108	23880	
		Cuneo - Alpini	FU	31609	27656	26652	26897	23735	24873	24568	24951	23759	24585	24298	24589	25206	
		Revello - Staffarda	FR						25676	25747	25538	23361	21912	19598	18620	19842	
		Saliceto - Moizo	FR	33818	26643	25936	24712	21799	22143	22048	19850	20406	23802	17797	17586	17200	
	NO	Castelletto T. - Fontane	FR				28169	25908	28039	26895	27116	26972	27132	24703	24004	24866	
		Novara - Arpa	FU	39593	35955	33963	29497	24164	22473	21192	21383	23523	29892	21571	19658	20987	
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR					34767	32029	32029						23838	
		Ivrea - Liberazione	FS			23370	23370	21901	23271	21927	23021	23695	25324	22332	23826	24673	
		Susa - Repubblica	FS	25744	21903	21411	20871	19754	19195	20230	22931		26634		23458		
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR										20391				
		Domodossola - Curotti	FS							18900	19321	19321	23823	16223	17441	17086	
		Pieve Vergonte - Industria	FS	31213	25618	26381	26571	25502	27350	26790	27403	27422	29205	28604	28011	26055	
	VC	Verbania - Gabardi	FU	29422	29422	26210	25535	23685	25935	25563	26469	26870	24773	25647	24478	21812	
Borghesia - Tonella		FU	25194	26379	28120	28650	26636	25397	24419	21263	19297				25650		
Vercelli - CONI		FS	32079	33413	34862	33162	32234	35367	32472	30426	31787	32104	23288	23487	29673		

Legenda

FU = Stazione di Fondo Urbano
 FS = Stazione di Fondo Suburbano
 FR = Stazione di Fondo 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 80%

Tabella 13: Ozono: AOT40 valore obiettivo per la protezione della vegetazione misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

5.5 Benzo(a)pirene nel PM10

5.5.1 Media annua

Nel corso del 2022, 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 30 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 31, mostra che le concentrazioni maggiori sono state registrate presso le stazioni di Domodossola – Curotti (fondo suburbano) e Settimo – Vivaldi (traffico urbano).

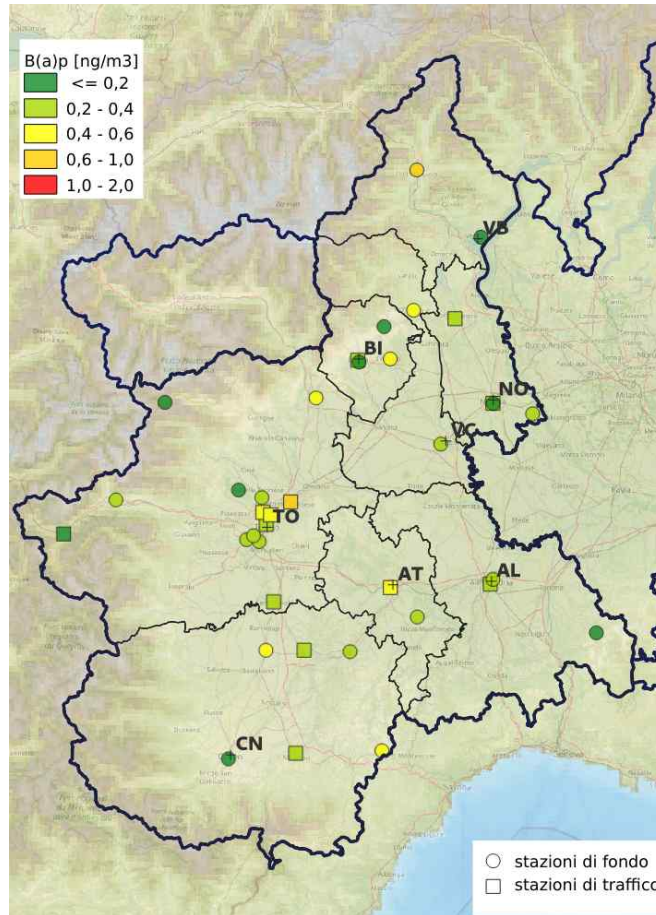


Figura 30: Benzo(a)pirene: concentrazioni medie per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA.

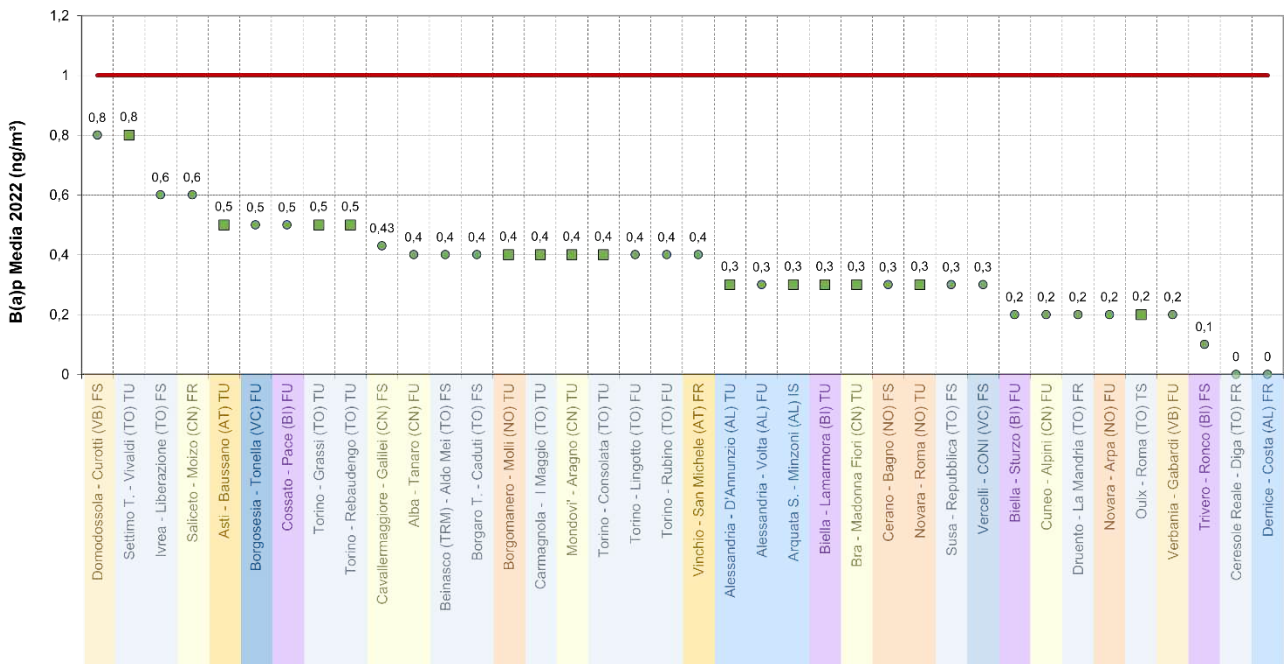


Figura 31: Benzo(a)pirene: concentrazioni medie per l'anno 2022: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

Il grafico in Figura 32 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 14 permette di confrontare le concentrazioni di benzo(a)pirene registrate nell'anno 2022 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 numericamente³⁴ tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair³⁵. I risultati sono mostrati in Figura 33, 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 (sono state analizzate solo le stazioni attive con almeno cinque anni di dati). In nessuna stazione è stato calcolato un trend in aumento, in 34 delle 37 stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa. La stazione di Domodossola - Curotti, pur avendo un trend statisticamente significativo in diminuzione, ha un intervallo di confidenza molto ampio, presumibilmente a causa della serie temporale su cui è stato calcolato il trend di ampiezza ridotta rispetto alle altre stazioni (2014-2022).



Figura 32: Benzo(a)pirene: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2022, con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

34 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.

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

Benzo(a)pirene - Media annuale (Valore obiettivo: 1 ng/m ³) (Percentuale dati validi)≥80%)																
ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
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
		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
		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
		Settimo T. - Vivaldi	TU			1	1,2	1,3	1,4	1,1		0,8	0,8	1	0,9	0,8
		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
		Torino - Grassi	TU	0,8	0,9		1,1			0,9	1	0,7	0,7	0,9	0,6	0,5
		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
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	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
	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
	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
		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
	CN	Mondovì - Aragno	TU					0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
		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
	NO	Borgomanero - Molli	TU				1	0,8	1	0,8	0,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
		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
	VB	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
		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
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	
Montagna	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
		Ceresole Reale - Diga	FR	0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1
	VB	Oulx - Roma	TS				0,5	0,5		0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
		Baceno - Alpe Devero	FR		<0,1				<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
		Domodossola - Curotti	FS					1,4	1,9	1,5	1,4	0,9	1	1,3	0,9	0,8
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
		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
	AT	Asti - Baussano	TU			1,2	0,9	0,8	1,1	1	1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5
	BI	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
		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
	CN	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
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												0,4	0,4
	NO	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
		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
	NO	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
		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
	TO	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
	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

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 (ng/m³)

≤ 0,3
> 0,3
> 0,4
> 0,6
> 1

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

n Dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90%

Tabella 14: Benzo(a)pirene: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

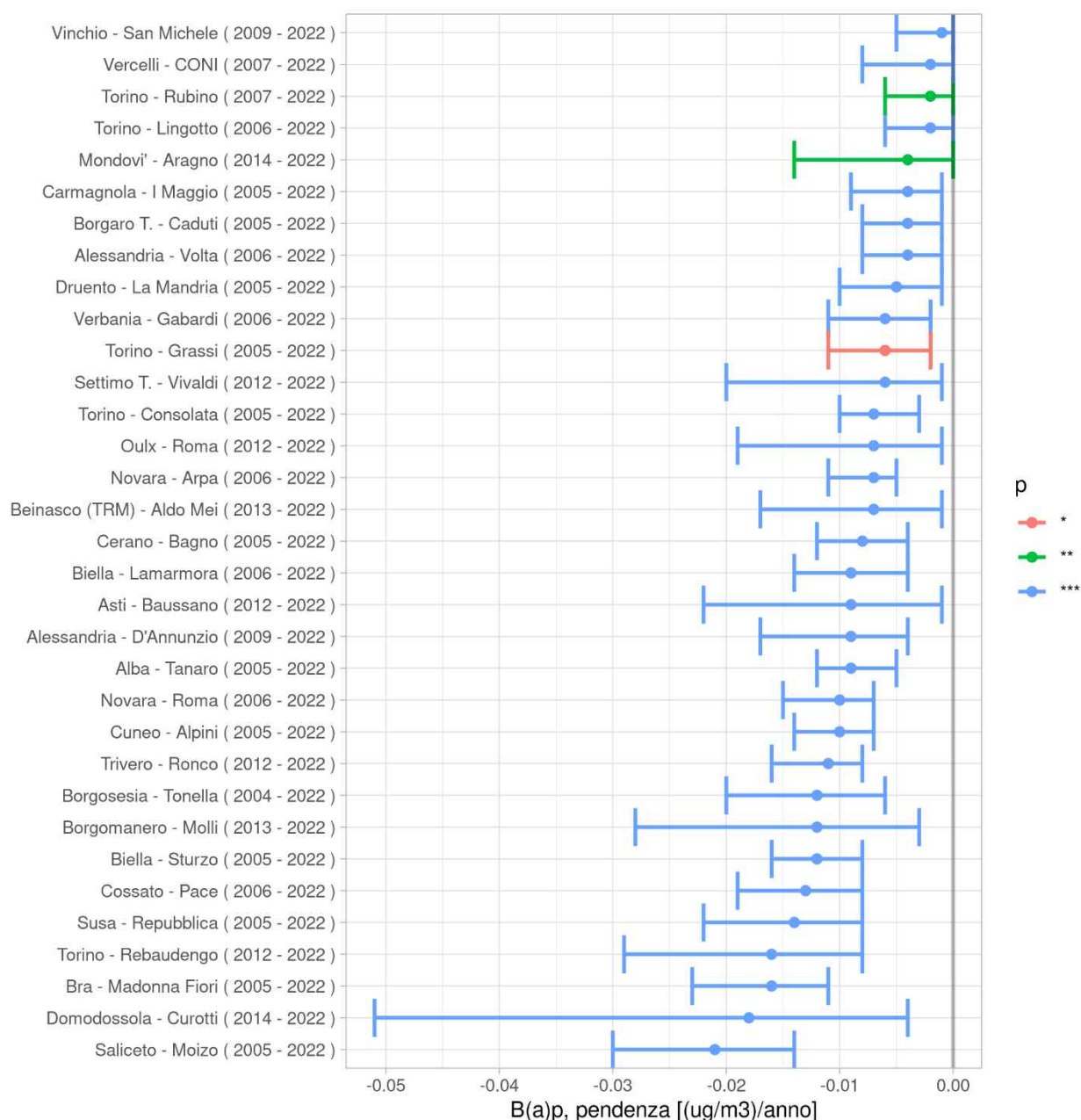


Figura 33: Benzo(a)pirene: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue di benzo(a)pirene, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il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

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 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annua. La Tabella 15 permette di valutare come si collocano le concentrazioni di benzene registrate nell'anno 2022 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 con valori che si attestano ampiamente al di sotto del valore limite previsto dalla normativa vigente, attribuibile – a meno di oscillazioni annuali dovute all'influenza

delle condizioni meteorologiche - all'applicazione di politiche di riduzione delle emissioni per questo inquinante.

Benzene - Media annuale (Valore limite: 5 µg/m³)
Percentuale dati validi >= 80%

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Agglomerato	TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS						1,3	1,3	1,3	1	1	1	1	0,9
		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
		Torino - Consolata	TU	4			2,2	2	2,1	1,8	1,7	0,9	1,2		1,3	1
		Torino - Lingotto	FU			1,3	1,2	1	1,1	1,1		1	0,9		1	1
		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
	NO	Borgomanero - Molli	TU				1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1			
	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
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
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
		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
	NO	Novara - Roma	TU	2,7	2,7	1,3	1,2	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1		
		Trecale - Verra	FU	1,1	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1	1	1	1	1
	VC	Cigliano - Autostrada	TR						1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,6	0,8	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	≤ 2
> 1	≤ 3,5
> 2	≤ 5
> 3,5	
> 5	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore all' 80%

n Dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90%

Tabella 15: Benzene: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

5.7 Monossido di carbonio e biossido di zolfo

Anche 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 16 sono riportate le massime concentrazioni medie sulle 8 ore calcolate a partire dai valori orari misurati presso le stazioni di monitoraggio sia nell'anno 2022, 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 34 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)
(Percentuale dati validi>=80%)**

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
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
		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
		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	1,2
		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
Collina	CN	Mondovi' - Aragno	TU					1,5	1,7	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1		1,1
	NO	Borgomanero - Molli	TU				2	2	2,3		2	1,7	1,7	1,7	1,7	
	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
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
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
	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
	VC	Cigliano - Autostrada	TR					1,7	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6

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	≤ 5
> 1	≤ 7
> 5	≤ 10
> 7	
> 10	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

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

Tabella 16: Monossido di carbonio (CO): concentrazioni massime medie sulle 8 ore misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

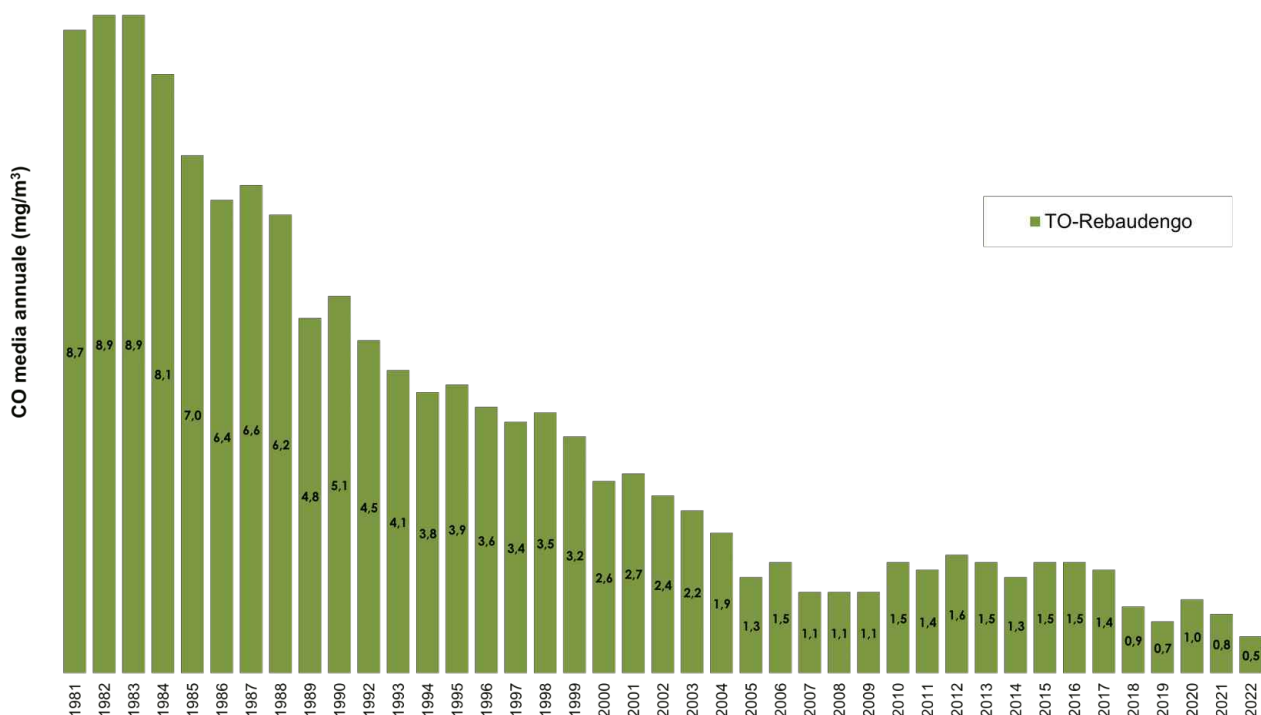


Figura 34: concentrazioni medie annuali di monossido di carbonio rilevate negli anni 1981-2022, presso la stazione di Torino-Rebaudengo.

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 17 sono riportate le massime concentrazioni medie giornaliere registrate presso le stazioni

di monitoraggio sia nell'anno 2022, 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 previsto dalla normativa vigente.

Anche in questo caso, a titolo di esempio della riduzione delle concentrazioni atmosferiche di questo inquinante, può essere considerata una stazione del capoluogo regionale, Torino – Consolata, stazione di traffico situata nella zona centrale della città, per la quale è disponibile la serie storica più lunga a livello regionale; in Figura 35 è rappresentata la massima media giornaliera su base annuale registrata nella stazione dal 1972 al 2022.

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.

**SO₂ - Massima media giornaliera (Valore limite: 125 µg/m³ da non superare più di 3 volte per anno civile)
(Percentuale dati validi >=80%)**

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
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
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS	15	19	18	16	20	22	27	33	17	25	32	18	8
Montagna	VB	Pieve Vergonte - Industria	FS	16	12	22	13	22	8	8	5	7	9	8	11	11
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU	15	19	21	17	10	13	15		11	14			8
		Cerano - Bagno	FS	125	48	39	55	23	30	25	23	25	35	17	22	23
	NO	Novara - Roma	TU			15	16	16	15	18	20	18	18	8	11	13
		Treccate - Verra	FU	82	50	46	16	15	23	16	14	33	29	9	12	15
VC	Cigliano - Autostrada	TR					9	10	9		9	9	7	12	14	

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	

n Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

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

Tabella 17: Biossido di zolfo (SO₂): concentrazioni massime medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

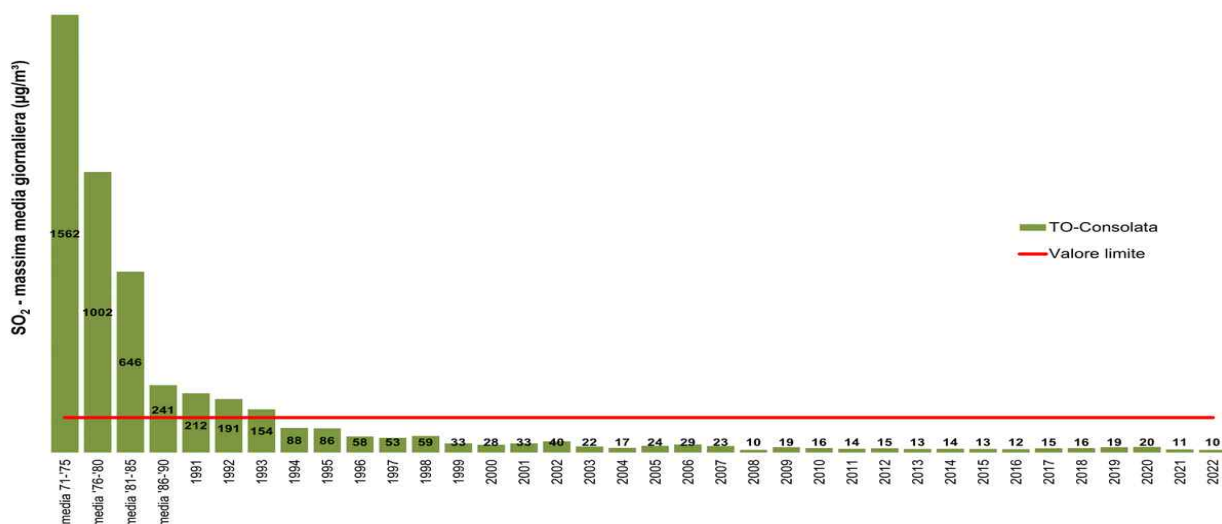


Figura 35: Biossido di zolfo SO₂: massima media giornaliera su base annuale, rilevata presso la stazione di Torino-Consolata

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 2022 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 18 riporta le concentrazioni medie annue dell’arsenico, il cui valore obiettivo è pari a 6 ng/m³, la Tabella 19 le concentrazioni medie annue del cadmio, con valore obiettivo pari a 5 ng/m³, la Tabella 20 le concentrazioni medie annue del nichel, avente valore obiettivo pari a 20 ng/m³ e la Tabella 21 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/m ³) (percentuale dati validi >= 80%)																	
Zona UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
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	
		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	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	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	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	
	CN	Mondovì - Aragno	TU					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	0,7	0,9	0,7	
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	
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	
	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	
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												0,7	0,7	
	NO	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	
		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	
	TO	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	
		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	
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		

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/m ³)
<= 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%

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

Tabella 18: Arsenico (As): concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

Cadmio nel PM10 - Media annuale (Valore obiettivo: 5 ng/m³) (percentuale dati validi >=80%)																		
Zona UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
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		
		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	0,2	0,1	0,1	0,2		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
		Torino - Lingotto	FU	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	
		Torino - Rebaudengo	TU			0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	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	0,2	0,1	0,1	0,2	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	
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							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		
	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		
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	
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		
	CN	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		
		Cavallermaggiore - Galilei	FS													0,1	0,1	
	NO	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	
		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	
	TO	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	
		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	0,2	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	<= 2
> 1	<= 3
> 2	<= 5
> 3	
> 5	

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

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

Tabella 19: Cadmio: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

**Nichel nel PM10 - Media annuale (Valore obiettivo: 20 ng/m³)
(percentuale dati validi >=80%)**

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
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
		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
		Torino - Grassi	TU	7,6	8,7		5,8			3,9	4,8	4,8	3,2	4,2	3,8	3,8
		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
		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
		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
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							1,9	2,4	2,4	1,5	2,4	2,4	1,7
	CN	Mondovì - Aragno	TU					9,7	2,8	0,9	1,5	1,0	2,2	0,9	0,9	0,9
	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
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
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
	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
		Cavallermaggiore - Galilei	FS													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	
		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
	NO	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
		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
	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

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%

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

Tabella 20: Nichel: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

Piombo nel PM10 - Media annuale (Valore limite = 0,5 µg/m³)
(percentuale dati validi >= 80%)

Zona UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
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	
		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	0,003
		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
		Torino - Grassi	TU	0,017	0,02		0,012			0,011	0,011	0,008	0,01	0,011	0,015	0,010	
		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	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	0,005
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				0,009	0,008	0,008	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							0,005	0,007	0,004	0,003	0,006	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	
	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	
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	
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	
	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	
		Cavallermaggiore - Galilei	FS													0,004	0,003
	NO	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	0,002	0,003
		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	0,006
	TO	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	0,006
		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	0,004	0,005	0,004
VC	Vercelli - CONI	FS	0,008	0,009	0,01	0,007	0,005	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	

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

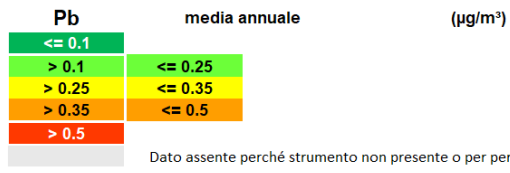


Tabella 21: Piombo: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

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 36. 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.

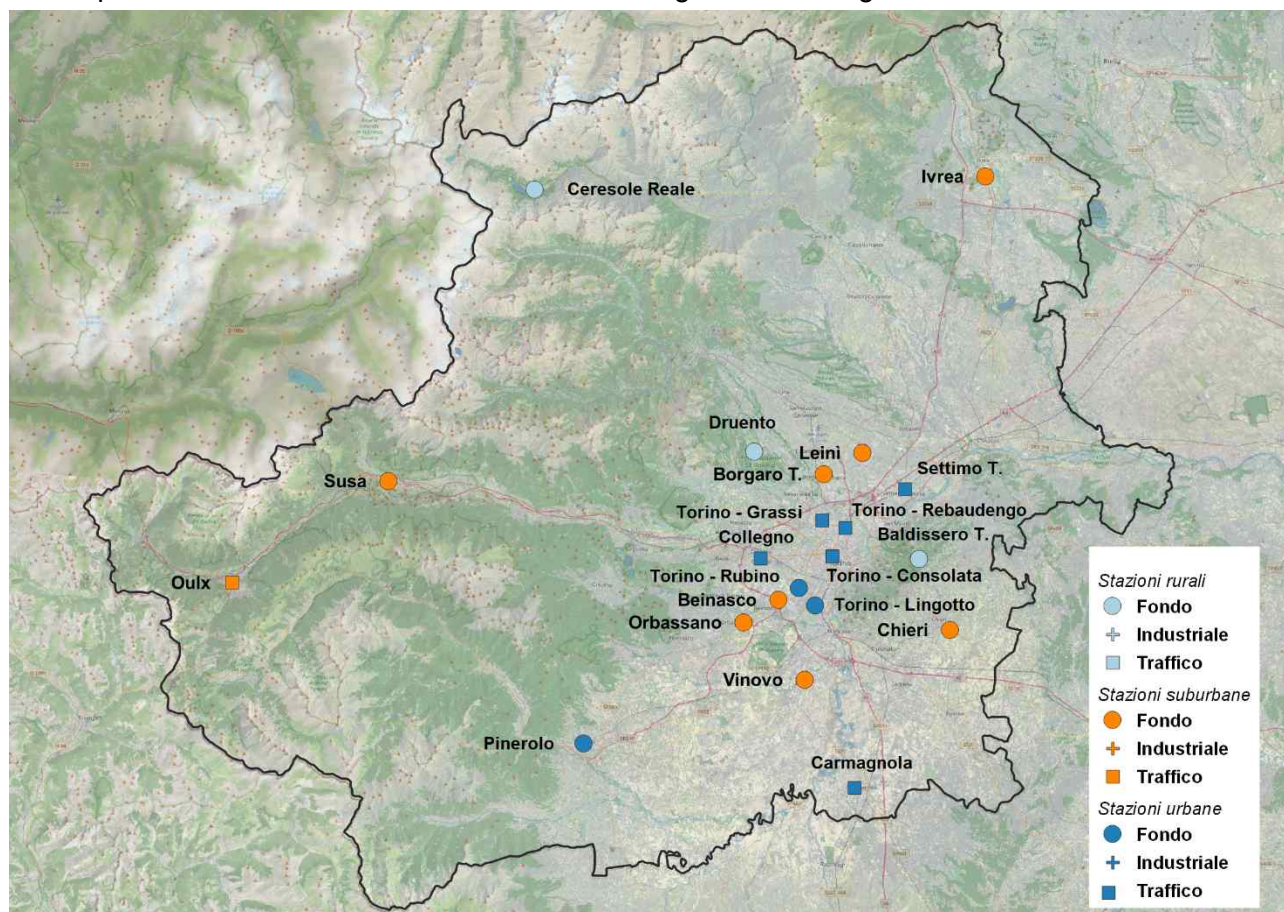


Figura 36: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento nel territorio della Città Metropolitana di Torino.

6.1.1 Particolato sospeso: PM10

L'andamento annuale delle concentrazioni medie di PM10 è rappresentato nella Figura 37, Figura 38 e Figura 39, mentre il numero dei superamenti del valore limite giornaliero è indicato nella Figura 40, Figura 41 e Figura 42. I valori sono registrati presso le stazioni attive nel 2022 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 2022 il valore limite annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato rispettato in tutte le stazioni del territorio della città metropolitana. La criticità maggiore è nel rispetto del valore limite giornaliero che, nonostante la decrescita nel corso degli anni per tutte le stazioni in zona urbana e suburbana, è superato in tutte le stazioni, tranne quelle più lontane dalla città di Torino e quelle situate in contesti vallivi e rurali.

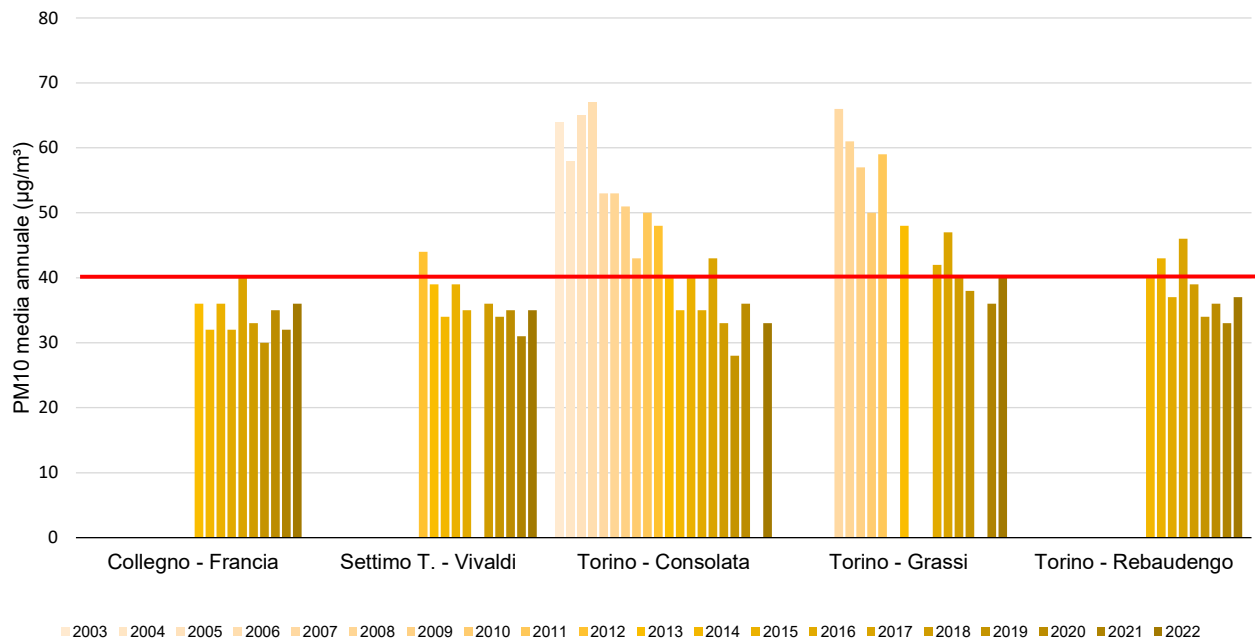


Figura 37: PM10: confronto medie annue delle stazioni di traffico site nell'area metropolitana torinese

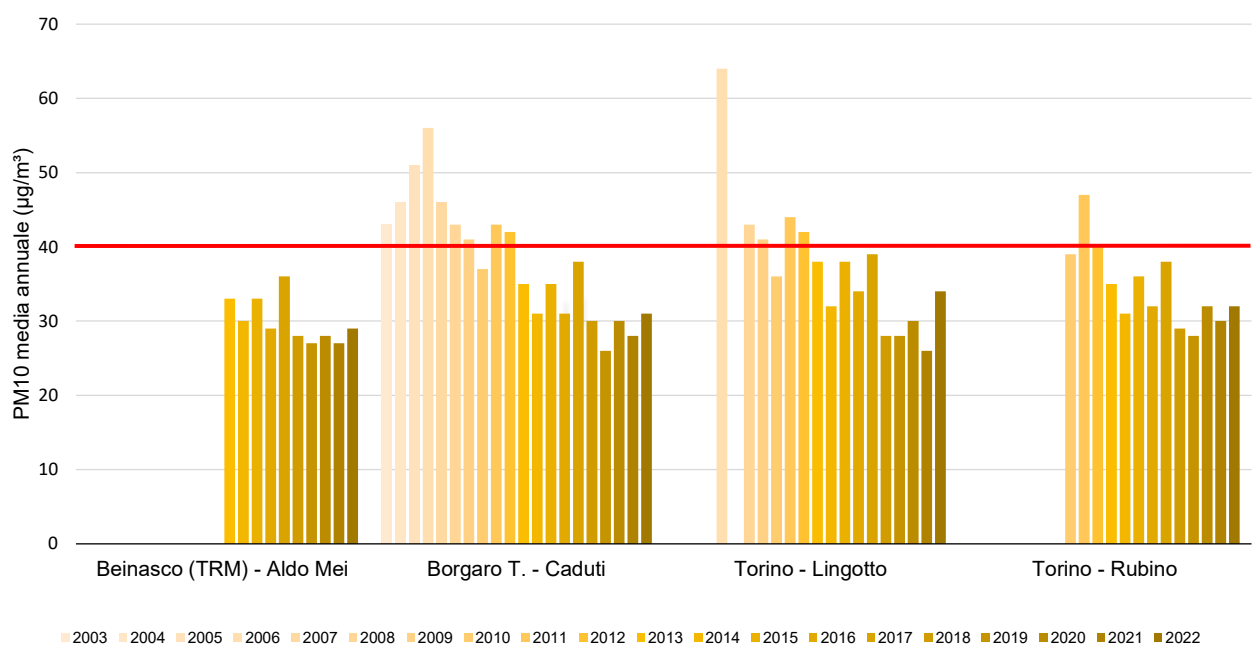


Figura 38: PM10: confronto medie annue delle stazioni di fondo site nell'area metropolitana torinese

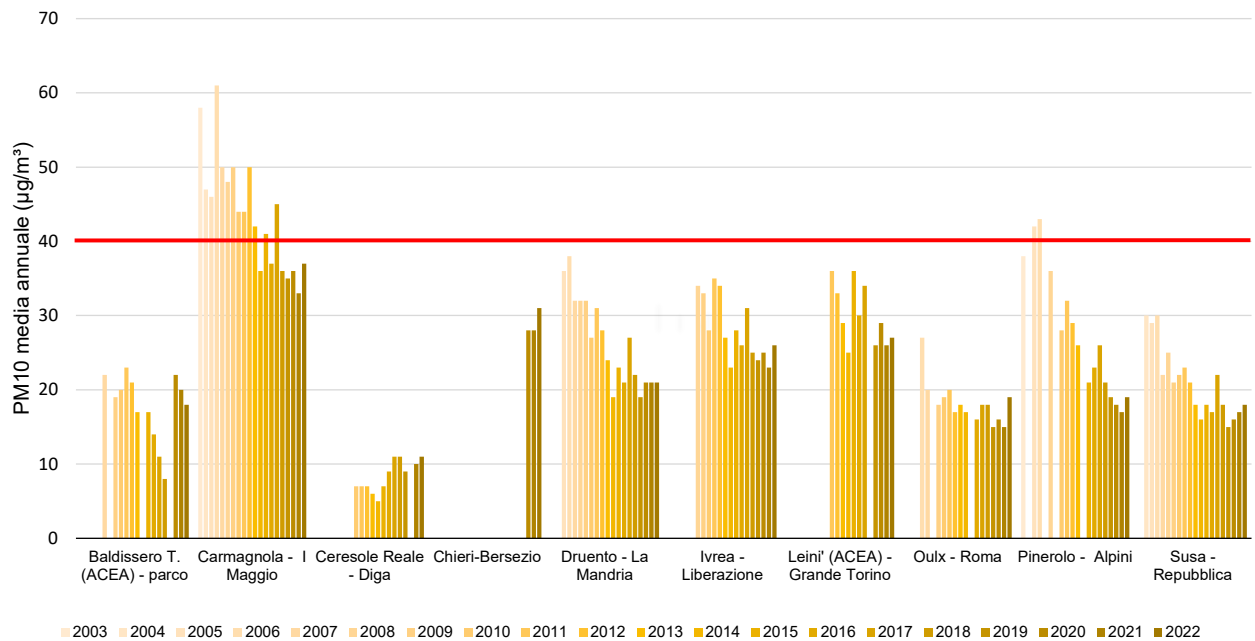


Figura 39: PM10: confronto medie annue delle stazioni esterne all'area metropolitana torinese

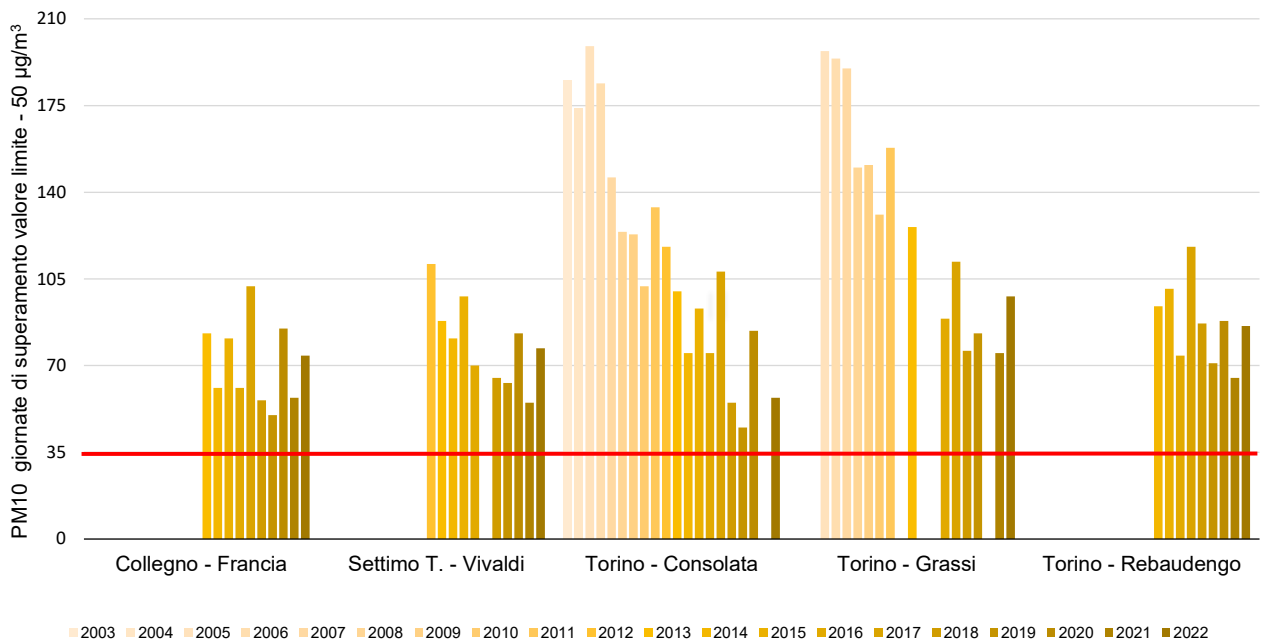


Figura 40: PM10: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni di traffico site nell'area metropolitana torinese

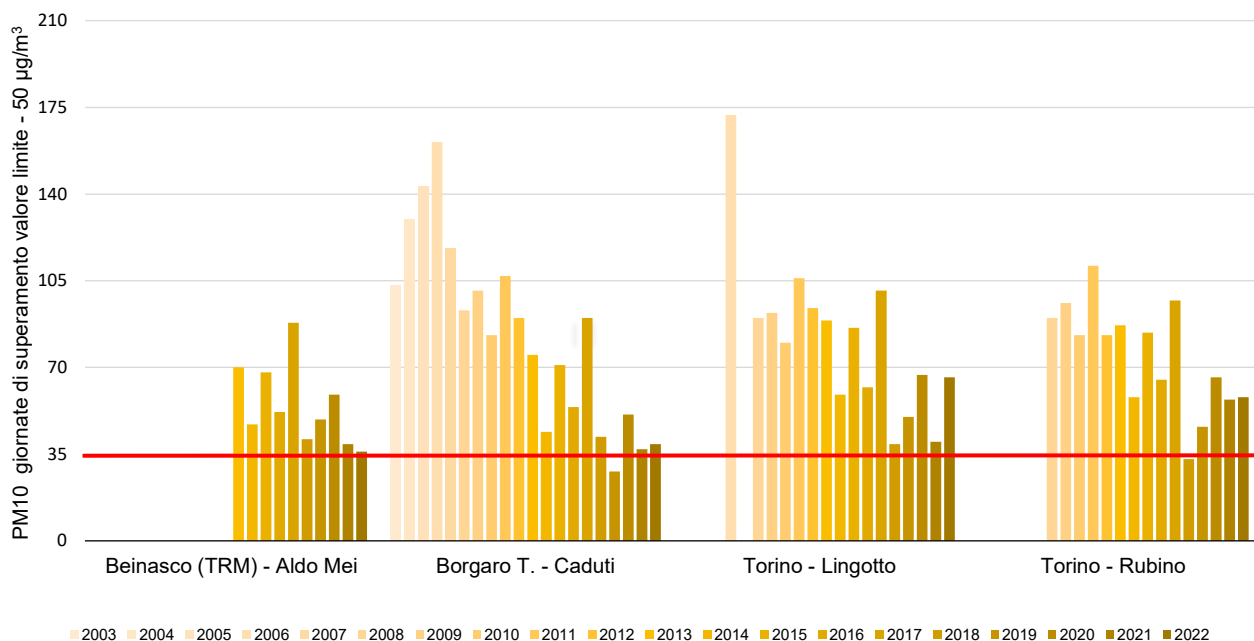


Figura 41: PM10: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni di fondo site nell'area metropolitana torinese

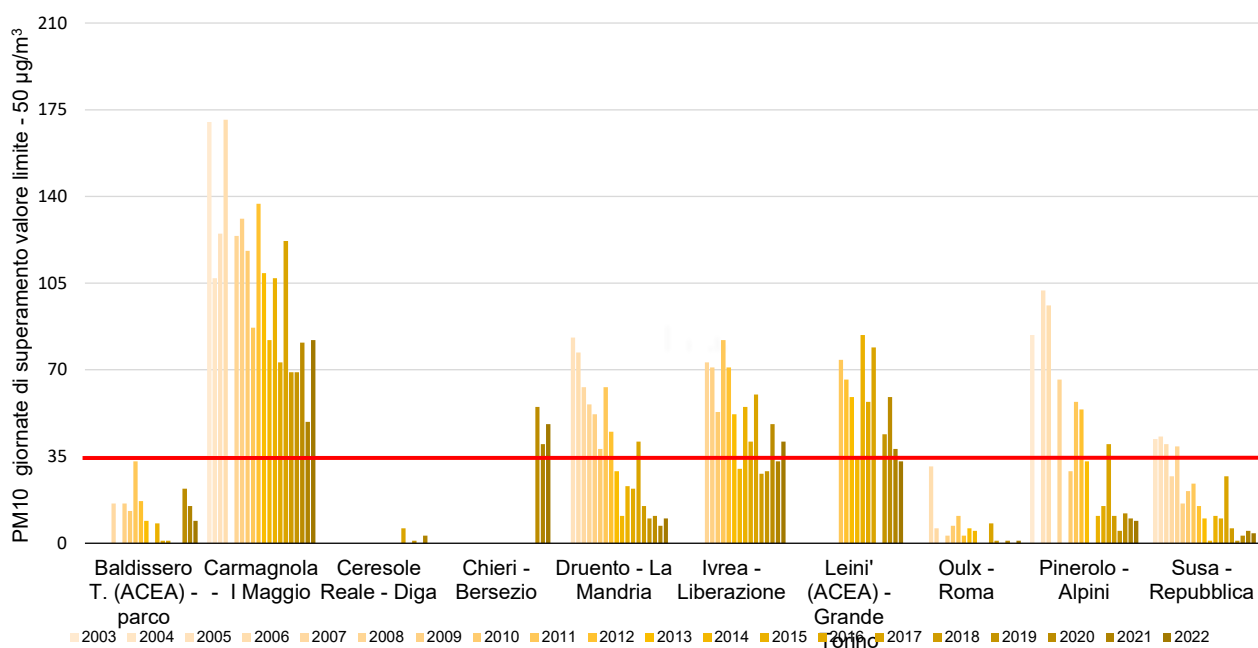


Figura 42: PM10: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni delle stazioni esterne all'area metropolitana torinese

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2022 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 43 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 2022 (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 43 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 2022 si pone al di sopra della media del periodo di riferimento 2013-2021 da metà gennaio a metà febbraio e per tutto il mese di marzo, mentre è al di sotto della media dagli ultimi giorni di ottobre fino a dicembre. Per poter interpretare questo andamento può essere di aiuto il numero di giorni favorevoli all'accumulo³⁶ di PM10 e le precipitazioni, illustrati rispettivamente con bande gialle verticali e istogrammi blu nei grafici di Figura 44 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 2022 è stato estremamente siccitoso sia come quantitativi di precipitazione, sia come numero di giorni piovosi (Tabella 3 del paragrafo 4.2), pertanto sono stati molteplici gli episodi di accumulo, condizioni sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

Si evidenziano frequenti periodi di stabilità atmosferica nel periodo freddo, in particolare in tutto il mese di gennaio e in svariati giorni di febbraio, determinando conseguentemente un incremento delle concentrazioni e numerosi superamenti del valore limite in tutte le stazioni di pianura, situate sia all'interno che all'esterno dell'area metropolitana torinese. Il picco del 16-18 marzo, invece, avviene in assenza di fenomeni di accumulo ed è dovuto al trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che, dopo aver inizialmente colpito in modo eccezionale la penisola Iberica, ha interessato dal 16 marzo anche la nostra regione. Il fenomeno è visibile anche nelle stazioni in quota. Altri superamenti dovuti al trasporto di sabbie da remoto si sono verificati nel periodo 26-30 marzo. Un altro fenomeno di trasporto di polvere sahariana è stato registrato dal 20 al 23 maggio, determinando incrementi nelle stazioni quota, anche senza superamenti del valore limite giornaliero.

Invece, sono al di sotto della media 2013-2021 i mesi di novembre e dicembre, in corrispondenza a maggiori fenomeni piovosi.

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 600 m di quota è inferiore o uguale a 1.5 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

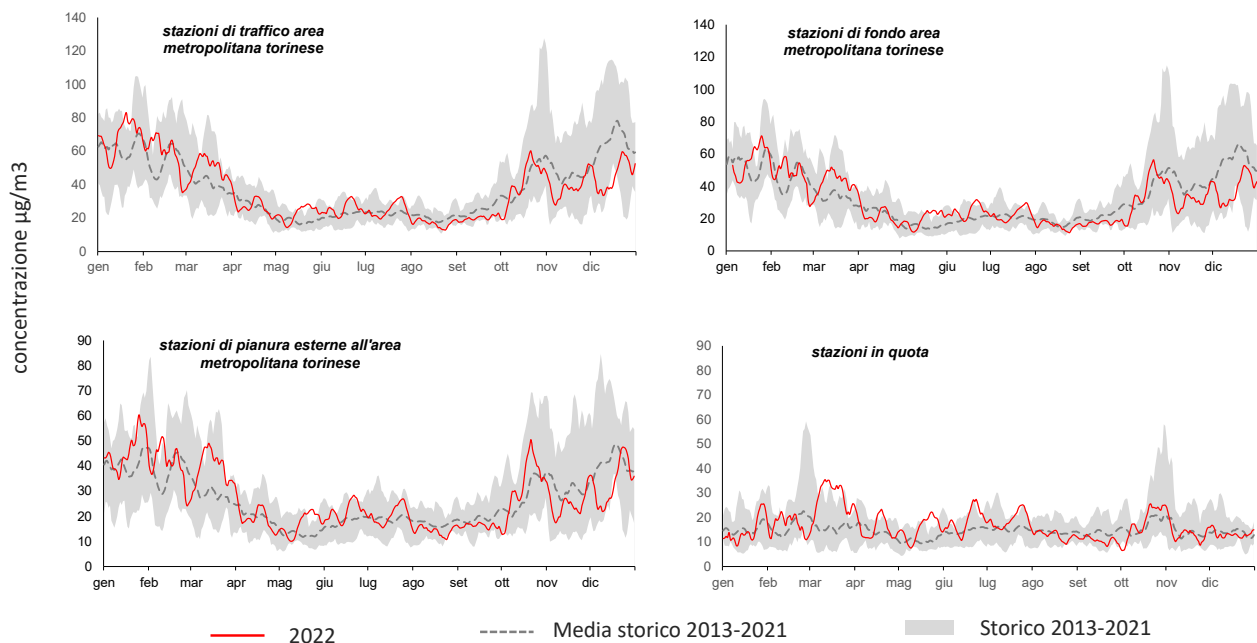


Figura 43: PM10 Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

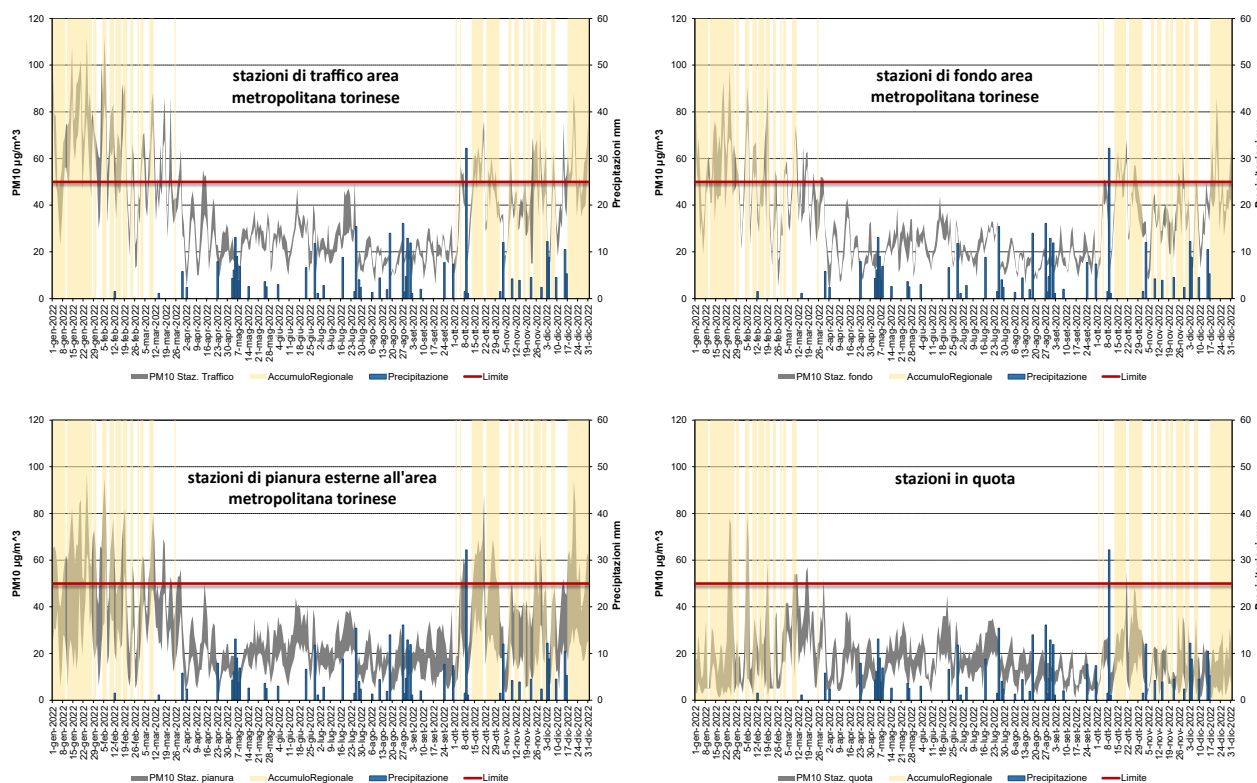


Figura 44: PM10: Range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della Città Metropolitana di Torino in ciascun giorno del 2022; precipitazioni cumulate giornaliere a Torino, indicatore di accumulo regionale.

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 45). 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.

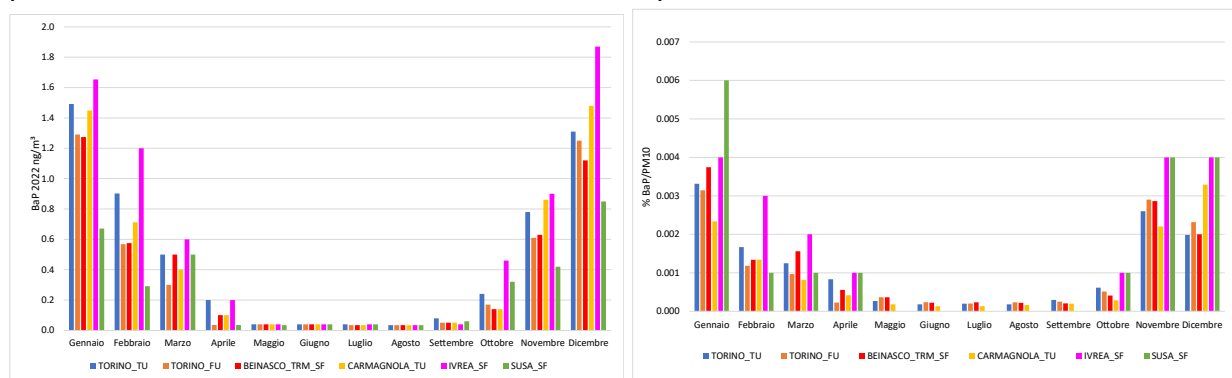


Figura 45: benzo(a)pirene nella Città Metropolitana di Torino: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di BaP nel PM10 anno 2022

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 46, nel quale sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2022 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 2022 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 Leinì, 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 dell'80% dalla frazione PM2.5, che contiene maggiormente contributi secondari di origine antropica, come composti del carbonio e sali inorganici (nitrato e solfato di ammonio).

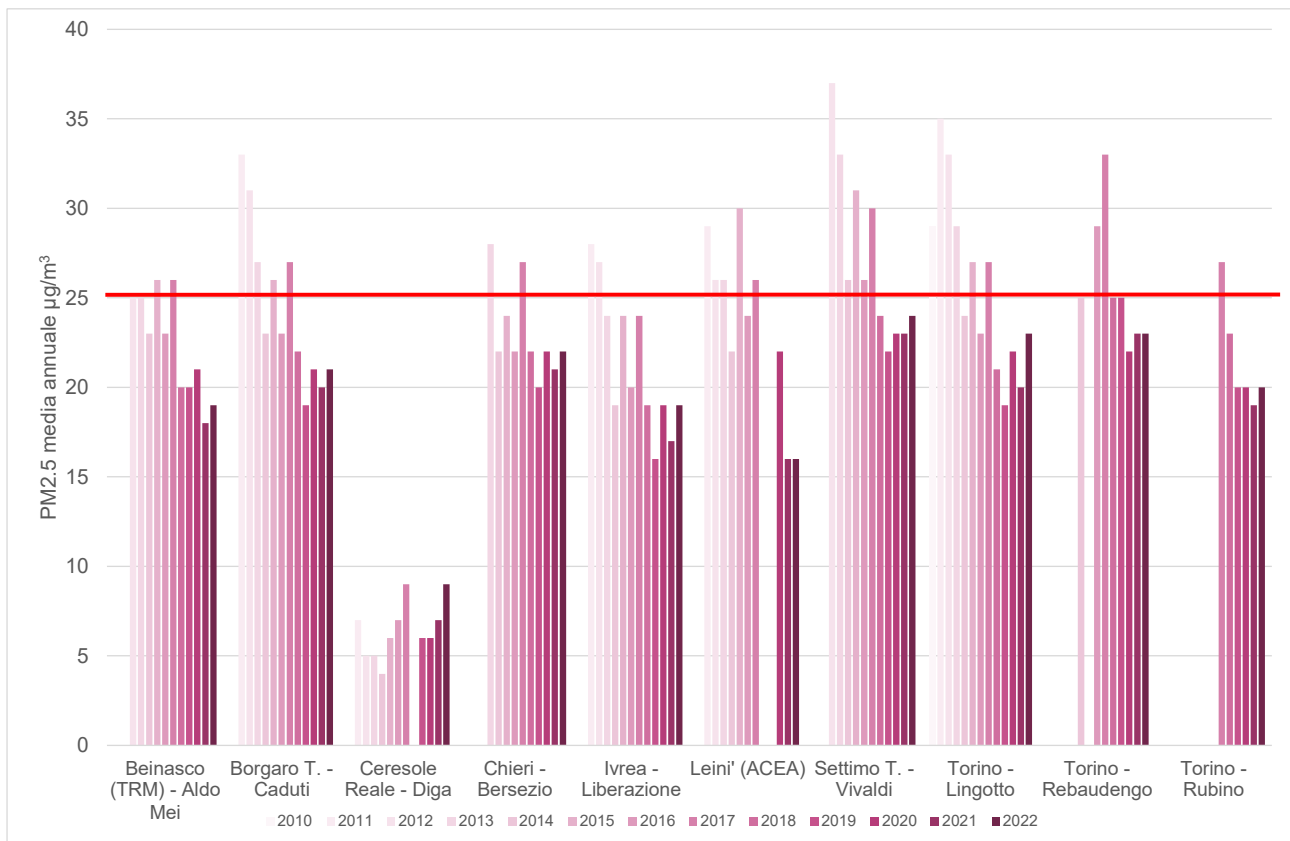


Figura 46- PM2,5 nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue

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 47, Figura 48, Figura 49 e Figura 50, dove sono confrontate le concentrazioni medie di biossido di azoto (NO₂) registrate presso le stazioni attive nel 2022 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. Le medie annue più elevate (superiori anche nel 2022 al valore limite di 40 µg/m³) si registrano nelle stazioni di Torino - Rebaudengo e Torino - Consolata, seguite dalle stazioni di Settimo, Collegno e Carmagnola (con valori intorno ai 30 µg/m³, inferiori al limite). Presso le stazioni di fondo urbano, sia nell'area metropolitana torinese che al di fuori, le medie rispettano il valore limite come minimo da sei 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).

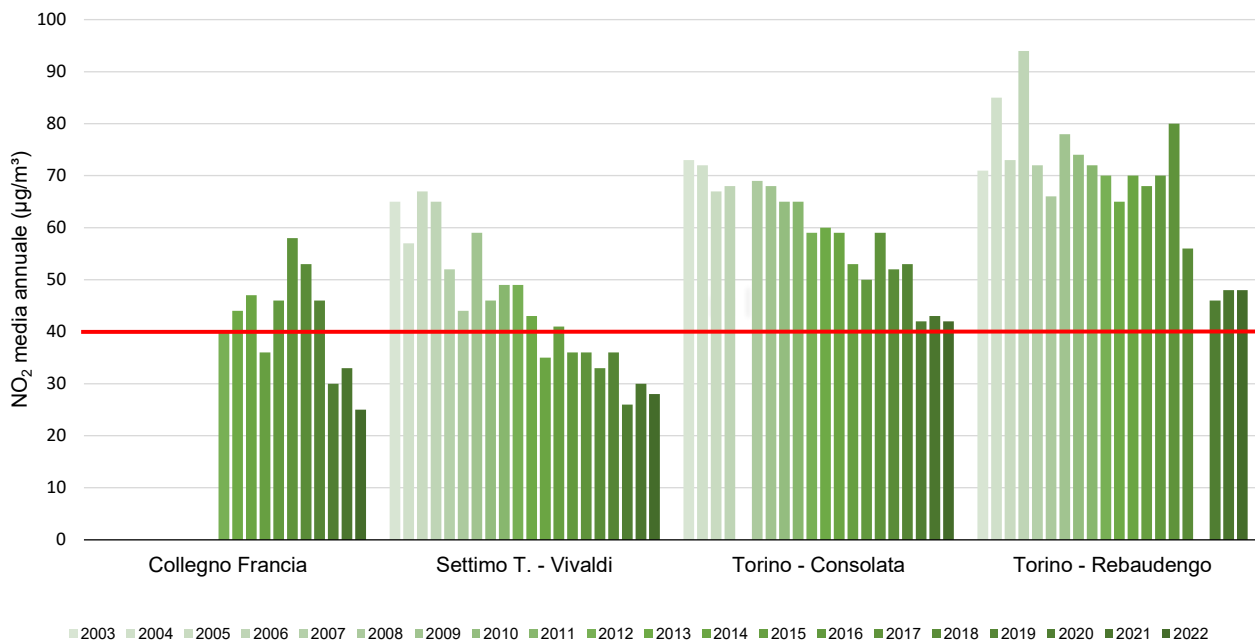


Figura 47: NO₂ nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di traffico Area Metropolitana Torinese

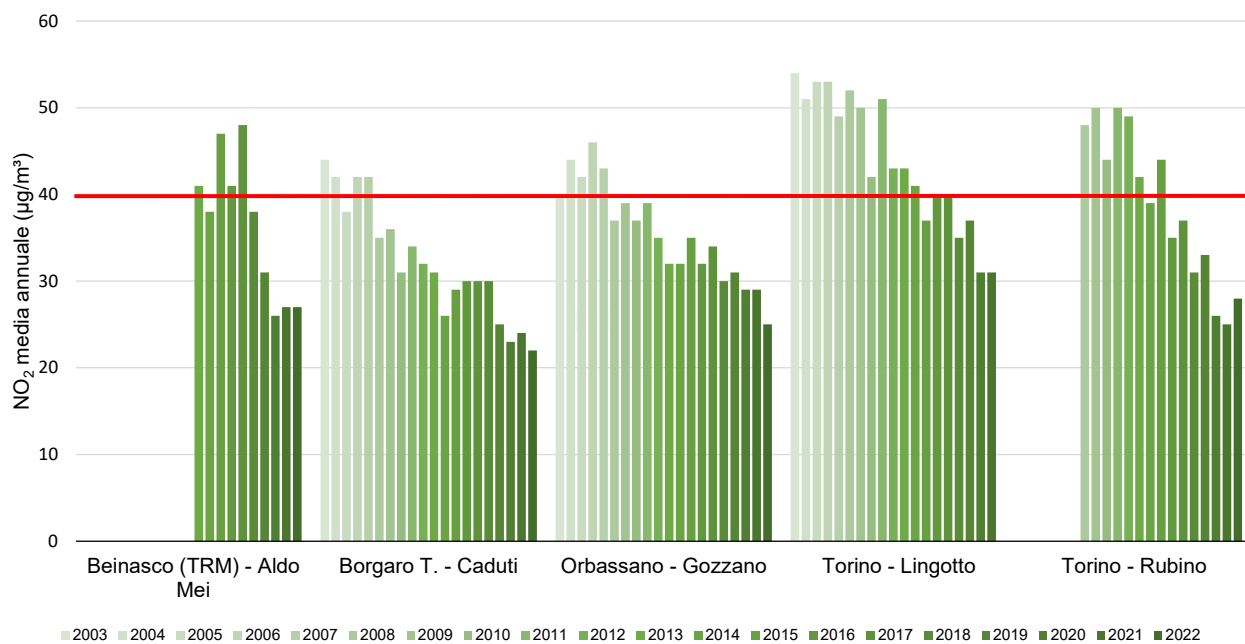


Figura 48: NO₂ nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di fondo area metropolitana torinese

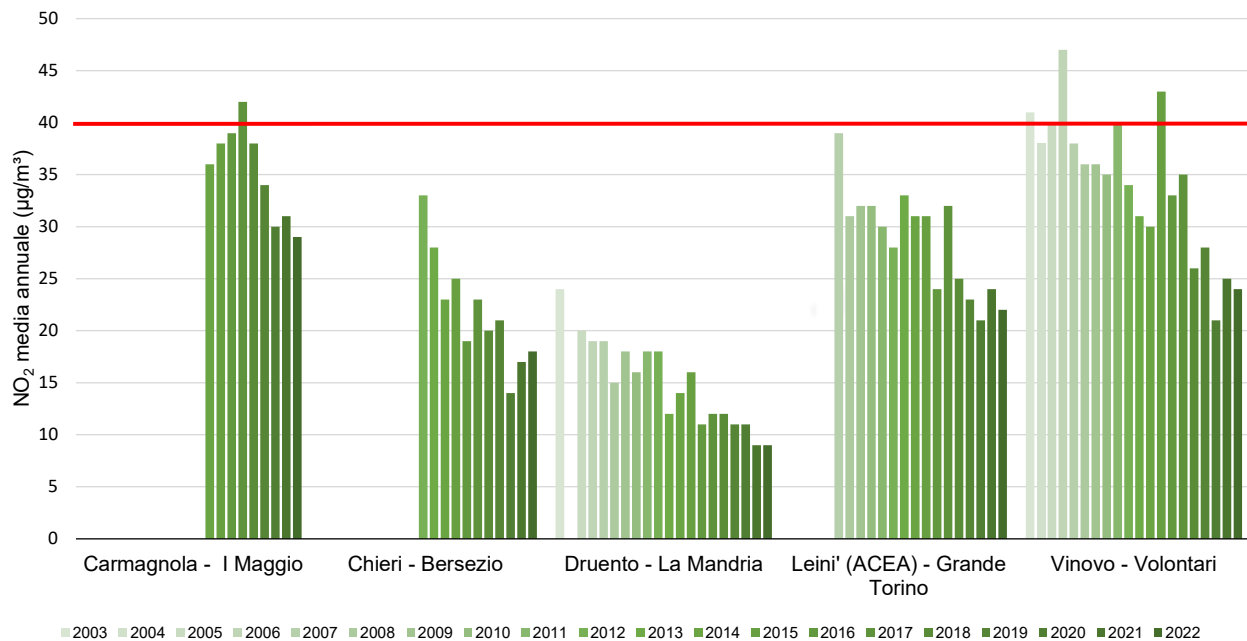


Figura 49: NO₂ nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di pianura esterne all'area metropolitana torinese

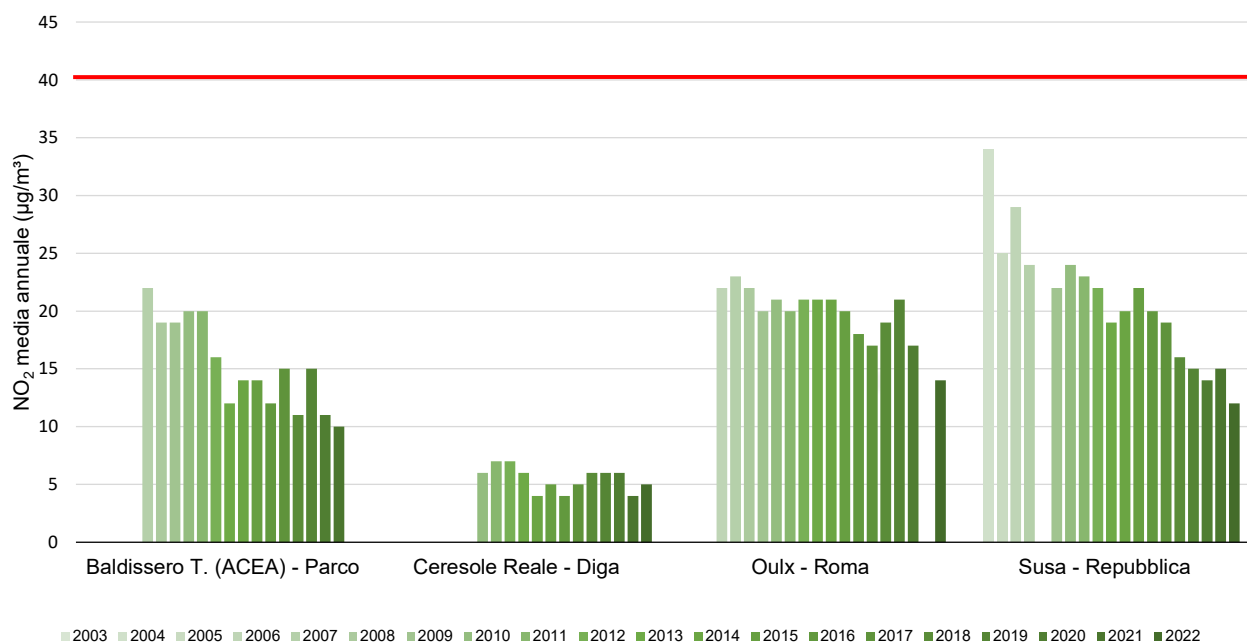


Figura 50: NO₂ nella Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di quota esterne all'area metropolitana torinese

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 2022 (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). Per completezza vengono raffigurati anche i dati del 2020 (in arancione tratteggiato). 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 2022 i dati sono al di sotto del periodo di confronto 2013-2021 nelle stazioni di traffico dell'area metropolitana torinese, tranne nel periodo corrispondente al lockdown 2020 (metà marzo-metà maggio), ma anche nelle stazioni di fondo dell'area metropolitana i valori si collocano vicino ai minimi del periodo di riferimento, confermando il trend 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. 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 2022 per questa stazione sono vicine o al di sotto dei minimi del periodo di confronto, tranne che da metà febbraio a metà marzo e nel mese di dicembre, molto probabilmente in virtù del maggior traffico locale per il turismo invernale.

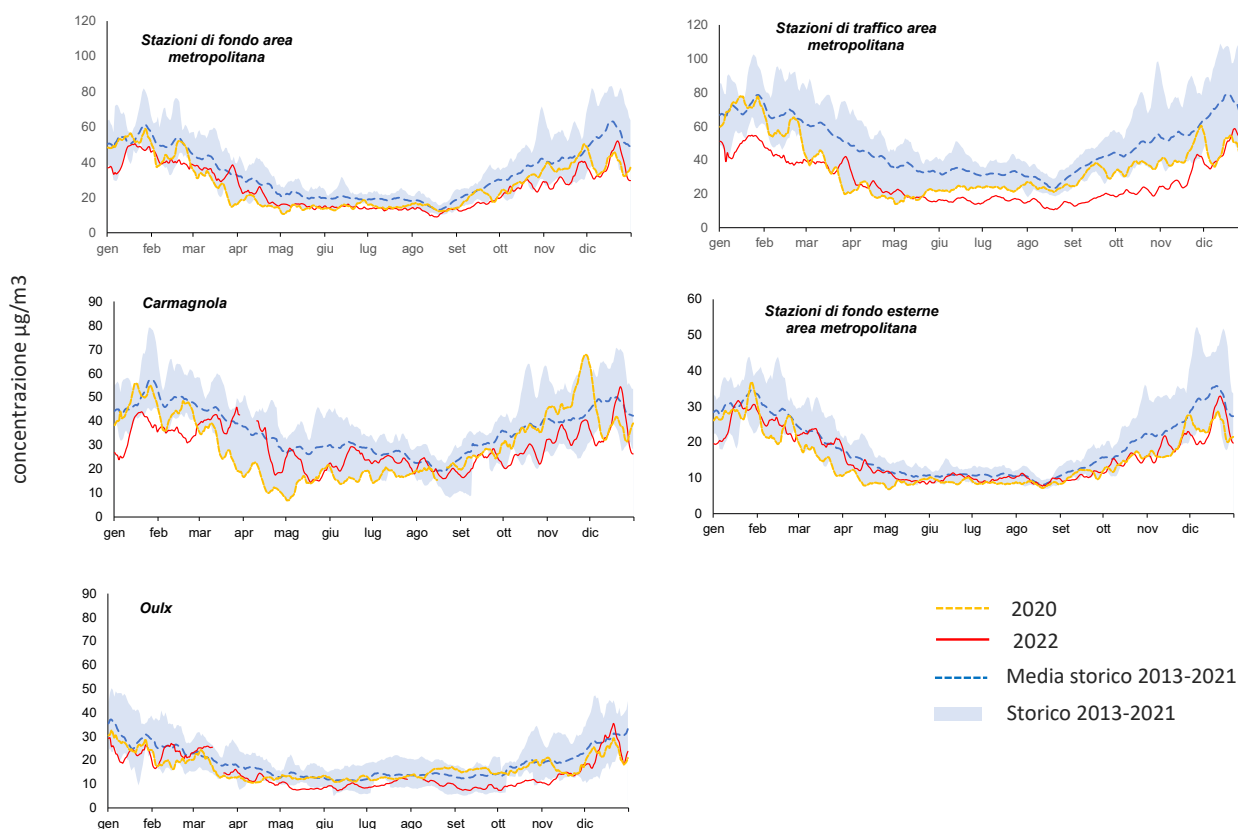


Figura 51: NO₂ Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

Per le stazioni di Torino - Rubino e Torino - Rebaudengo (Figura 52 a sinistra) e il gruppo di stazioni Beinasco – Carmagnola - Settimo (Figura 52 a destra) è stata calcolata la settimana tipo. Gli andamenti di NO₂ messi a confronto tra la stazione di fondo urbano di Torino - Rubino (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 - Rubino, legate alle emissioni dirette del traffico veicolare. L'influenza del traffico è visibile anche nelle stazioni esterne a Torino, in particolare Carmagnola 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.

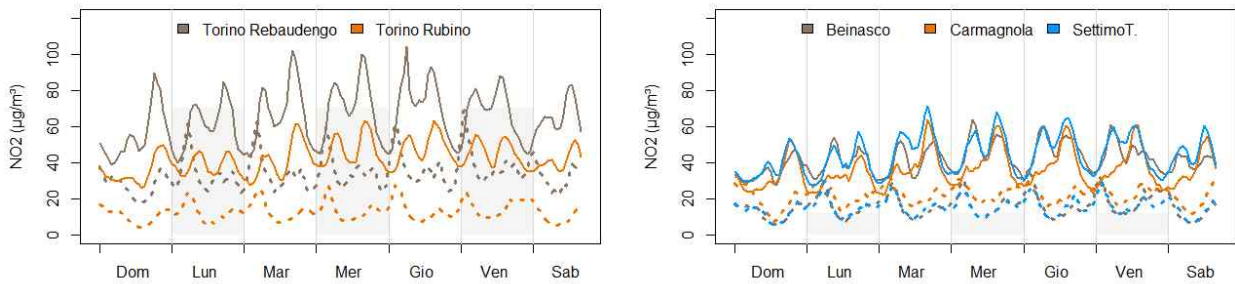


Figura 52– NO₂ Città Metropolitana di Torino: settimane tipo stazioni di Torino Rebaudengo-Torino Rubino e Beinasco-Carmagnola-Settimo Torinese

6.1.5 Ozono (O₃)

L'inquinante viene misurato presso le stazioni di fondo (urbano-suburbano) di Borgaro, Chieri, Ivrea, Leini, 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 53 e Figura 54 è illustrato l'andamento, dal 2005 al 2022, 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 2022 (relativo al triennio 2020-2022) è superato in tutte le stazioni del territorio metropolitano, con l'eccezione della stazione di Chieri che però ha una bassa percentuale di dati acquisiti (minore del 90%) a causa malfunzionamenti strumentali.

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.

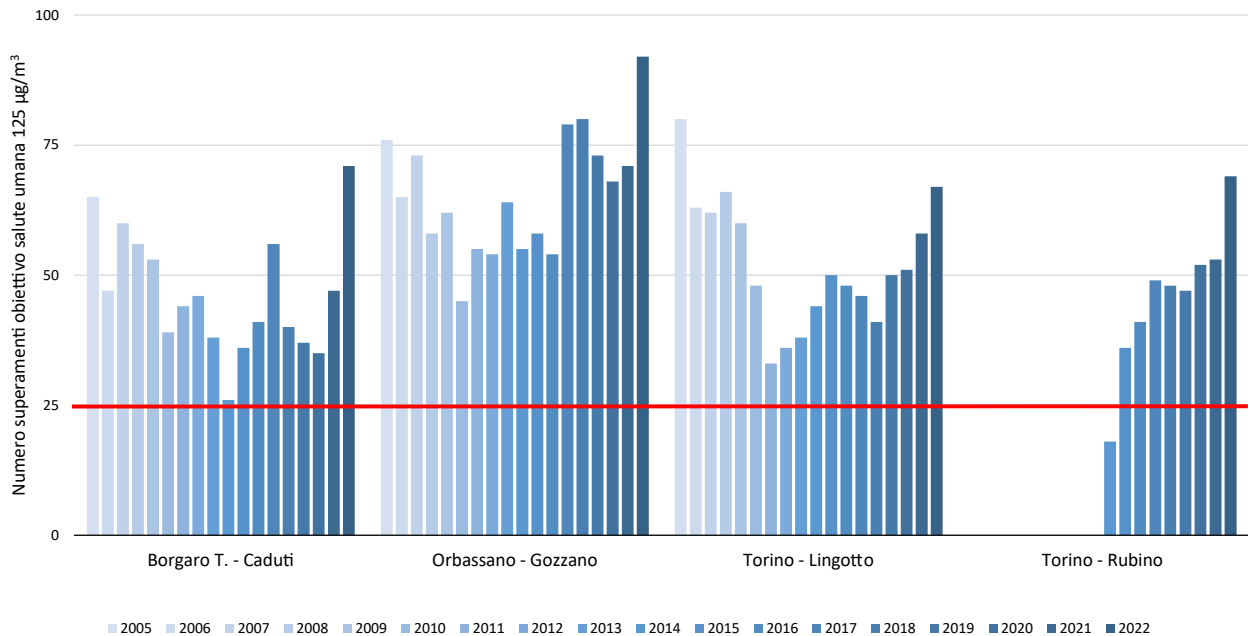


Figura 53: O₃ nella Città Metropolitana di Torino: confronto numero di superamenti valore obiettivo per la protezione della salute umana, stazioni di fondo dell'area metropolitana torinese

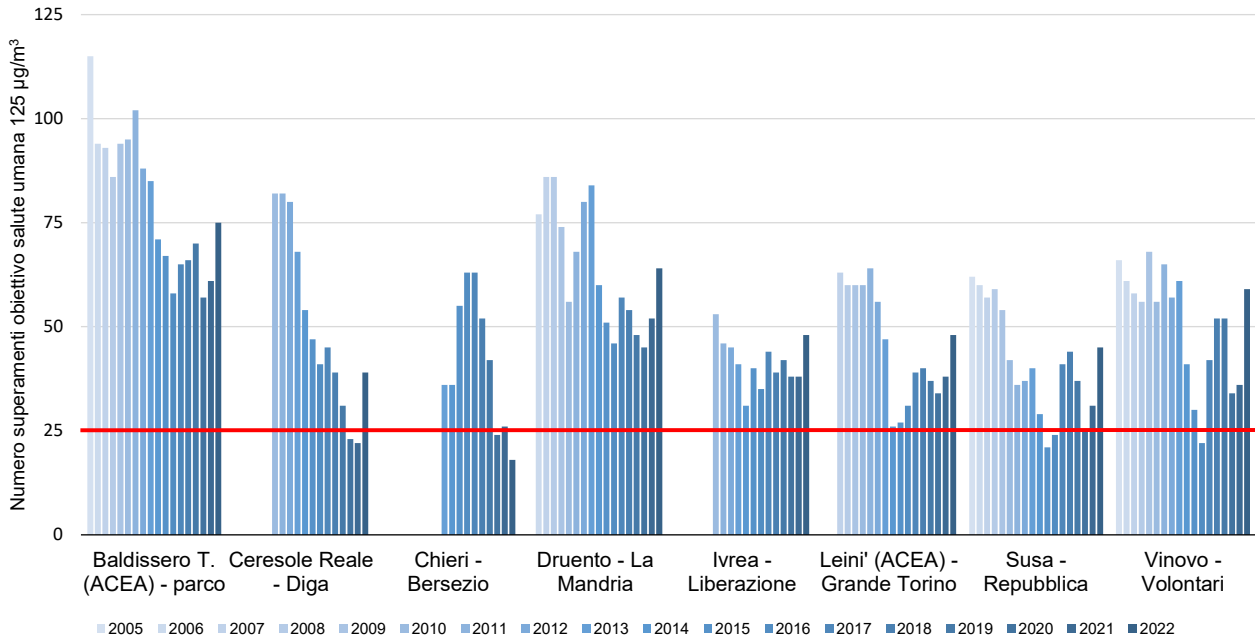


Figura 54: O₃ nella Città Metropolitana di Torino: confronto numero di superamenti valore obiettivo per la protezione della salute umana, stazioni di fondo esterne all'area metropolitana torinese

Per quanto riguarda l'andamento giornaliero dell'inquinante (Figura 55) 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). Nell'anno 2022 si evidenziano in tutte le stazioni alcuni periodi con concentrazioni elevate rispetto agli anni di riferimento, in particolare intorno alla metà di giugno e dalla metà di luglio a metà agosto, in corrispondenza a valori di temperatura particolarmente elevati.

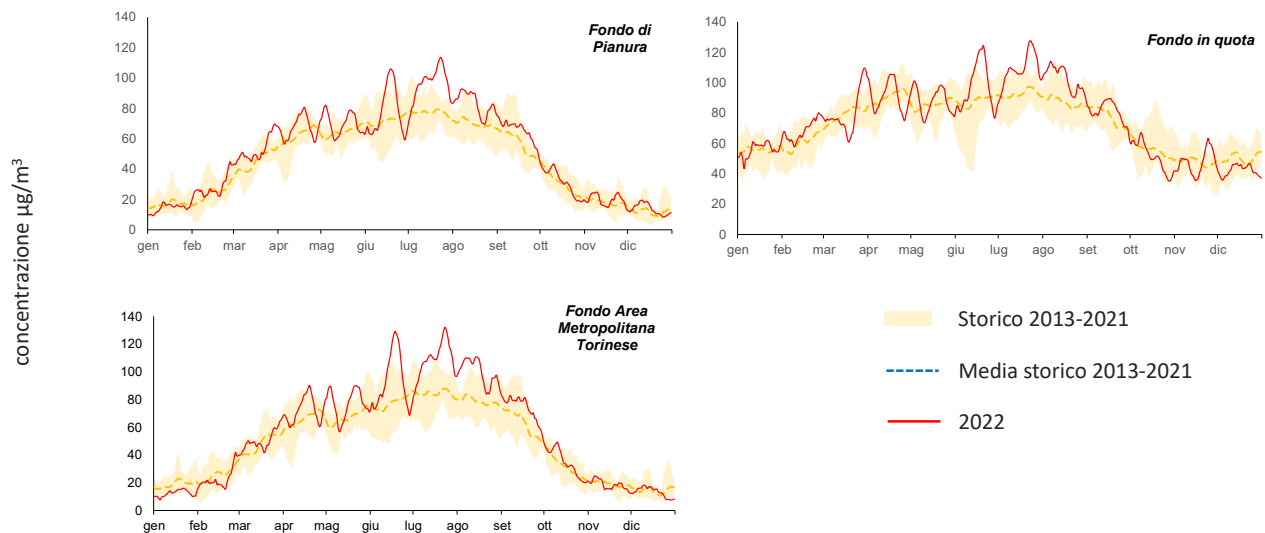


Figura 55: O₃ nella Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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 56.

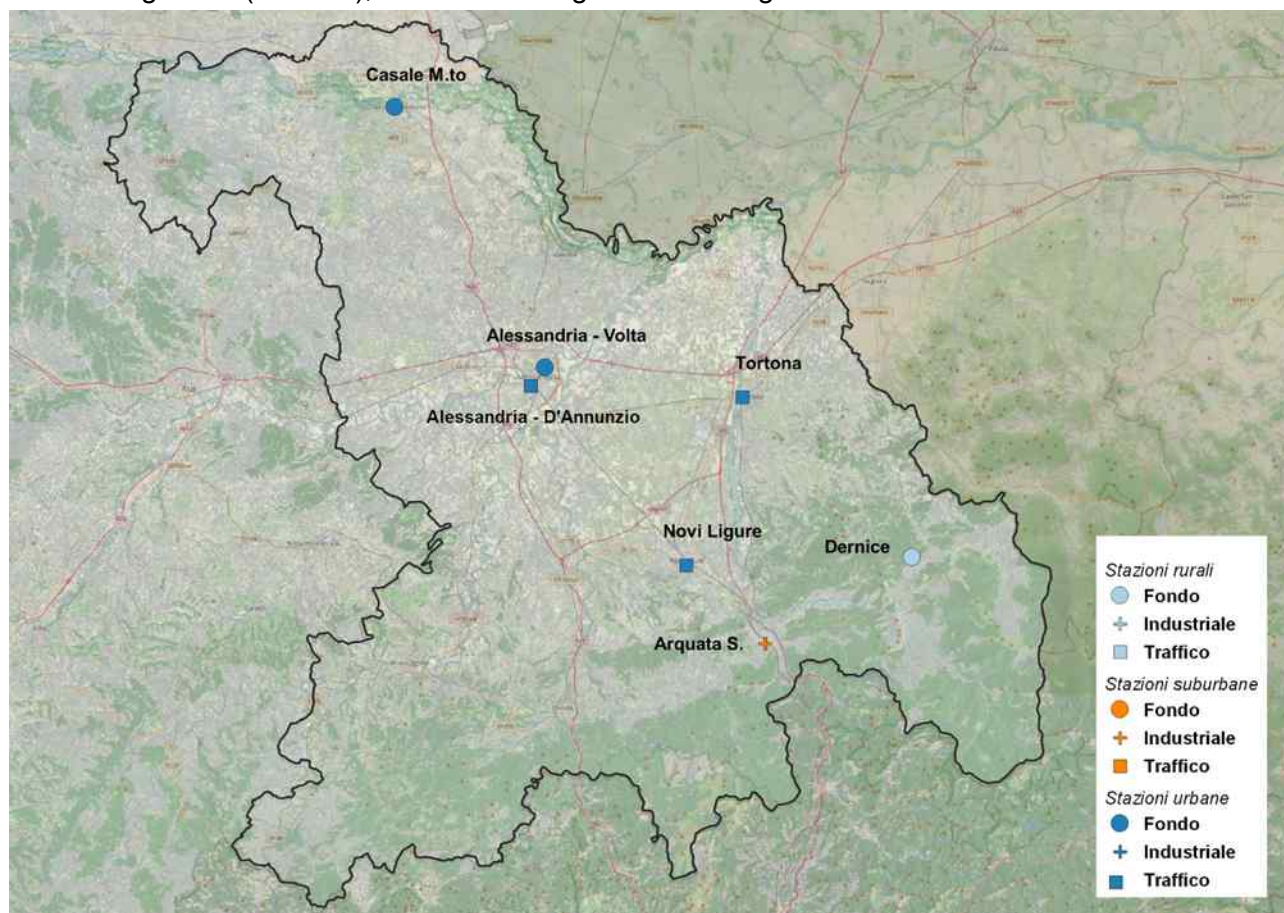


Figura 56: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Alessandria.

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 57 e Figura 58, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed il numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2022 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2022 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.

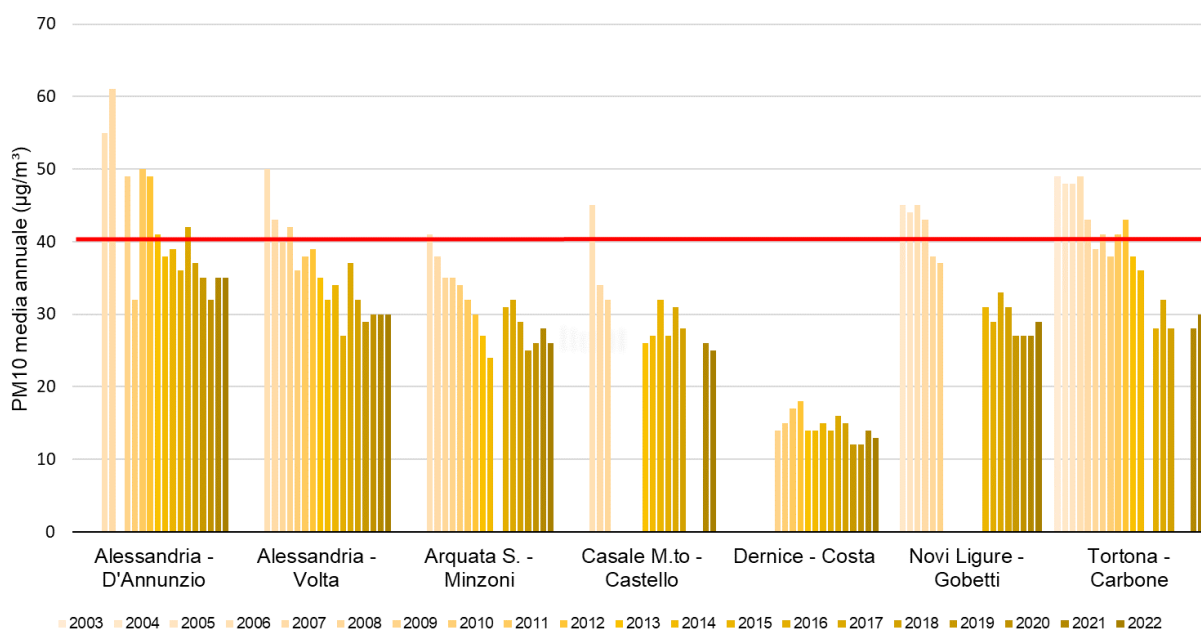


Figura 57: PM10 provincia di Alessandria: confronto medie annue

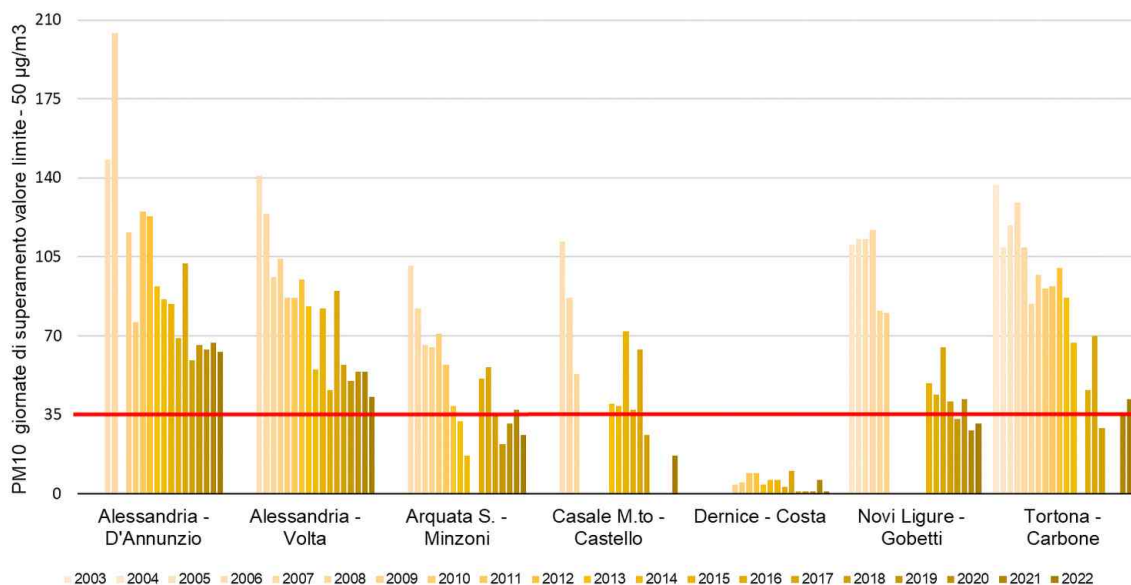


Figura 58: PM10 Provincia di Alessandria: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2022 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici della Figura 59 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 2022 (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 (2013-2021).

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: massimi di concentrazione generalmente corrispondenti a periodi sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti (come riportato nel paragrafo 4.5, estremamente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti sono stati i mesi di gennaio, febbraio e, anche se in misura minore, novembre mentre il mese di dicembre risulta essere tra i meno critici del periodo di riferimento) e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento). Tale comportamento risulta ben visibile nel grafico di Figura 60.

Relativamente al grafico di Figura 59, si osserva il comportamento particolare della stazione di fondo rurale di Dernice, che non segue l'andamento delle altre stazioni della provincia; inoltre, è possibile evidenziare la presenza di una situazione particolare per le stazioni di Alessandria e Casale nel periodo compreso tra metà gennaio e inizio febbraio 2022, 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. Si sottolinea invece come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 17-18 e 26-30 marzo e dal 20 al 23 maggio, ben visibili nei grafici, siano dovuti ad un fenomeno di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che ha interessato anche il Piemonte.

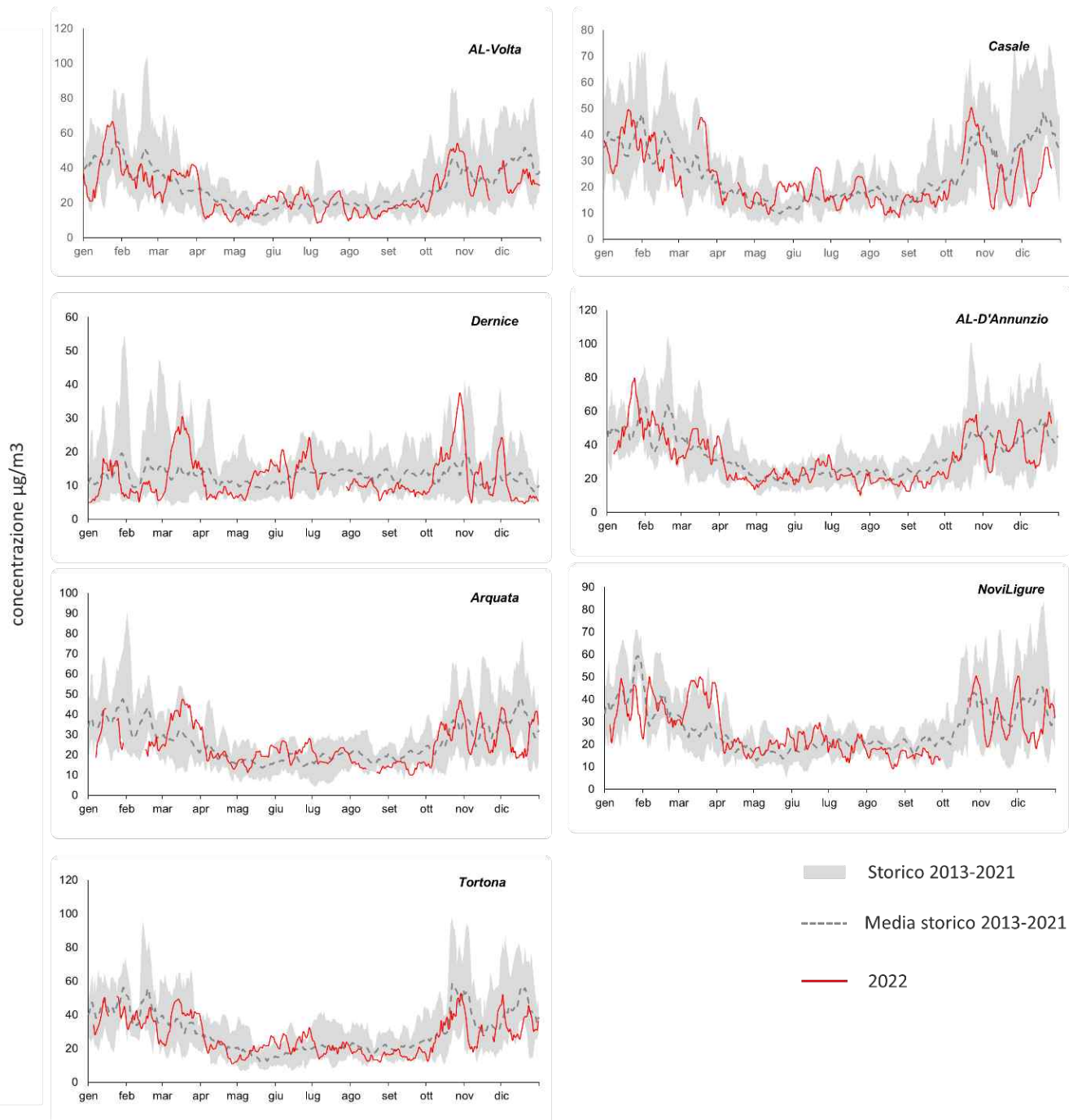


Figura 59: PM10 Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento 2013-2021.

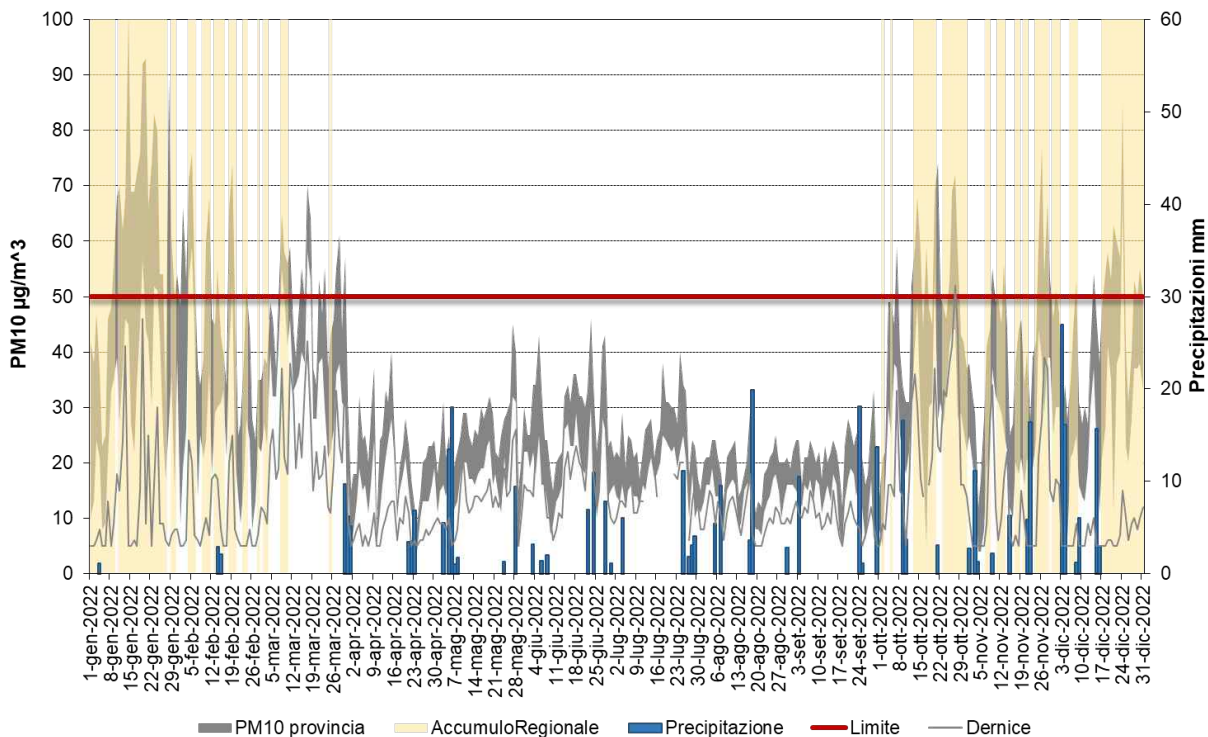


Figura 60: PM10 Range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della Provincia di Alessandria (banda grigia) in ciascun giorno del 2022, concentrazioni medie di Dernice (linea grigia) in ciascun giorno del 2022; precipitazioni cumulate giornaliere (rilevate nel capoluogo di Provincia), indicatore di accumulo regionale, limite giornaliero imposto dalla normativa

6.2.2 Benzo(a)pirene nel PM10

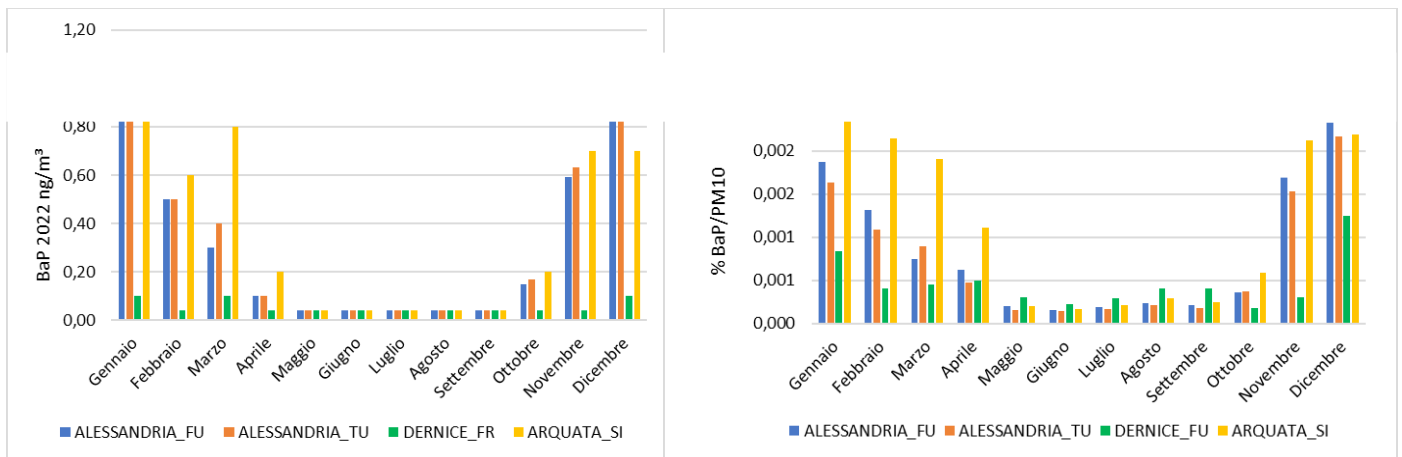
Nei grafici seguenti vengono rappresentati da un lato le concentrazioni medie mensili registrate nelle stazioni della provincia, dall'altro i valori mensili relativi alla percentuale in cui esso è presente nel PM10.

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 61.

Nel 2022 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. 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 da gennaio ad aprile e del mese di novembre risultino maggiormente arricchite di BaP rispetto alle altre stazioni.



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 è rappresentata nell'istogramma di Figura 62, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2022 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 12; Dernice mostra invece valori sempre inferiori a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 e lo si nota 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 (nitrito 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.

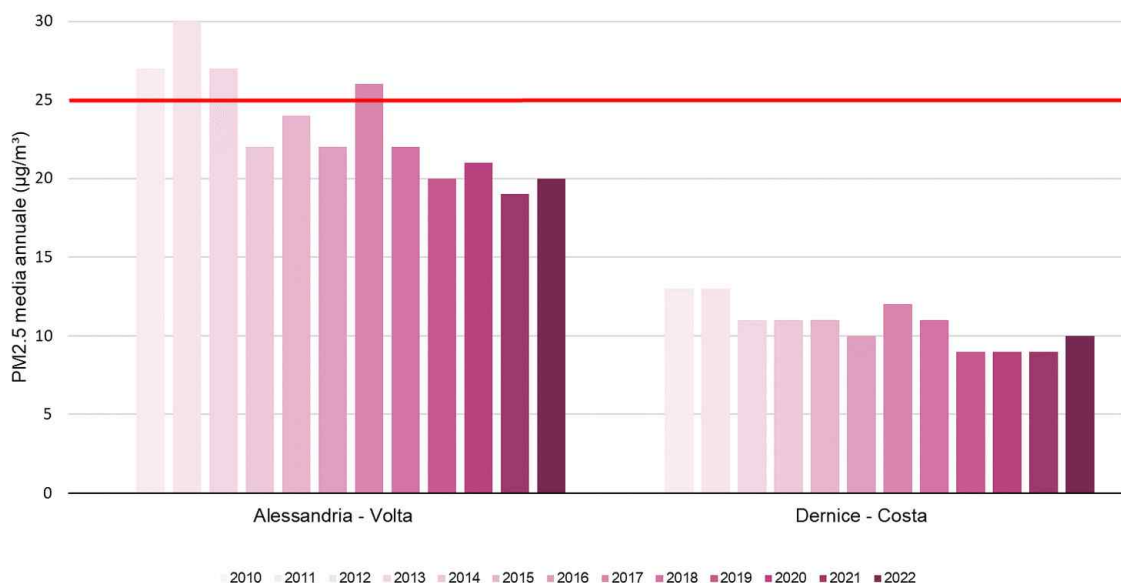


Figura 62: PM2.5 provincia di Alessandria - confronto medie annue

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 63, dove sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ registrate presso le stazioni attive nel 2022 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.

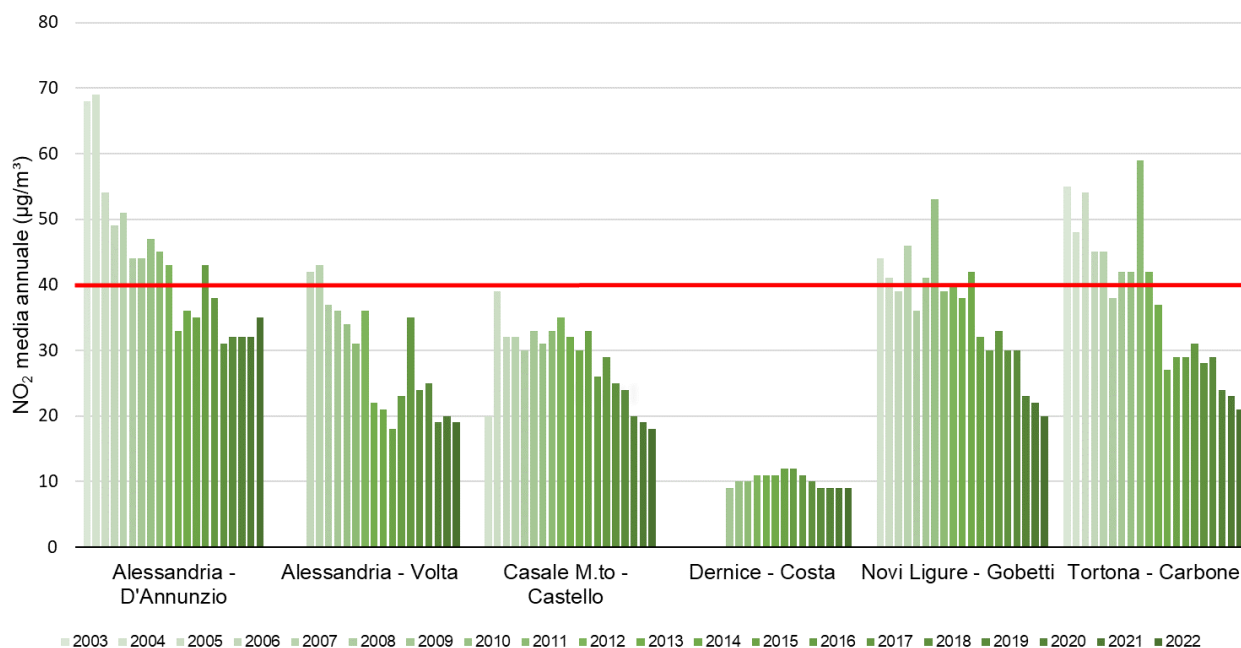


Figura 63: NO₂ Provincia di Alessandria - confronto medie annue

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 ; 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 2022 (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). 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 2022 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, in cui si evidenzia un incremento dei valori misurati rispetto alla media della serie storica, particolarmente evidente nel periodo che va da aprile a luglio 2022.

Il confronto con il 2020 relativamente al periodo dell'emergenza sanitaria (da metà marzo a metà giugno 2020) sottolinea ancora una volta come, in particolare nelle stazioni di Alessandria D'Annunzio e Tortona, le limitazioni in atto durante la pandemia abbiano portato a diminuzioni significative dell'inquinante.

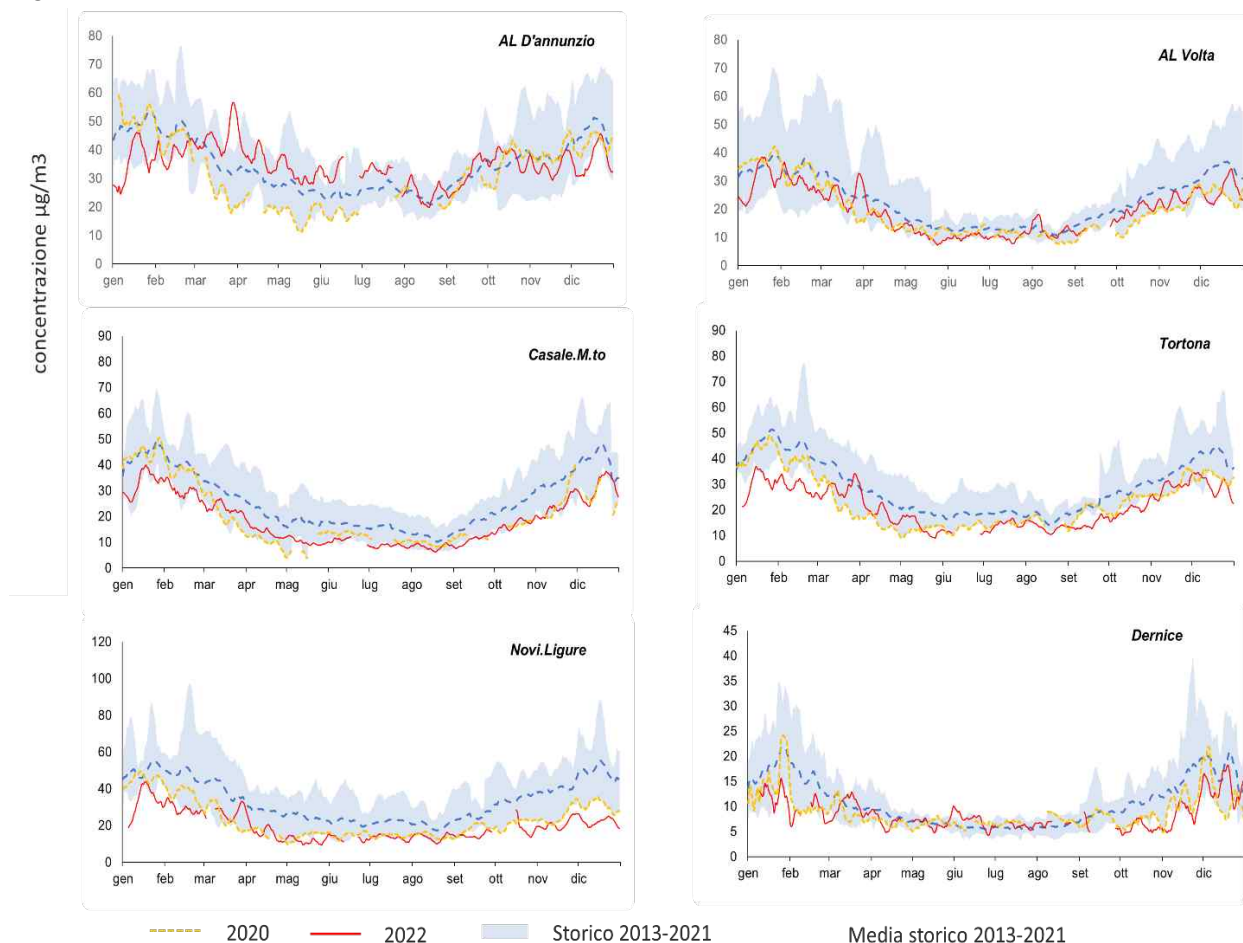


Figura 64: NO₂ Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento 2013-2021 e con il 2020

In Figura 65, 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 µg/m³) mentre nel periodo invernale i valori risultano maggiormente sovrapponibili.

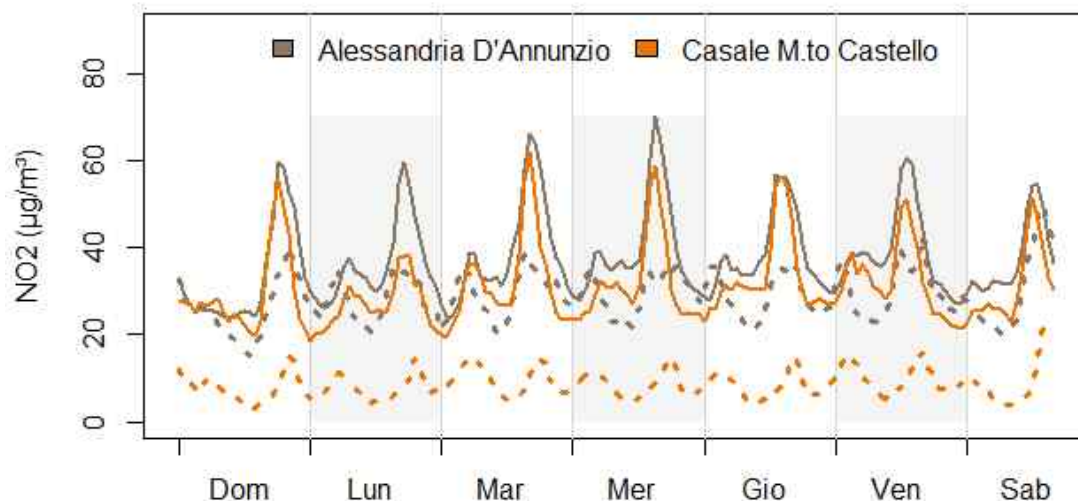


Figura 65: NO₂ Provincia di Alessandria: settimane tipo stazioni di Alessandria D'Annunzio e Casale Monferrato. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

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 66 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2022, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni (il dato attribuito al 2022 è relativo al triennio 2020-2022).

L'analisi del trend riportata nel paragrafo 5.4 evidenzia che non si riscontrano variazioni significative nel tempo in nessuna delle due stazioni considerate; viene quindi confermata una spiccata criticità legata a questo inquinante, nonostante la riduzione a livello nazionale delle emissioni di NO_x e dei composti organici non metanici (VOCNM), precursori dell'ozono.

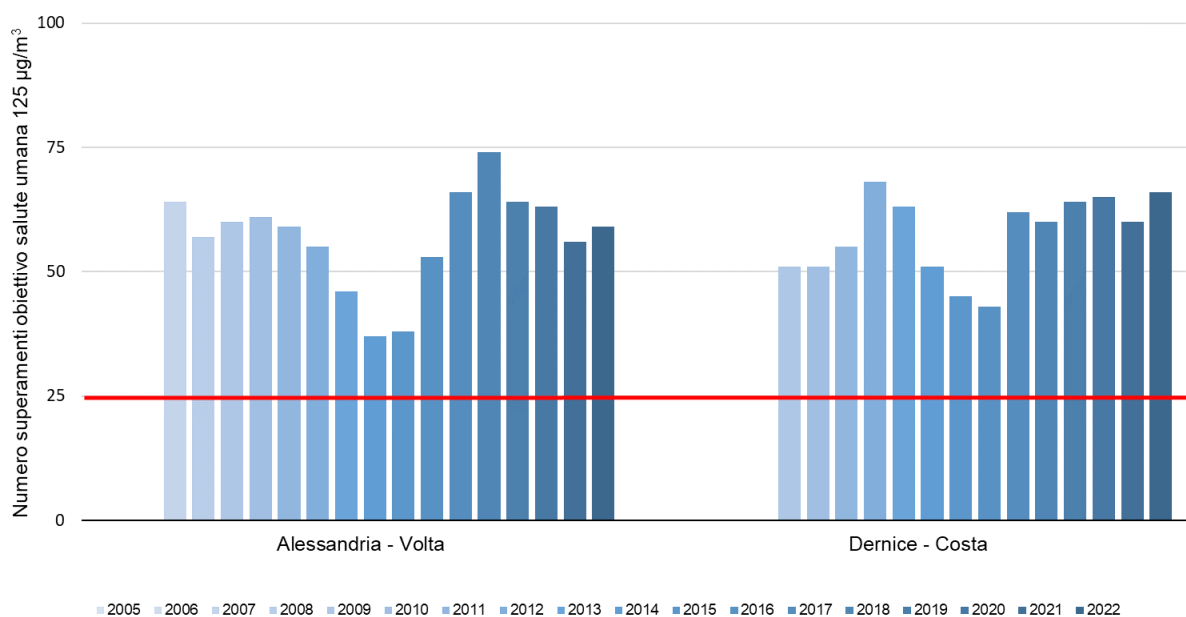


Figura 66: O₃ Provincia di Alessandria: confronto numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante nel 2022, riportato in Figura 67, si evidenziano alcuni periodi di superamento dei valori medi storici che possono essere osservati in entrambe le stazioni della rete di monitoraggio, in particolare nei periodi in cui sono stati osservati gli scostamenti termici positivi della temperatura.

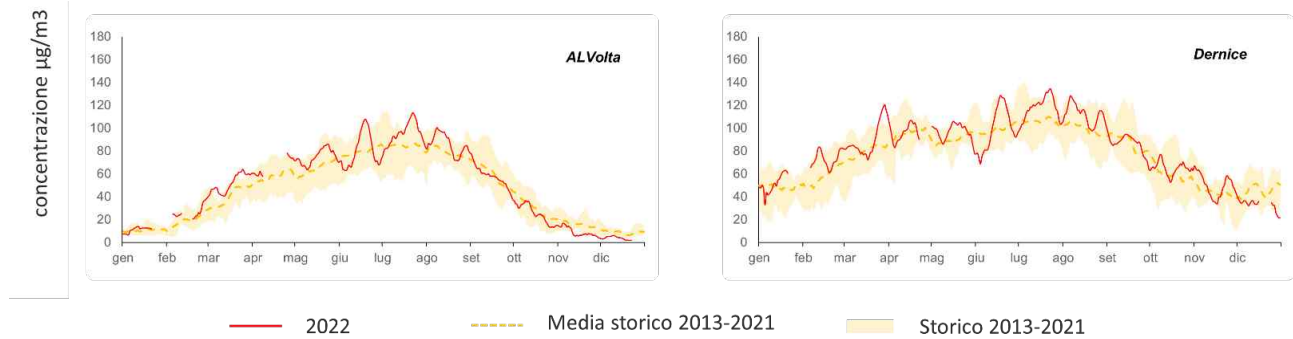


Figura 67: O₃ Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.3 Provincia di Asti

In provincia di Asti la rete di monitoraggio aria, illustrata in Figura 68, è presente con due stazioni nel capoluogo di Provincia e in un punto in area rurale presso il Comune di Vinchio.

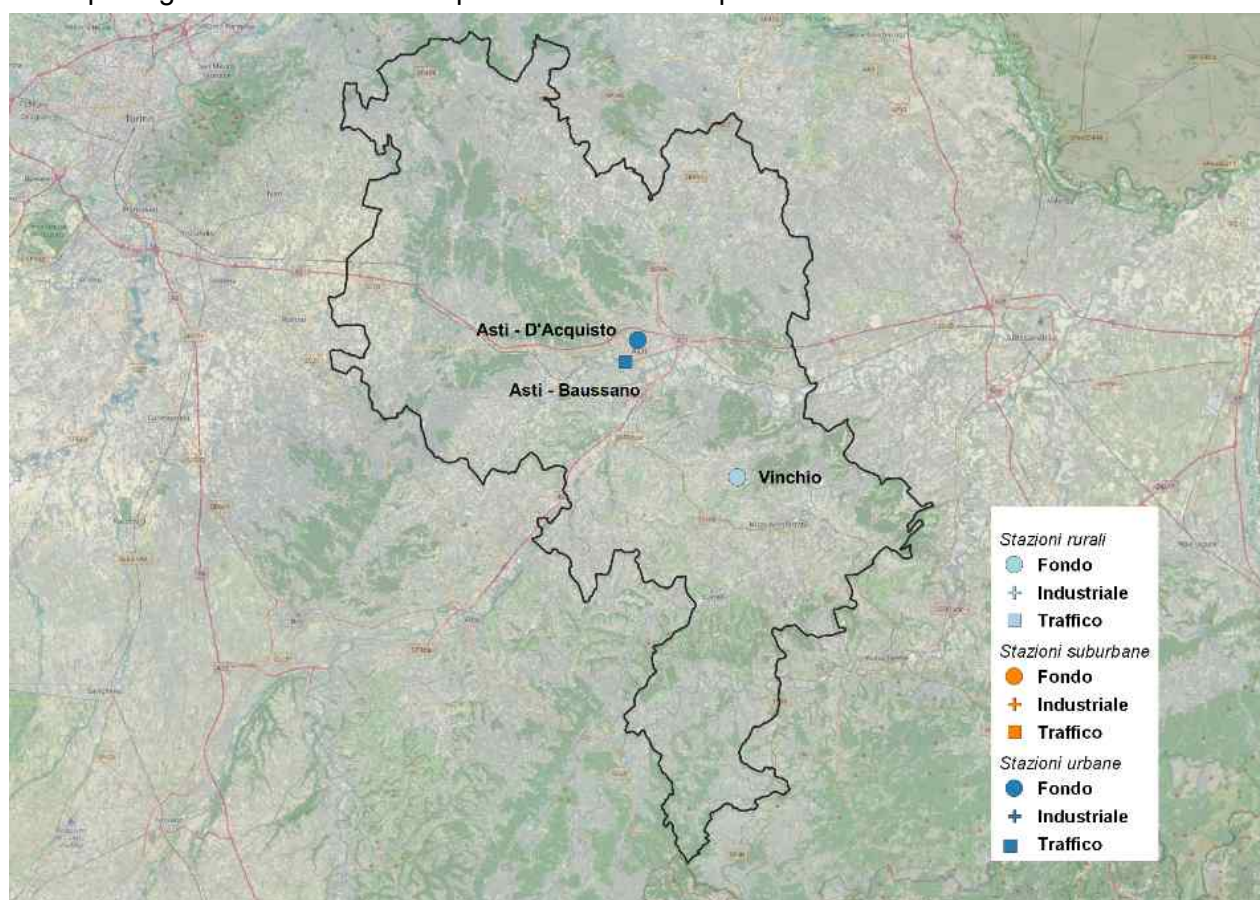


Figura 68: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Asti.

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 69 e Figura 70, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni presenti nel 2022 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2022 evidenziano valori medi annuali al di sotto del valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tutte le stazioni della rete mentre un numero di superamenti del valore limite giornaliero ancora superiore al limite di legge nelle stazioni urbane di Asti, più marcato nella stazione da traffico di Asti - Baussano rispetto a quella di fondo di D'Acquisto. Relativamente al 2022 e alla stazione da traffico di Asti - Baussano si osserva un significativo peggioramento, specie nel numero di superamenti.

Come già discusso nel paragrafo 5.1, si osserva comunque una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni (trend decrescente).

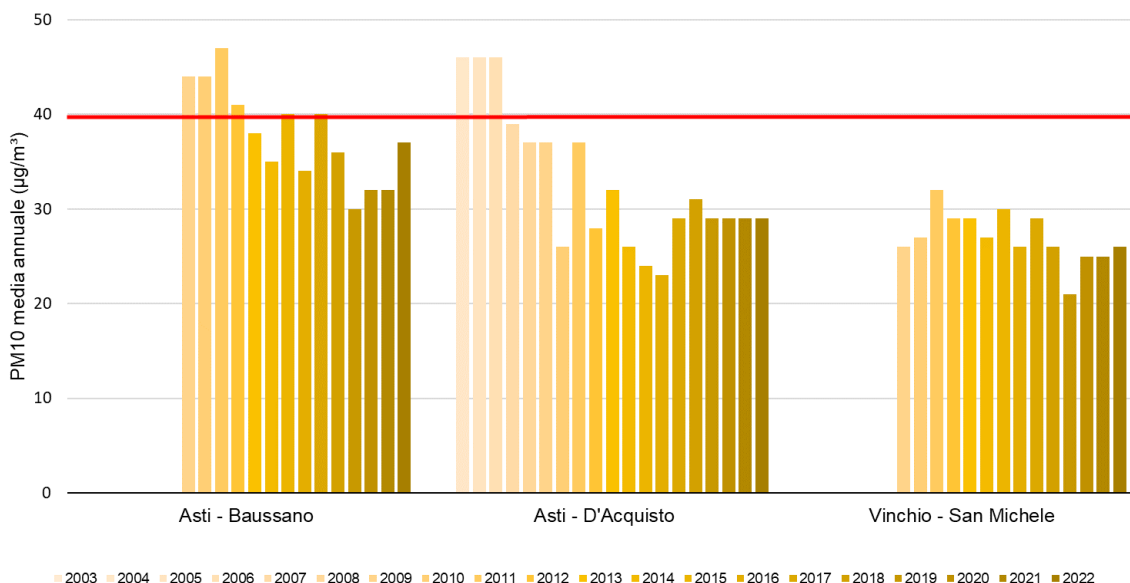


Figura 69: PM10 Provincia di Asti: confronto medie annue.

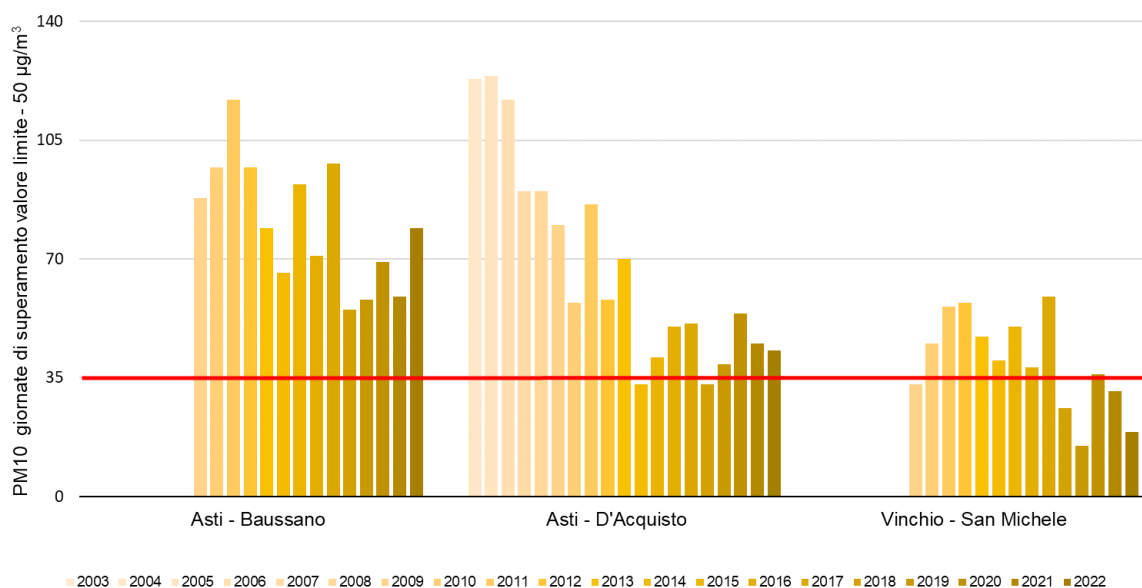


Figura 70: PM10 Provincia di Asti: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2022 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 71 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 2022 (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 (2013-2021).

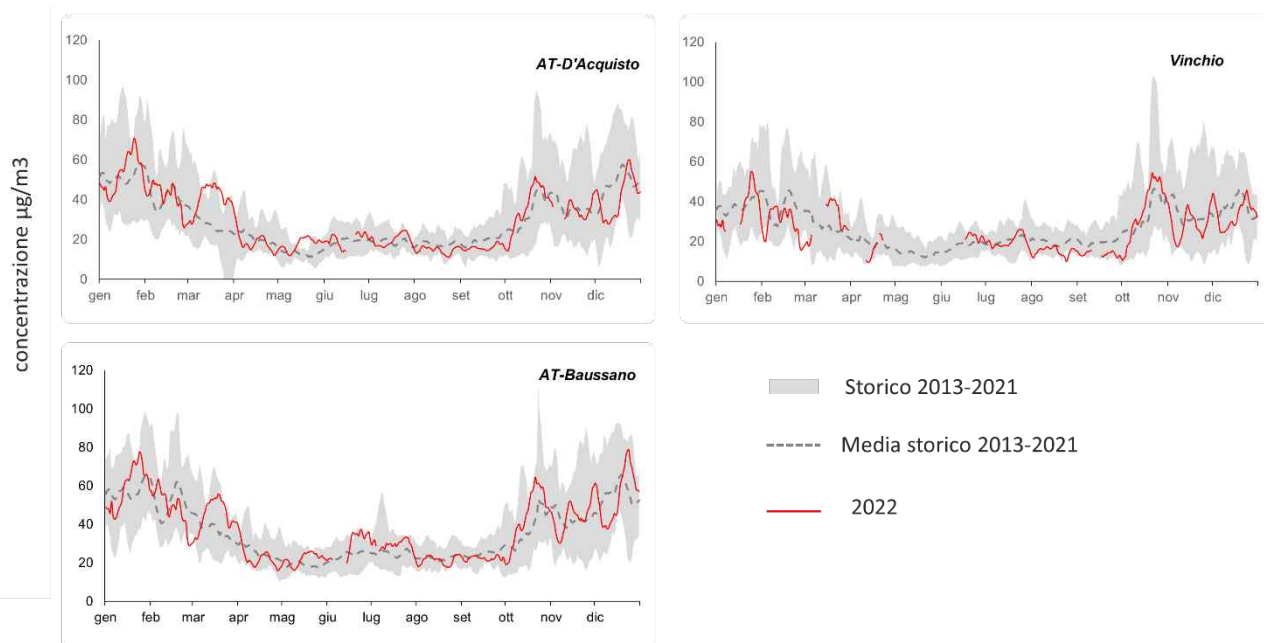


Figura 71: PM10 Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento (2013-2021)

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: massimi di concentrazione generalmente corrispondenti a periodi sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti (come riportato nel paragrafo 4.5, estremamente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti sono stati i mesi di gennaio, febbraio e, anche se in misura minore, novembre mentre il mese di dicembre risulta essere tra i meno critici del periodo di riferimento) e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento). Tale comportamento risulta ben visibile nel grafico di Figura 72 dove le concentrazioni medie giornaliere misurate dall'insieme delle stazioni della provincia di Asti nel 2022 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.

Relativamente alla Figura 71, è possibile evidenziare la presenza di una situazione particolare per tutte le stazioni nel periodo compreso tra metà gennaio e inizio febbraio 2022, 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 (grafico Figura 72). Si sottolinea invece come il picco di concentrazioni rilevato da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 17-18 e 26-30 marzo, ben visibile nei grafici, sia dovuto ad un fenomeno di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che ha interessato anche il Piemonte. Meno evidente invece il fenomeno di sabbie sahariane registrato dal 20 al 23 maggio. Da evidenziare anche nella stazione di Asti - Baussano un innalzamento dei valori nella seconda metà di dicembre 2022, probabilmente attribuibile a fenomeni di inquinamento locale.

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 1.5 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

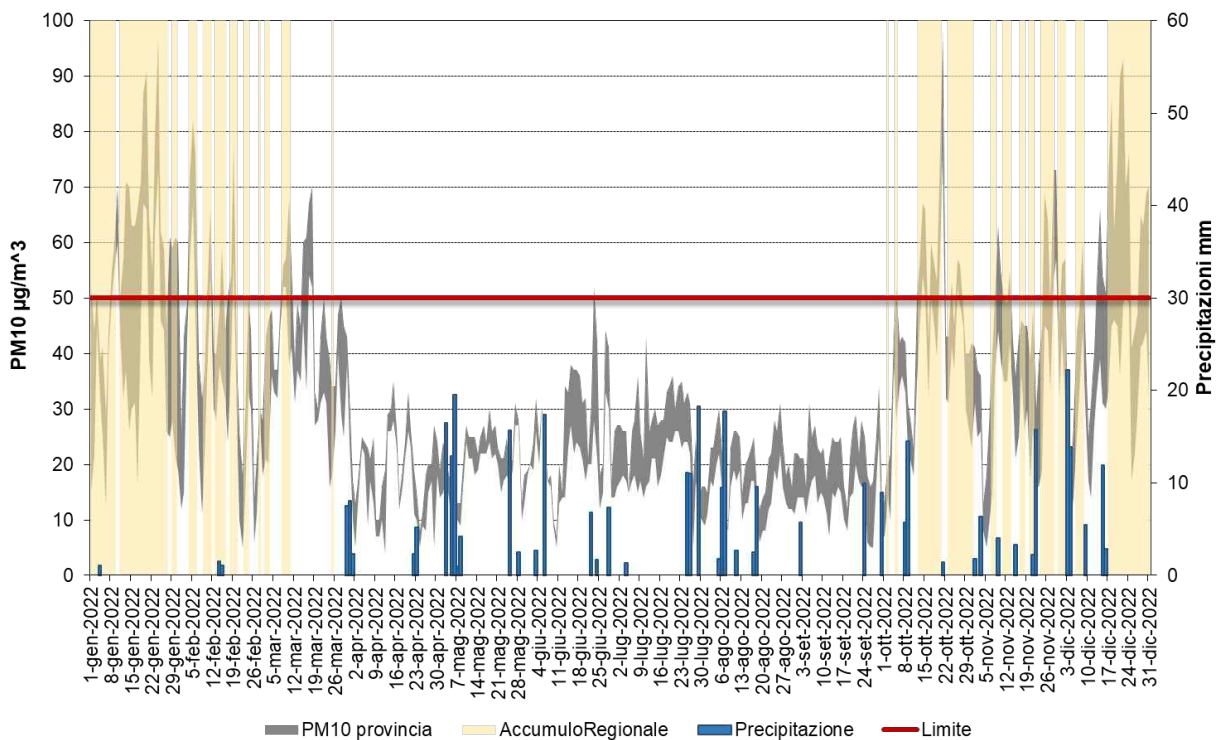


Figura 72: PM10 Range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della Provincia di Asti (banda grigia) in ciascun giorno del 2022; precipitazioni cumulate giornaliere (rilevate nel capoluogo di Provincia), indicatore di accumulo regionale, limite giornaliero imposto dalla normativa.

6.3.2 Benzo(a)pirene nel PM10

Nel 2022 non si osservano superamenti del valore obiettivo presso nessuna delle stazioni provinciali ove è determinato il parametro, come dettagliato nel paragrafo 5.5.

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 si può osservare, 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, 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 73).

Anche per il 2022 la stazione con le concentrazioni più elevate di BaP nel PM10 risulta essere quella di Asti - Baussano, senza comunque superamenti del valore obiettivo, come descritto nel paragrafo 5.5. Nella stazione di fondo rurale di Vinchio si evidenzia un incremento nei valori medi del parametro relativi al mese di dicembre 2022, che non era stato riscontrato nel 2021, probabilmente attribuibile ad un maggior utilizzo di biomassa legnosa come combustibile domestico.

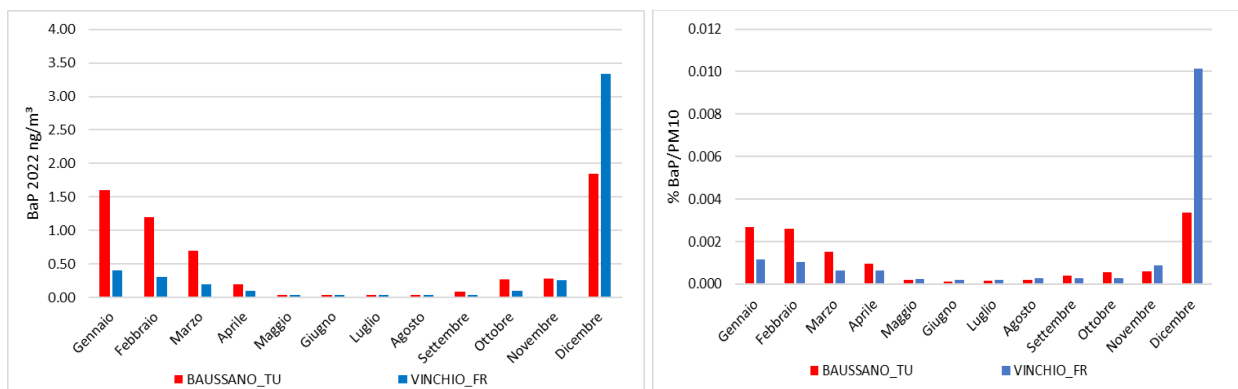


Figura 73: benzo(a)pirene nella provincia di Asti: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di BaP nel PM10 anno 2022

6.3.3 Particolato sospeso: PM2.5

Analogamente al PM10, la situazione osservata anno per anno dalle due stazioni della rete provinciale dove viene misurato il PM2.5 è rappresentata nell'istogramma di Figura 74, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2022 a partire, ove disponibili, dai dati del 2010. Come visibile, i valori determinati nel 2022 sono perfettamente comparabili con quelli dell'anno precedente e i valori misurati nella stazione di Vinchio leggermente 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.

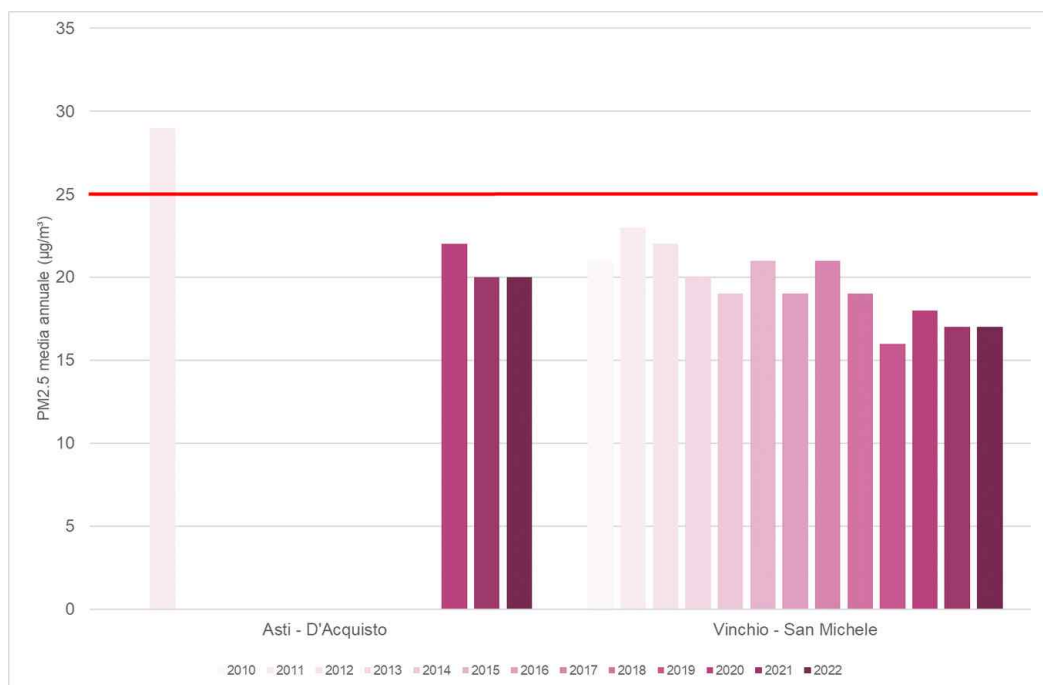


Figura 74: PM2.5 Provincia di Asti: confronto medie annue.

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 75, dove sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ registrate presso le stazioni attive nel 2022 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 del 36% circa 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.

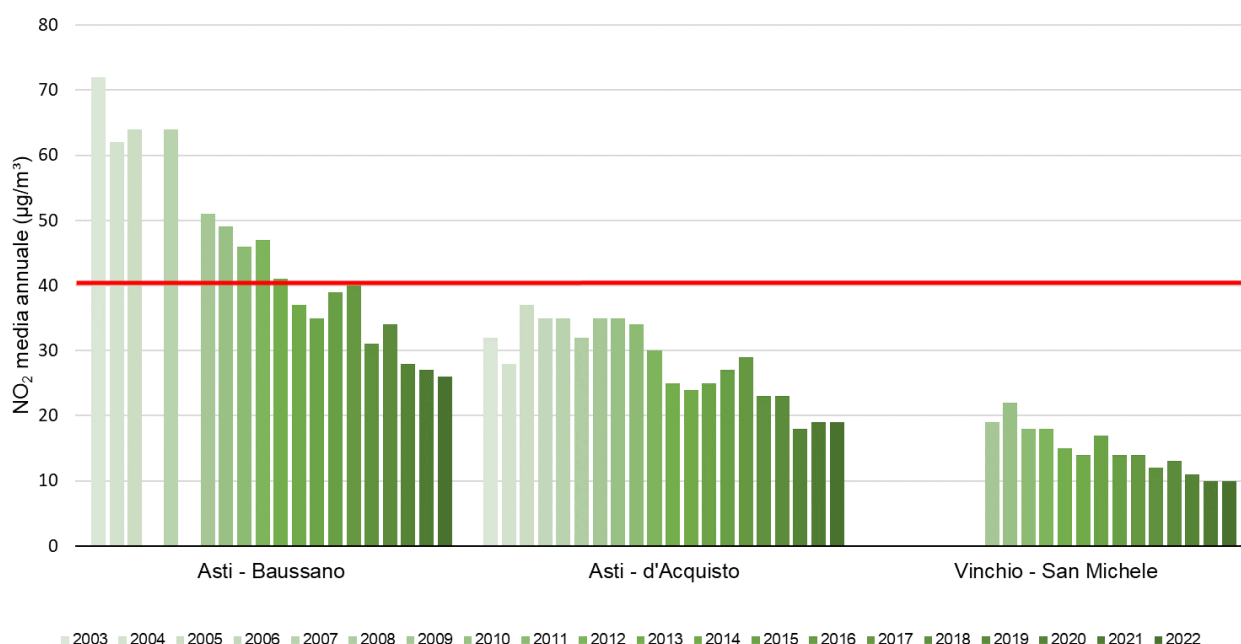


Figura 75: NO₂ Provincia di Asti: confronto medie annue.

Analogamente al PM₁₀, le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂, misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2022 da ciascuna stazione della provincia, sono riportate in Figura 76 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Le concentrazioni del 2022 (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). Per completezza vengono raffigurati anche i dati del 2020 (in arancione tratteggiato). 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 2022 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 maggio, attribuibile a fenomeni locali. Il confronto con il 2020, relativamente al periodo dell'emergenza sanitaria (da metà marzo a metà giugno 2020), sottolinea ancora una volta come, in particolare nelle zone urbane, le limitazioni in atto durante la pandemia abbiano portato a diminuzioni significative dell'inquinante.

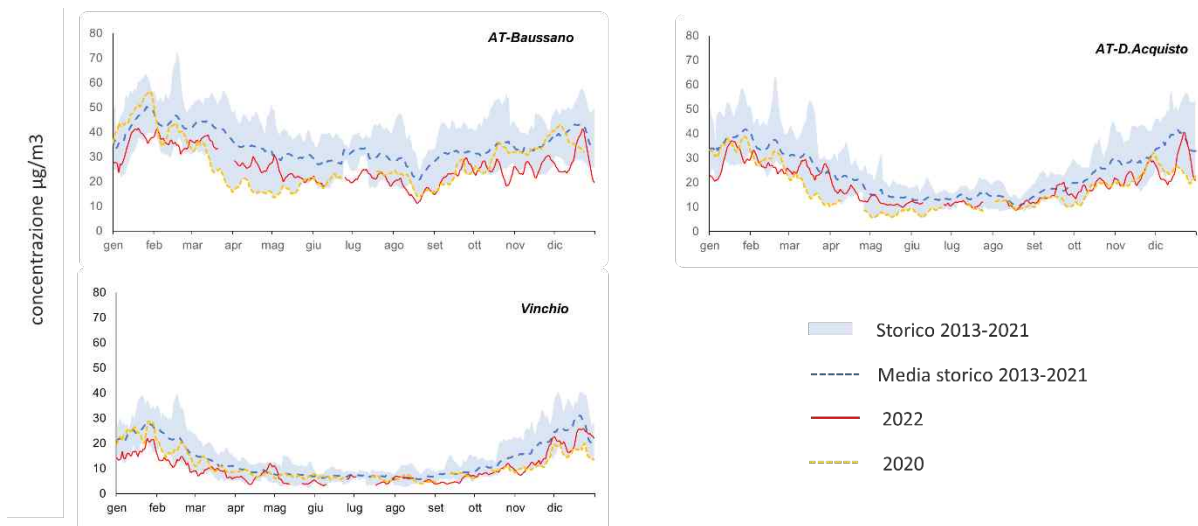


Figura 76: NO₂ Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento (2013-2021) e con il 2020

In Figura 77, 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.

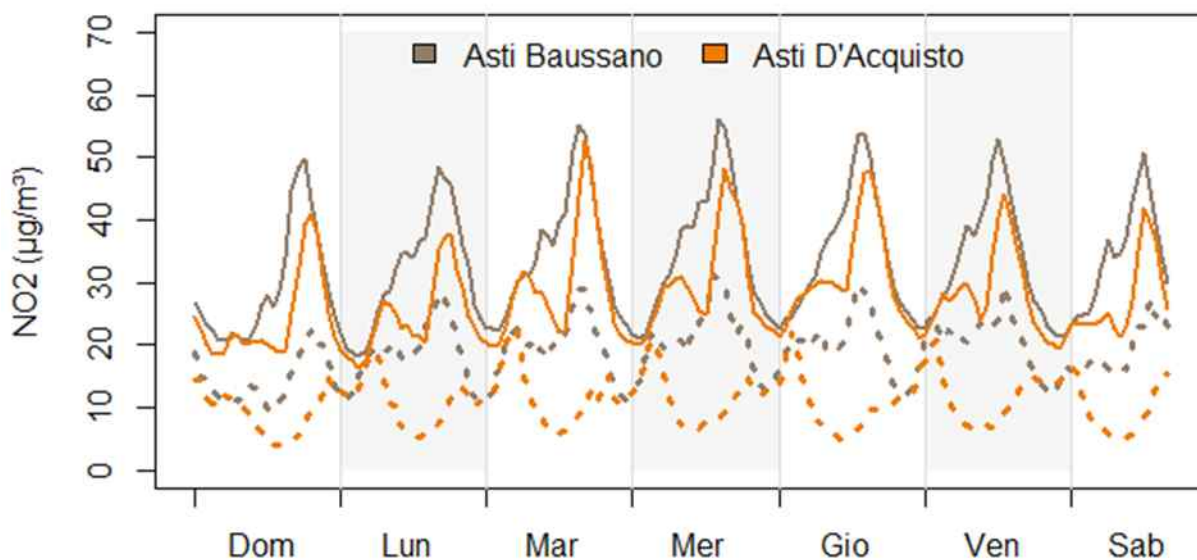


Figura 77: NO₂ settimane tipo stazioni di Asti Baussano e Asti D'Acquisto

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 78 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2022, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni (il dato attribuito al 2022 è relativo al triennio 2020-2022).

Il numero medio dei giorni di superamento dell'ultimo triennio permane al di sopra della soglia prevista per entrambe le stazioni considerate. Nonostante il confronto con i limiti specifici per questo inquinante risulti ancora critico e la tendenza alla riduzione sia evidente rispetto al passato (quantificata con test statistici nel paragrafo 5.4), è possibile osservare come negli ultimi anni la situazione si sia praticamente stabilizzata, soprattutto nella stazione di fondo urbano, con piccole variazioni legate soprattutto alle condizioni metereologiche annuali.

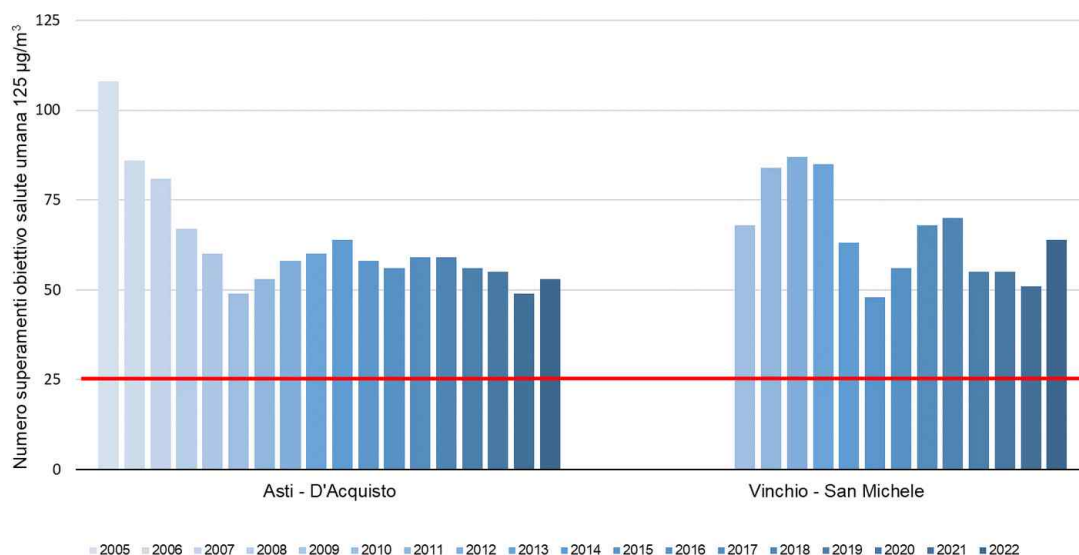


Figura 78: O₃ Provincia di Asti: confronto superamenti del valore obiettivo per la salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante del 2022, illustrato in Figura 79, 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, in particolare nei periodi in cui sono stati osservati gli scostamenti termici positivi della temperatura descritti nel paragrafo 4.5.

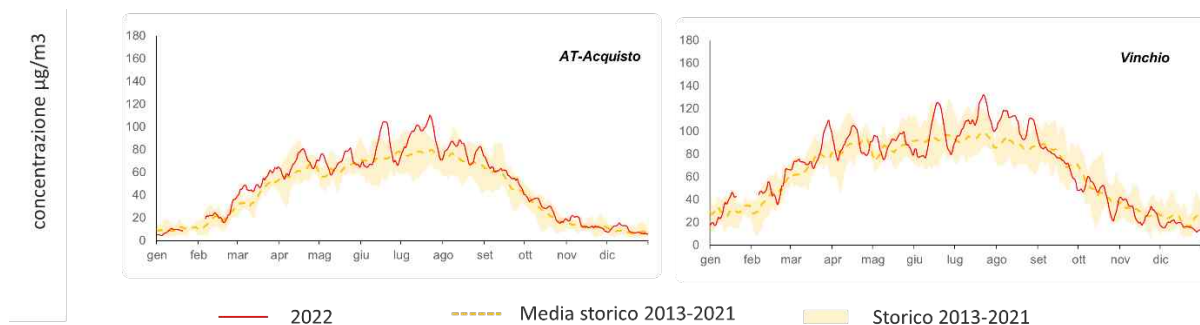


Figura 79: O₃ Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.4 Provincia di Biella

In provincia di Biella, secondo quanto previsto dall'ultimo Programma di valutazione della qualità dell'aria ambiente (D.G.R. 30 dicembre 2019, n. 24-903), le stazioni della Rete Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria si trovano 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 80.

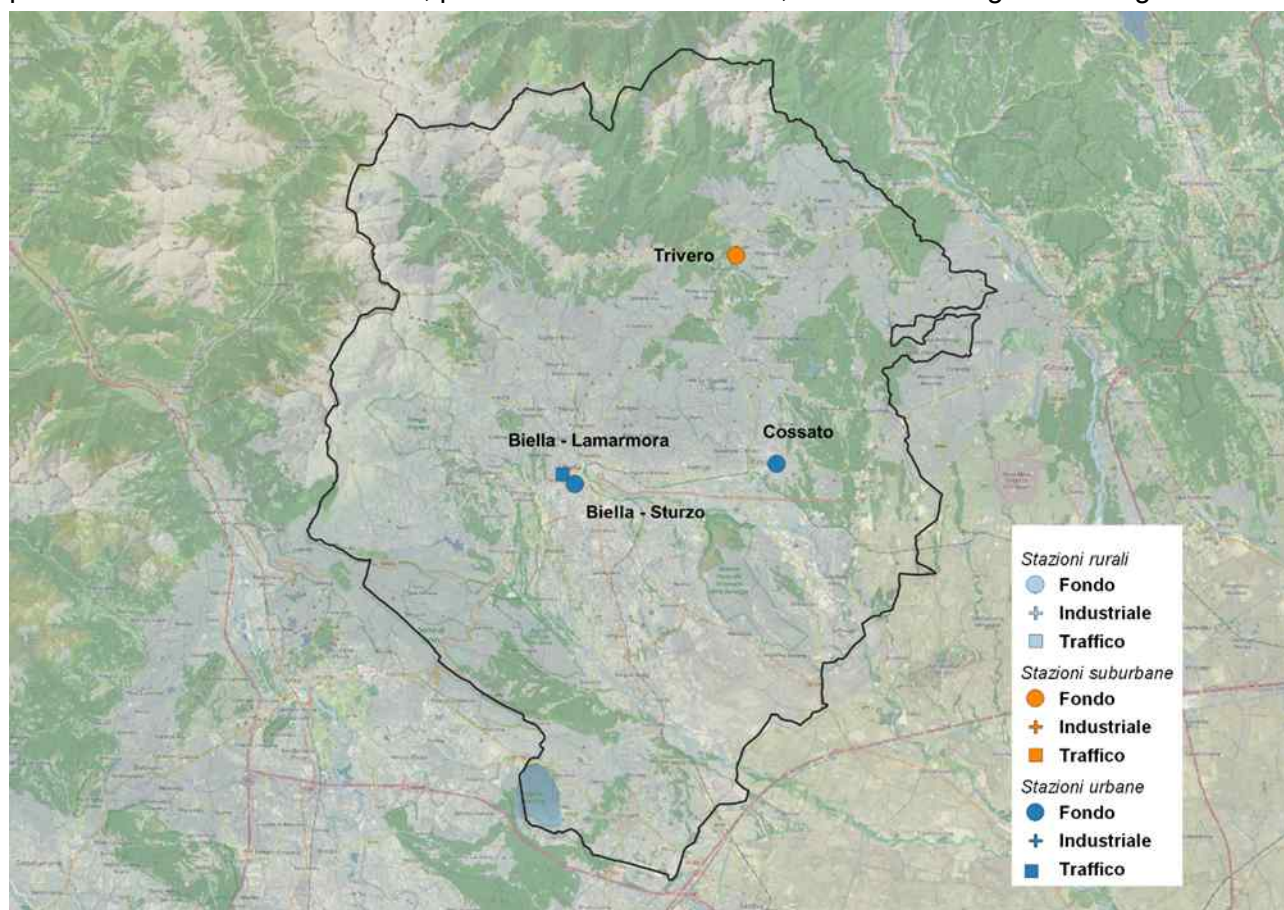


Figura 80: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Biella

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 81 e Figura 82, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2022 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 2022 mostra un lieve peggioramento delle concentrazioni medie annue, imputabili principalmente alle condizioni di stabilità atmosferica (alta pressione e assenza di precipitazioni), favorevoli all'accumulo degli inquinanti, che hanno caratterizzato l'anno e in particolare il primo trimestre.

I dati del 2022 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.

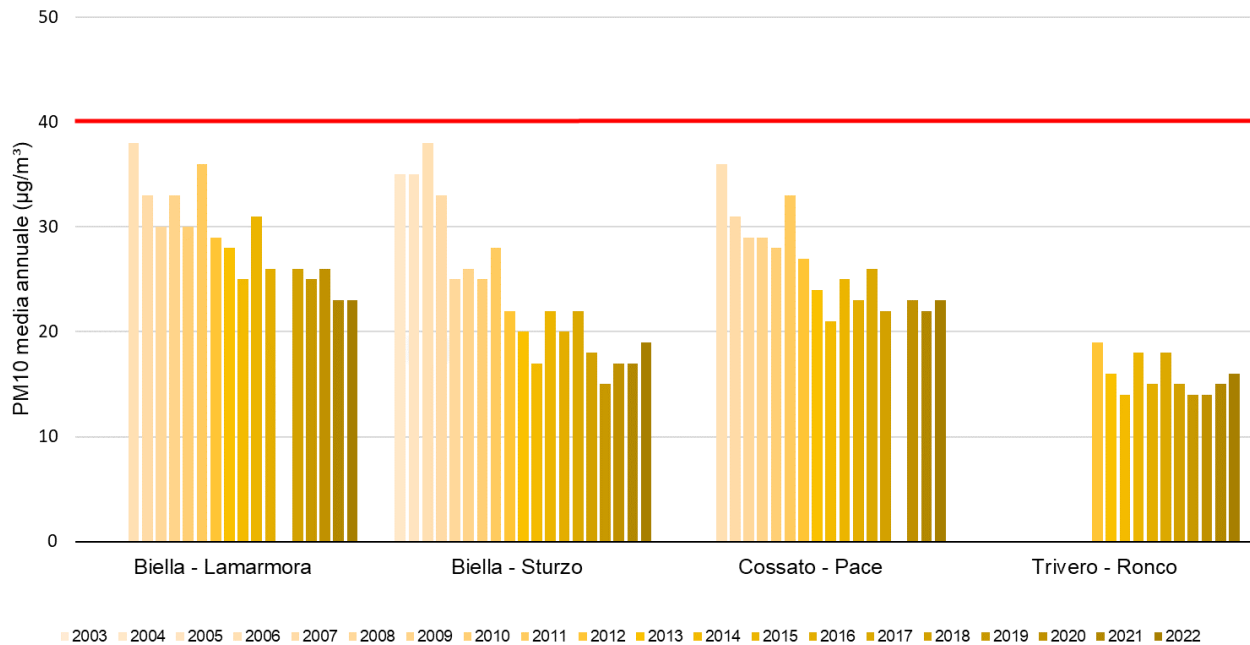


Figura 81: PM10 provincia di Biella: confronto medie annue

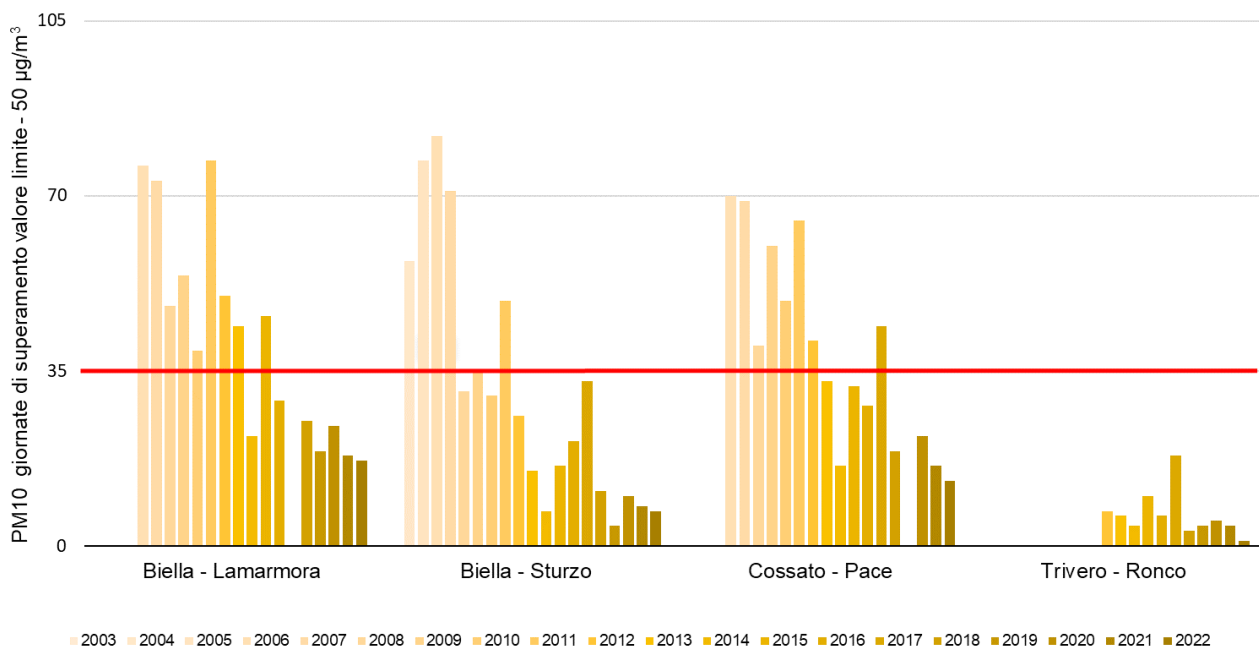


Figura 82: PM10 provincia di Biella: numero di superamenti del limite giornaliero

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2022 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2021 sono riportate nella Figura 83. 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 2022 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia) e medi (linea grigio scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2021 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 significativi rispetto agli anni precedenti (area grigia), se non nei primi mesi dell'anno, che, come detto, sono stati caratterizzati da frequenti e intensi periodi di stagnazione atmosferica, che hanno favorito la formazione e l'accumulo dell'inquinante. Si rileva un altro periodo di accumulo nel periodo ottobre-novembre.

Si evidenzia come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 16-18 marzo, negli ultimi giorni del mese e dal 20 al 23 maggio (meno evidente), siano dovuti a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che hanno interessato anche il Piemonte.

In tutte le stazioni, inoltre, nel periodo estivo si evidenziano picchi di PM10 con concentrazioni non particolarmente elevate, ma comunque superiori alla media del periodo di riferimento.

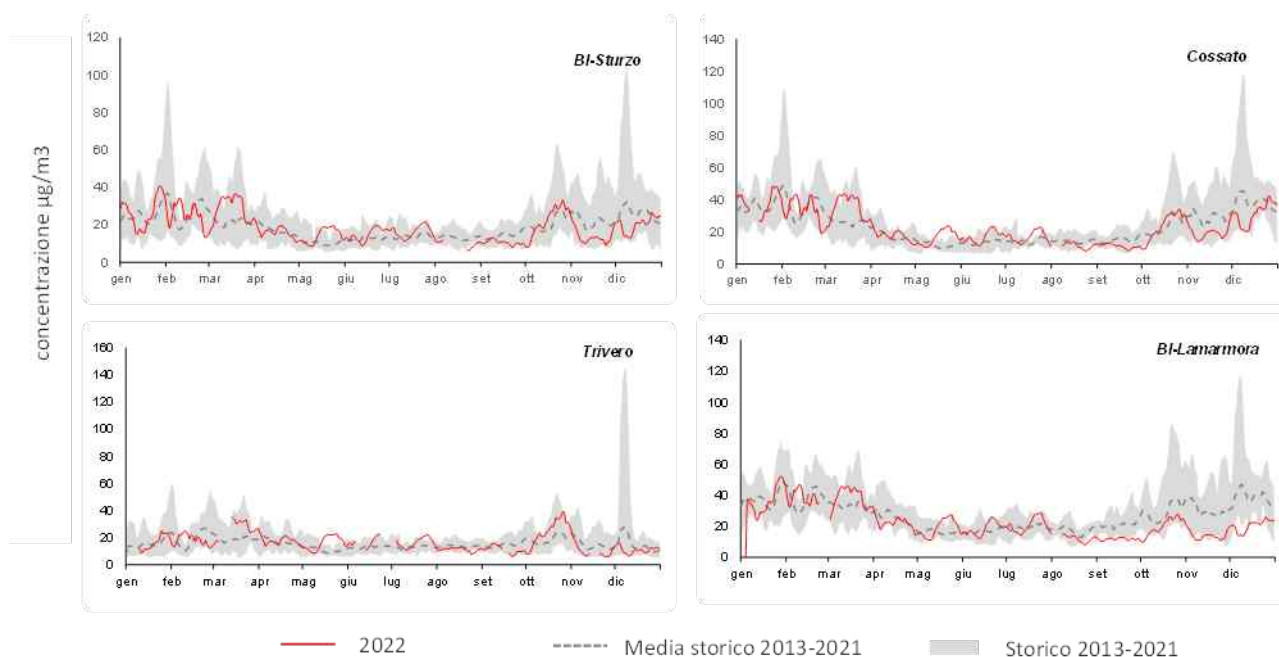


Figura 83: PM10 Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 84, 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 2022 (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.

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 1.5 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

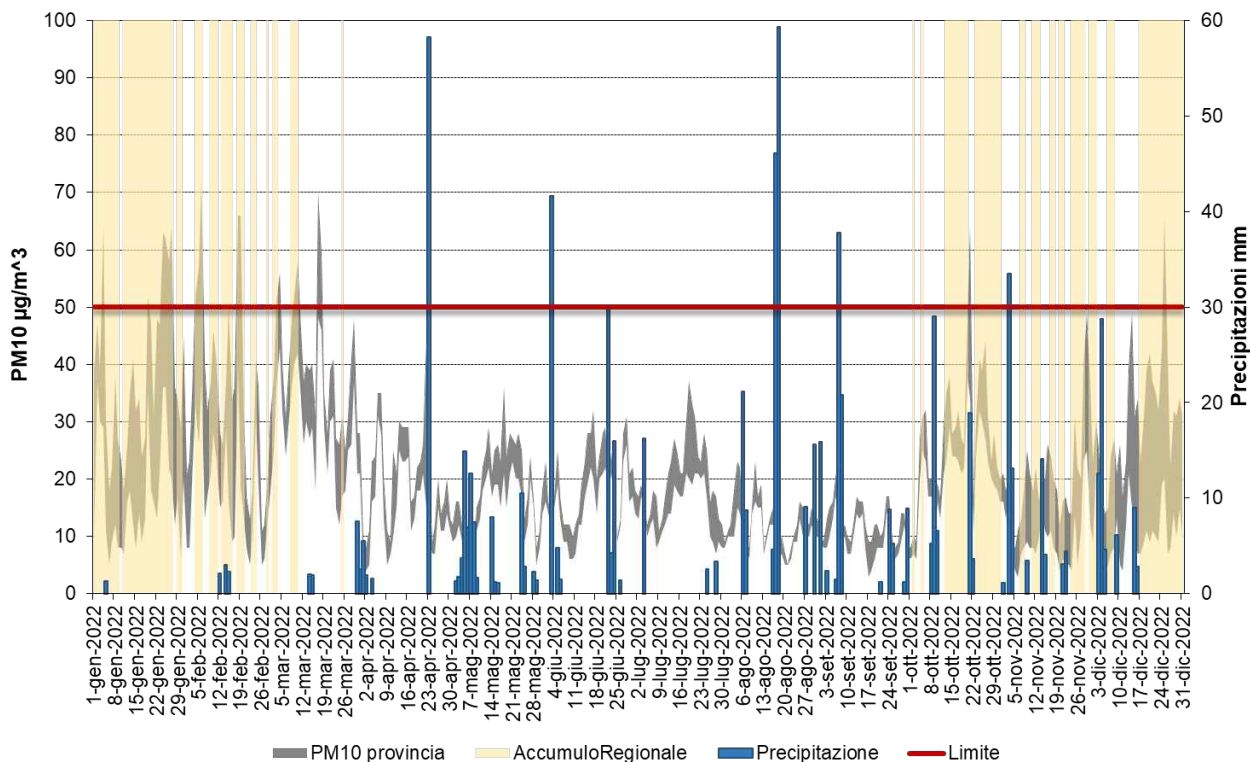


Figura 84: PM10 Provincia di Biella: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2022; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Biella; indicatore di accumulo regionale.

6.4.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 85 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.

Osservando la Figura 85, si può notare come in tutti i punti di misura della provincia (Biella Sturzo, Biella Lamarmora, Cossato e Trivero) nell'anno 2022, analogamente agli anni precedenti, le concentrazioni di media annua di Benzo(a)pirene nel PM10 risultino ampiamente inferiori al valore obiettivo fissato dalla normativa ($1,0 \text{ ng/m}^3$), 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.

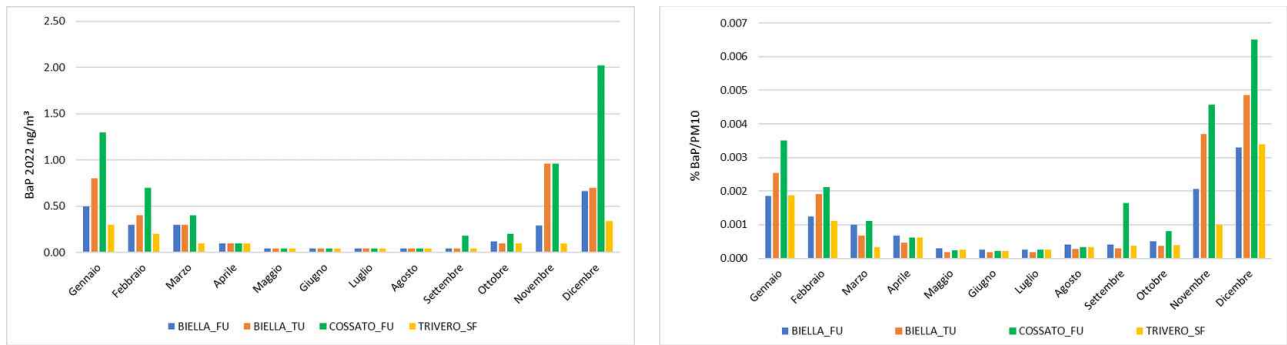


Figura 85: Benzo(a)pirene provincia di Biella: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2022

6.4.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 86, 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 2022 si è registrato un lieve incremento nelle concentrazioni medie annue rispetto al 2021.

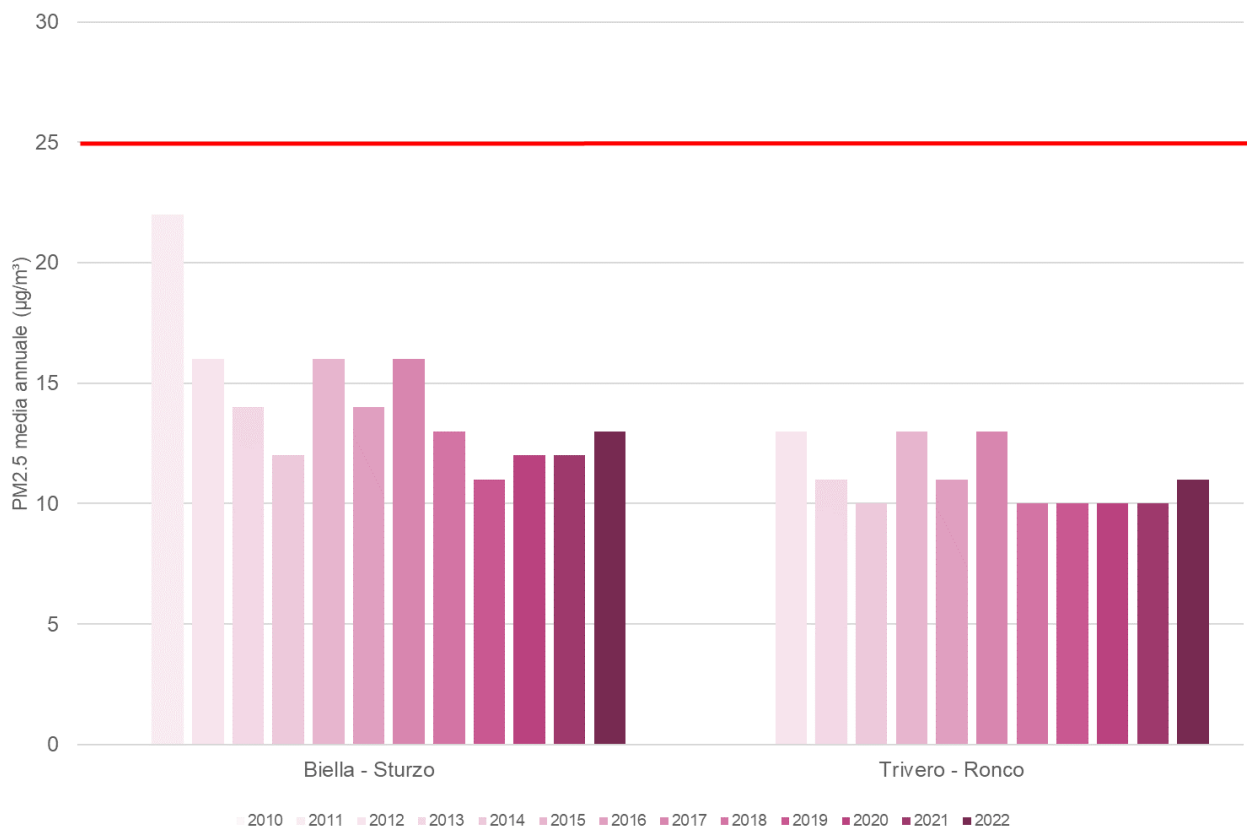


Figura 86: PM2,5 provincia di Biella: confronto medie annue

6.4.4 Biossido di azoto (NO₂)

Nella Figura 87 sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ rilevate presso le stazioni della rete provinciale, ove disponibili, a partire dall'anno 2003 ed attive nel 2022, da cui si evince che nel 2022 il valore limite annuale 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 Biella - Lamarmora in cui nell'anno 2022 la concentrazione media è stata pari a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, come nell'anno precedente.

Nelle restanti stazioni di fondo urbano di Biella (Biella - Sturzo) e Cossato le medie si attestano rispettivamente a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre la stazione di fondo suburbana di Trivero ha presentato il dato più basso della provincia, pari a 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

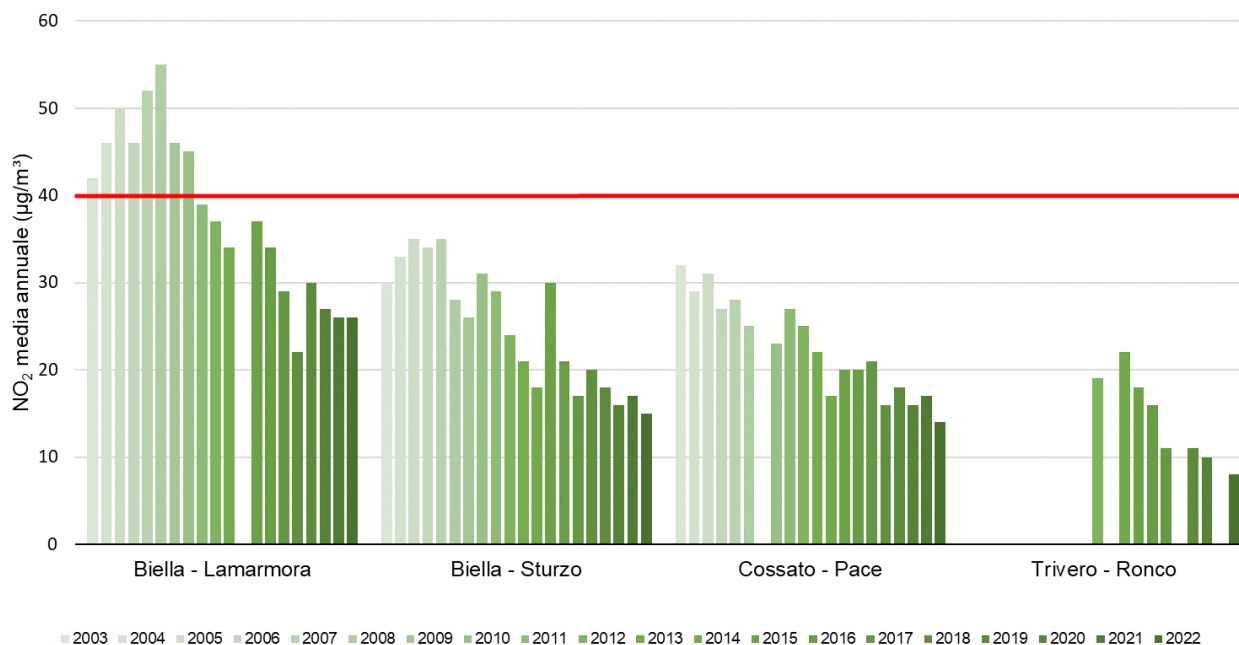


Figura 87: NO₂ provincia di Biella: confronto medie annue

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 88 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 2022 (linea rossa) mostrano livelli prossimi o inferiori alla media del periodo di riferimento 2013-2021 (linea blu tratteggiata, minimi e massimi banda azzurra), in maniera più evidente per le stazioni Biella - Sturzo e, soprattutto, Trivero. L'andamento dell'inquinante nel 2022 mostra in alcuni periodi concentrazioni medie inferiori anche rispetto a quelle rilevate nel 2020 (linea gialla), ad eccezione del periodo di maggiori restrizioni alle attività e alla mobilità introdotte per il contenimento dell'emergenza epidemiologica da COVID-19 (periodo metà marzo-inizio maggio 2020).

Le variazioni riscontrate sembrano confermare per l'inquinante la tendenza decrescente individuata nella maggior parte delle stazioni della rete negli ultimi anni.

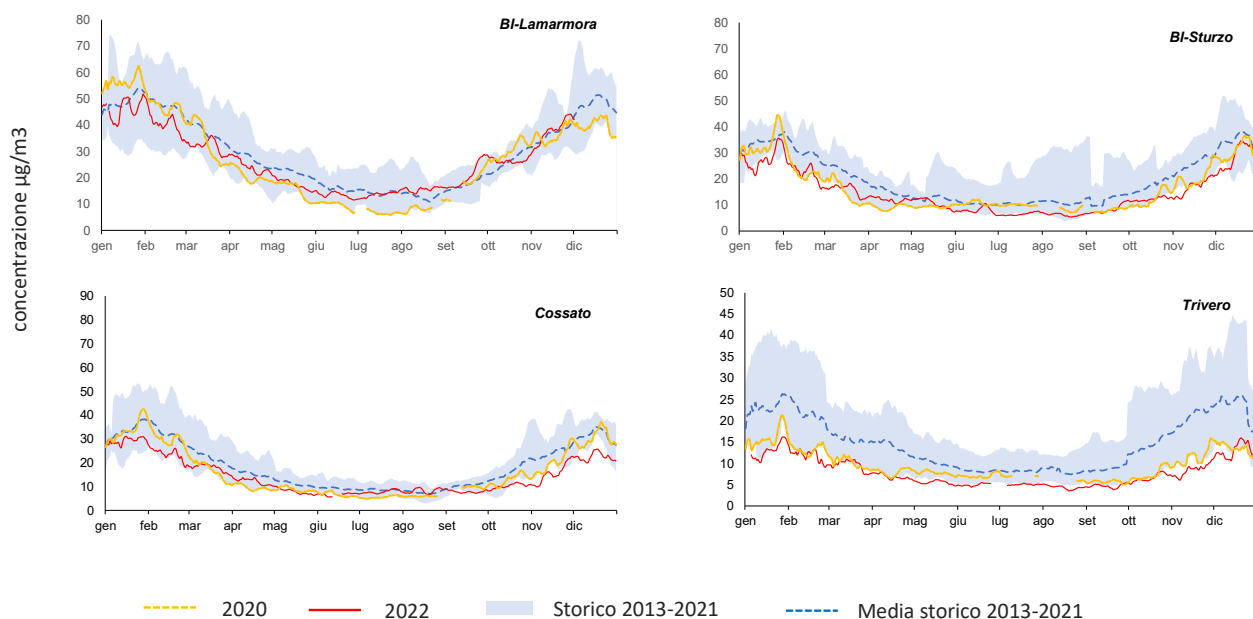


Figura 88 – NO₂ Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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 2022, 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 89), rilevati nella stazione di fondo urbana di Biella - Sturzo (linea grigia) e di traffico di Biella - Lamarmora (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 in cui la stazione di traffico di Biella - Lamarmora si allinea a quella di fondo. Tale fenomeno è presumibilmente dovuto alla riduzione delle attività antropiche ed in particolare all’assenza del contributo emissivo degli impianti di riscaldamento. 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.

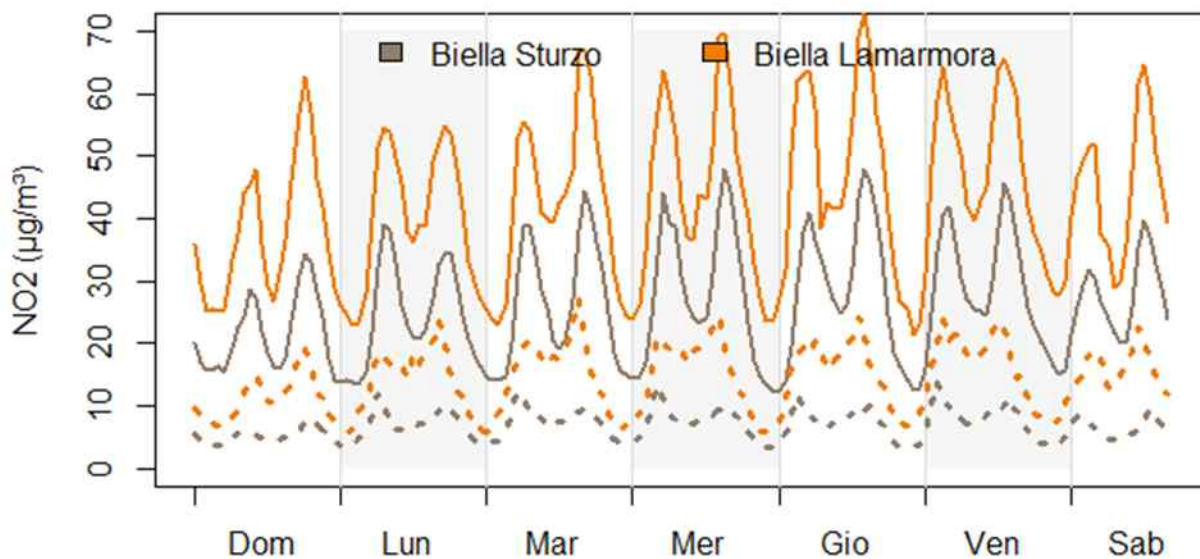


Figura 89 - NO₂ Provincia di Biella: settimane tipo stazioni di Biella Sturzo e Biella Lamarmora

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 90 è riportato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana, da non superarsi per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni, rilevati dal 2005 al 2022.

Nelle stazioni della provincia di Biella, come già evidenziato a livello regionale, si conferma il persistere della criticità legata a questo inquinante, con concentrazioni in aumento nel 2022. Le condizioni climatiche che hanno caratterizzato i mesi estivi dell'anno, con periodi siccitosi e temperature elevate, hanno favorito lo sviluppo e la permanenza di elevate concentrazioni di ozono troposferico.

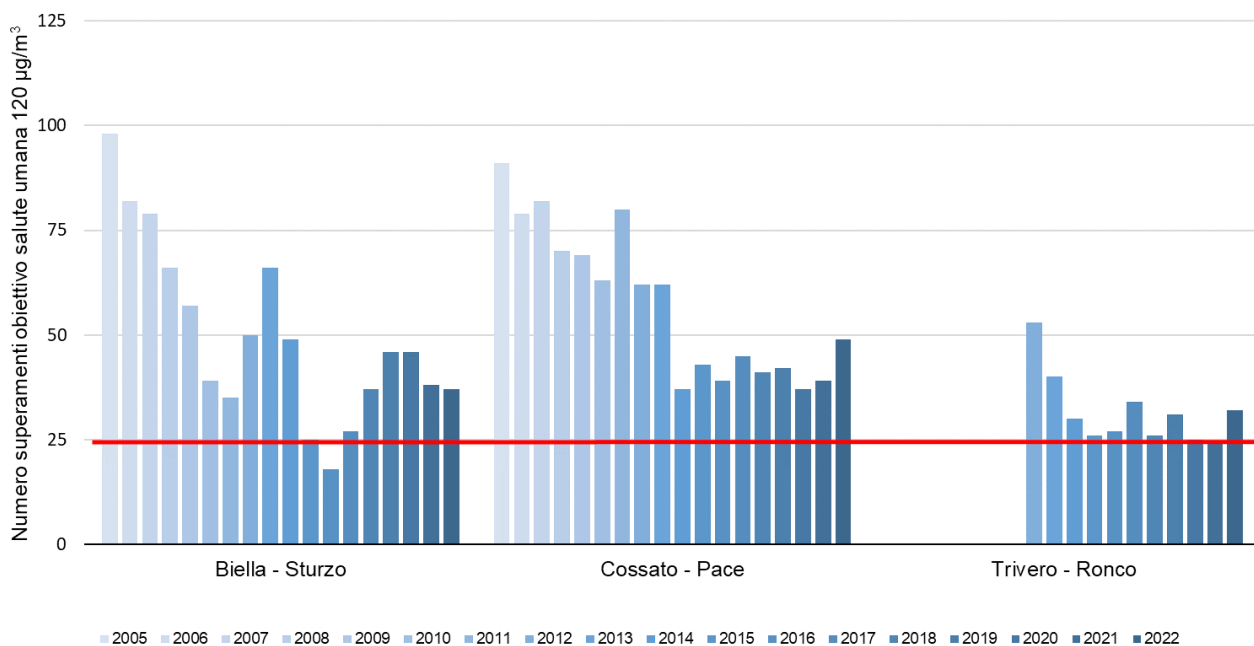


Figura 90 - O₃: numero superamenti obiettivo salute umana

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 91 nel 2022 (linea rossa) si evidenziano alcuni periodi di scostamento rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2021, per entrambe le stazioni della rete, in particolare nel periodo estivo.

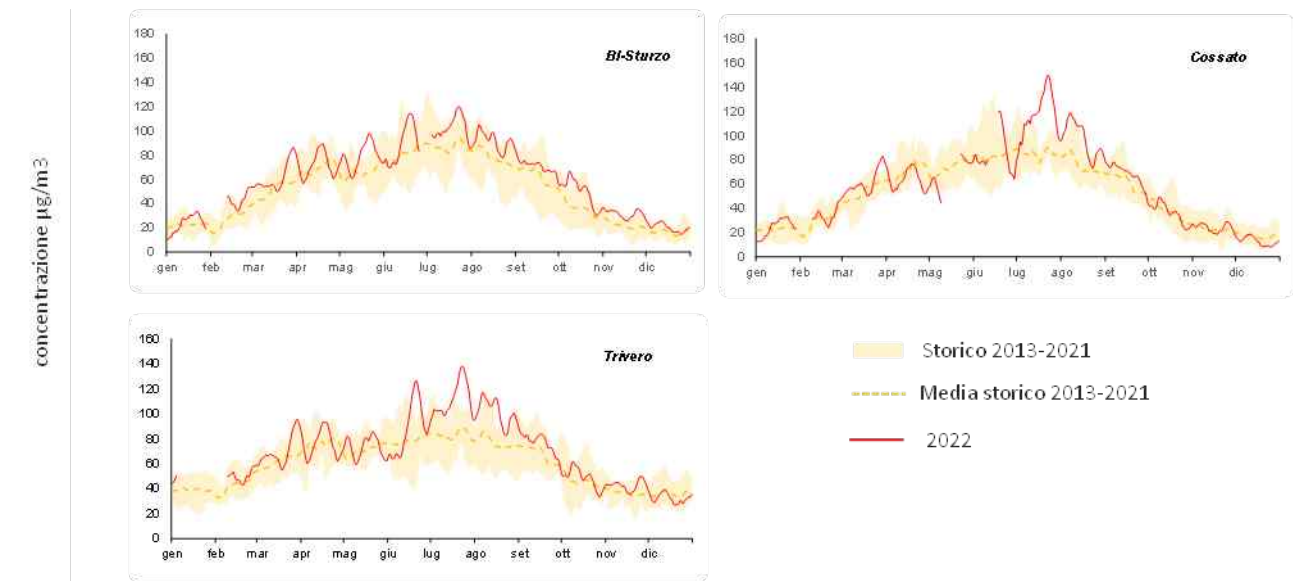


Figura 91: O3 Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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, 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), pertanto questa è la prima annualità completa di dati. La distribuzione delle stazioni sul territorio provinciale è raffigurata nella Figura 92.

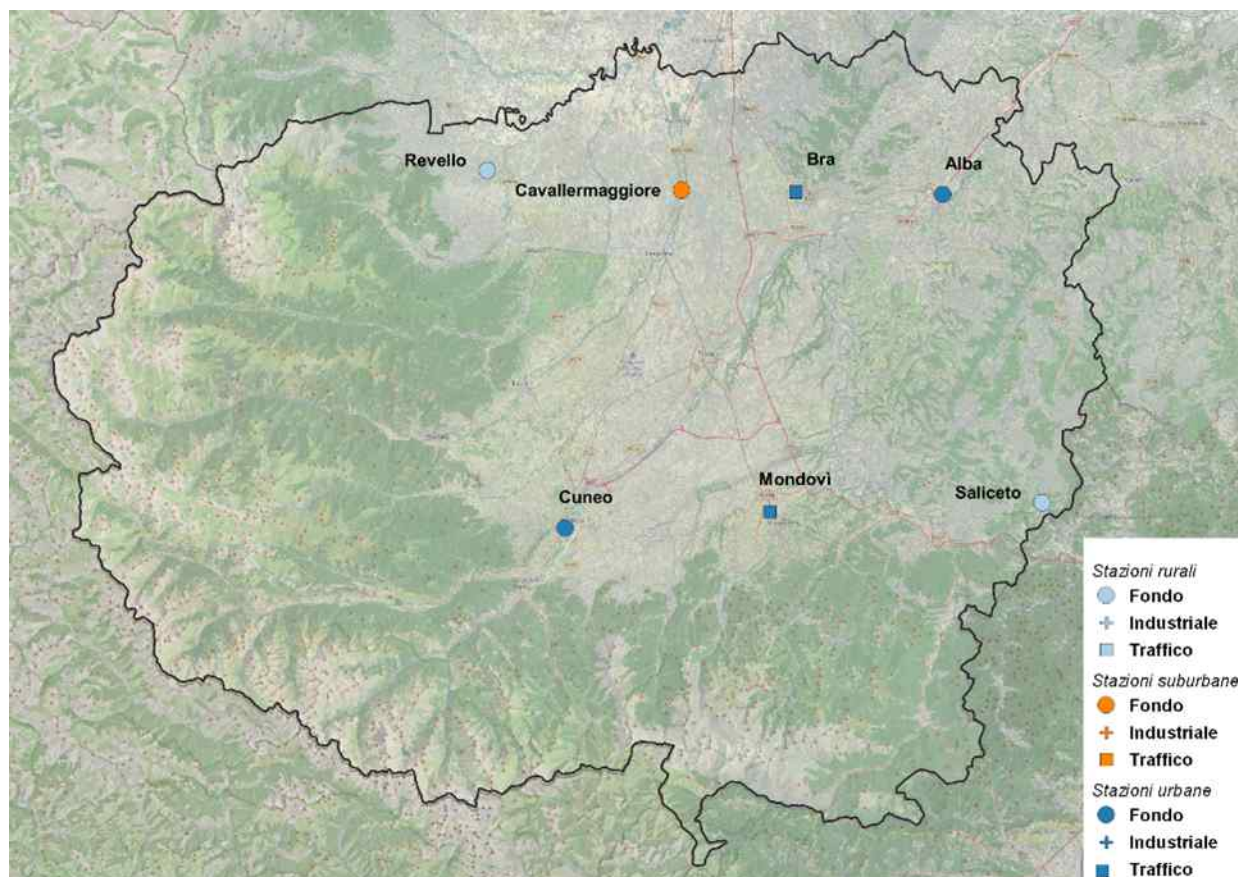


Figura 92: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Cuneo.

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 93 e della Figura 94, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed il numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2022 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.

Nonostante la forte riduzione che si è verificata nel tempo anche per il numero di superamenti del valore limite giornaliero, tale indicatore nel 2022 è stato ancora superiore al limite di legge nel sito di Cavallermaggiore che, per la sua posizione nella zona di pianura a nord della provincia, maggiormente risente dell'inquinamento che accomuna il bacino padano.

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

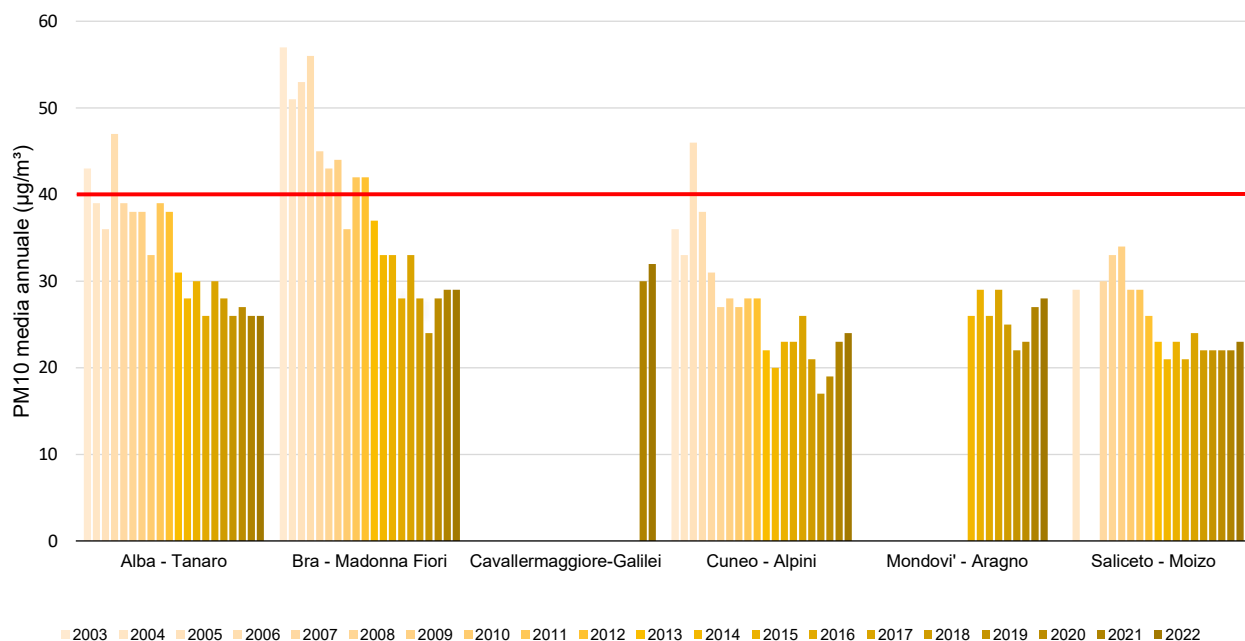


Figura 93: PM10 Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

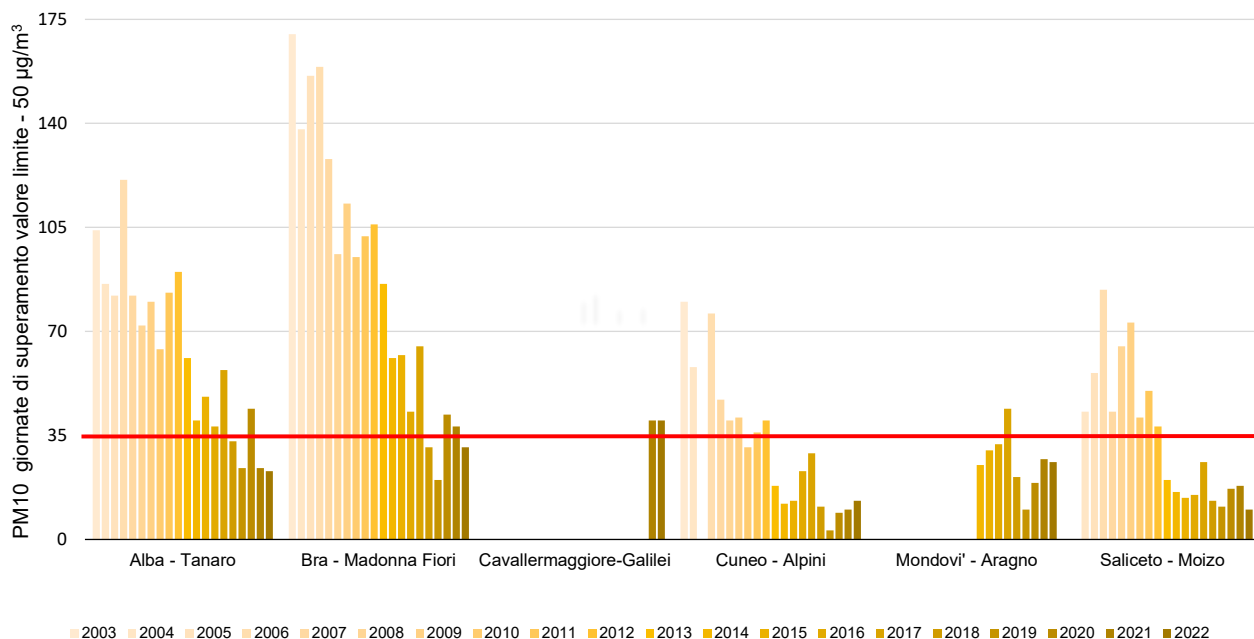


Figura 94: PM10 Provincia di Cuneo: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni giornaliere delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre del 2022 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici della Figura 95. 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 2022 (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 presi come riferimento (2013-2021).

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale degli inquinanti, 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.

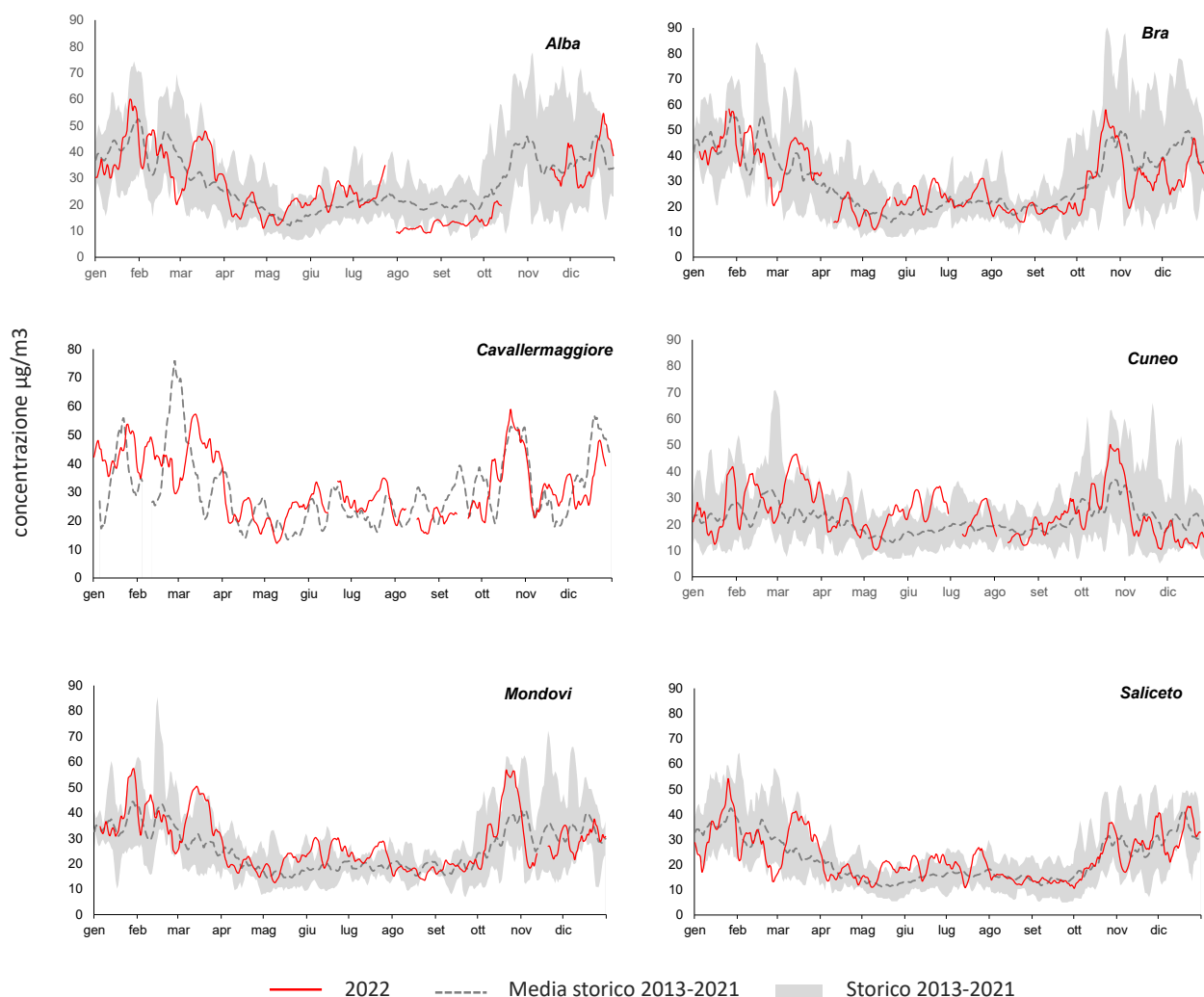


Figura 95: PM10 Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Oltre all'andamento stagionale, emergono importanti oscillazioni delle concentrazioni delle polveri sottili 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 grafico della Figura 96 illustra, giorno per giorno, l'intervallo delle concentrazioni misurate dall'insieme delle stazioni della provincia di Cuneo in tutto l'anno 2022; 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 limite giornaliero di 50 µg/m³ siano stati per lo più registrati all'interno dei periodi di accumulo regionale individuati. Fanno eccezione due episodi centrati intorno al 17 e al 28 marzo 2022 riconducibili a fenomeni di trasporto di polveri sahariane. Il grafico evidenzia come particolarmente critici per le polveri sottili siano

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 1.5 m/s e non ci sono state precipitazioni >=5mm negli ultimi 3 giorni.

stati i primi mesi dell'anno, quando le precipitazioni sono state completamente assenti. A smorzare le condizioni di accumulo in tali periodi sono fortunatamente intervenuti i frequenti episodi di vento forte di gennaio e febbraio (vedasi i dati di foehn del paragrafo 4.2). Negli ultimi mesi dell'anno più critiche sono state la seconda metà di ottobre e la seconda decade di dicembre, in cui le frequenti condizioni di alta pressione e l'assenza di precipitazioni, hanno favorito l'accumulo degli inquinanti e la crescita delle concentrazioni a livelli superiori al limite normativo. Le precipitazioni degli altri periodi sono state efficaci nell'abbattere le concentrazioni.

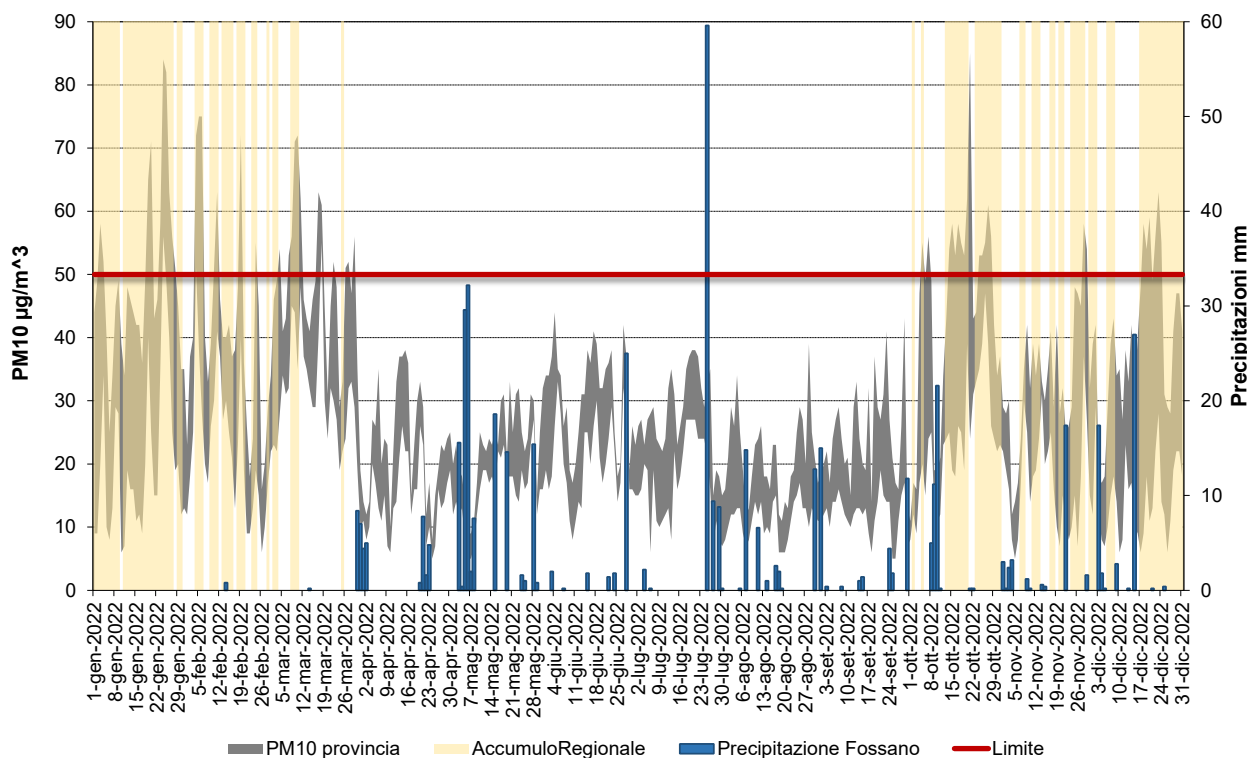


Figura 96: PM10 Provincia di Cuneo: Range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2022; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Fossano; indicatore di accumulo regionale.

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 2022 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 2022 in ciascuna stazione della provincia è riportato nel grafico di sinistra della Figura 97, 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 2022 il contenuto percentuale di benzo(a)pirene è particolarmente elevato nel sito rurale di Saliceto, 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.

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

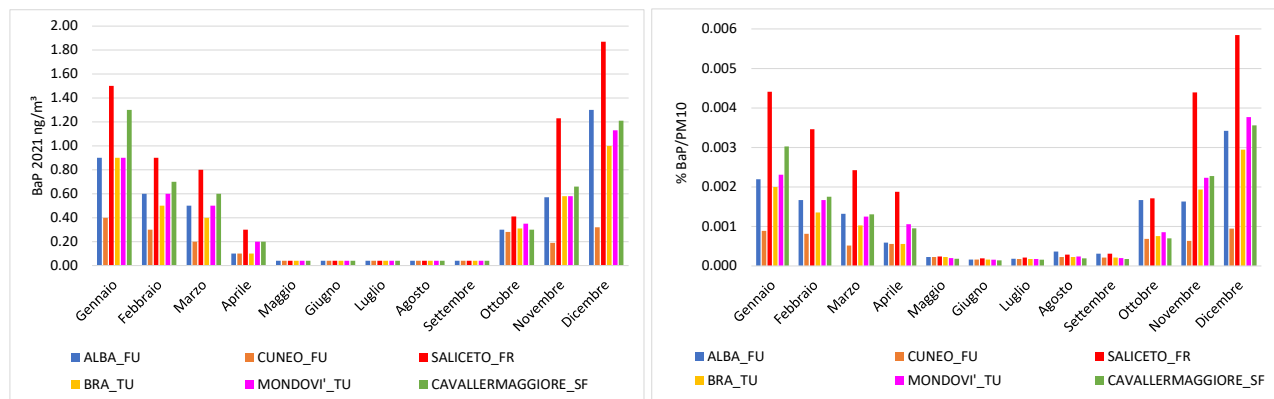


Figura 97: Benzo(a)pirene Provincia di Cuneo: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di B(a)P nel PM10 anno 2022.

6.5.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella provincia di Cuneo la misura della frazione di particolato con diametro inferiore a 2.5 µm è iniziata nel 2011 presso la stazione di Cuneo. Nel 2014 è stata implementata presso le stazioni di Mondovì, nel 2019 nella stazione 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 98, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2022 per le annualità disponibili. 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 state rilevate presso la stazione di Cavallermaggiore.

Nei siti urbani il particolato PM10, 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.

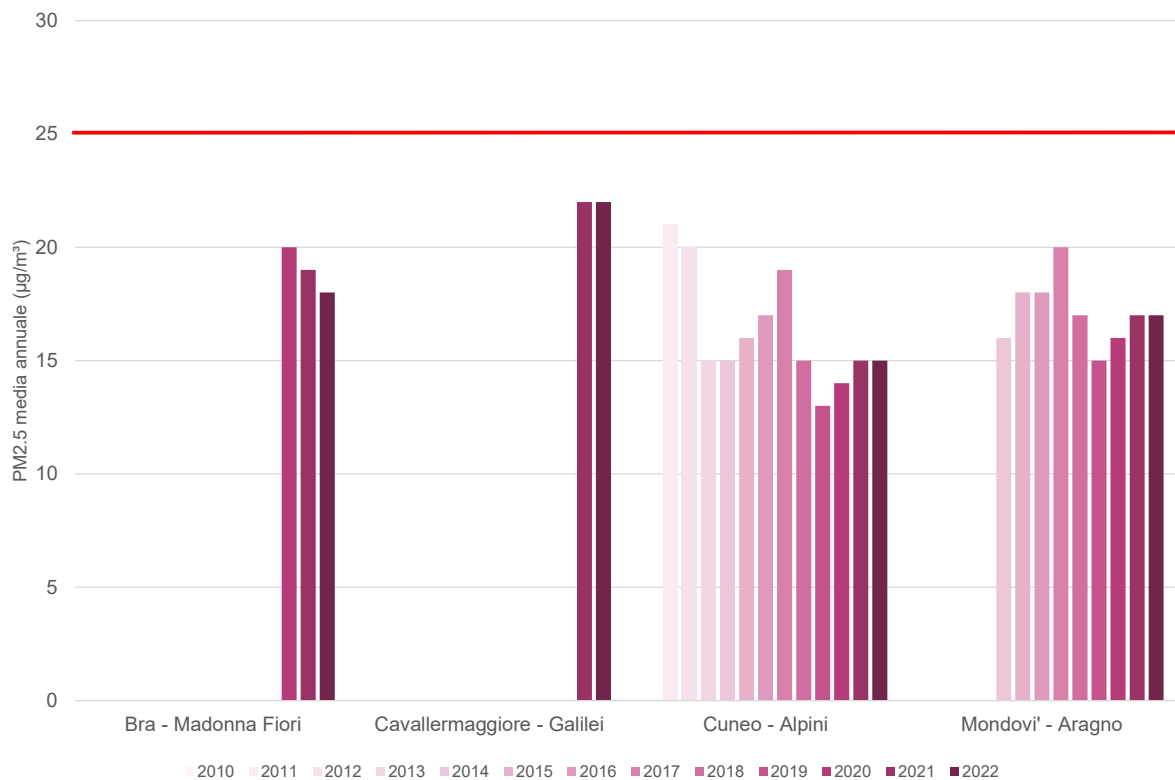


Figura 98: PM2.5 Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

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 2022 sono riportate, nel grafico di Figura 99, 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.

La stazione di Alba, per le sue peculiarità di stazione di fondo urbano distante dalle principali arterie di traffico, anche nel 2022 ha registrato il livello più basso tra le stazioni urbane. I valori più elevati del 2022, nonostante la riduzione, permangono nella stazione di Mondovì - Aragno, che risulta invece fortemente condizionata dalla prossimità alla strada statale 28 e dalle emissioni dei veicoli che vi transitano. 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. Presso la nuova stazione di Cavallermaggiore, nonostante si tratti di una stazione di fondo suburbana, la media annua risulta più simile a quella misurata nel sito di Bra - Madonna dei Fiori.

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

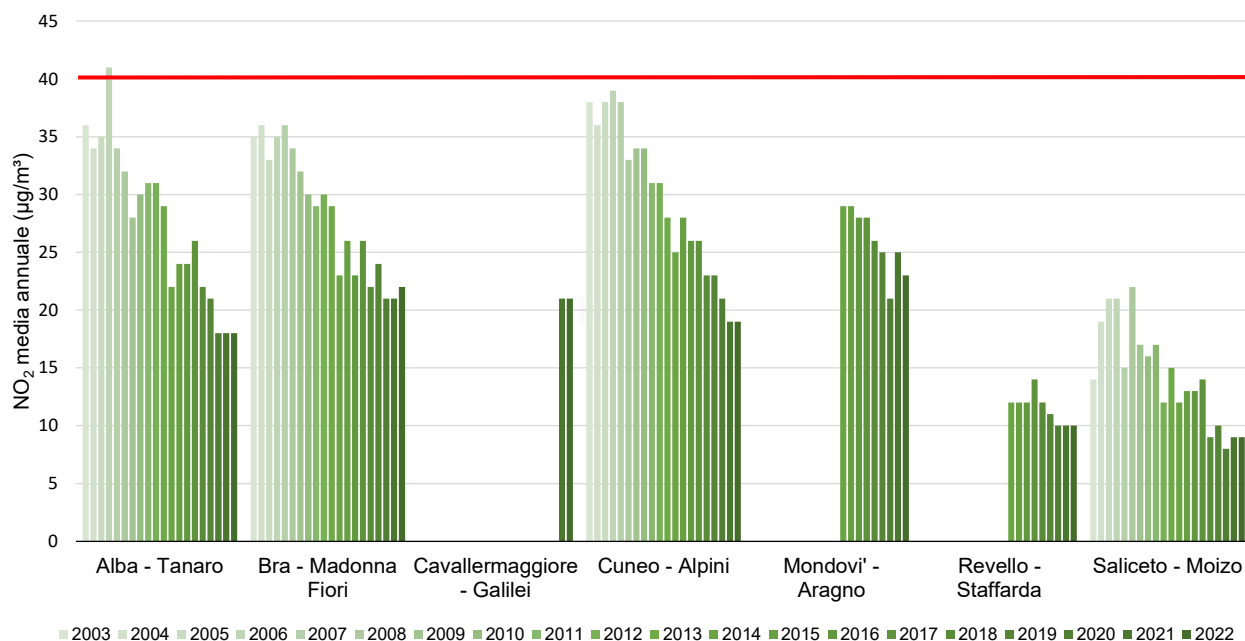


Figura 99: NO₂ Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

Analogamente al PM₁₀, le serie temporali delle concentrazioni giornaliere del biossido di azoto misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre del 2022 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 100 come medie mobili calcolate su sette giorni. Le concentrazioni del 2022 (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 informazione aggiuntiva, sono raffigurati anche i dati del 2020, dove sono evidenti i periodi che hanno risentito degli effetti dell'emergenza sanitaria (in arancione tratteggiato). Il grafico è stato riportato anche per la stazione di Cavallermaggiore sebbene contenga solamente i dati del 2022 e 2021.

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 2022 si sono per lo più mantenuti al di sotto del valore medio del periodo di riferimento, con valori talvolta inferiori anche al minimo storico.

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.

I dati della stazione di Saliceto mostrano nella seconda metà di marzo 2022 una crescita locale dei valori al di sopra dei valori di riferimento, rientrata nella prima decade di aprile.

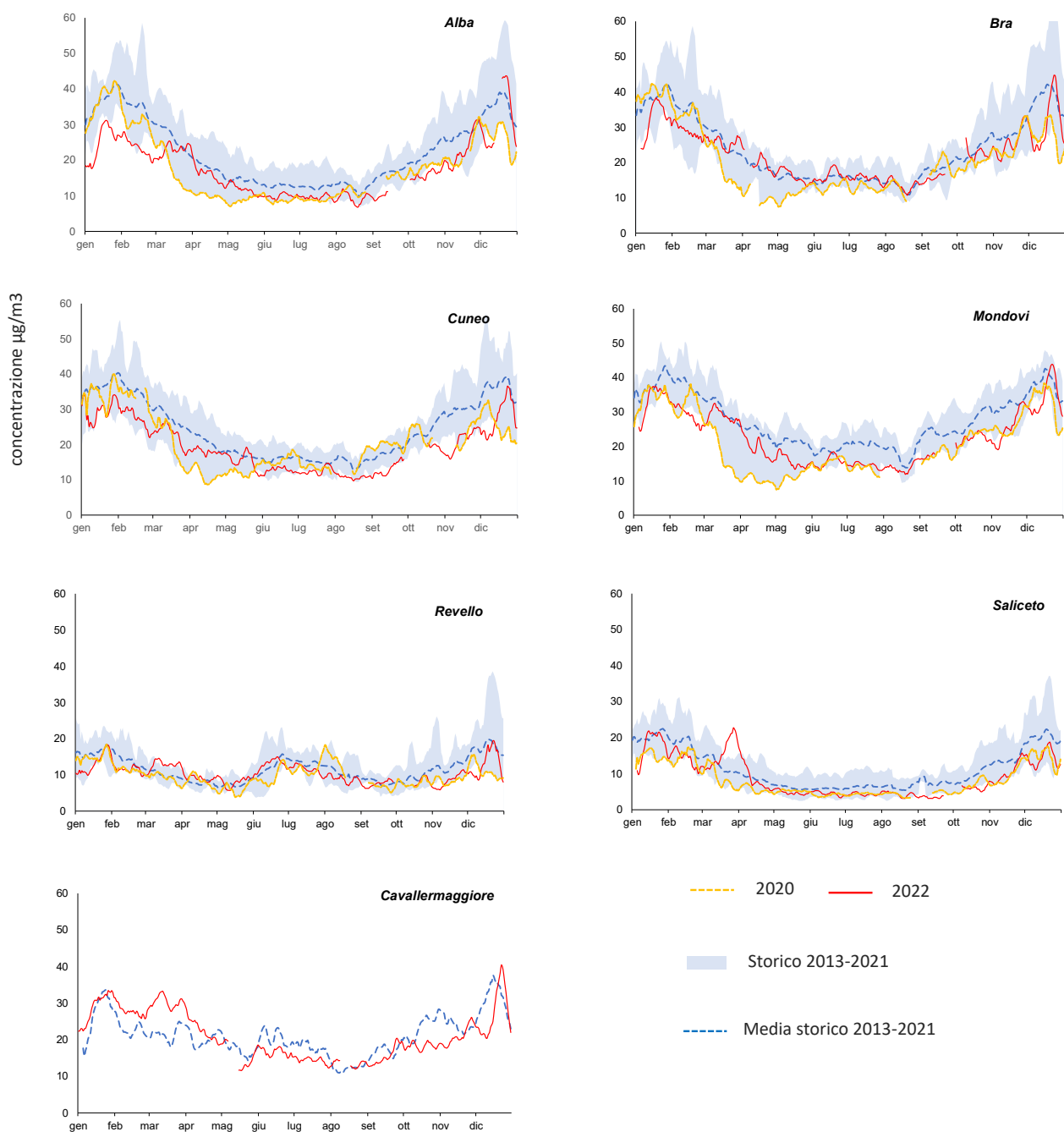


Figura 100: NO₂ Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 e del 2020 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 2022, 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 101, 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.

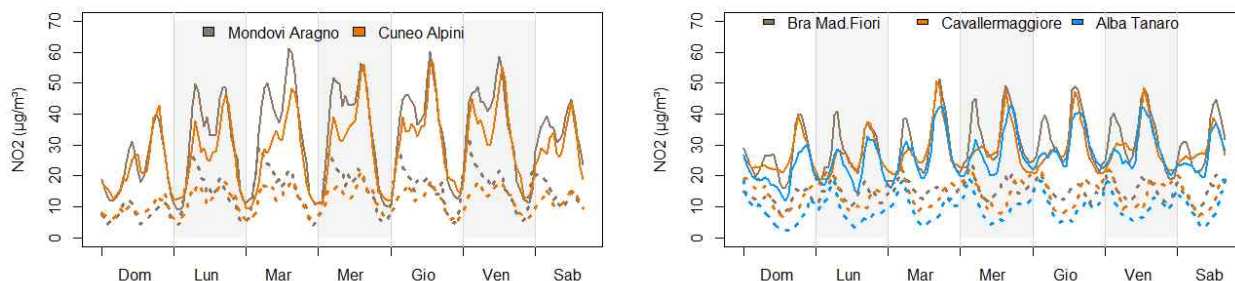


Figura 101: NO₂ Provincia di Cuneo: settimane medie delle stazioni dei centri abitati della zona sud (a sinistra) e della zona nord (a destra). Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

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 102 per gli anni dal 2005 al 2022 (il dato attribuito al 2022 è relativo al triennio 2020-2022). Il numero medio dei giorni di superamento dell'ultimo triennio è 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. La crescita dell'ultimo dato in particolare, è dovuto ai valori elevati che sono stati raggiunti nel 2022, anno in cui le temperature, particolarmente elevate, hanno creato le condizioni favorevoli allo sviluppo e alla permanenza di elevate concentrazioni di ozono troposferico.

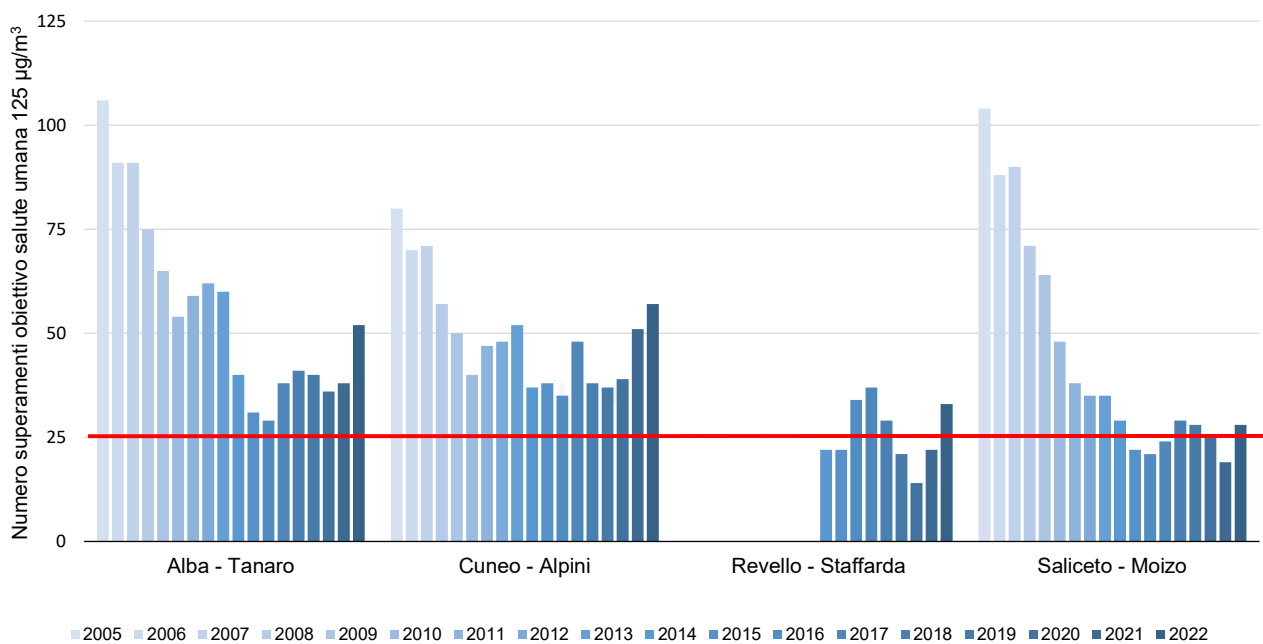


Figura 102: O₃ Provincia di Cuneo: numero superamenti obiettivo salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante del 2022, nei grafici di Figura 103 si evidenziano in tutte le stazioni alcuni periodi con concentrazioni elevate rispetto agli anni di riferimento. I picchi con le concentrazioni più elevate sono stati riscontrati nella seconda decade di giugno, nel mese di luglio e nella prima metà di agosto.

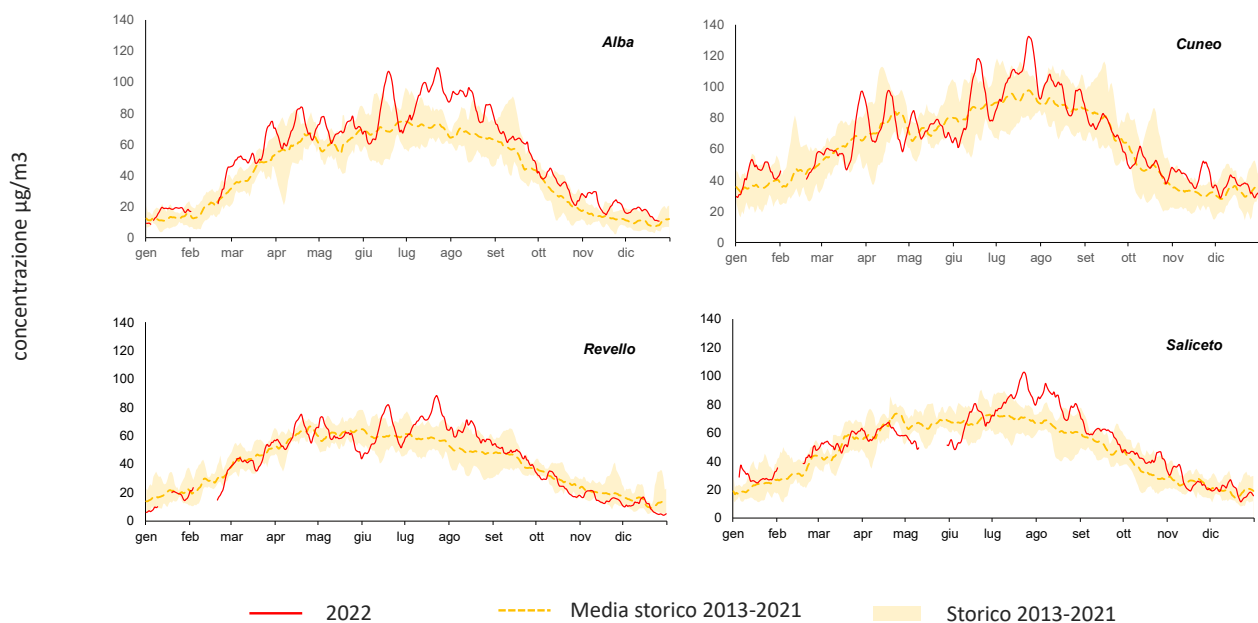


Figura 103: O₃ Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 104.

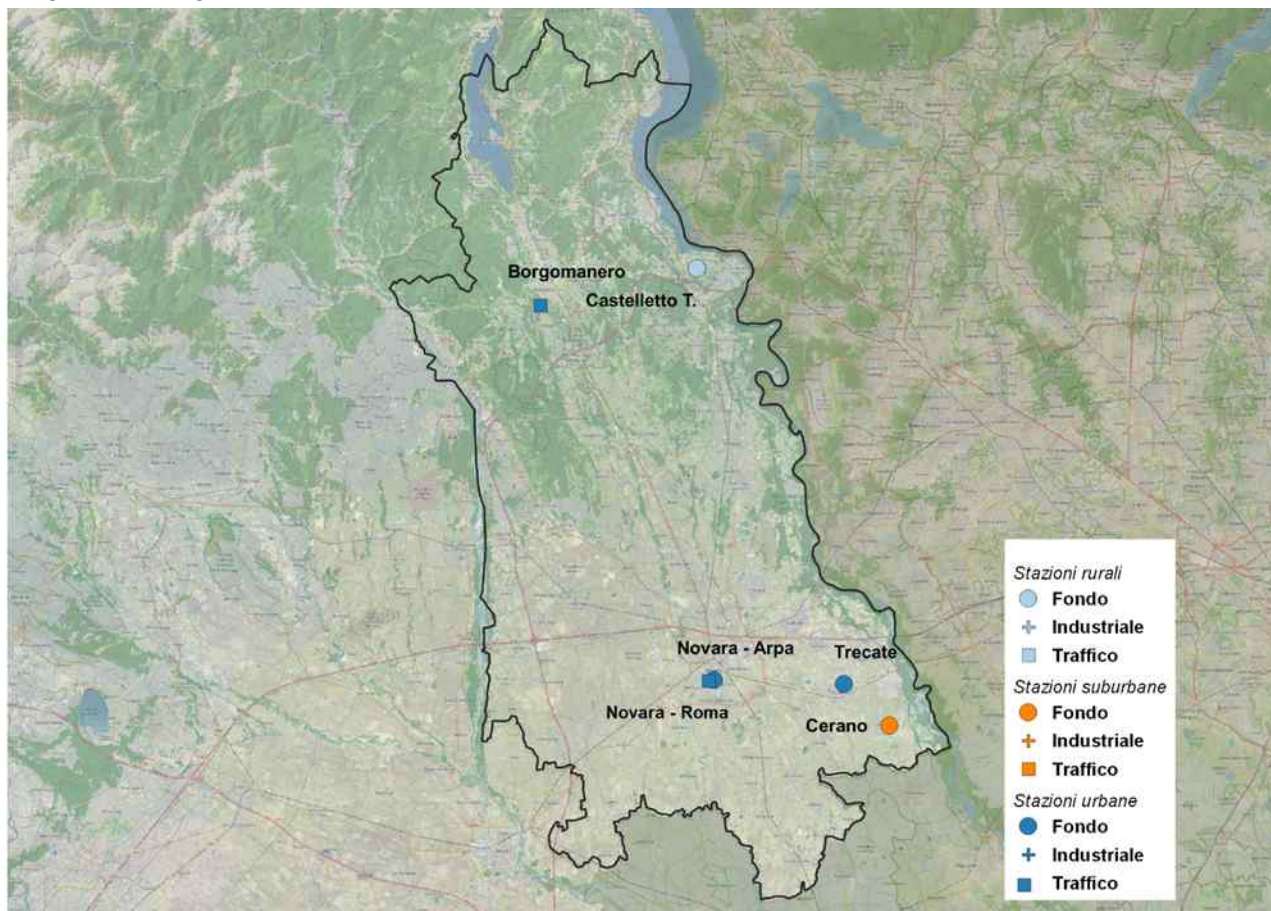


Figura 104: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Novara.

6.6.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici di Figura 105 e Figura 106, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2022 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2022 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 superiore al limite di legge per le stazioni di Cerano (51 superamenti) e Novara - Roma (43 superamenti). In generale per il parametro PM10 si registra una sostanziale stabilità dei livelli negli ultimi anni, con differenze imputabili principalmente alla variabilità meteorologica. Il 2022 mostra un lieve peggioramento delle concentrazioni medie annue, imputabili principalmente alle condizioni di stabilità atmosferica (alta pressione e assenza di precipitazioni), favorevoli all'accumulo degli inquinanti, che hanno caratterizzato l'anno ed in particolare il primo trimestre.

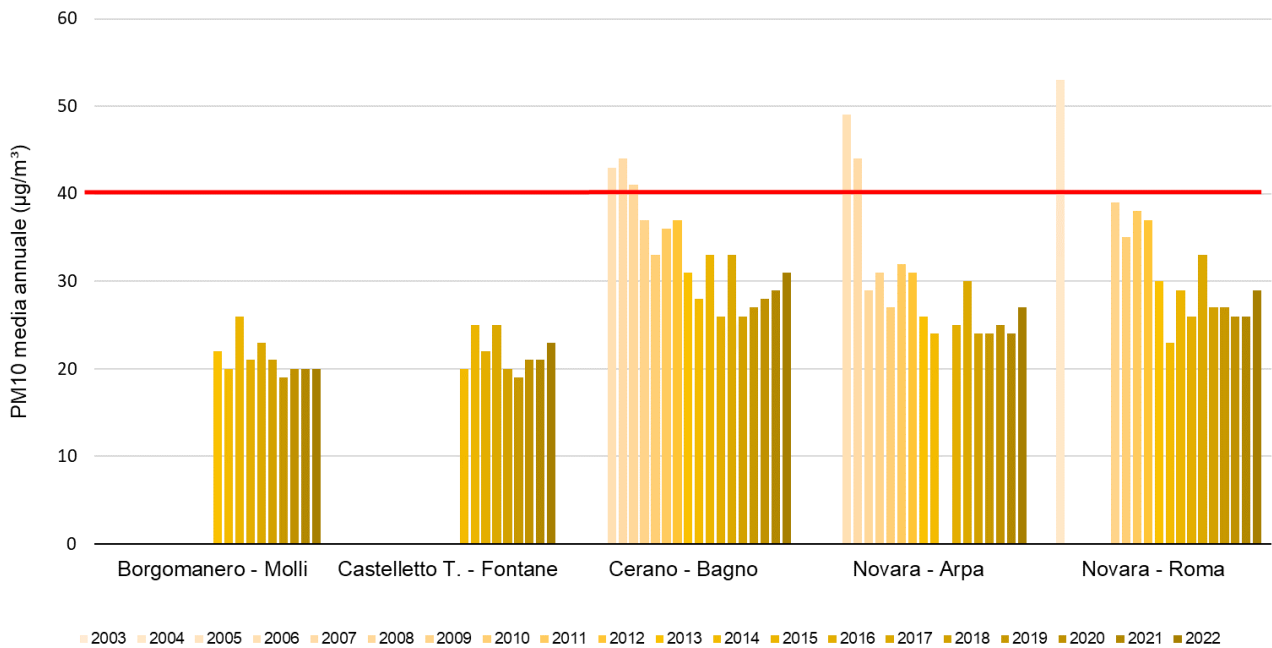


Figura 105 - PM10: confronto medie annue

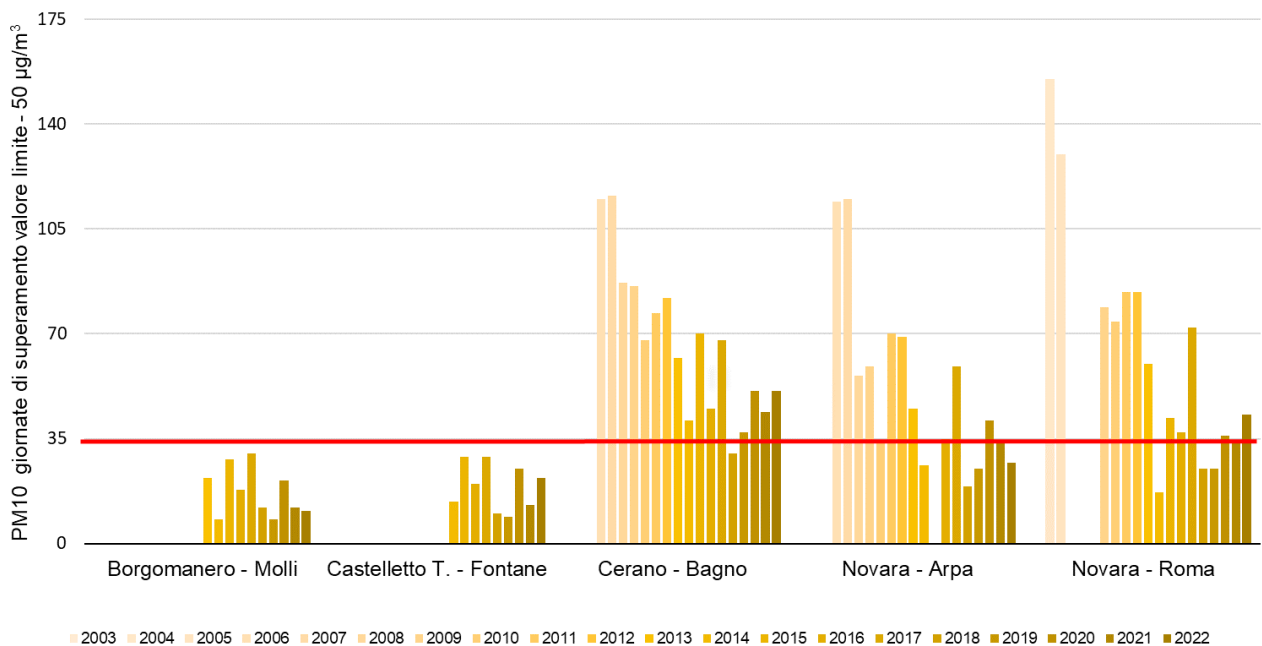


Figura 106 - PM10: numero di superamenti del limite giornaliero

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2022 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2021, sono riportate nella Figura 107. 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 2022 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia) e medi (linea grigio scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2021 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 significativi rispetto agli anni precedenti (area grigia), se non nei primi mesi dell'anno, che, come detto, sono stati caratterizzati da frequenti e intensi periodi di stagnazione atmosferica, che hanno favorito la formazione e l'accumulo dell'inquinante. Si rileva un altro periodo di accumulo meno evidente nel periodo ottobre-novembre.

Si evidenzia come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 16-18 marzo, negli ultimi giorni del mese e dal 20 al 23 maggio (meno evidente), siano dovuti a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che hanno interessato anche il Piemonte.

In tutte le stazioni, inoltre, nel periodo estivo si evidenziano picchi di PM10 con concentrazioni non particolarmente elevate, ma comunque superiori alla media del periodo di riferimento.

Sporadicamente la stazione di Castelletto Ticino rileva picchi di PM10 più elevati e in controtendenza rispetto al resto della rete, probabilmente imputabili alle lavorazioni dei campi agricoli coltivati che circondano la centralina.

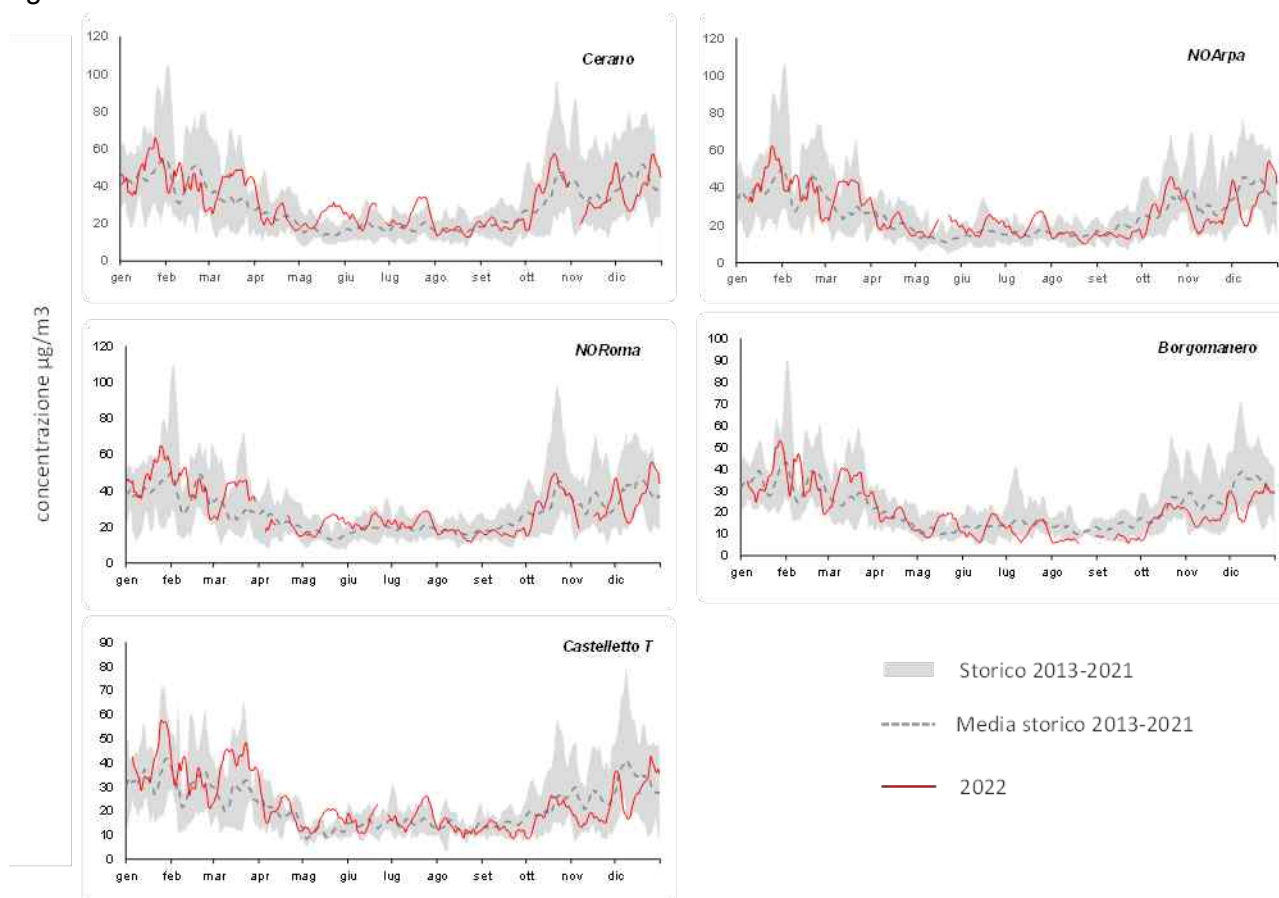


Figura 107 - PM10 Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 108, dove sono rappresentati i giorni di accumulo a livello regionale⁴⁰, le precipitazioni giornaliere e il range di

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 1.5 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia nell'anno 2022 (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.

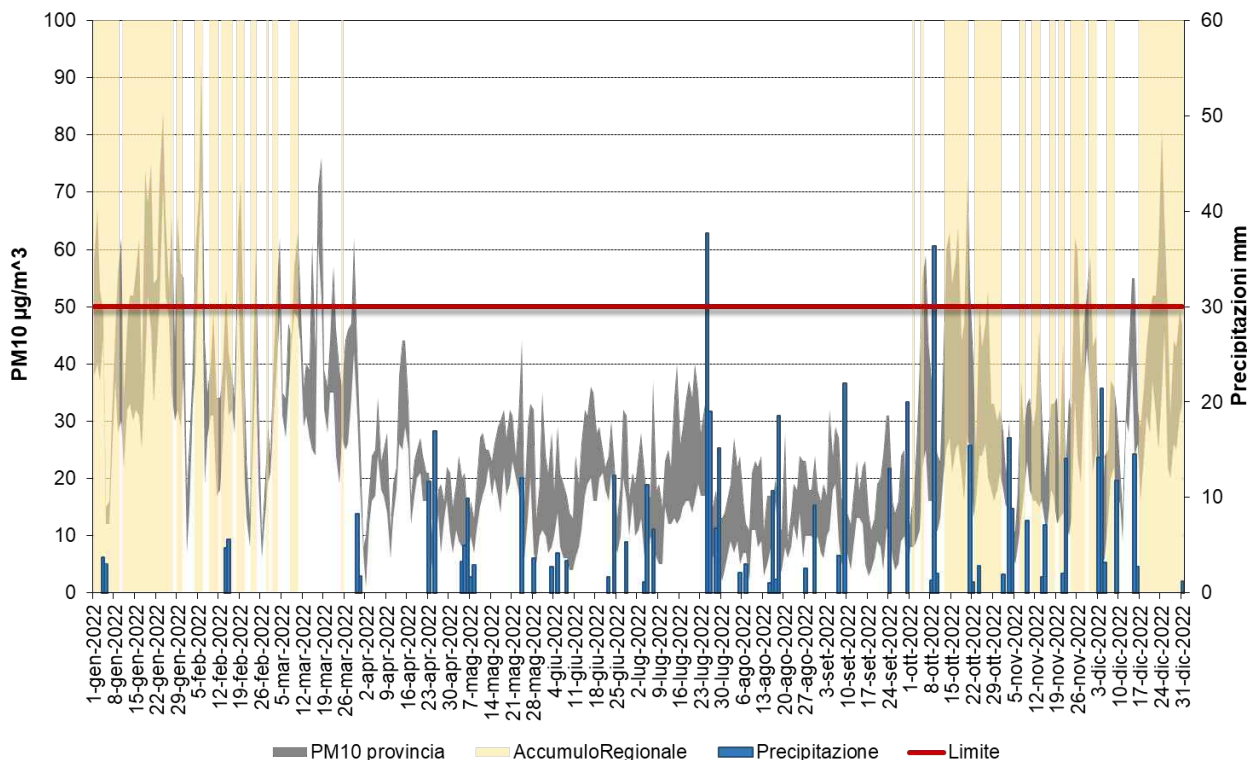


Figura 108 - PM10 Provincia di Novara: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2022; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Novara; indicatore di accumulo regionale.

6.6.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 109 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.

Osservando la Figura 109, si può notare come in tutti i punti di misura della provincia (Cerano, Novara - Arpa, Novara - Roma e Borgomanero) nell'anno 2022, analogamente agli anni precedenti, le concentrazioni di media annua di Benzo(a)pirene nel PM10 risultino ampiamente

inferiori al valore obiettivo fissato dalla normativa ($1,0 \text{ ng/m}^3$), attestandosi a valori compresi tra $0,2-0,4 \text{ ng/m}^3$.

Pertanto, non si evidenziano criticità, anche considerando l'andamento mensile del contributo percentuale di Benzo(a)pirene al PM10.

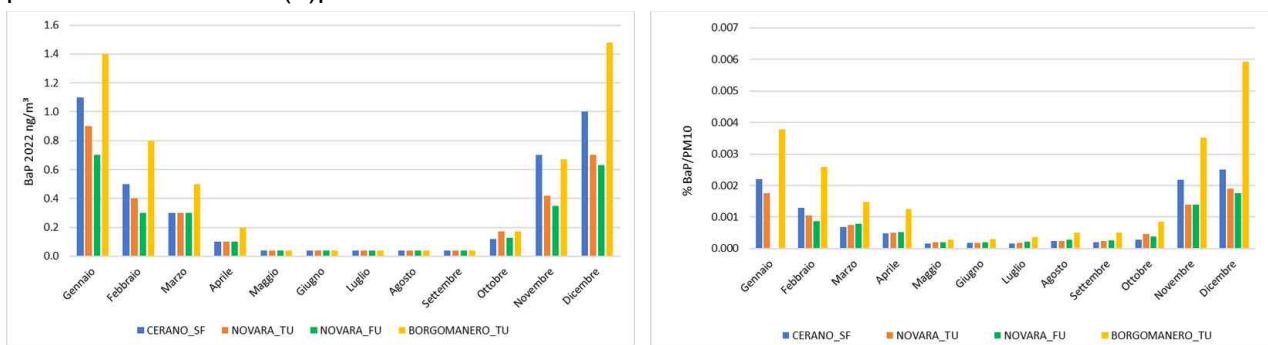


Figura 109: Benzo(a)pirene concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2022

6.6.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 110, 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 fissa Novara - Arpa, classificata di fondo urbano, presenta un valore superiore al limite normativo, mentre la stazione di Borgomanero presenta valori sempre inferiori al valore limite. Nel 2022 si è registrato, in entrambe le stazioni, un lieve incremento nelle concentrazioni medie annue rispetto al 2021.

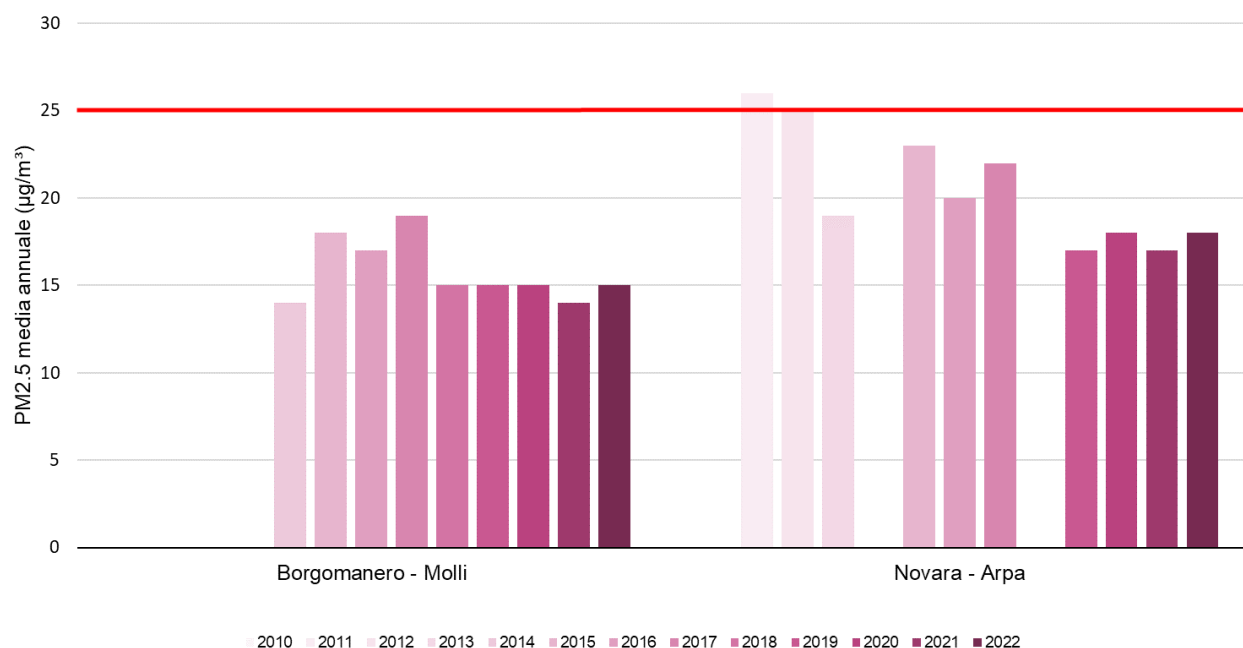


Figura 110 - PM2.5: confronto medie annue

6.6.4 Biossido di azoto (NO₂)

Nella Figura 111 sono confrontate

le concentrazioni medie di NO₂ rilevate presso le stazioni della rete provinciale, ove disponibili, a partire dall'anno 2003 ed attive nel 2022, da cui si evince che nel 2022 il valore limite annuale 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 2022 la concentrazione media è stata pari a 29 µg/m³, mentre la stazione di Borgomanero, pur classificata da traffico, ha registrato un dato medio decisamente più basso degli anni precedenti, pari a 20 µg/m³.

Nelle restanti stazioni di fondo (Novara - Arpa, Cerano e Trecate) le medie rilevate si sono attestate intorno a 22-23 µg/m³, mentre la stazione di fondo rurale di Castelletto Sopra Ticino ha presentato il dato più basso della provincia, pari a 18 µg/m³, come nel 2021. In generale il parametro ha evidenziato una lieve flessione, in tutte le stazioni della provincia.

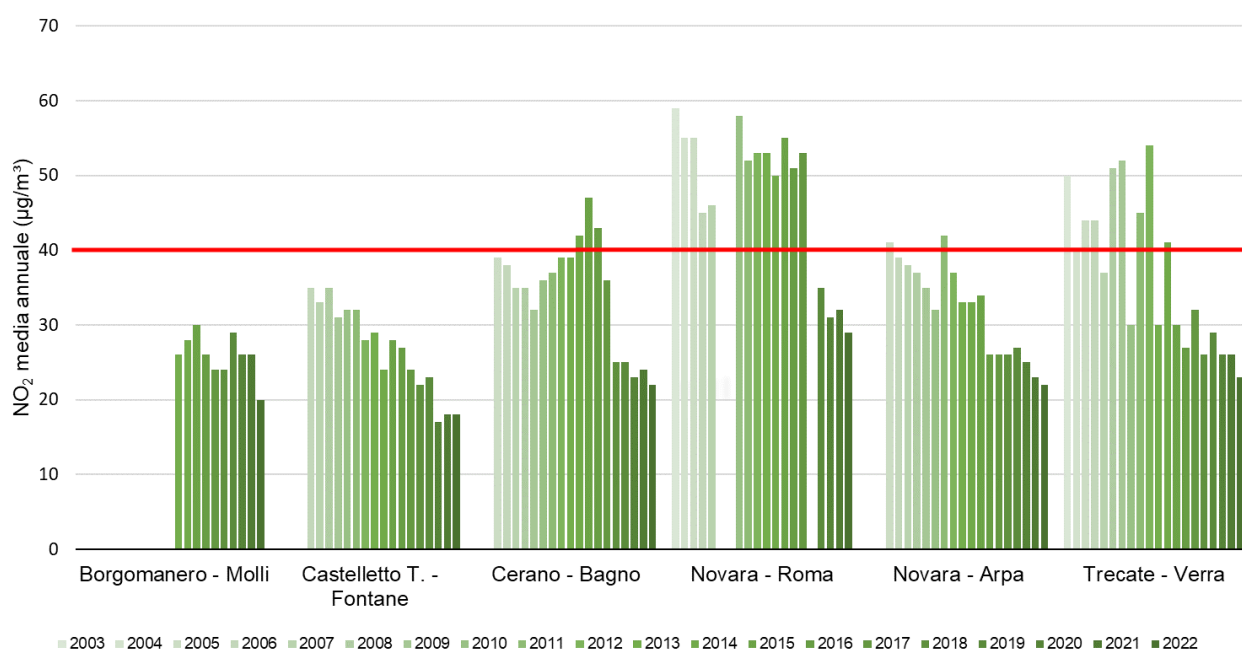


Figura 111 - NO₂: confronto medie annue

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 112 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 2022 (linea rossa) mostrano livelli prossimi o inferiori alla media del periodo di riferimento 2013-2021 (linea blu tratteggiata, minimi e massimi banda azzurra), in maniera più evidente per le stazioni di Cerano e Novara - Roma. L'andamento dell'inquinante nel 2022 mostra in alcuni periodi concentrazioni medie inferiori anche rispetto a quelle rilevate nel 2020 (linea gialla), ad eccezione del periodo di maggiori restrizioni alle attività e alla mobilità introdotte per il contenimento dell'emergenza epidemiologica da COVID-19 (periodo metà marzo-inizio maggio 2020).

Le variazioni riscontrate sembrano confermare per l'inquinante la tendenza decrescente individuata nella maggior parte delle stazioni della rete negli ultimi anni.

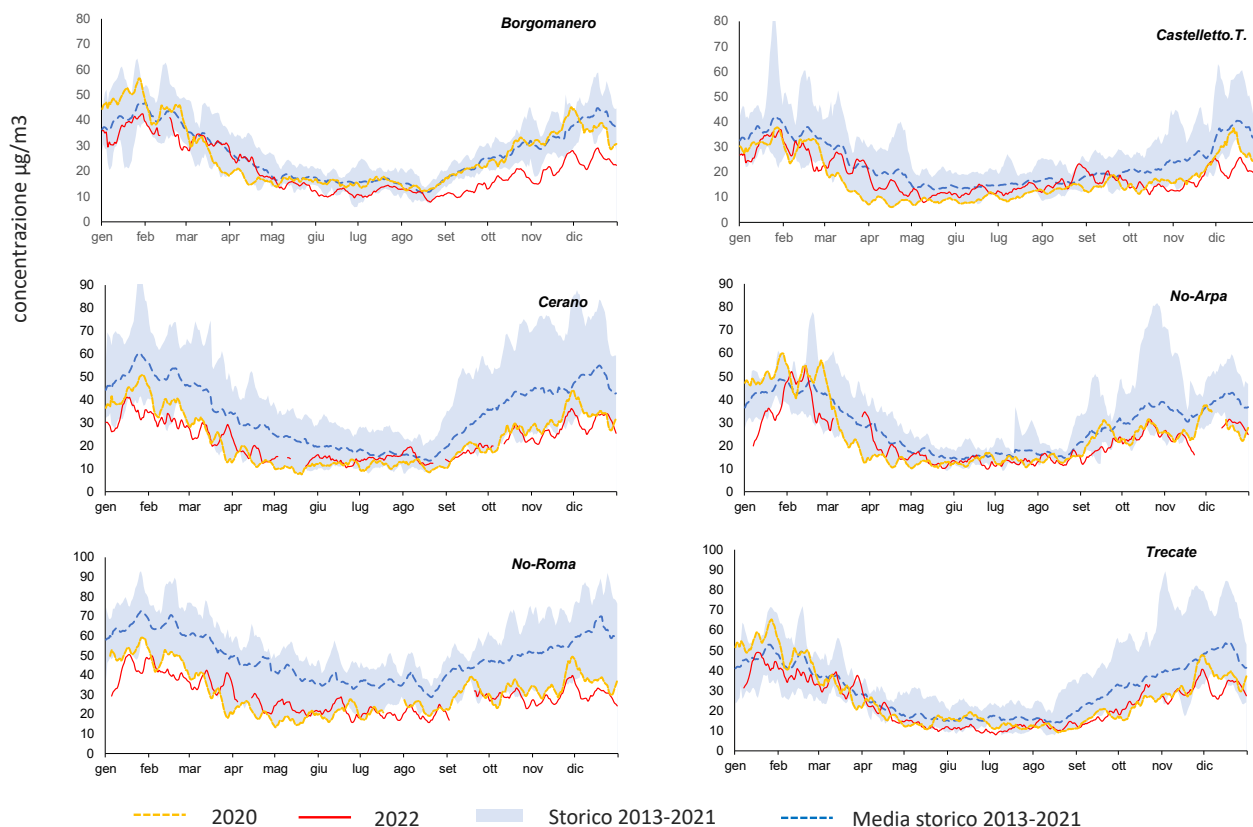


Figura 112 – NO₂ Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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 2022, 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 113), 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 emissive.

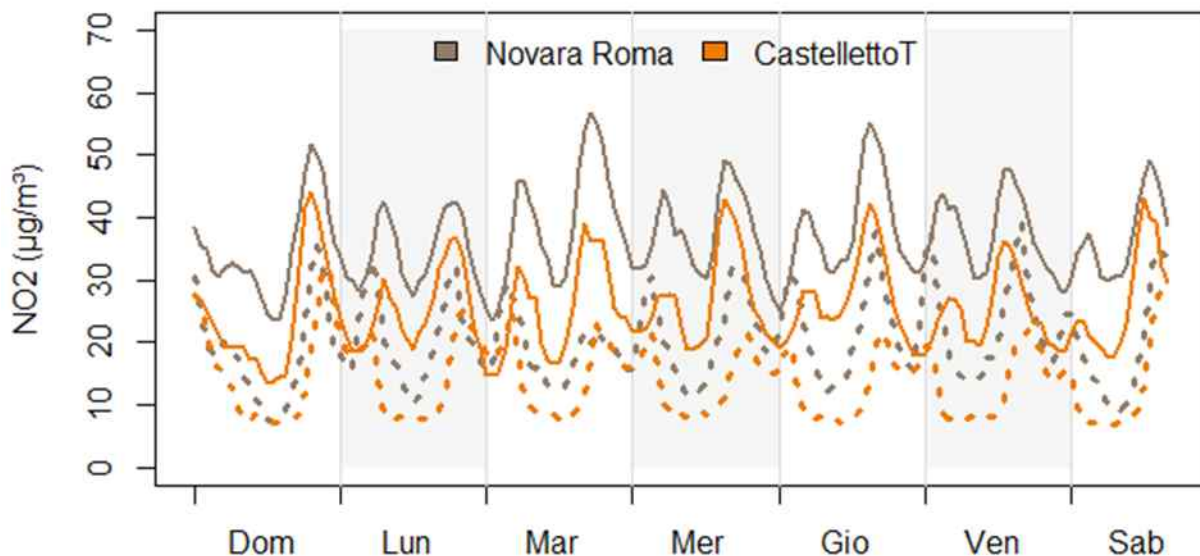


Figura 113 – NO₂ Provincia di Novara: settimane tipo stazioni di Novara Roma e Castelletto Ticino

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 114 è riportato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana, da non superarsi per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni, rilevati dal 2005 al 2022.

Tale valore obiettivo viene ampiamente disatteso nella stazione di Castelletto Ticino, mentre nella stazione di Novara - Arpa l'anno 2022 evidenzia un peggioramento rispetto agli anni precedenti (nel 2021 il valore obiettivo era rispettato).

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, dove è minore la presenza di inquinanti antagonisti, come ad esempio gli ossidi di azoto che contribuiscono alla sua rimozione.

Anche per il 2022 si conferma il persistere della criticità legata a questo inquinante (come evidenziato a livello regionale), con concentrazioni in aria ambiente che non si riscontravano da diversi anni. Le condizioni climatiche che hanno caratterizzato i mesi estivi dell'anno, con periodi siccitosi e temperature elevate, hanno favorito lo sviluppo e la permanenza di elevate concentrazioni di ozono troposferico.

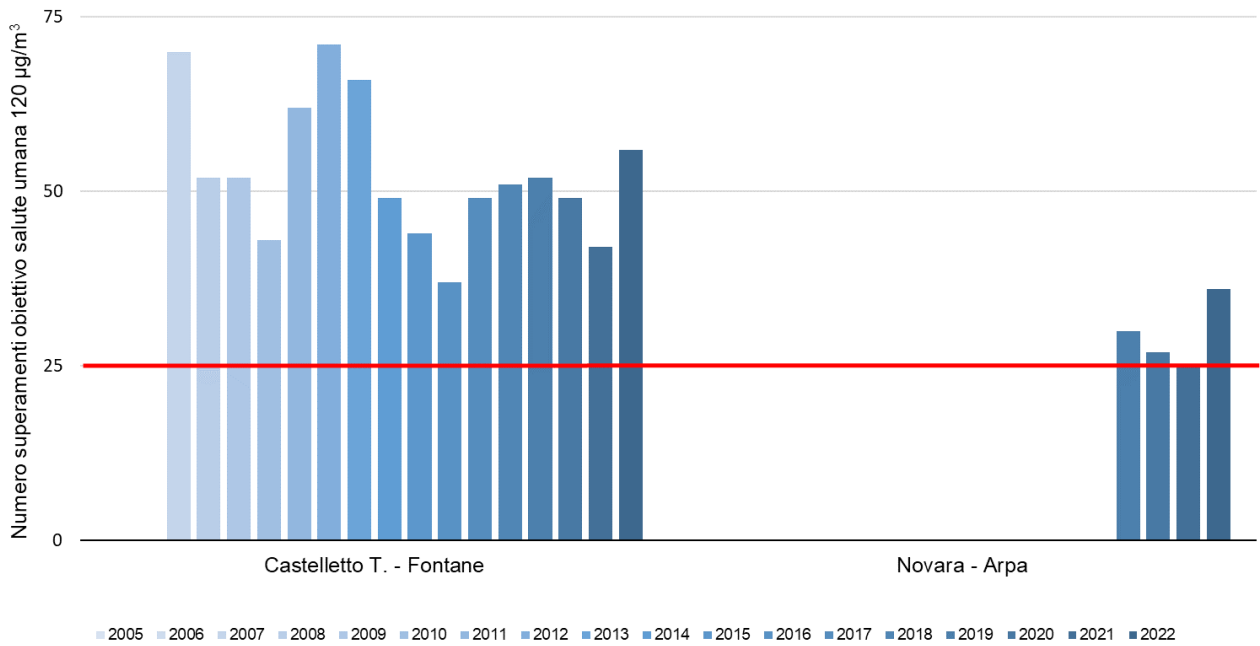


Figura 114 - O₃: numero superamenti obiettivo salute umana

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 115 si evidenziano nel 2022 (linea rossa) alcuni periodi di scostamento rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2021, per entrambe le stazioni della rete.

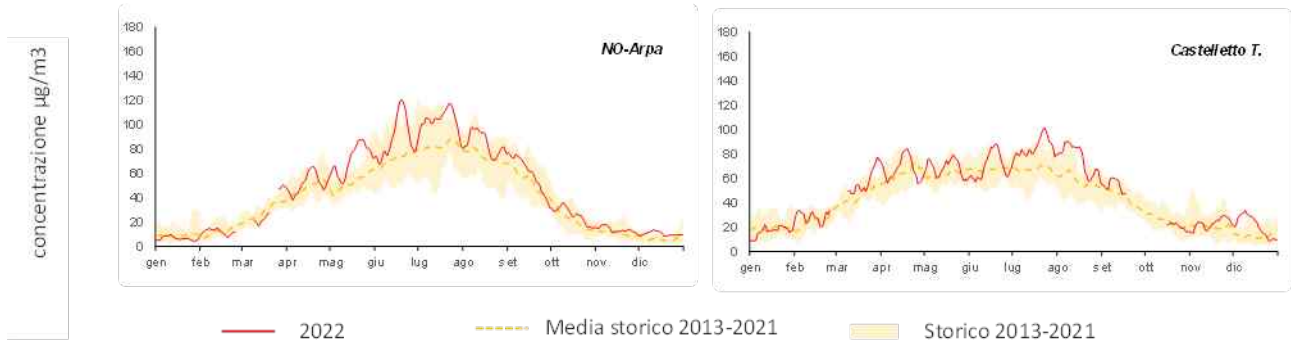


Figura 115 – O₃ Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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 116.

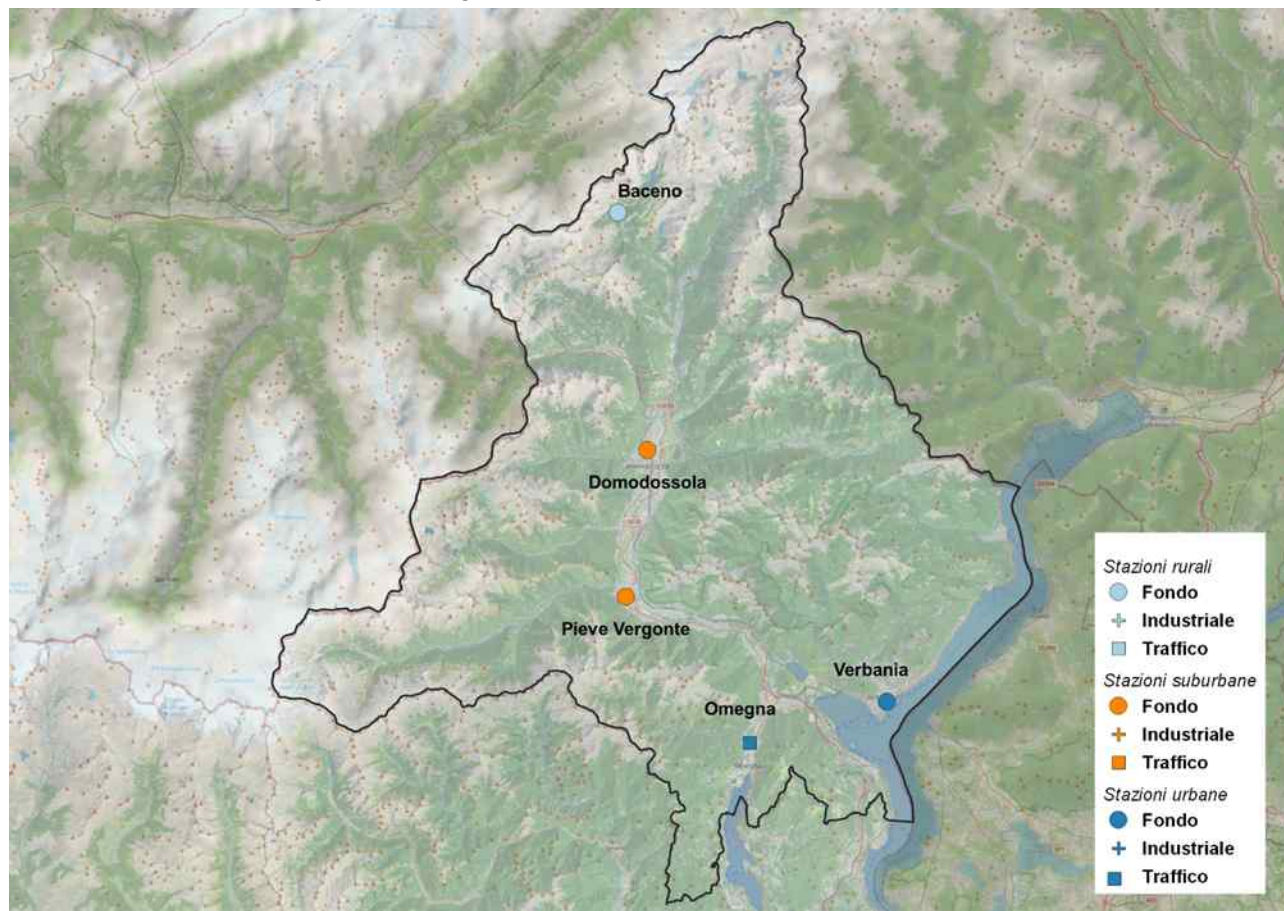


Figura 116: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Verbania.

6.7.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici di Figura 117 e Figura 118, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2022 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2022 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 2022 mostra un lieve peggioramento delle concentrazioni medie annue, imputabili principalmente alle condizioni di stabilità atmosferica (alta pressione e assenza di precipitazioni), favorevoli all'accumulo degli inquinanti, che hanno caratterizzato l'anno e in particolare il primo trimestre.

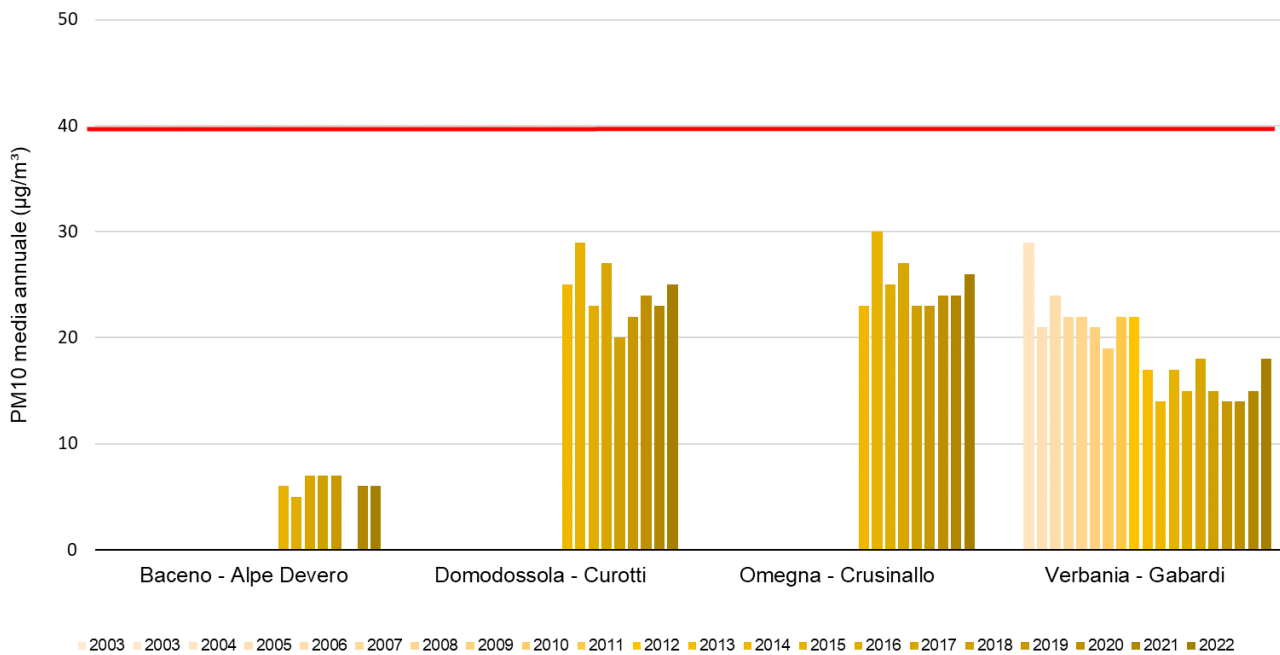


Figura 117 - PM10: confronto medie annue

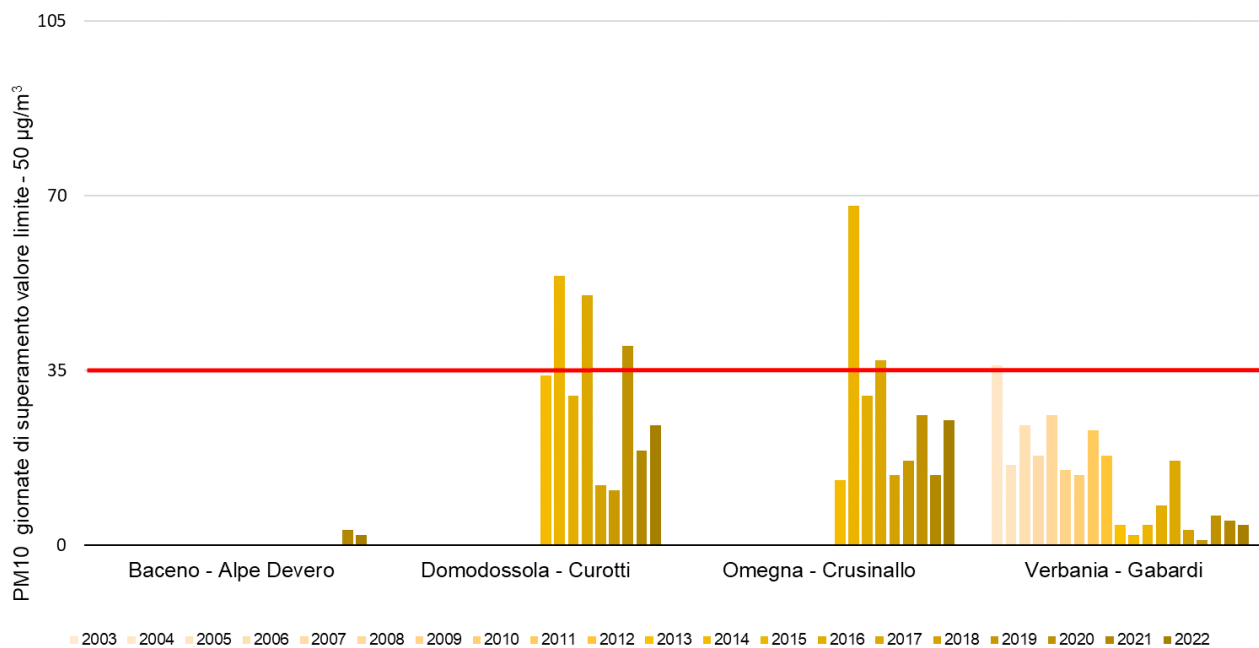


Figura 118 - PM10: numero di superamenti del limite giornaliero

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2022 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2021, sono riportate nella Figura 119. 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 2022 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia) e medi (linea grigio scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2021 preso come riferimento.

Gli andamenti evidenziano innanzitutto il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero, come generalmente le concentrazioni diminuiscono 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 grigia), se non nei primi mesi dell'anno che, come detto, sono stati caratterizzati da frequenti e intensi periodi di stagnazione atmosferica che hanno favorito la formazione e l'accumulo dell'inquinante.

Le stazioni di Baceno e Verbania rilevano un periodo di accumulo più evidente, rispetto alle altre stazioni della provincia, nel periodo ottobre-novembre. A Domodossola si sono registrati alcuni picchi di concentrazione di PM10 nella seconda decade di novembre e di dicembre, probabilmente imputabili a emissioni a carattere locale.

Si evidenzia come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 16-18 marzo, negli ultimi giorni del mese e dal 20 al 23 maggio (meno evidente), siano dovuti a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che hanno interessato il Piemonte e in particolar modo le aree alpine.

Nella stazione di quota di Baceno - Alpe Devero si è passati da una concentrazione media giornaliera di PM10 di 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del 15/03/2022 a valori di 42, 43 e 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nei tre giorni successivi. La stazione 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. In tutte le stazioni, inoltre, nel periodo estivo si evidenziano picchi di PM10 con concentrazioni non particolarmente elevate, ma comunque superiori alla media del periodo di riferimento.

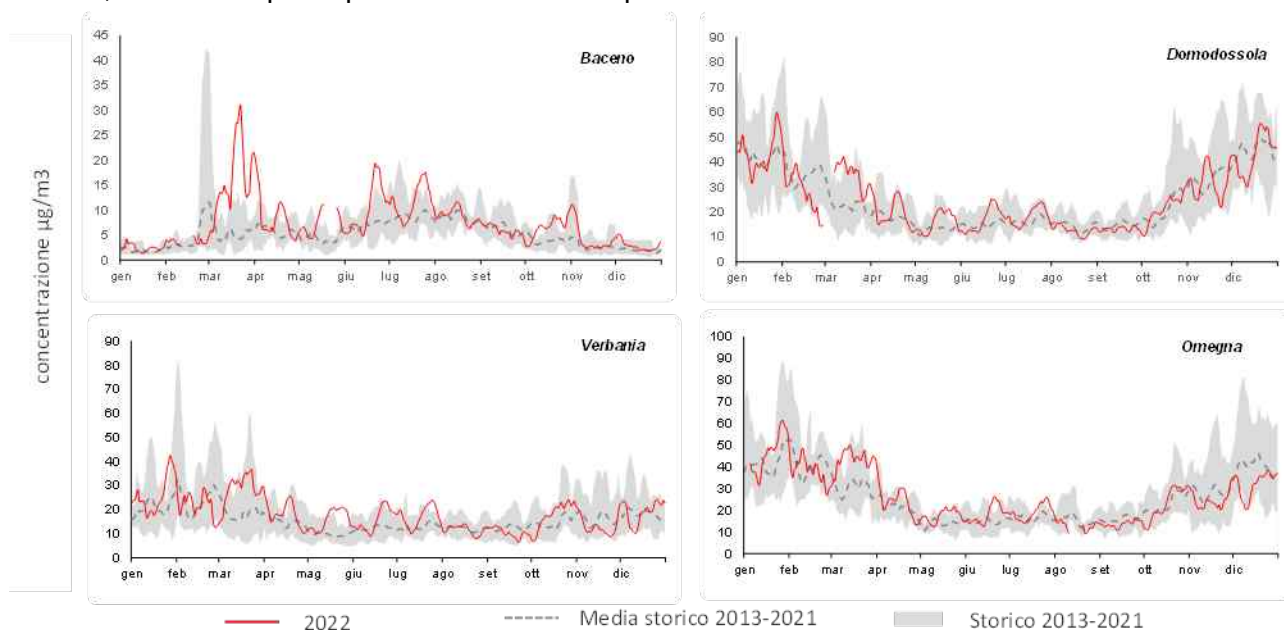


Figura 119 - PM10 Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 120, dove sono rappresentati i giorni di accumulo a livello regionale⁴¹, le precipitazioni giornaliere e il range di

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

concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia nell'anno 2022 (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.

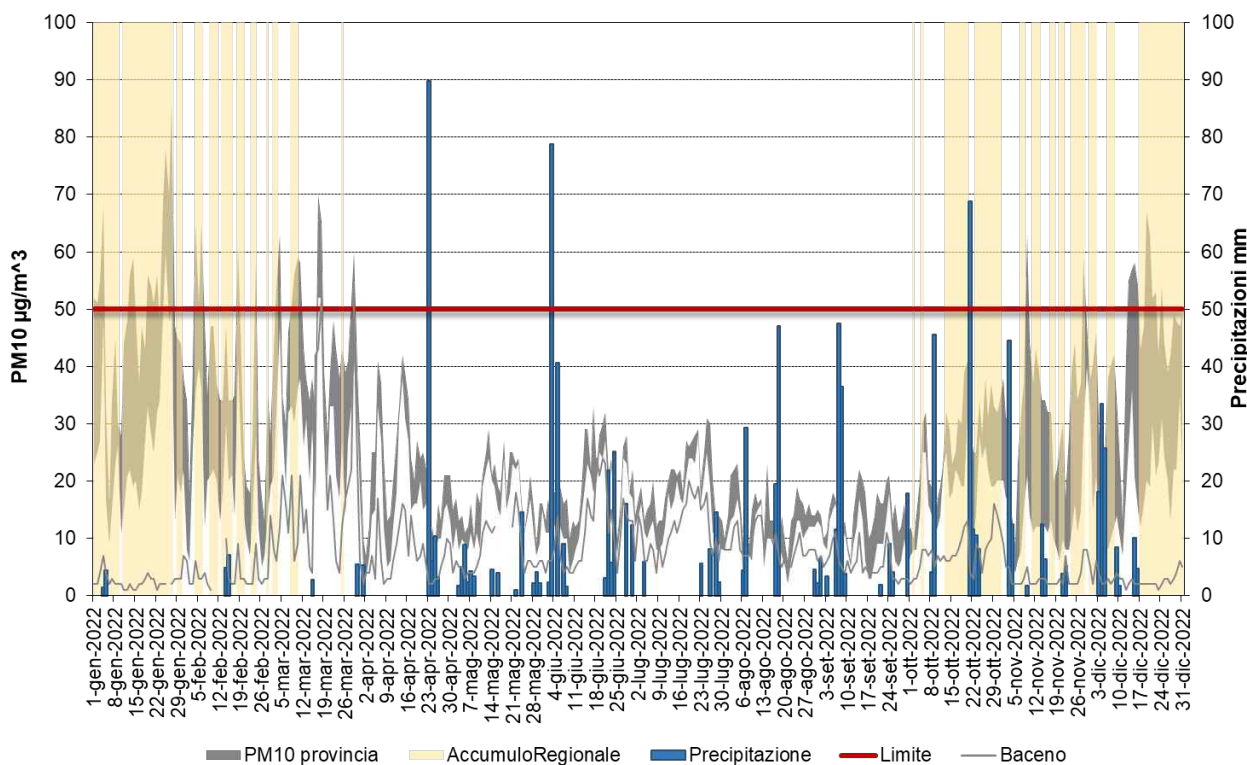


Figura 120 - PM10 Provincia di Verbania: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2022; concentrazioni medie giornaliere della stazione di Baceno; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Verbania; indicatore di accumulo regionale.

6.7.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 121 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 sempre su base mensile (per la stazione di Verbania 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. Tale fenomeno è particolarmente evidente presso il sito di Domodossola, zona di fondovalle alpino.

meteo al di sotto dei 600m di quota è inferiore o uguale a 1.5 m/s e non ci sono state precipitazioni $\geq 5\text{mm}$ negli ultimi 3 giorni.

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 121, si può notare come tra i punti di misura della provincia di Verbania le concentrazioni più elevate di Benzo(a)pirene nel PM10, relativamente all'anno 2022, si rilevano a Domodossola (media annuale 0,8 ng/m³), ma con un valore inferiore al valore obiettivo fissato dalla normativa (1,0 ng/m³), confermando per il sito il miglioramento già osservato nel 2021, mentre non si evidenziano differenze significative e criticità per la stazione di Verbania (media annuale 0,2 ng/m³).

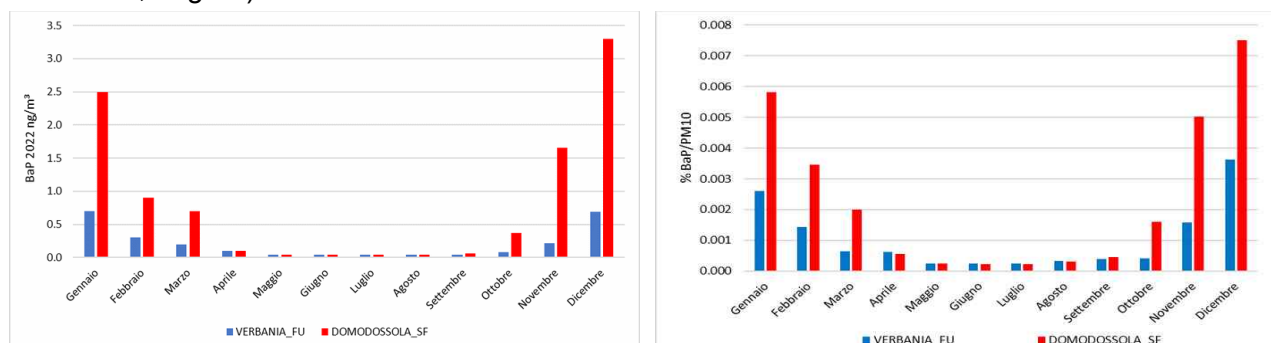


Figura 121 - benzo(a)pirene provincia di Verbania: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2022

6.7.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 122, 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 2022 si è registrato un lieve incremento nelle concentrazioni medie annue rispetto al 2021.

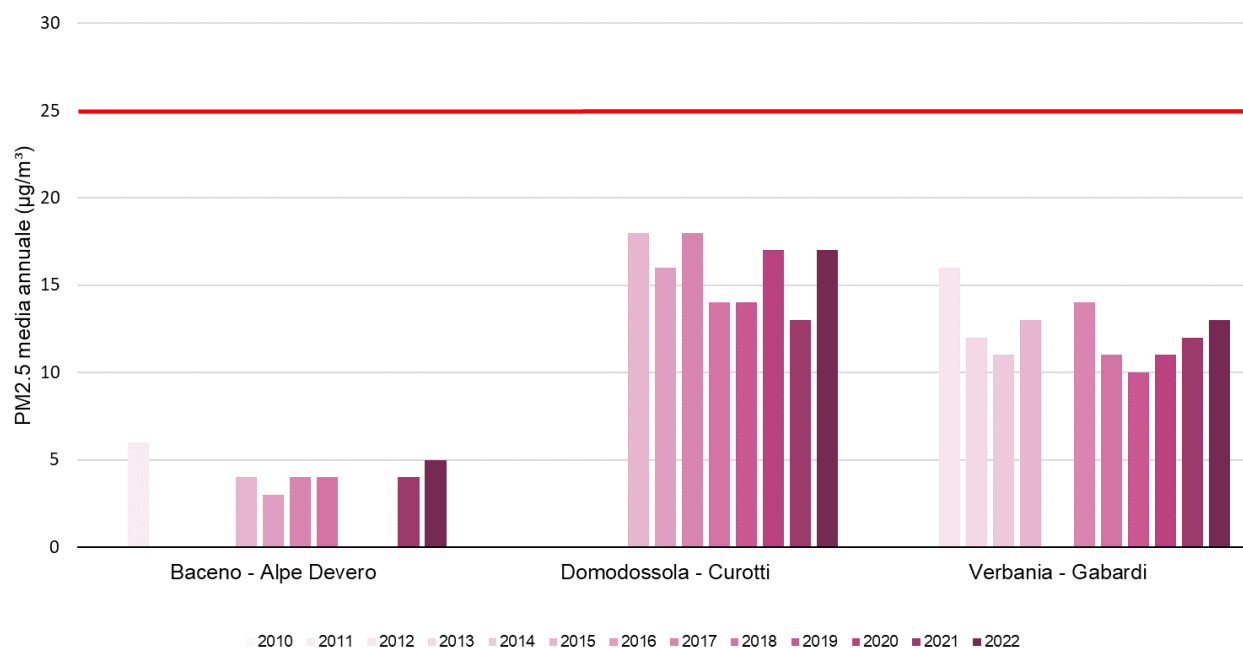


Figura 122 - PM2.5 provincia di Verbania: confronto medie annue

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 2022 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003. Nel 2022 il valore limite annuale è rispettato in tutte le stazioni della provincia (Figura 123).

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 2022 ha fatto registrare una media pari a 27 µg/m³. Presso le stazioni di fondo di Domodossola e Verbania le medie si attestano intorno a 15-16 µg/m³, a Pieve Vergonte a 11 µg/m³, mentre presso la stazione in quota di Baceno permangono basse tutto l'anno. Non si evidenziano particolari differenze rispetto all'anno precedente.

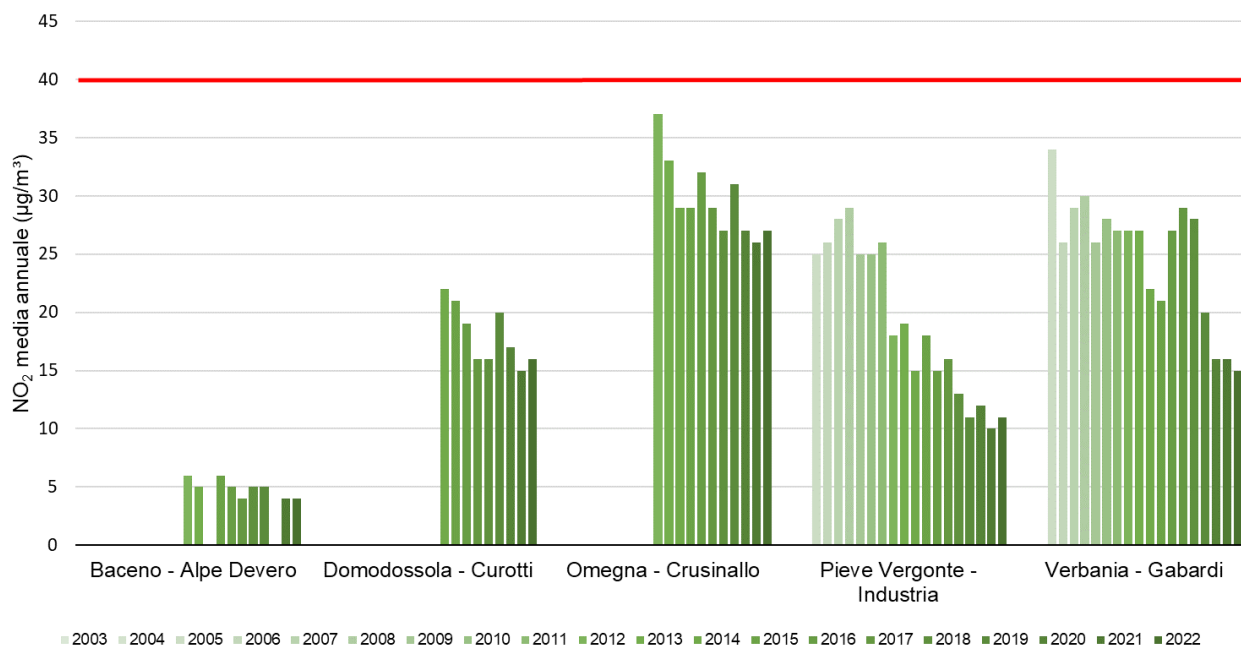


Figura 123 - NO₂ provincia di Verbania: confronto medie annue

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 124 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 2022 (linea rossa) mostrano livelli prossimi o inferiori alla media del periodo di riferimento 2013-2021 (linea blu tratteggiata, minimi e massimi banda azzurra), in maniera più evidente per le stazioni di Verbania e Baceno Alpe Devero. L'andamento dell'inquinante nel 2022 mostra in alcuni periodi concentrazioni medie inferiori anche rispetto a quelle rilevate nel 2020 (linea gialla), ad eccezione del periodo di maggiori restrizioni alle attività e alla mobilità introdotte per il contenimento dell'emergenza epidemiologica da COVID-19 (periodo metà marzo-inizio maggio 2020).

Le variazioni riscontrate sembrano confermare per l'inquinante la tendenza decrescente individuata nella maggior parte delle stazioni della rete negli ultimi anni.

Per la stazione di Baceno - Alpe Devero, i valori più alti della media registrati nel mese di dicembre sono probabilmente imputabili alle emissioni dei mezzi spazzaneve a servizio delle piste da sci.

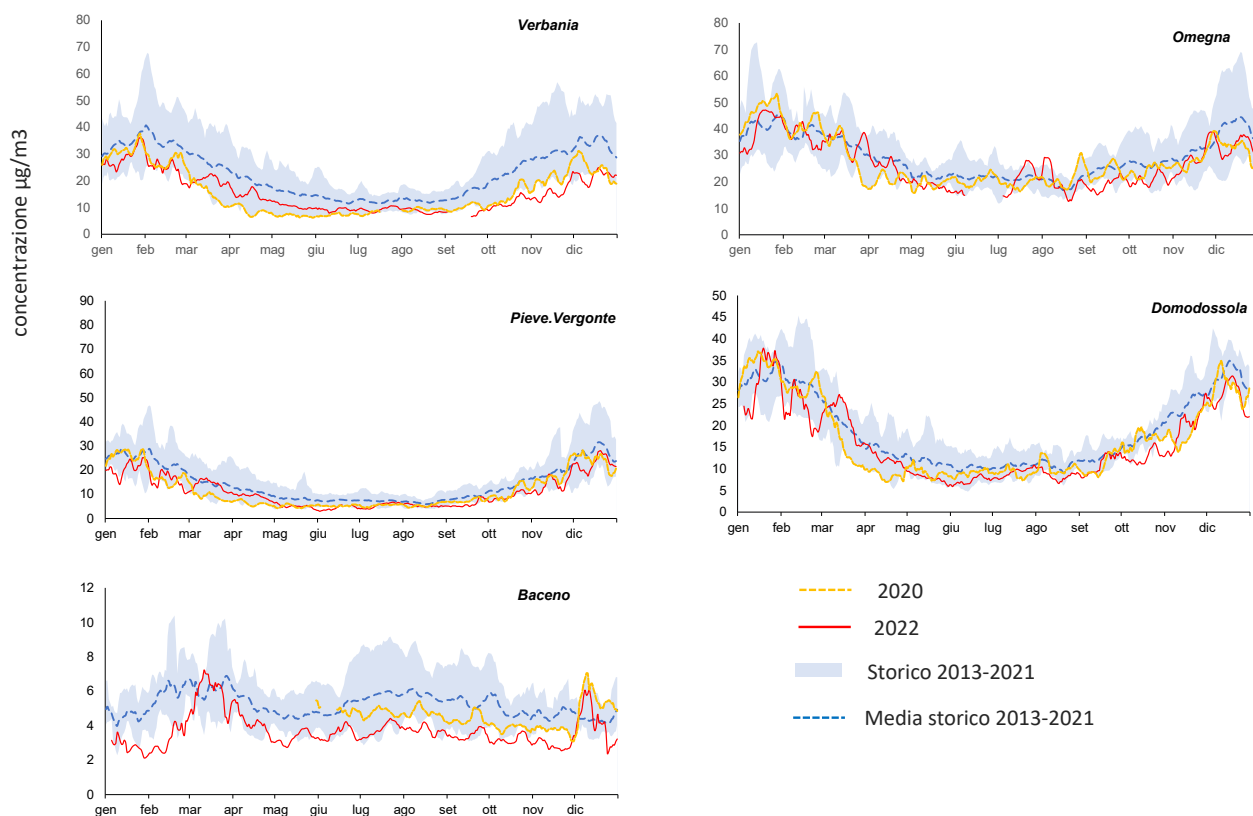


Figura 124 – NO₂ Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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 2022, 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 125), 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.

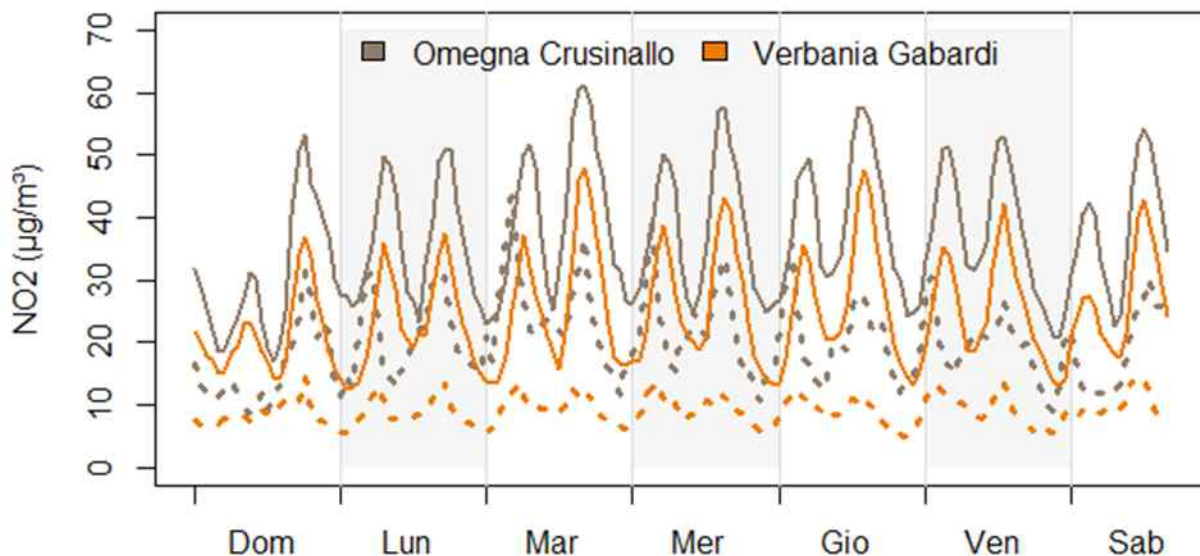


Figura 125 – NO₂ Provincia di Verbania: settimane tipo stazioni di Omegna Crusinallo e Verbania Gabardi

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 126 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2022, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile, come media su 3 anni.

Come risulta dal grafico (Figura 126) il valore obiettivo nel 2022 viene disatteso in tutte le stazioni della provincia, compresa la stazione di Baceno - Alpe Devero (in ragione della sua collocazione in quota presenta un diverso andamento), con variazioni legate alle caratteristiche meteorologiche degli anni di riferimento.

Anche per il 2022 si conferma il persistere della criticità legata a questo inquinante (come evidenziato a livello regionale), con concentrazioni in aria ambiente che non si riscontravano da diversi anni. Le condizioni climatiche che hanno caratterizzato i mesi estivi dell'anno, con periodi siccitosi e temperature elevate, hanno favorito lo sviluppo e la permanenza di elevate concentrazioni di ozono troposferico.

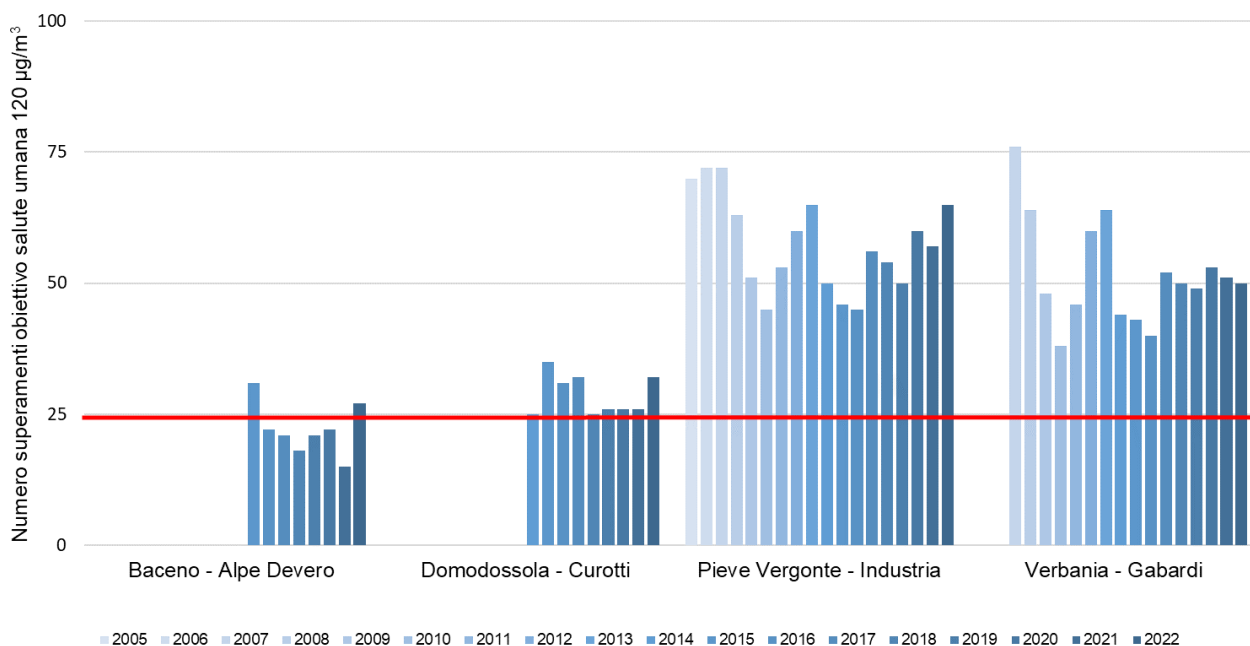


Figura 126 - O₃ Provincia di Verbania: numero superamenti obiettivo salute umana

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 127 si evidenziano nel 2022 alcuni periodi di scostamento rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2021, per tutte le stazioni della rete.

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.

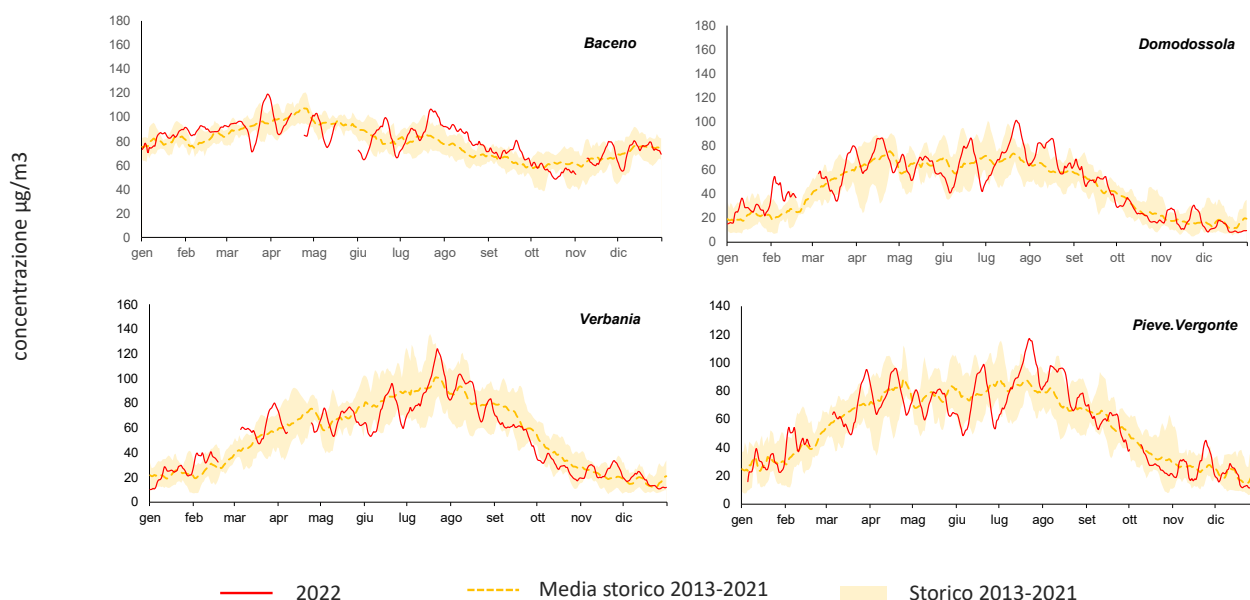


Figura 127 – O₃ Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

6.8 Provincia di Vercelli

In provincia di Vercelli, secondo quanto previsto dall'ultimo Programma di valutazione della qualità dell'aria ambiente (D.G.R. 30 dicembre 2019, n. 24-903), le stazioni della Rete Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria si trovano 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 128.

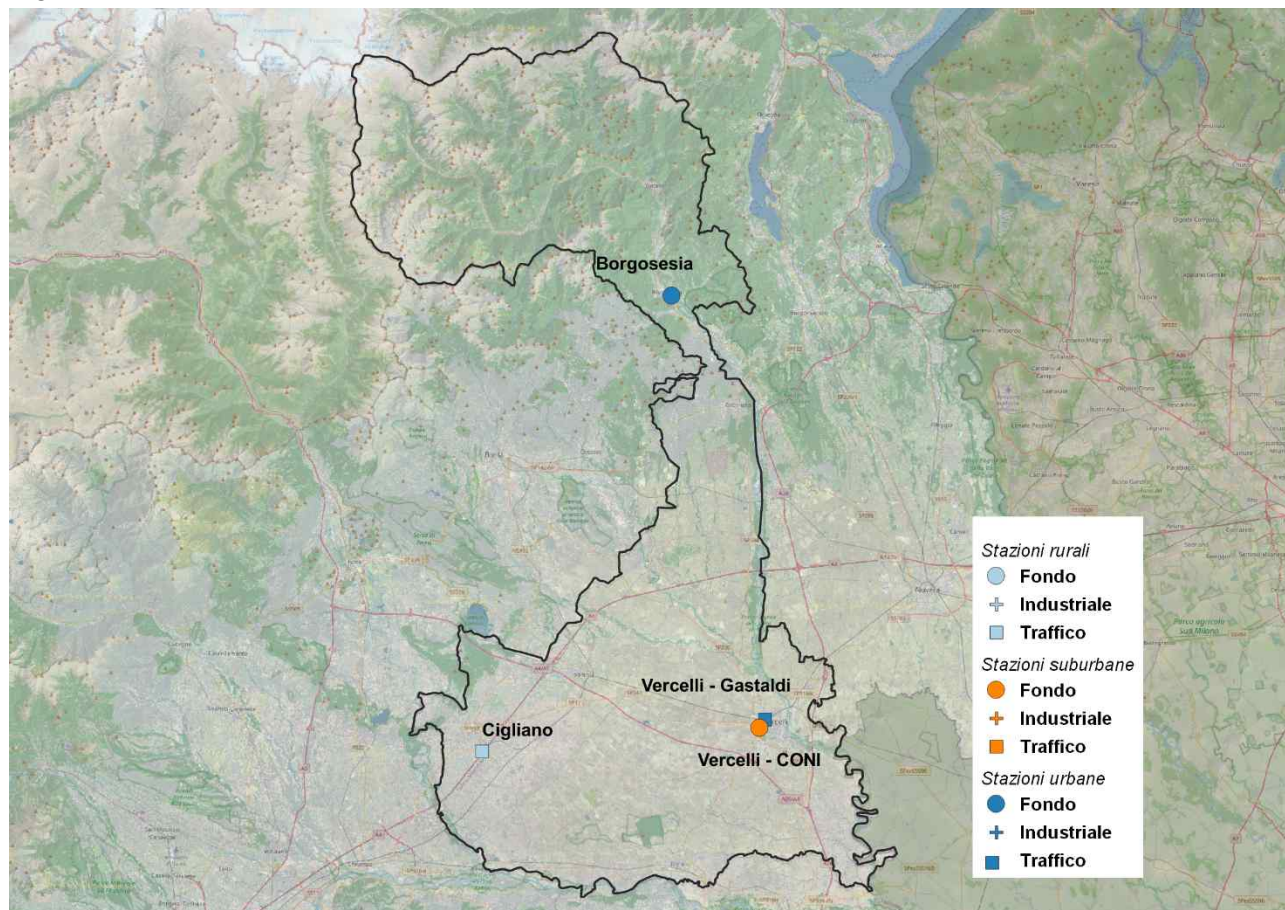


Figura 128: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Vercelli.

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 129 e Figura 130, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed il numero di superamenti del limite giornaliero, registrati presso le stazioni attive nel 2022 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 2022 mostra un lieve peggioramento delle concentrazioni medie annue, imputabili principalmente alle condizioni di stabilità atmosferica (alta pressione e assenza di precipitazioni), favorevoli all'accumulo degli inquinanti, che hanno caratterizzato l'anno e in particolare il primo trimestre.

I dati del 2022 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.

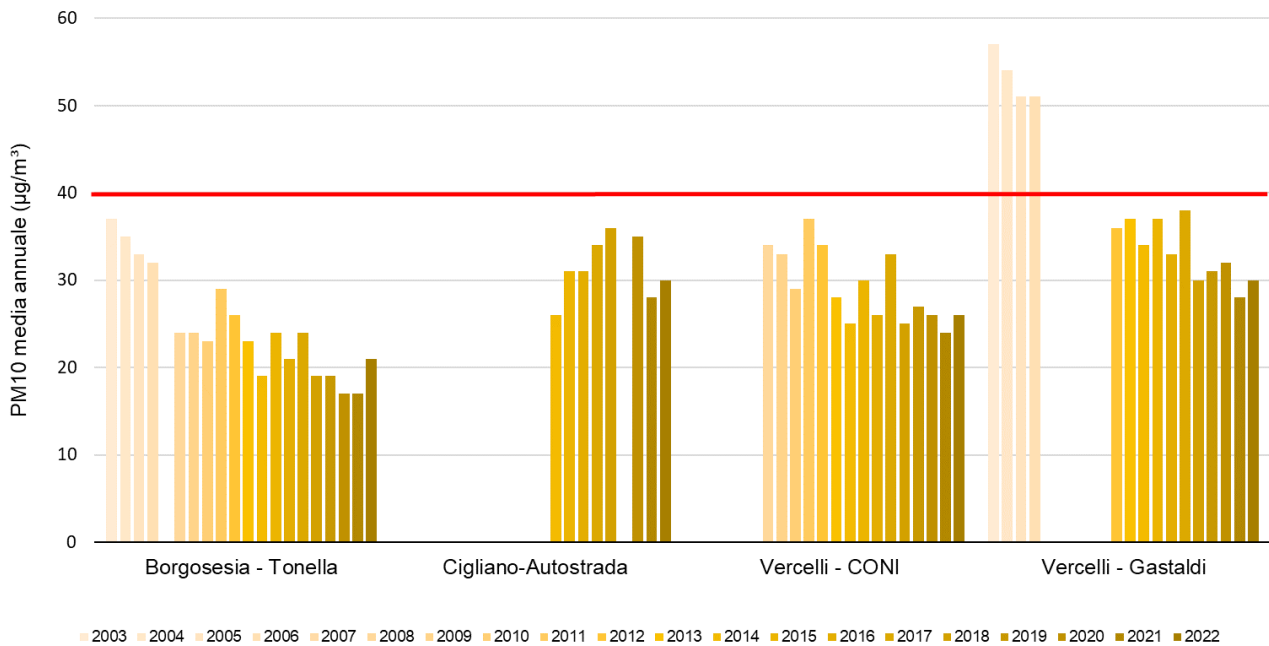


Figura 129 - PM10 provincia di Vercelli: confronto medie annue

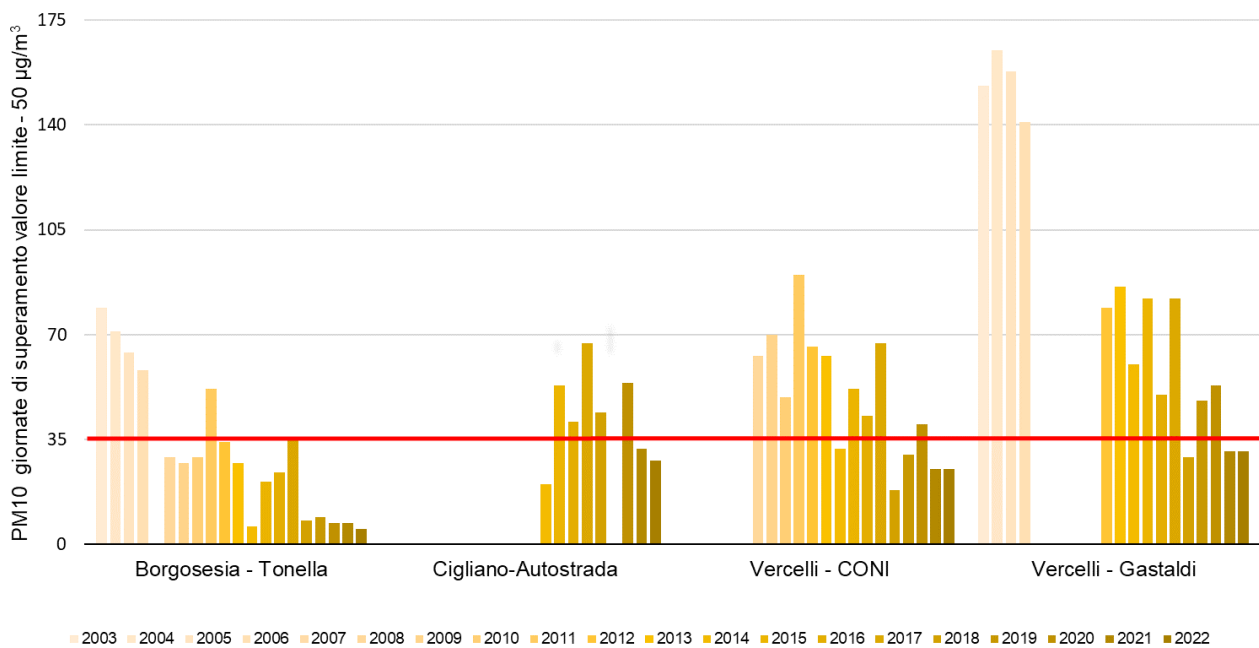


Figura 130 - provincia di Vercelli: numero di superamenti del limite giornaliero

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2022 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2021, sono riportate nella Figura 131. 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 2022 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia) e medi (linea grigio scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2021 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 significativi rispetto agli anni precedenti (area grigia), se non nei primi mesi dell'anno, che, come detto, sono stati caratterizzati da frequenti e intensi periodi di stagnazione atmosferica, che hanno favorito la formazione e l'accumulo dell'inquinante. Si rileva un altro periodo di accumulo nel periodo ottobre-novembre.

Si evidenzia come i picchi di concentrazione rilevati da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 16-18 marzo, negli ultimi giorni del mese e dal 20 al 23 maggio (meno evidente), siano dovuti a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che hanno interessato anche il Piemonte. In tutte le stazioni, inoltre, nel periodo estivo si evidenziano picchi di PM10 con concentrazioni non particolarmente elevate, ma comunque superiori alla media del periodo di riferimento.

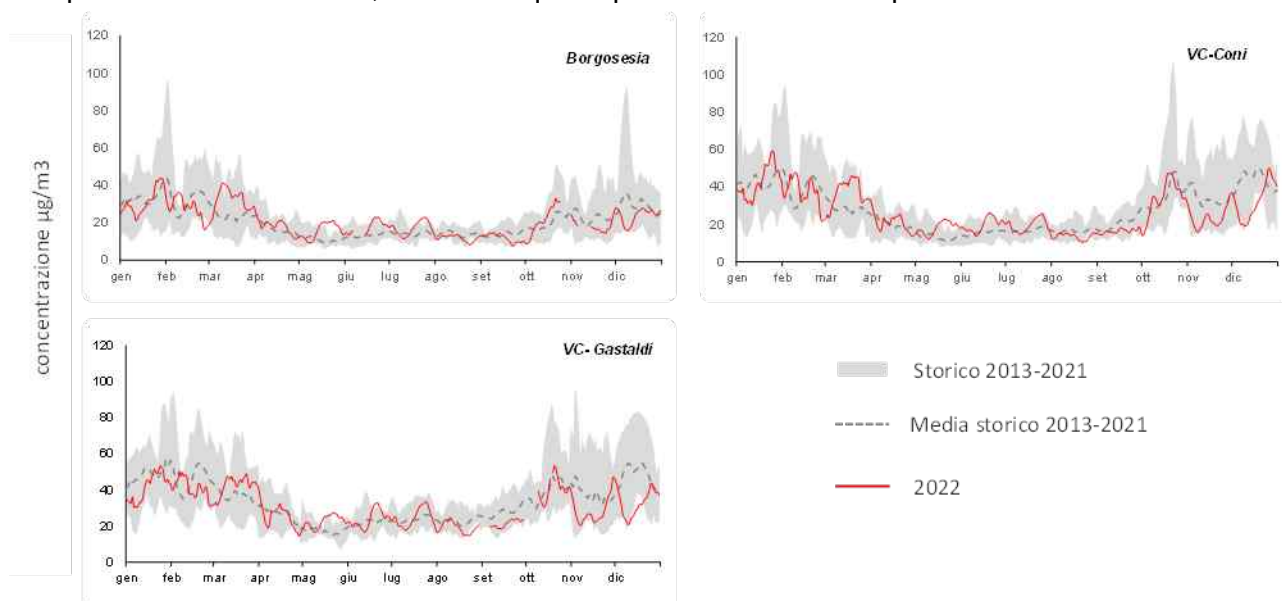


Figura 131 - PM10 Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 132, 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 2022 (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.

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 1.5 m/s e non ci sono state precipitazioni ≥ 5 mm negli ultimi 3 giorni.

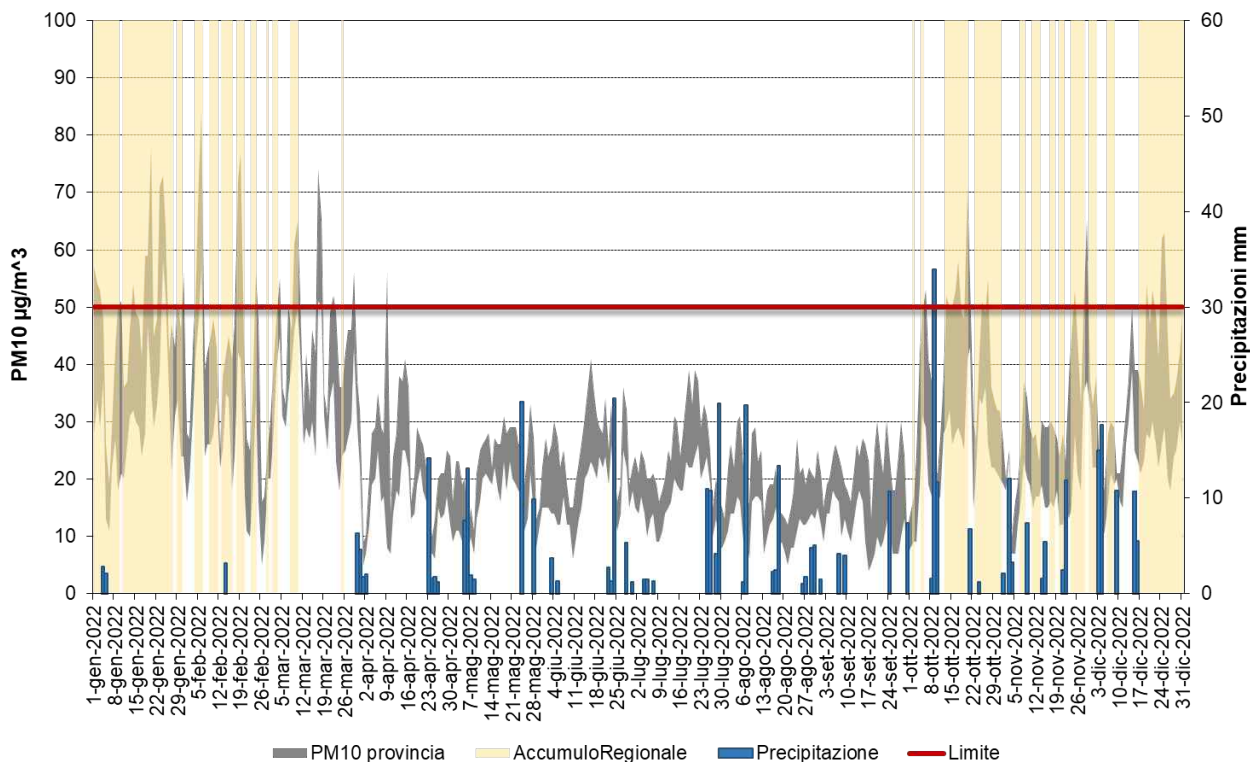


Figura 132 - PM10 Provincia di Vercelli: range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della provincia in ciascun giorno del 2022; precipitazioni cumulate giornaliere misurate a Vercelli; indicatore di accumulo regionale.

6.8.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 133 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.

Osservando la Figura 133, si può notare come in tutti i punti di misura della provincia, Vercelli - CONI e Borgosesia, nell'anno 2022, 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/m³), attestandosi rispettivamente a 0,3 ng/m³ e 0,4 ng/m³.

Pertanto, non si evidenziano criticità, anche considerando l'andamento mensile del contributo percentuale di Benzo(a)pirene al PM10.

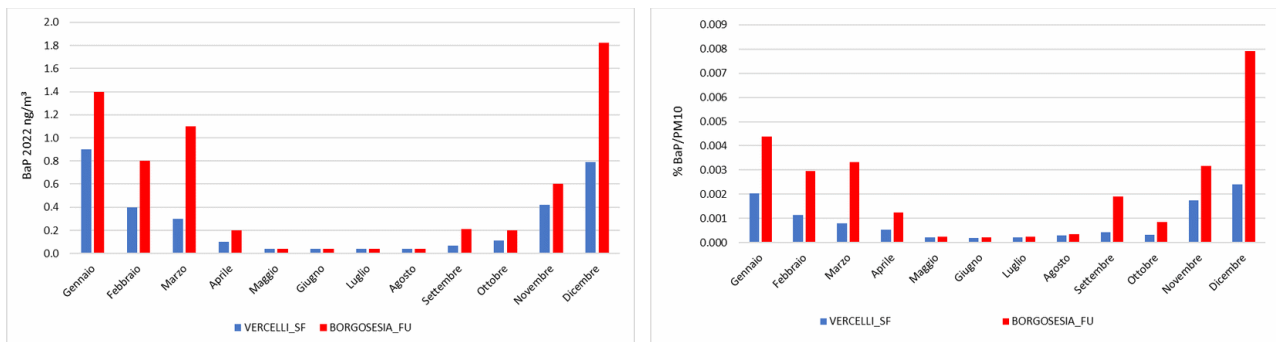


Figura 133 - benzo(a)pirene concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2022

6.8.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 134, 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 2022 si è registrato un lieve incremento nelle concentrazioni medie annue rispetto al 2021.

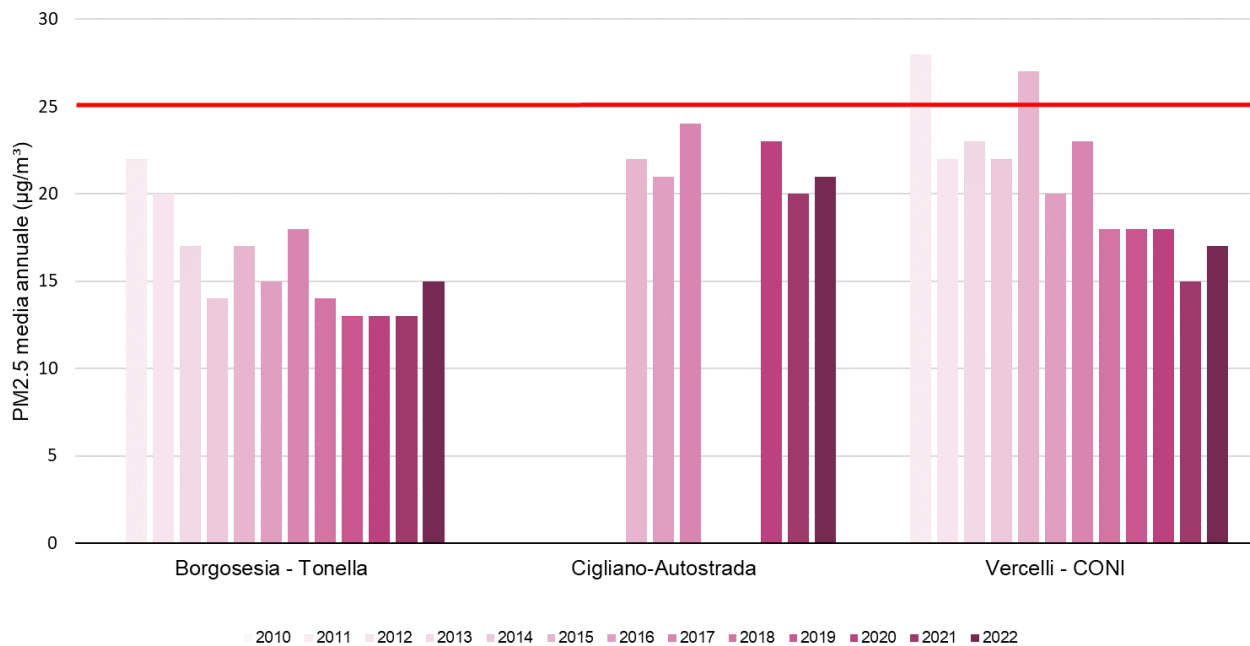


Figura 134 - PM2.5 provincia di Vercelli: confronto medie annue

6.8.4 Biossido di azoto (NO₂)

Nella Figura 135 sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ rilevate presso le stazioni della rete provinciale, ove disponibili, a partire dall'anno 2003 ed attive nel 2022, da cui si evince che nel 2022 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 2022 la concentrazione media è stata intorno a 20-21 µg/m³.

Nelle restanti stazioni di fondo di Vercelli - CONI e Borgosesia le medie rilevate si sono attestate intorno a 13-14 µg/m³.

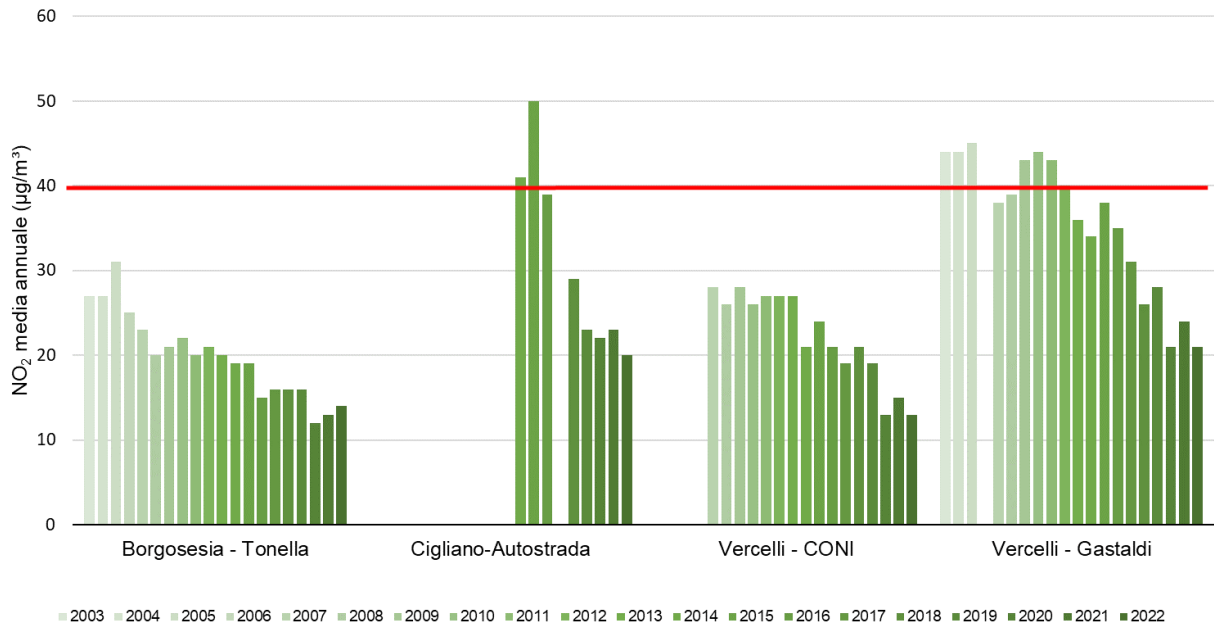


Figura 135- NO₂: confronto medie annue

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 136 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 2022 (linea rossa) mostrano livelli prossimi o inferiori alla media del periodo di riferimento 2013-2021 (linea blu tratteggiata, minimi e massimi banda azzurra), in maniera più evidente per le stazioni da traffico Vercelli - Gastaldi e Cigliano. L'andamento dell'inquinante nel 2022 mostra in alcuni periodi concentrazioni medie inferiori anche rispetto a quelle rilevate nel 2020 (linea gialla), ad eccezione del periodo di maggiori restrizioni alle attività e alla mobilità introdotte per il contenimento dell'emergenza epidemiologica da COVID-19 (periodo metà marzo-inizio maggio 2020).

Le variazioni riscontrate sembrano confermare per l'inquinante la tendenza decrescente individuata nella maggior parte delle stazioni della rete negli ultimi anni.

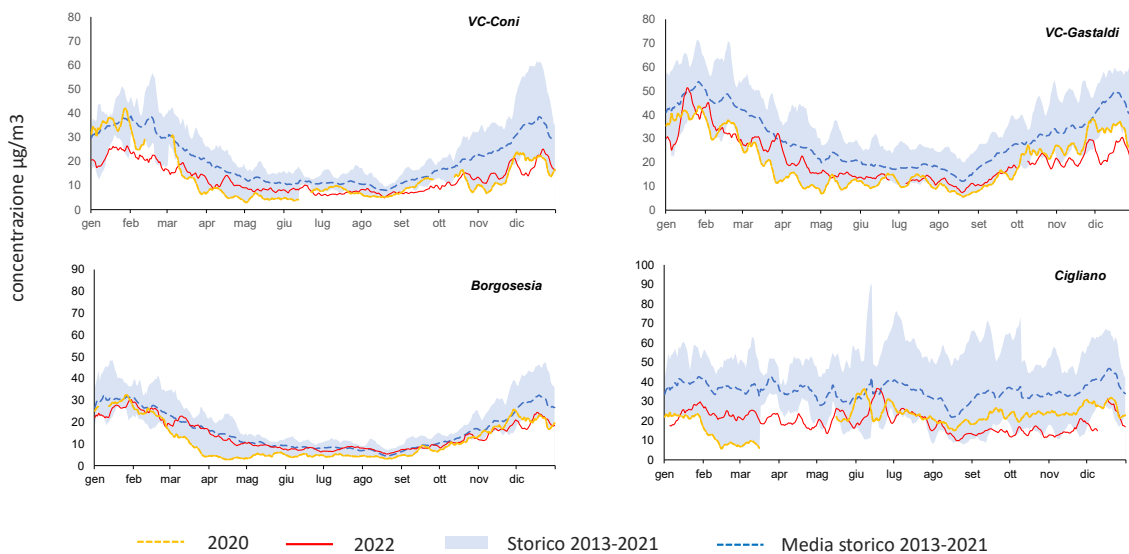


Figura 136 – NO₂ Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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 2022, 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 137), 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.

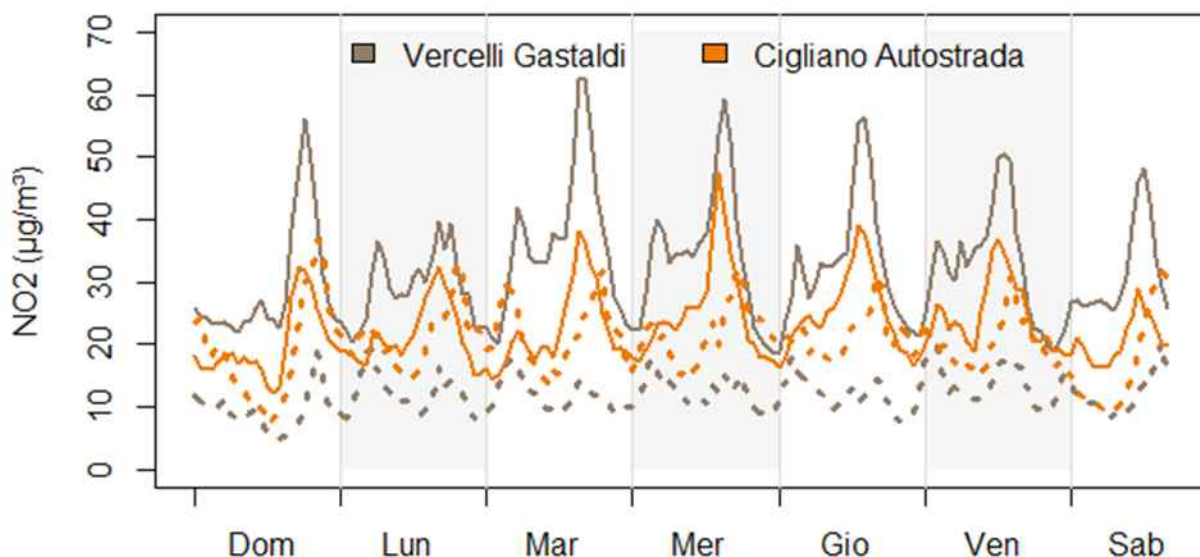


Figura 137 – NO₂ Provincia di Vercelli: settimane tipo stazioni di Vercelli Gastaldi e Cigliano Autostrada

6.8.5 Ozono (O₃)

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

In Figura 138 è riportato l’andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana, da non superarsi per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni, rilevati dal 2005 al 2022 (il dato attribuito al 2022 è relativo al triennio 2010-2022).

Tale valore obiettivo viene ampiamente disatteso nelle due stazioni considerate. Anche per il 2022 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. Le condizioni climatiche che hanno caratterizzato i mesi estivi dell’anno, con periodi siccitosi e temperature elevate, hanno favorito lo sviluppo e la permanenza di elevate concentrazioni di ozono troposferico.

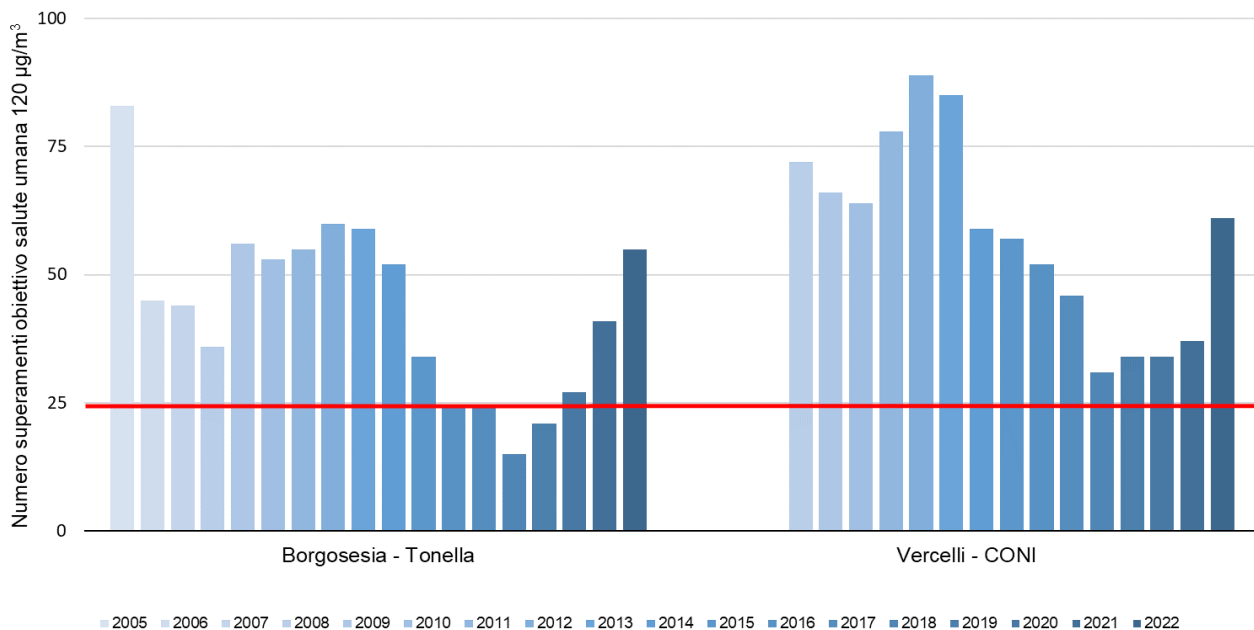


Figura 138 - O₃: numero superamenti obiettivo salute umana

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 139 risulta evidente lo scostamento del 2022 (linea rossa), rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2021, in particolare nel periodo compreso tra marzo e ottobre, per entrambe le stazioni della rete.

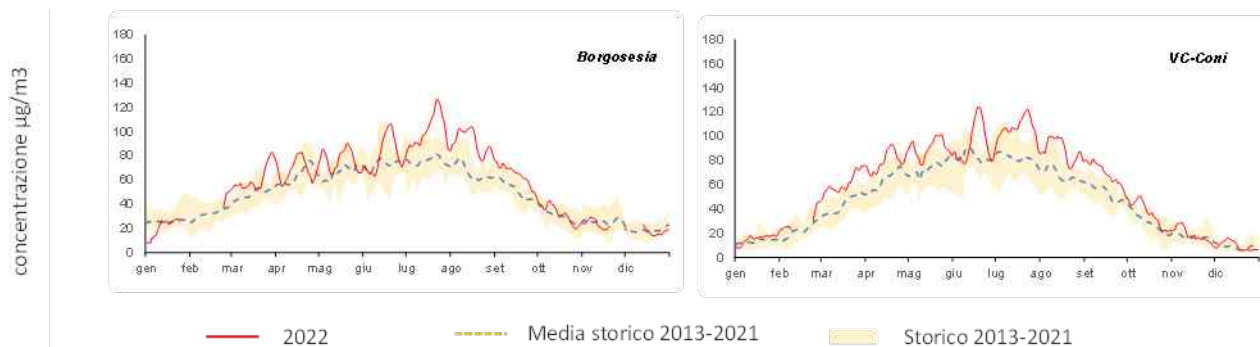


Figura 139 – O₃ Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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

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>]

critici di biossido di azoto e di PM10 rispetto a Domodossola (vedi Tabella 22 e Figura 140), ma quest'ultima è caratterizzata da livelli di benzo(a)pirene generalmente superiori o prossimi al valore obiettivo 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 2022 i valori di benzo(a)pirene a Domodossola sono risultati inferiori al valore obiettivo, confermando il miglioramento già osservato nel 2021, ma comunque mostra valori pari al doppio rispetto a Torino - 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 141.

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	8581	6867	8581	8264	8574	8420
Percentuale ore valide	98%	78%	98%	94%	98%	96%
Media delle medie mensili dei massimi giornalieri	32	52	34	53	4.49	3.97
Media dei massimi giornalieri	32	50	33	55	4.41	4.03
Media dei valori orari	16	31	10	22	1.83	2.03

Tabella 22: dati statistici anno 2022 per le stazioni Torino-Lingotto e Domodossola-Curotti

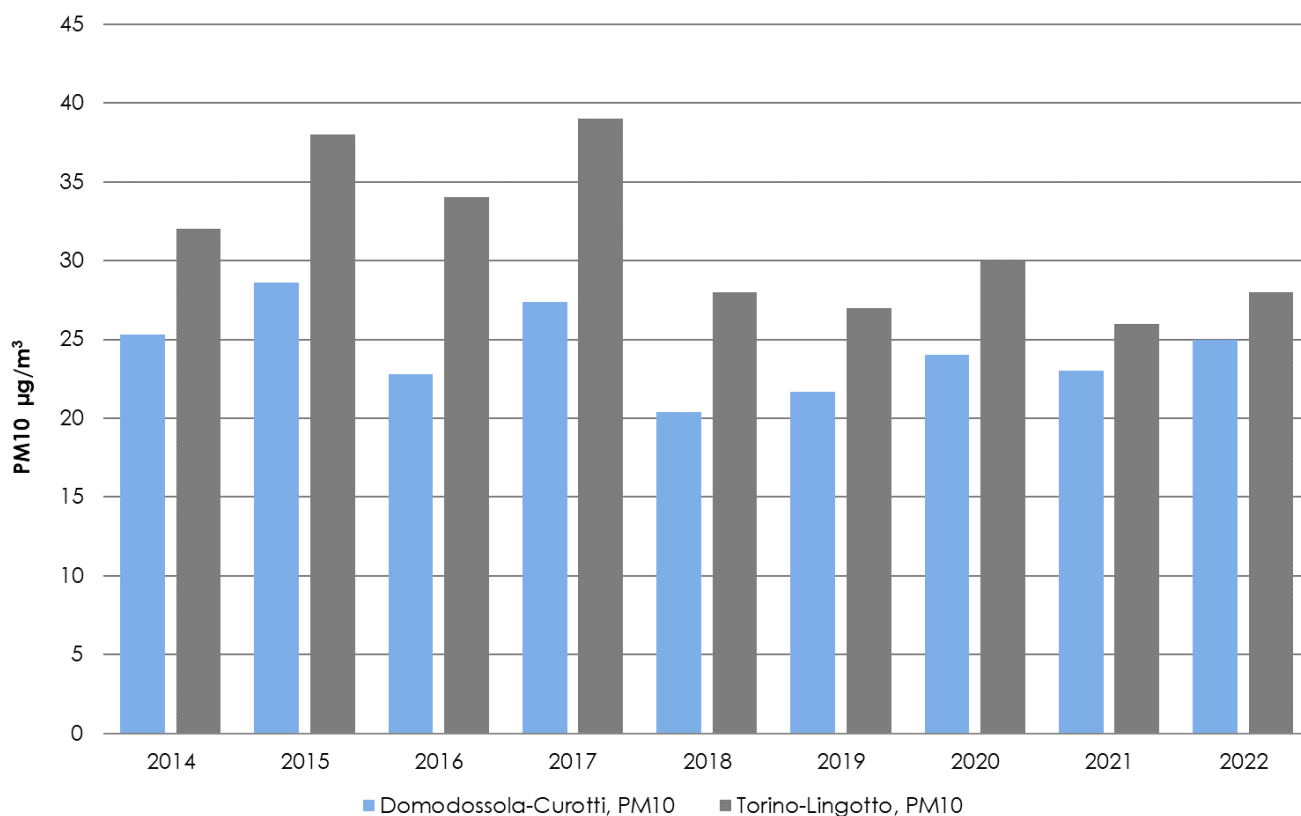


Figura 140: medie annuali di PM10 a Torino - Lingotto e Domodossola - Curotti.

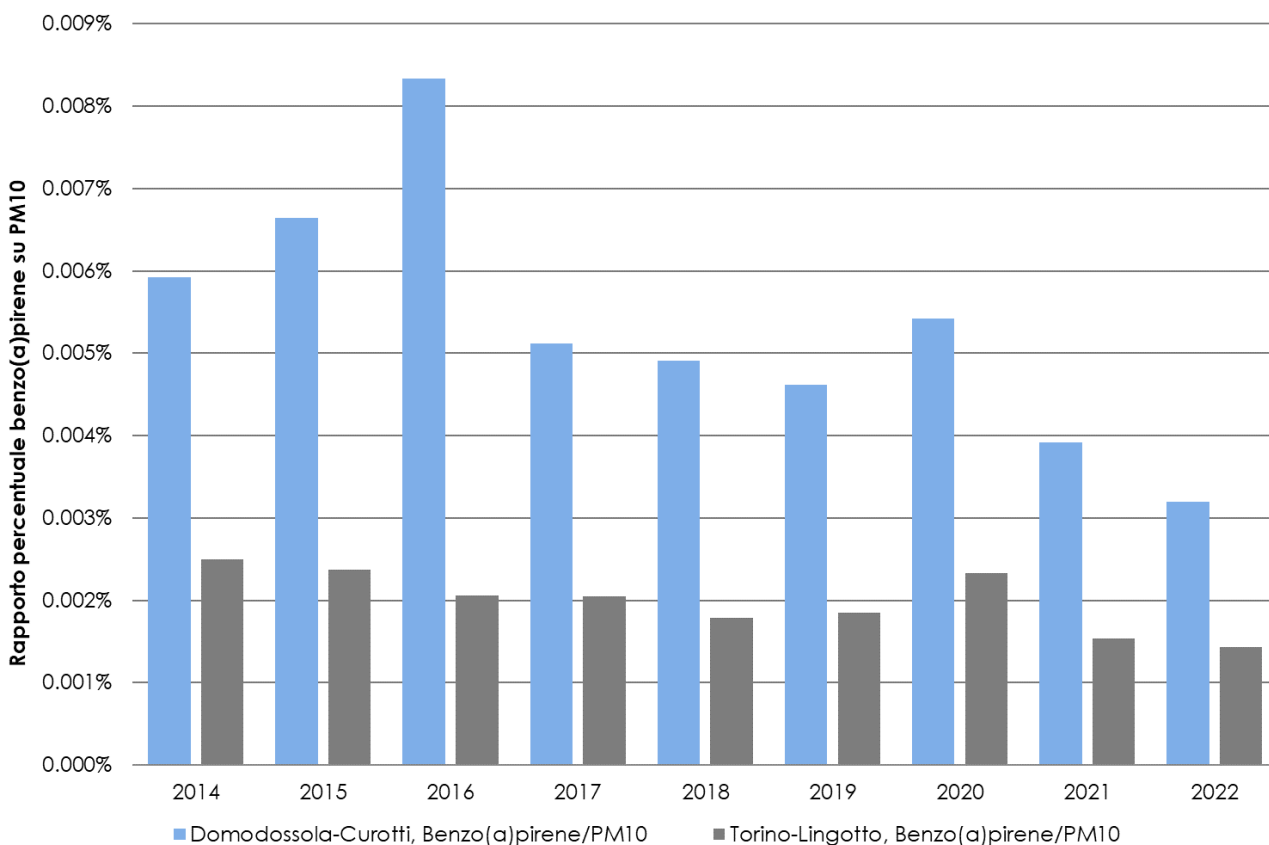


Figura 141: percentuale di benzo(a)pirene nel PM10 – anni 2014-2022

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 2022 l'andamento del parametro BC (Figura 142) è però cambiato rispetto agli anni precedenti, in quanto a Domodossola la media annuale è risultata, per la prima volta da quando viene misurata (2019), più bassa rispetto a quella di Torino - Lingotto, mentre i dati di media annuale di PM10 rispettano la consuetudine, sono più alti a Torino - Lingotto rispetto a Domodossola: per la prima volta i due siti presentano un contributo di BC nel PM10 uguale, pari al 7,3%, come si può vedere in Figura 142. I valori giornalieri mantengono l'andamento tipico annuale con massimi invernali e minimi estivi, correlato a quello del PM10.

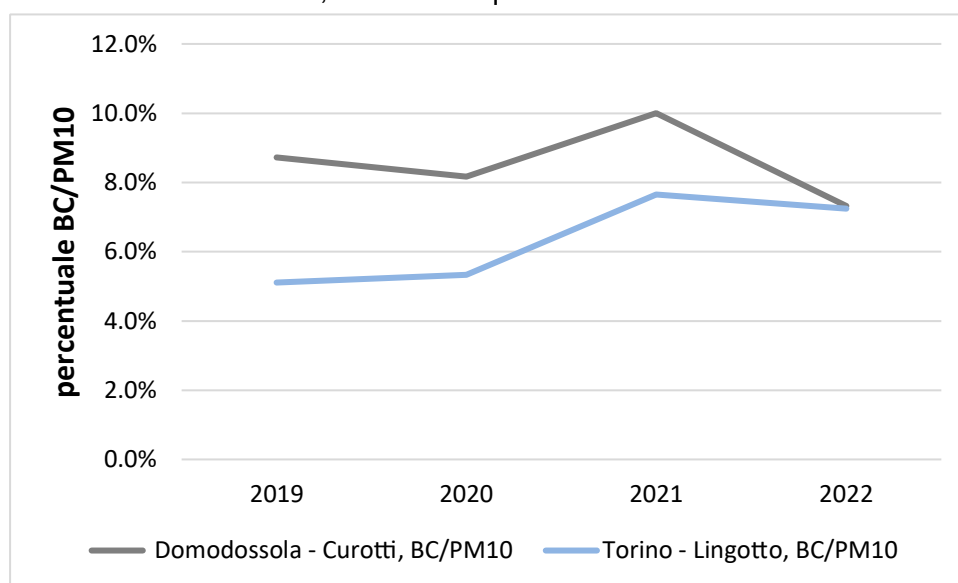


Figura 142: Andamento annuale della percentuale di BC nel PM10 a Torino e Domodossola

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

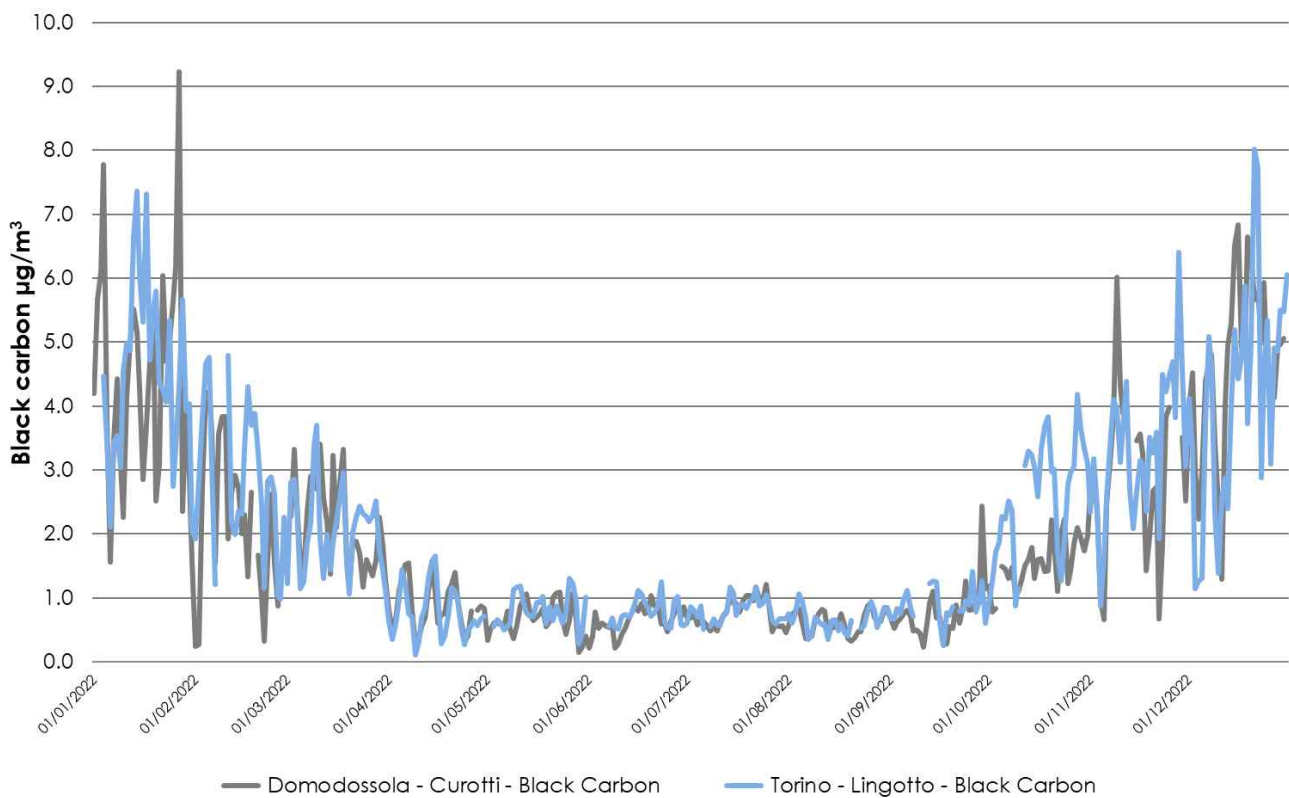


Figura 143: Andamento giornaliero del BC a Torino e Domodossola nel 2022

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 cinque inverni a Torino - Lingotto la correlazione è ottima (R di Pearson 0.9), mentre a Domodossola è più scarsa (R di Pearson 0.6), come si può vedere in Tabella 23 ed in Tabella 24. Questo indica il maggiore contributo della sorgente traffico al BC misurato a Torino, rispetto a Domodossola.

		To-Lingotto - Black Carbon									
		R di Pearson ott-dic 2018	R di Pearson gen-mar 2019	R di Pearson ott-dic 2019	R di Pearson gen-mar 2020	R di Pearson ott-dic 2020	R di Pearson gen-mar 2021	R di Pearson ott-dic 2021	R di Pearson gen-mar 2022	R di Pearson ott-dic 2022	R di Pearson gen-mar 2023
To-Lingotto - NO ₂		0.63	0.68	0.75	0.79	0.65	0.71	0.71	0.54	0.57	0.67
To-Lingotto - NO		0.90	0.93	0.90	0.95	0.90	0.88	0.88	0.90	0.87	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

Tabella 23: 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 gen-mar 2019	R di Pearson ott-dic 2019	R di Pearson gen-mar 2020	R di Pearson ott-dic 2020	R di Pearson gen-mar 2021	R di Pearson ott-dic 2021	R di Pearson gen-mar 2022	R di Pearson ott-dic 2022	R di Pearson gen-mar 2023
Domodossola Curotti - NO ₂	0.61	0.70	0.60	0.74	0.65	0.66	0.71	0.78	0.69	0.70
Domodossola Curotti - NO	0.65	0.39	0.65	0.61	0.57	0.47	0.62	0.53	0.58	0.46
Domodossola Curotti - PM10	0.82	0.83	0.85	0.88	0.83	0.61	0.94	0.80	0.93	0.88

Tabella 24: 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 Torino - 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 (47 % contro 29 % rispettivamente); non si evidenzia un particolare trend in Domodossola, mentre a Torino la percentuale negli ultimi tre inverni risulta una decina di punti in più rispetto agli inverni 2018-2019 e 2019-2020 (Tabella 25).

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 144 e Figura 145, rappresentate come concentrazioni medie mensili.

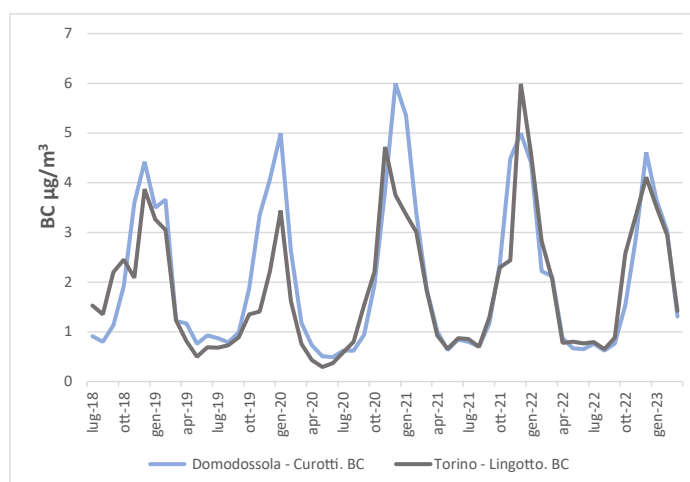


Figura 144: andamento medio BC - medie mensili - a Torino - Lingotto e Domodossola - Curotti luglio 2018-marzo 2023

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)

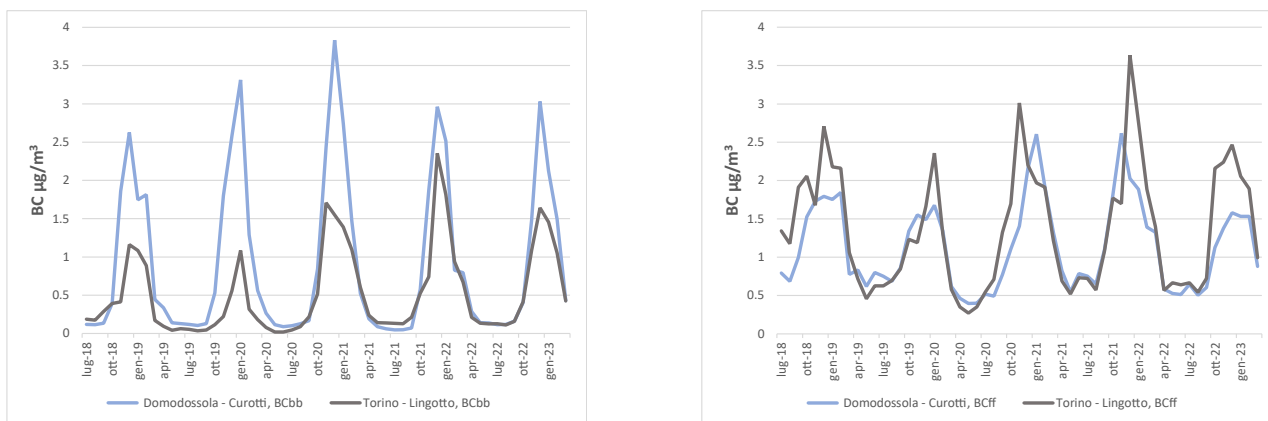


Figura 145: andamento medio BC da combustione delle biomasse (BCbb) e da combustione di combustibili fossili (BCff) - medie mensili - a Torino - Lingotto e Domodossola - Curotti luglio 2018-marzo 2023

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 a questa fonte, come osservabile nella Figura 146.

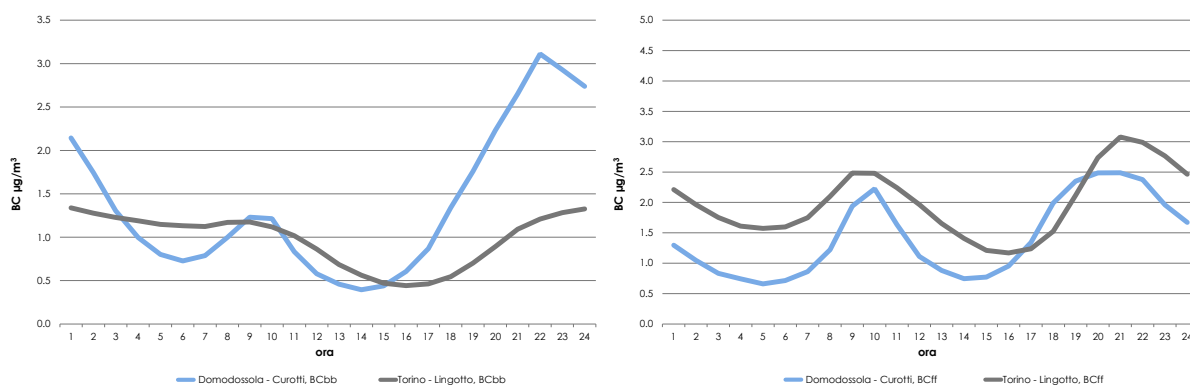


Figura 146: andamento del giorno medio per il BC da combustione di biomasse (sinistra) e per il BC da combustione di combustibili fossili (destra) nel periodo ottobre 2022 – marzo 2023

È interessante il confronto nella variazione dei parametri misurati nel periodo freddo (ottobre-marzo) finora disponibili (Tabella 25): per Torino - Lingotto il PM10, dopo inverni in cui l'andamento era stabile, si evidenzia una diminuzione, mentre per Domodossola, le concentrazioni sembrano essersi stabilizzate negli ultimi tre inverni. Il BC dell'inverno 2022-23 complessivamente è in diminuzione in entrambi i siti, ma con caratteristiche differenti.

A Torino - Lingotto si conferma il rapporto tra la componente da combustione di biomassa e combustibili fossili (circa 33% BCbb e 67% BCff).

A Domodossola nel 2022-2023, invece, risulta in aumento la stima percentuale di BC da combustione di biomassa (passa da 43% a 47%), evidenziando, a parità di concentrazioni medie di PM10, concentrazioni più basse di BC rispetto all'inverno precedente, ma più ricco 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 in Piemonte la stagione invernale 2022-23 è risultata piuttosto calda, con un'anomalia termica positiva di 1,1 °C rispetto alla media del periodo 1991-2020, risultando la nona stagione più calda rispetto alla serie storica degli ultimi 66 anni. Anche le precipitazioni sono state inferiori alla media del periodo 1991-2020, con 111,7 mm medi ed un deficit pluviometrico del 24%. In particolare, l'inverno 2022-2023 a Domodossola ha registrato temperature medie più alte di 1,3 °C (7,5°C) rispetto a quelle dell'inverno 2021-2022 (6,2°C), con una media dei massimi giornalieri superiore (14°C contro 13,3°C). Anche a Torino le temperature medie sono state più alte di 1,2°C nel 2022-2023 rispetto al 2021-22 (9,6°C contro 8,4°C), anche qui con una media dei massimi giorno-

lieri superiore (13,4°C contro 12,5°C). Per quanto riguarda le precipitazioni, a Domodossola i mm di pioggia totali caduti da ottobre a marzo sono risultati confrontabili con l'inverno precedente (+9,2 mm), mentre a Torino si è registrato un deficit di 32,4 mm. Anche le precipitazioni nevose sono state scarse, come già osservato nell'inverno 2021-2022. Presso il sito della Diga di Larecchio che, pur se ubicato in quota (1860 slm) è distante solo una ventina di chilometri da Domodossola, si sono registrati, nell'inverno 2022-2023 279 cm di neve, nell'inverno 2021-2022 se ne erano registrati 241 cm, contro i 506 cm dell'inverno 2020-2021. In generale da circa metà dicembre alla seconda decade di febbraio non si sono osservate precipitazioni significative, determinando un lungo periodo di stabilità atmosferica che ha facilitato l'accumulo di PM10 e fatto registrare parecchi superamenti del limite giornaliero, in entrambi i siti.

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

Tabella 25: medie e variazioni percentuali degli inquinanti invernali (ott-mar) dal 2018 al 2023

Quindi si può supporre che grazie alle temperature mediamente più alte registrate nell'inverno 2022-2023, in entrambi i siti le emissioni di BC da combustione di biomassa siano state ridotte. In generale le politiche messe in atto lo scorso inverno per il contenimento dei consumi energetici, insieme alle più miti temperature, potrebbero aver contribuito alla riduzione dei diversi parametri analizzati rispetto all'inverno dell'anno precedente.

Per poter valutare se le concentrazioni di black carbon misurate siano 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.

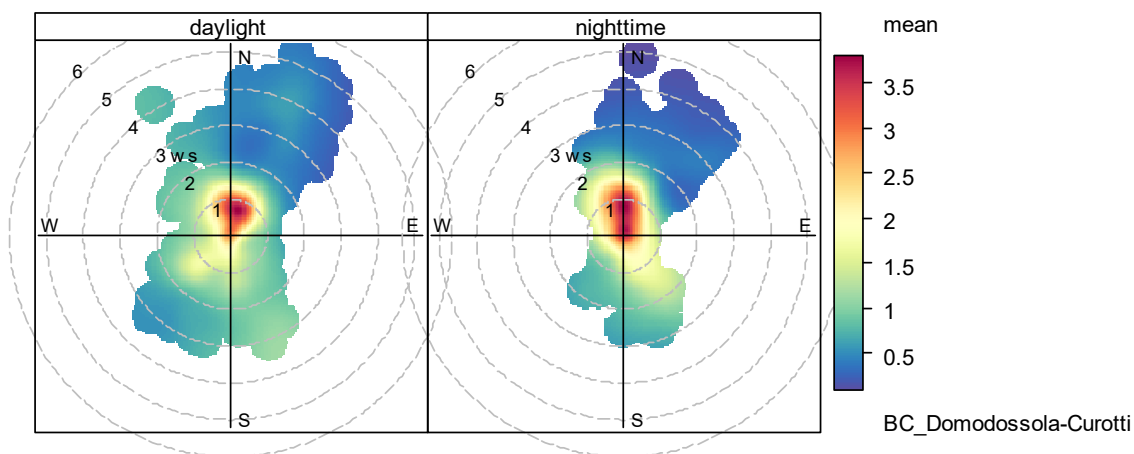


Figura 147: Domodossola-Curotti, polar plot delle concentrazioni di BC in funzione di direzione e velocità del vento

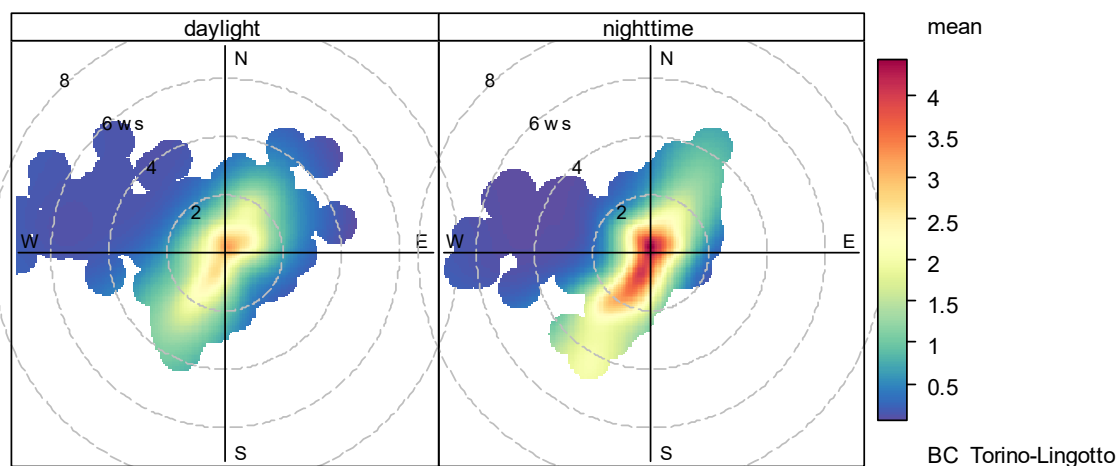


Figura 148: Torino-Lingotto, Polar plot delle concentrazioni di BC in funzione di direzione e velocità del vento

Il confronto dei grafici polar plot delle due stazioni, relativi al periodo invernale 01/10/2022-31/03/2023, in Figura 149 e Figura 150, conferma la differenza che caratterizza i due siti di misura. Per la stazione di Domodossola - Curotti si registrano le concentrazioni maggiori di BC in condizioni di bassa ventilazione (in ragione delle condizioni anemologiche del sito), prossime al punto di monitoraggio, identificando sorgenti emmissive riferibili a una scala spaziale a carattere locale. Per la stazione di Torino - Lingotto, invece, si rilevano concentrazioni significative con vento 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.

7.2 Aggiornamento dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera per l'anno 2019

Testo a cura di Francesca Bissardella e Stefania Ghigo (Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali)

7.2.1 Approfondimenti sui comparti riscaldamento civile e allevamento

Il settore Emissioni e Rischi Ambientali della Direzione Ambiente, Governo e Tutela del Territorio della Regione Piemonte ha da breve elaborato l'ultimo aggiornamento dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera riferito all'anno 2019.

A livello di contributo percentuale ripartito per comparto emissivo e relativo alle emissioni dei singoli inquinanti non vi sono sostanziali variazioni rispetto alla release precedente (IREA 2015), descritta nel dettaglio nel paragrafo 3.2 poiché utilizzata come input al modello di chimica e trasporto FARM, in uso presso Arpa Piemonte. Rispetto all'ultima versione, Regione Piemonte ha tuttavia effettuato degli approfondimenti nella stima delle emissioni di determinati comparti emissivi: l'introduzione di questa informazione maggiormente dettagliata all'interno del preprocessore EMMA⁴⁸, che predispose l'input emissivo al modello FARM, comporta una più realistica disaggregazione spaziale dei campi emissivi. Inoltre, tali approfondimenti risultano essenziali nel supporto di Arpa alle richieste della stessa Regione Piemonte, quali la predisposizione di piani di azione o di programmi di risanamento e conservazione dell'aria ambiente.

Regione Piemonte, in collaborazione con il Politecnico di Torino, ha realizzato un primo approfondimento nell'ambito del riscaldamento civile, andando a specificare la composizione e il grado di anzianità del parco impianti termici alimentati a biomasse combustibili solide⁴⁹ in funzione della stima dei relativi ratei emissivi, a livello comunale. L'analisi è stata condotta a fronte del fatto che le emissioni di PM10 originate dalla combustione della biomassa del comparto combustione non industriale apportano un contributo del 50% alle emissioni totali.

La Figura 149 riporta i quantitativi emissivi di biossido di azoto e particolato primario PM10, distinguendo tra impianti "residenziali" e "istituzionali e commerciali" e mettendo insieme le informazioni relative alla tipologia di generatore di calore e alla loro efficienza di combustione. Questo ultimo dato si basa sulla classificazione delle prestazioni emissive dei generatori di calore indicata nell'Allegato 1 del Decreto Ministeriale n. 186 del 7 novembre 2017 e distribuita in 5 classi, dove 1 stella indica impianti meno efficienti e 5 stelle quelli con migliori performance emissive, a parità di tipologia. In primo luogo, la figura evidenzia lo scarso impiego, al 2019, della biomassa nel settore "riscaldamento istituzionale e commerciale"; emerge inoltre che il parco regionale dei generatori di calore è principalmente costituito da impianti caratterizzati da efficienza energetica modesta (2 stelle) e che, al 2019, la classe 5 stelle non sia ancora presente. Naturalmente le stufe sono gli apparecchi caratterizzati da una maggiore emissione di PM10, essendo anche tra i più diffusi nel parco impianti, come rilevato da un'indagine ISTAT del 2013.

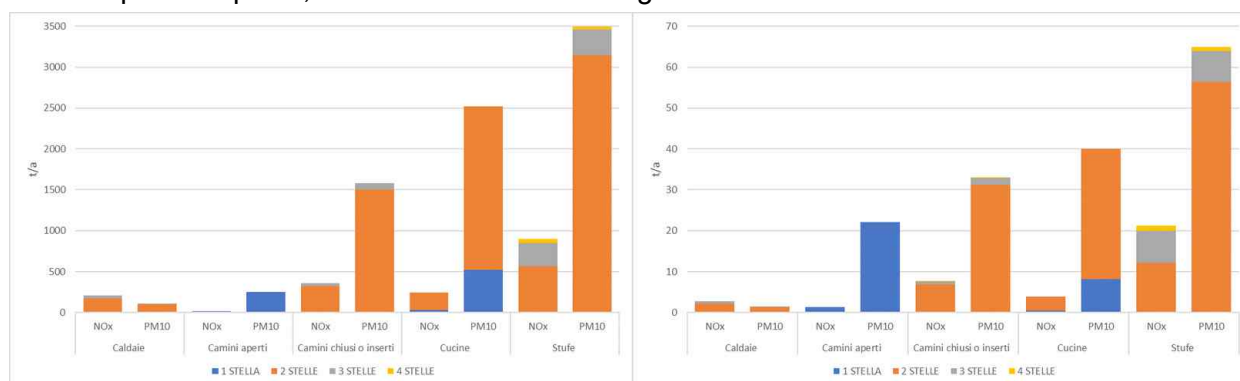


Figura 149: Emissioni di NO_x e PM10 ripartite per tipologia di impianto alimentato a biomassa e per numero di stelle (IREA 2019): impianti "residenziali" (a sinistra) e "istituzionali e commerciali" (a destra).

48 EMMA (Emission Manager), ARIA/ARIANET (<http://www.aria-net.it/it/prodotti/emission-manager/>)

49 In IREA la biomassa combustibile solida è distinta in legna da ardere e pellet

Anche nella stima dei ratei emissivi derivanti dalla gestione dei reflui azotati (afferenti alla matrice allevamento) sono state apportate sostanziali modifiche: infatti, per le aziende zootecniche che producono valori di azoto escreto superiori a 3000 kg annui (dedite all'allevamento di bovini, suini, scrofe, avicoli, conigli e bufalini), tali emissioni sono state calcolate a partire dall'azoto escreto prodotto in ciascuna fase di gestione del refluo (ovvero stabulazione, stoccaggio e spandimento), utilizzando l'applicativo BAT-tool⁵⁰ sviluppato nell'ambito del progetto europeo Life Prepair⁵¹. Per le restanti aziende con valori di azoto zootecnico inferiori a 3.000 kg/a e per le specie non previste da tale applicativo (equini, ovini e caprini), la stima emissiva è stata ottenuta servendosi dell'apposito modulo di calcolo presente nel sistema INEMAR⁵² (basato sulla metodologia EMEP-CORINAIR⁵³), già utilizzato negli aggiornamenti precedenti dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera. In Figura 150 sono rappresentate le emissioni di ammoniaca (NH₃) stimate tramite BAT-tool afferenti al settore gestione dei reflui zootecnici e suddivise per tipologia di fase: per ciascuna di esse, l'NH₃ è stato aggregato in base al tipo di deiezione, mantenendo la distinzione tra effluenti palabili (letame) e non palabili (liquame). Si evidenzia che in questi grafici non sono stati presi in considerazione i ratei di ammoniaca derivanti dai reflui dei conigli stimati con l'applicativo, poiché presentano valori non confrontabili con quelli relativi alle altre specie animali: tali quantitativi rappresentano infatti lo 0.16% dell'ammoniaca stimata con il BAT-tool. È evidente che la fase di gestione degli effluenti zootecnici maggiormente emissiva sia la stabulazione (42%), seguita dallo spandimento (39%) e dallo stoccaggio (19%).

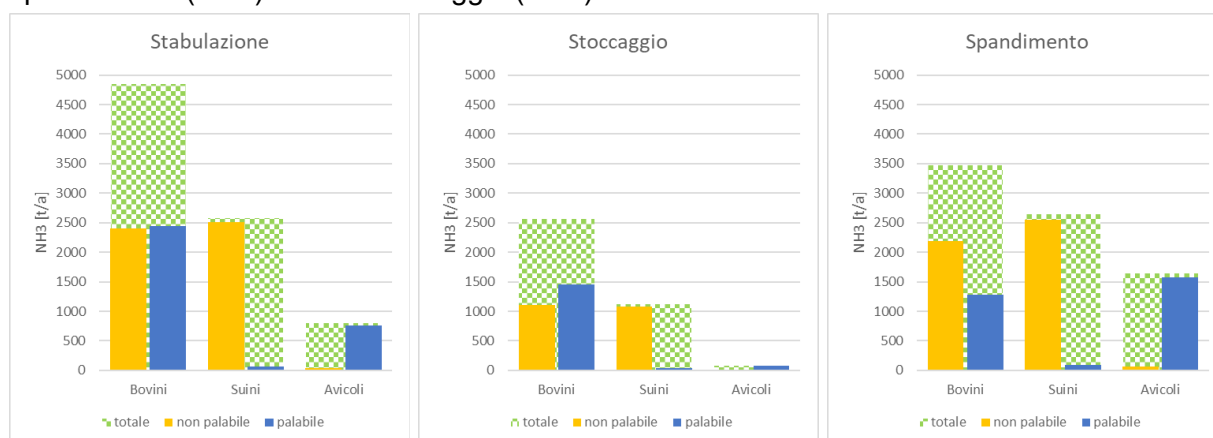


Figura 150: Emissioni di NH₃ relative alla gestione dei reflui azotati e stimate con l'applicativo BAT-tool, suddivise per tipologia di fase e aggregate per tipo di deiezione (IREA 2019).

Le emissioni di NH₃ calcolate con BAT-tool costituiscono il 68% di quelle relative al settore gestione dei reflui azotati: i restanti quantitativi, come scritto sopra, sono stati stimati con la consueta metodologia INEMAR che, tuttavia, non dettaglia la stima emissiva per tipologia di fase. Si sottolinea che la matrice allevamento, anche in IREA 2019, costituisce la principale fonte di emissione di ammoniaca in atmosfera, incidendo per l'80% sulle emissioni totali della stessa.

Questi dati approfonditi di Inventario relativi all'allevamento sono già risultati necessari a soddisfare richieste specifiche di Regione Piemonte concernenti piani di azione in materia di inquinamento atmosferico. Sono stati, inoltre, funzionali a ulteriori elaborazioni modellistiche effettuate nell'ambito del progetto europeo Life Prepair atte a valutare l'impatto delle riduzioni emissive di ossidi di azoto e ammoniaca sulle concentrazioni di particolato nella Pianura Padana⁵⁴.

Per adempiere a entrambe le attività, infatti, i quantitativi di NH₃ emessi dal settore gestione dei reflui azotati sono stati immessi come input al modello di dispersione FARM mantenendo sia la suddivisione per tipologia di animale che per tipo di fase (stabulazione, stoccaggio e spandimento).

50 https://www.lifeprepare.eu/wp-content/uploads/2019/05/Manuale_BAT-tool_Plus_rev1.pdf

51 LIFE15 IPE IT013 (<http://www.lifeprepare.eu/>)

52 <https://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>

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

54 <https://www.mdpi.com/2073-4433/14/5/762>

Si è pertanto proceduto a suddividere a questo livello di dettaglio, secondo la ripartizione di ISPRA⁵⁵, anche quella quota parte di ammoniaca originata dalle aziende con valori di azoto escreto inferiori a 3.000 kg annui e per le specie non stimabili con il BAT-tool.

Al fine di perfezionare anche la rappresentazione della distribuzione spaziale dei ratei emissivi sul territorio piemontese, la quota parte stimata con il BAT-tool è stata distinta per fase di gestione del refluo: infatti, mentre le emissioni concernenti le fasi di stabulazione e stoccaggio sono state ricondotte al comune di appartenenza dell'azienda zootecnica in base all'uso del suolo, quelle relative la fase di spandimento dei reflui sono state distribuite sulla porzione di superficie agronomica delle particelle catastali afferenti a ciascuna azienda zootecnica e ricadenti in un intorno di 15 km da essa⁵⁶. Di concerto con il Settore Produzioni Agrarie e Zootecniche della Regione Piemonte, sono state pertanto prese in considerazione anche le particelle non ricadenti nello stesso comune dell'azienda analizzata. Per quanto riguarda le emissioni di NH₃ relative all'allevamento e quantificate con la metodologia INEMAR, sono state spazializzate, come di norma, all'interno del relativo uso del suolo del comune afferente. La Figura 151 mostra il risultato delle elaborazioni condotte, ovvero la distribuzione spaziale sul dominio di calcolo regionale, avente risoluzione orizzontale di 4km, delle emissioni annuali di ammoniaca relative all'intero comparto agricoltura e allevamento. Come si può notare, il maggior apporto alle emissioni di NH₃ in atmosfera è naturalmente ascrivibile alla provincia di Cuneo e al basso torinese, in cui sono concentrate la maggior parte delle aziende zootecniche piemontesi.

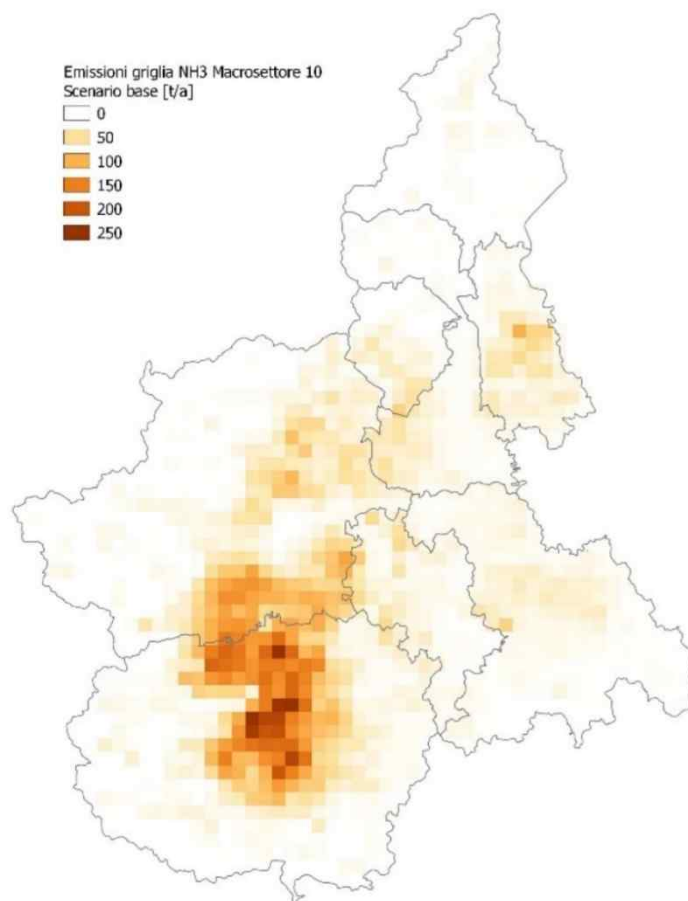


Figura 151: Distribuzione spaziale sul dominio di calcolo regionale (maglia 4x4 km) delle emissioni annuali di NH₃ relative al macrosettore agricoltura e allevamento.

Successivamente, al fine di ricostruire i campi tridimensionali orari dei ratei di emissione è stato necessario avvalersi di parametrizzazioni temporali specifiche per il tipo di attività analizzata: ad emissioni derivanti da matrici diverse vengono infatti associati propri coefficienti di modulazione

55 https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/rapporti/Rapporto_319_2020.pdf (tabella 6.8)

56 Informazioni estrapolate dall'Anagrafe agricola del Piemonte, fornite ad Arpa Piemonte da CSI Piemonte

temporale annuali, settimanali e giornalieri con dettaglio orario per meglio rappresentare la realtà, anche dal punto di vista della distribuzione del tempo. Sempre seguendo le indicazioni del Settore Produzioni Agrarie e Zootecniche della Regione Piemonte si è proceduto pertanto all'aggiornamento delle modulazioni temporali del settore analizzato: mentre l'emissione relativa alle fasi di stabulazione e stoccaggio risulta costante nel tempo, l'attività di spandimento dei reflui ha un andamento che si concentra principalmente nei primi mesi dell'anno (febbraio, marzo e aprile) e nel periodo autunnale (ottobre e novembre).

7.3 Realizzazione di un grafo di rete stradale di bacino padano e relativa stima dei flussi veicolari

Testo a cura di Francesca Bissardella e Stefania Ghigo (Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali)

7.3.1 Introduzione

Sebbene il numero di veicoli a motore abbia registrato un aumento costante, secondo i dati ISPRA⁵⁷ negli ultimi 30 anni si è assistito a una progressiva riduzione delle emissioni da trasporto dovuta a limiti emissivi sempre più stringenti. Nonostante tali riduzioni, il trasporto su strada costituisce ancora un'importante fonte di emissione, oltre che a livello di inquinanti primari (NO_x, PM10 e CO), anche per quanto riguarda la formazione di particolato secondario dovuto a reazioni chimiche che avvengono in atmosfera (tipicamente nitrato e solfato di ammonio).

Allo scopo di approfondire la conoscenza di questa importante fonte emissiva con un dettaglio uniforme sull'intero bacino padano, si è proceduto alla elaborazione di un grafo della rete stradale esteso all'area di studio con la relativa associazione dei flussi di traffico. Lo studio è stato sviluppato nell'ambito del progetto Life Prepair che aspira ad implementare le misure previste dai piani regionali e dall'Accordo di Bacino sulla qualità dell'aria su scala maggiore e a rafforzarne la sostenibilità e la durabilità dei risultati. La necessità progettuale è di garantire uniformità e coerenza dei dati di traffico sull'intera area di progetto, comprendente le regioni Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto, Friuli-Venezia Giulia e la provincia Autonoma di Trento.

7.3.2 Metodologia

Per adempiere all'obiettivo, ARPA Piemonte ha affidato la realizzazione di un grafo stradale di bacino e la quantificazione dei relativi flussi di traffico per l'anno 2019 con un incarico esterno. La società di consulenza ha in primo luogo definito il grafo stradale: partendo da una cartografia commerciale (NavStreet di Here⁵⁸ del nord Italia), è stato avviato un processo di semplificazione dello stesso, arrivando alla creazione di un grafo connesso e completo con minor numero di archi e nodi. La sequenza di archi orientati (poco più di 300 mila sul territorio oggetto di studio) riproduce la rete stradale del bacino padano con il livello di dettaglio adeguato a rappresentare gli spostamenti maggiormente significativi.

Successivamente, si è proseguito con la richiesta alle società autostradali, ad ANAS e agli enti locali di dati di traffico veicolare (provenienti da conta-traffico, telecamere, passaggi ai caselli e alle barriere autostradali, Telepass, monitoraggi ANAS e Floating Car Data⁵⁹) sull'intero bacino: i dati raccolti, di cui la Figura 152 mostra la distribuzione spaziale e la suddivisione per tipologia di strada, sono stati opportunamente corretti per essere utilizzati come input al modello di traffico.

Come modello di assegnazione dei flussi è stato utilizzato il modello WILLUMSEN⁶⁰, in grado di stimare su tutta la rete le matrici O/D (di origine e destinazione), che rappresentano la domanda di mobilità a partire dal campione di dati di rilievo sulla rete stradale di riferimento, e i relativi flussi di traffico. Sono state pertanto condotte 48 simulazioni, ciascuna relativa a 4 classi veicolari (automobili, ciclomotori e motocicli, veicoli commerciali leggeri e veicoli commerciali pesanti), differenziate per stagione (inverno, primavera, estate, autunno), giorno tipo (feriale, sabato, festivo) e fasce orarie (mattino 7 ÷ 9, giorno 10 ÷ 16, sera 17 ÷ 20, notte 21 ÷ 6).

La società affidataria ha successivamente effettuato l'aggiornamento dei flussi veicolari all'anno 2021, ripartendo da una nuova raccolta di dati di traffico e da nuove simulazioni.

57 ISPRA, 2021, Italian Emission Inventory 1990-2019. Informative Inventory Report 2021, ISPRA Rapporti 342/2021, ISBN 978-88-448-1047-4, <https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/rapp-342-2021.pdf>

58 HERE, 2016, NAVSTREETS Street Data reference manual v6.0. Chicago, IL

59 Pfoser D., 2017, Floating Car Data. In: Shekhar, S., Xiong, H., Zhou, X., Encyclopedia of GIS. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17885-1_423, 621–622

60 Willumsen L. G., Papageorgiou M., 1991, Origin-destination matrix: Static estimation, Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, Pergamon Press, Oxford, UK, 315–322

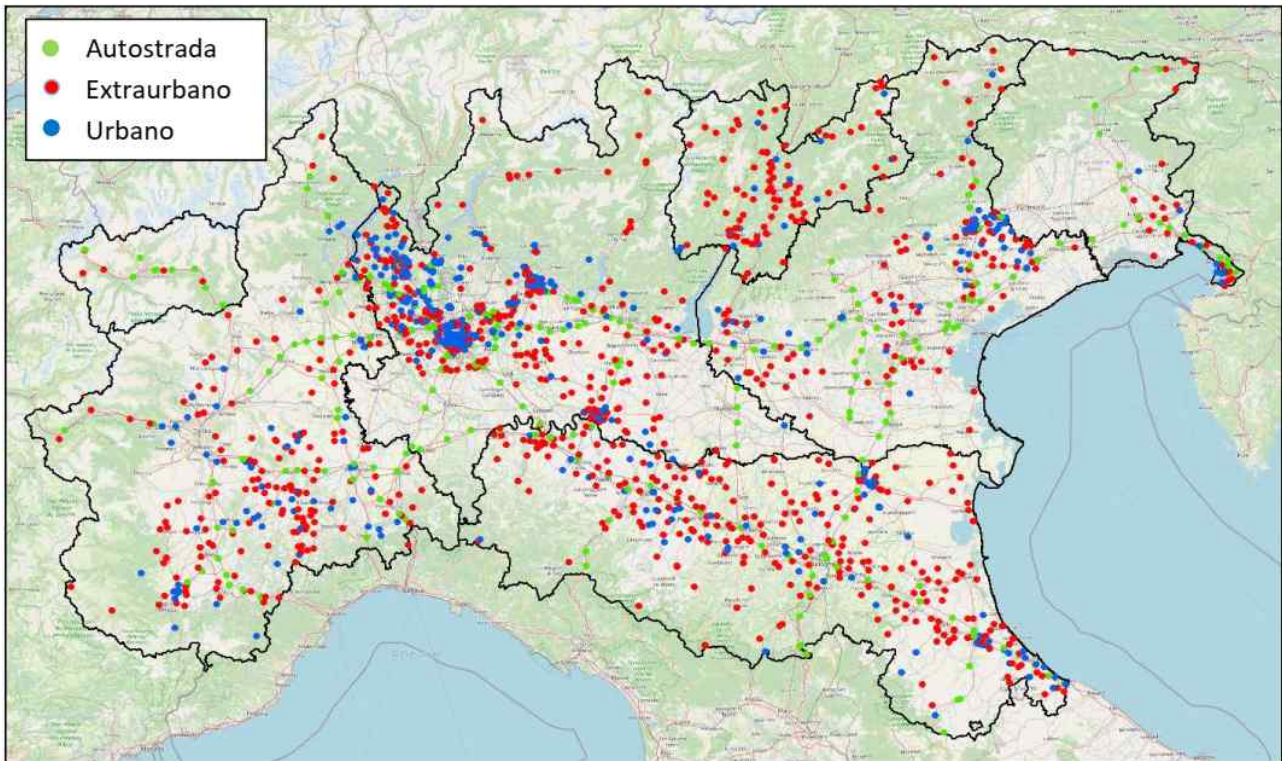


Figura 152: Distribuzione spaziale per tipo di strada, dei rilievi di traffico raccolti dai vari enti contattati.

7.3.3 Risultati

Il confronto dei flussi di traffico dei due anni oggetto di studio viene presentato in *Figura 153* attraverso l'utilizzo di flussogrammi, dove lo spessore dell'arco è proporzionale al valore del flusso espresso in veicoli equivalenti (categoria veicolare unica a cui ricondurre, tramite opportuni coefficienti, le diverse tipologie di veicoli). L'esempio in figura mostra il flusso medio estivo feriale della sera, che diminuisce, nel passaggio da un anno all'altro, soprattutto intorno a Torino, Milano e al tratto autostradale tra Piacenza e Bologna, principalmente a causa dell'emergenza sanitaria da COVID-19.

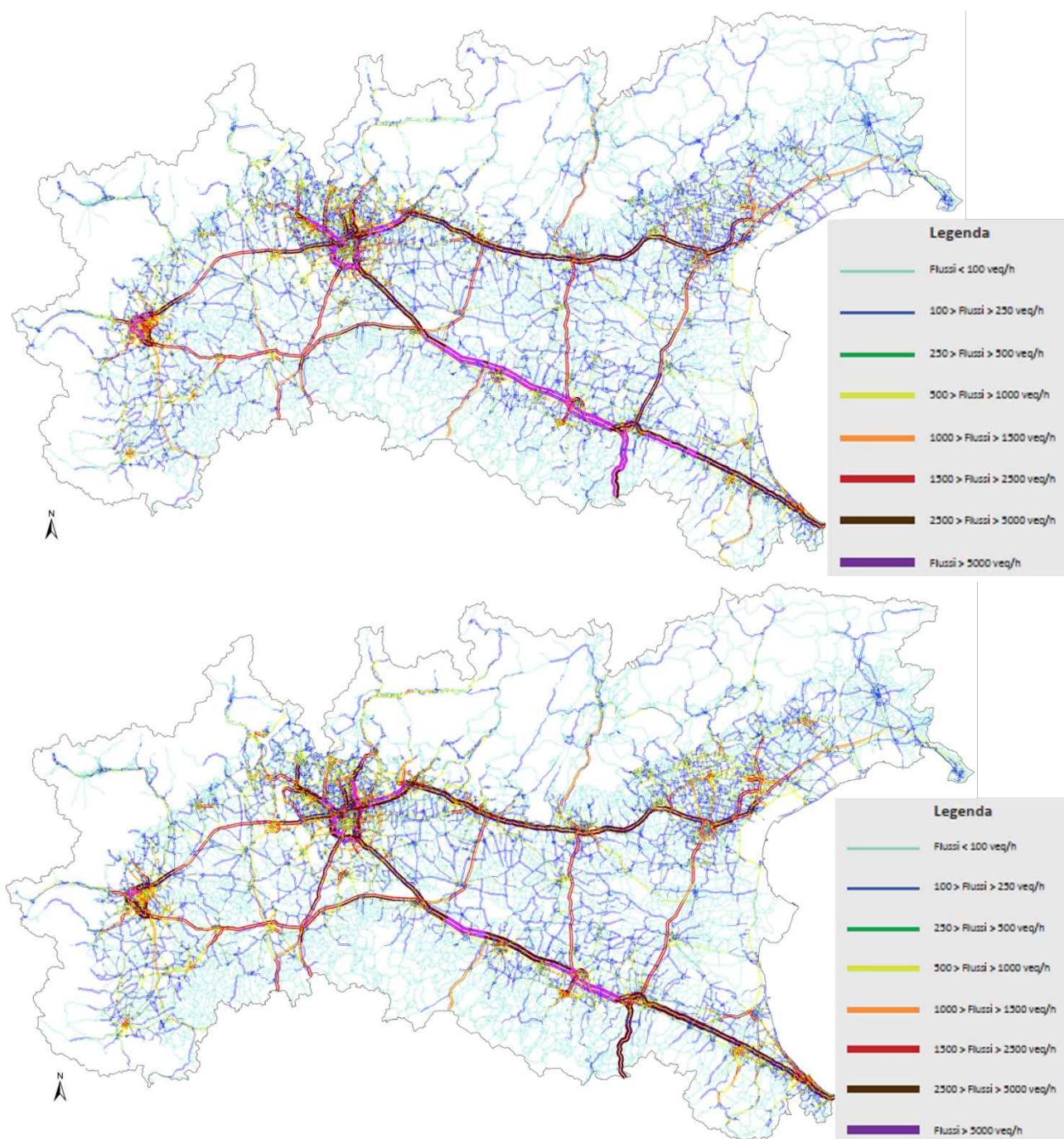


Figura 153: Flussi di traffico assegnati sul grafo di bacino: volumi di traffico medio di un giorno feriale estivo, in orario serale, per il 2019 (in alto) e il 2021 (in basso).

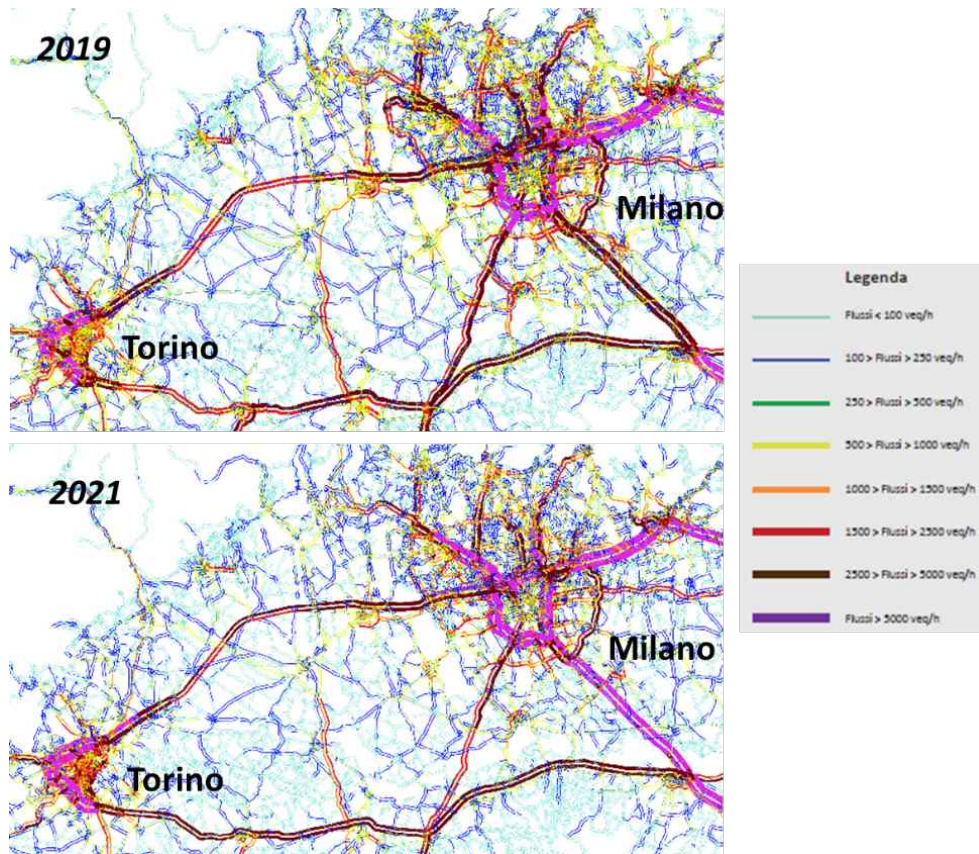


Figura 154: Focus dell'area tra Torino e Milano: volumi di traffico medio relativi alla mattina di giorno feriale autunnale, per il 2019 (sopra) e il 2021 (sotto).

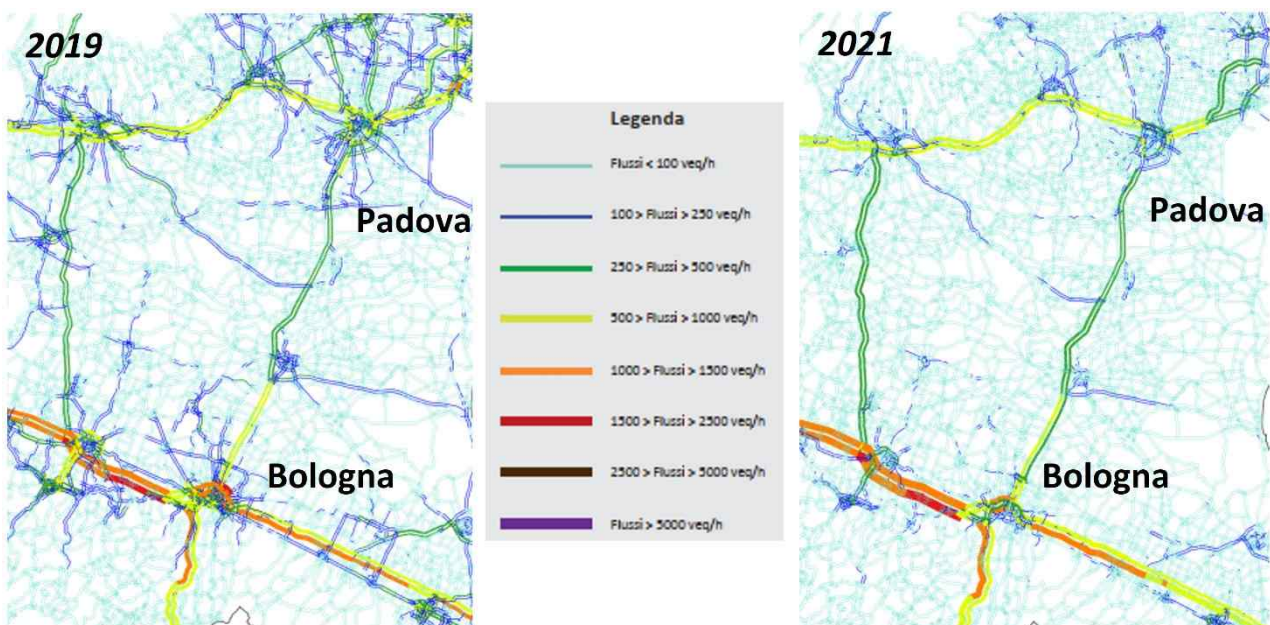


Figura 155: Focus sulla zona sud-est del bacino padano: volumi di traffico medio del sabato notte primaverile, per il 2019 (a sinistra) e il 2021 (a destra).

Per meglio apprezzare visivamente le differenze tra i due anni, sono stati effettuati, a titolo di esempio, due focus: uno relativo all'area tra Torino e Milano e uno raffigurante la zona più a est del dominio di studio, tra Verona, Padova, Modena e Bologna. I flussogrammi di Figura 154, che riproducono i volumi di traffico medio relativi alla mattina di giorno feriale autunnale, mostrano un

aumento dei flussi di traffico relativi all'anno 2021 rispetto a quelli del 2019 in particolar modo sull'Autostrada del Sole (A1) e nell'intorno di Milano, mentre quelli presenti in Figura 155, che riproducono i flussi veicolari medi del sabato notte primaverile, mettono bene in evidenza flussi maggiormente elevati sulla rete extraurbana per l'anno 2019.

Guardando in generale ai flussi di traffico ottenuti e confrontando i due anni soffermandosi soprattutto sugli spostamenti occasionali più legati alle restrizioni adottate dalle disposizioni sanitarie, si può constatare che:

- nel mese di gennaio 2021 la circolazione veicolare ha registrato volumi inferiori rispetto al normale (circa il 40%) a causa dell'emergenza sanitaria da COVID-19;
- nei successivi cinque mesi i flussi hanno subito una costante crescita correlata con le disposizioni sanitarie sempre meno restrittive;
- nell'autunno 2021, si ha avuto una ripresa totale dei flussi di traffico culminata con volumi più elevati a dicembre 2021 rispetto al dicembre 2019.

Questi concetti sono meglio evidenziati nei due grafici in alto di Figura 156 che mettono a confronto, per le categorie veicoli equivalenti e automobili, i chilometri percorsi in un'ora media del giorno feriale nei due anni oggetto di studio: è ben visibile, infatti, come si abbiano percorrenze molto basse a gennaio, in graduale risalita nei mesi primaverili - estivi fino ad arrivare a percorrenze maggiori nel periodo autunnale.

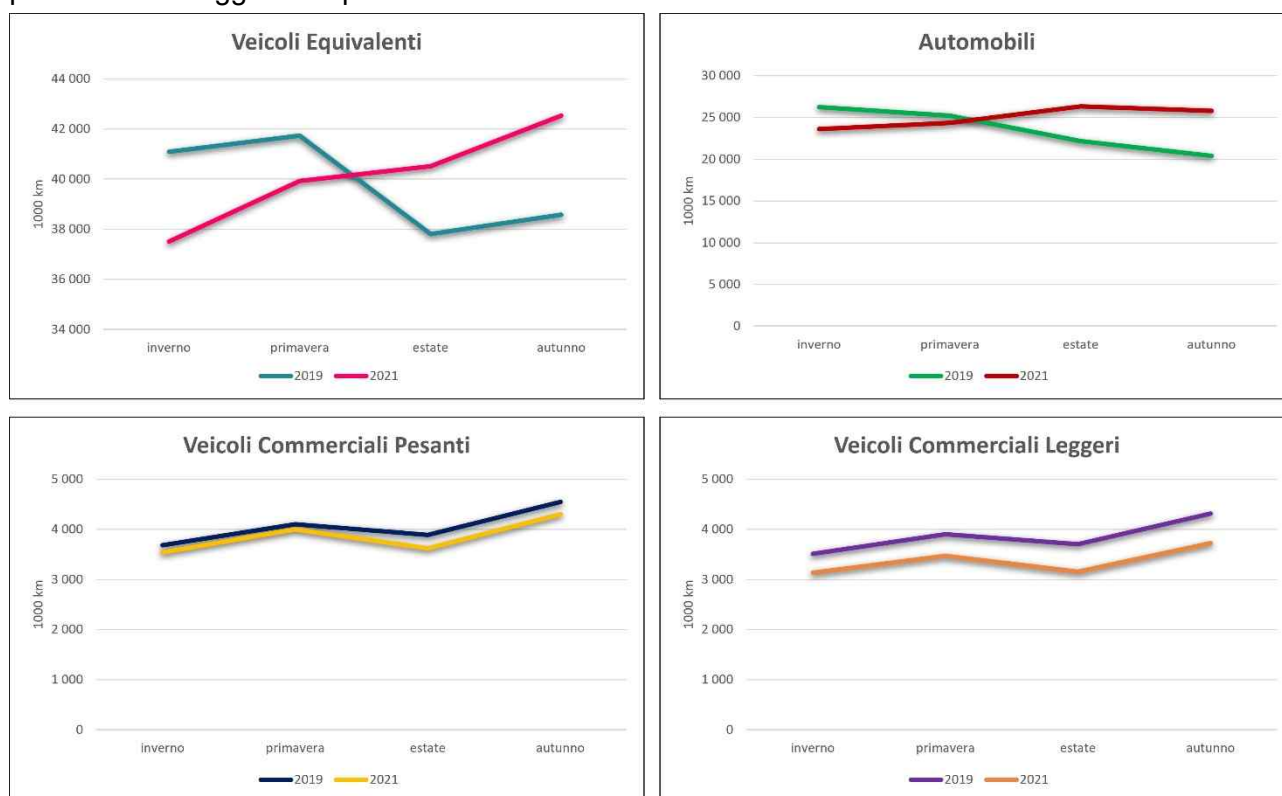


Figura 156: Percorrenze nell'ora giornaliera media dei giorni feriali relative ai veicoli equivalenti, automobili, veicoli commerciali leggeri e pesanti per i due anni oggetto di studio.

Per quanto riguarda i veicoli commerciali leggeri e pesanti (rappresentati nella stessa Figura 156, in basso), l'andamento nei due anni è rimasto pressoché costante, con una leggera decrescita nel 2021: ciò conferma quanto già scritto relativamente ai flussi di traffico, ovvero che le variazioni più consistenti si sono percepite sui flussi (e quindi sulle percorrenze) occasionali, vale a dire quelli non legati agli spostamenti casa-lavoro.

Soffermandosi invece sulle percorrenze elaborate secondo le disposizioni del database INEMAR⁶¹ ed espresse in termini di milioni di veicoli-chilometro annui (Tabella 26), si deduce principalmente che per l'anno 2021 rispetto al 2019:

- si rileva una riduzione di circa il 9% delle percorrenze annue, considerando la totalità dei veicoli e degli ambiti a disposizione. Tale differenza può essere spiegata dall'eccezionale periodo di emergenza sanitaria che ha ancora caratterizzato il primo semestre del 2021;
- i veicoli leggeri e pesanti hanno avuto un aumento di percorrenze solamente in ambito autostradale;
- per gli altri ambiti considerati, invece, si ha avuto una perdita consistente dei commerciali leggeri e pesanti, rispettivamente del 30% e 31% in ambito extraurbano, e del 40% e 37% in ambito urbano.

I flussi di traffico relativi a entrambe le annualità sono stati elaborati successivamente da Arpa Lombardia permettendo la stima delle emissioni da traffico lineare⁶² per ogni comune, tipologia di veicolo e di strada del bacino padano.

CATEGORIA VEICOLARE	PERCORRENZE [MV-km]							
	AUTOSTRADE		STRADE EXTRAURBANE		STRADE URBANE		TOTALE	
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
Ciclomotori e Motocicli	374	338	2 143	1 908	1 996	1 923	4 513	4 169
Automobili	37 521	34 141	67 409	59 329	48 461	46 182	153 391	139 652
Veicoli Commerciali Leggeri	7 286	8 195	6 685	4 692	3 291	1 960	17 262	14 846
Veicoli Commerciali Pesanti	10 002	10 928	4 953	3 424	2 102	1 314	17 056	15 667
Veicoli Totali	55 184	53 602	81 190	69 353	55 850	51 379	192 223	174 334
Veicoli Equivalenti	73 642	73 924	90 890	75 881	59 650	53 368	224 182	203 173

Tabella 26: Percorrenze in termini di milioni di veicoli-chilometro annui: confronto tra i due anni (2019 e 2021), suddiviso per tipologia di strada e categoria veicolare.

61 Inventario Emissioni Aria (<https://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>)

62 <https://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/InemarWiki/TrafficoEmissioni>

7.4 Analisi delle concentrazioni di ozono nell'estate del 2022

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

L'ozono è un inquinante secondario che si forma nella troposfera, la fascia più bassa dell'atmosfera terrestre, che si estende dalla superficie terrestre fino ad una altitudine compresa all'incirca fra i 100 ed i 3000 metri a seconda dell'altezza dello strato di rimescolamento dell'aria. La sua formazione coinvolge diversi precursori e complessi processi chimico-fisici. Si origina per ossidazione dei Composti Organici Volatili in presenza di ossidi di azoto ed irraggiamento solare. I rapporti fra gli elementi alla base del processo di formazione non sono lineari, determinando così una difficile gestione dei piani di riduzione di questo inquinante ed una complessa dinamica della sua distribuzione spaziale.

Nel corso del 2022 si sono rilevate concentrazioni di ozono tra le più alte degli ultimi dieci anni. La particolare situazione meteorologica estiva, caratterizzata da limitata piovosità e temperature elevate, ha favorito la formazione in aria ambiente di questo inquinante secondario; nel presente report si approfondirà solo la variabile temperatura tralasciando le altre componenti alla base delle reazioni di formazione dell'inquinante.

In Figura 157 è riportato il numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, pari a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, di tutte le stazioni regionali nel 2021 e nel 2022.

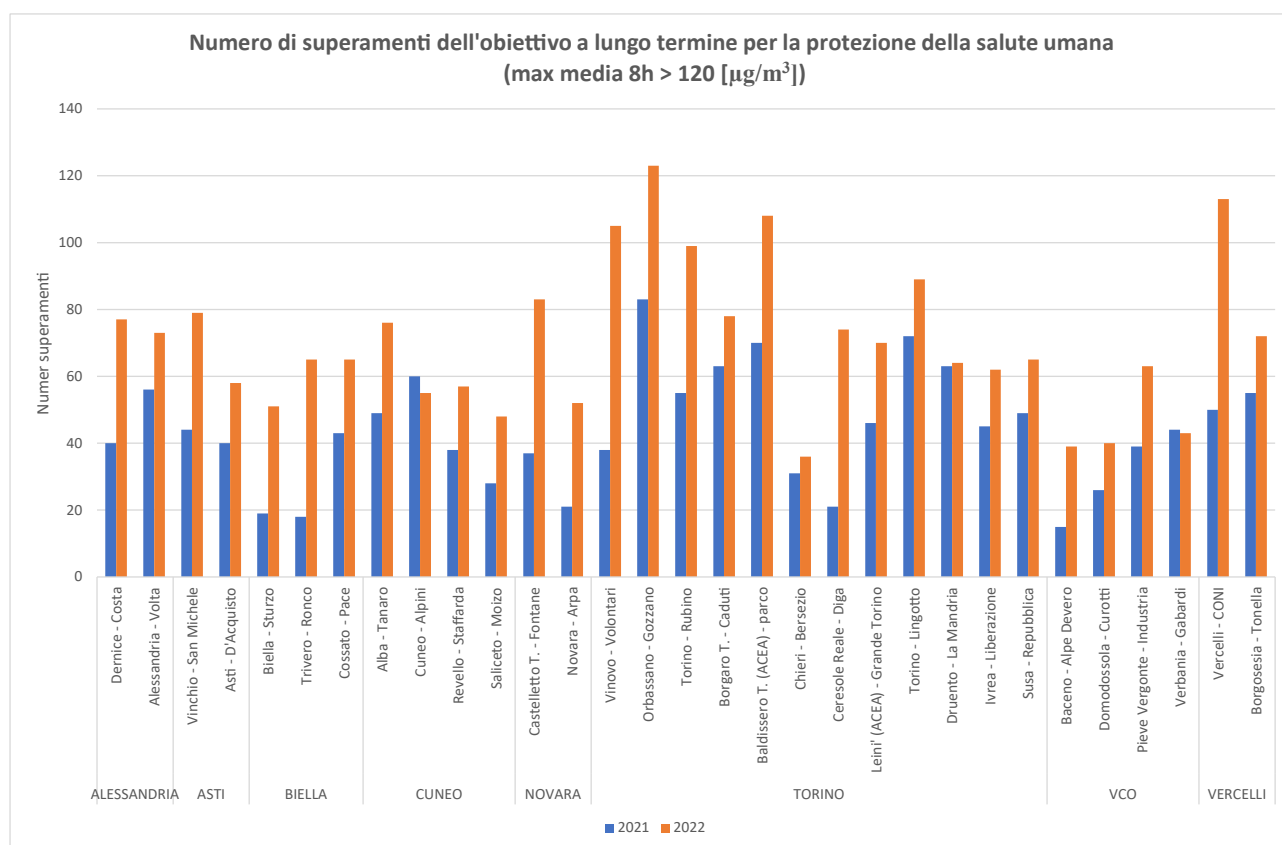


Figura 157: Numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana pari a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di tutte le stazioni regionali nel 2021 e nel 2022 suddivise per provincia. La stazione di Chieri Bersezio ha avuto però una percentuale di dati validi pari all'87%.

In tutte le stazioni regionali, eccetto in quelle di Verbania – Gabardi e di Cuneo - Alpini, vi è stato un incremento del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana. Il maggiore incremento si è avuto nelle stazioni di Vinovo – Volontari, Vercelli - CONI, Ceresole Diga e Trivero Ronco.

Nella Figura 158 sono riportate le stazioni in cui si misura il parametro disposte in ordine decrescente in base alla differenza di giornate di superamento tra il 2022 ed il 2021.

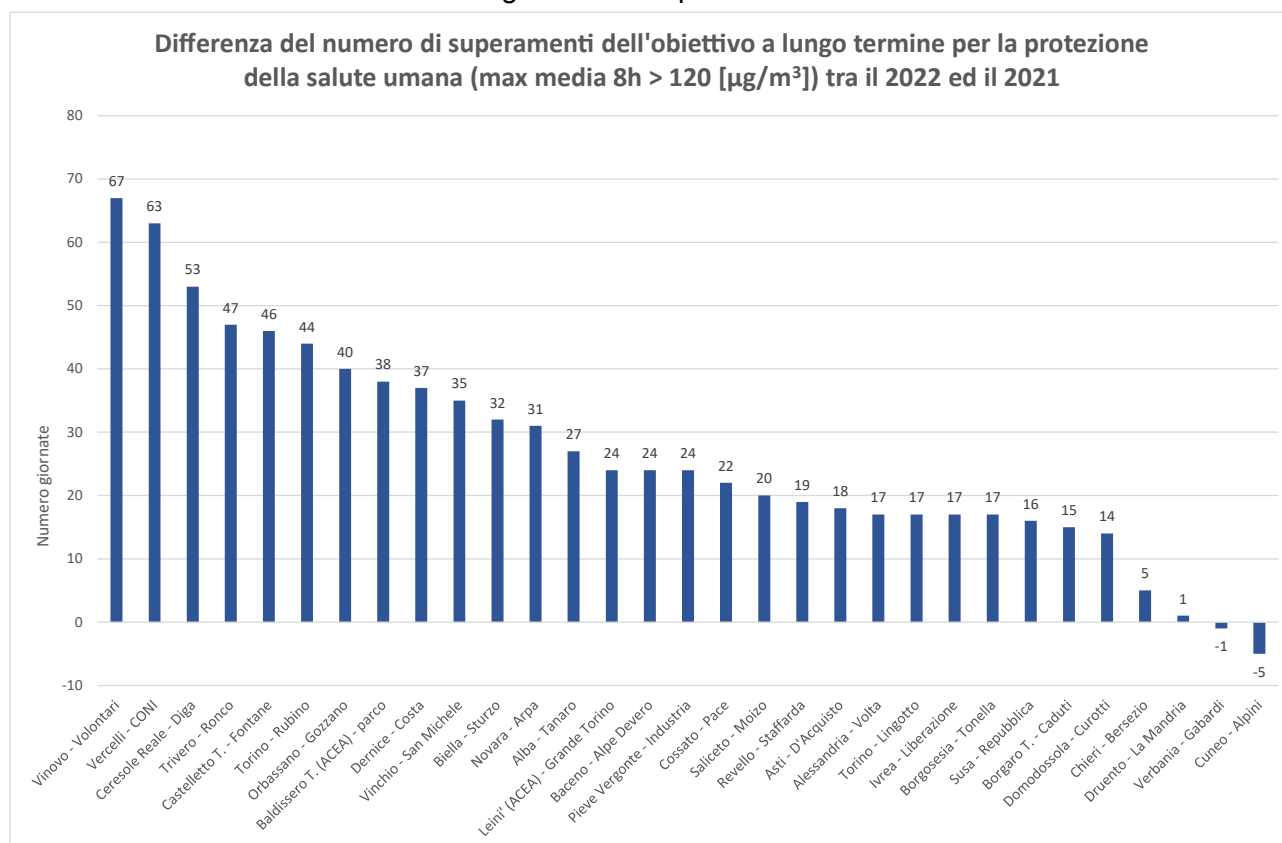


Figura 158: Stazioni di misura in ordine decrescente rispetto alla differenza di giornate di superamento dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute

L'aumento diffuso delle concentrazioni di ozono nel 2022 ha prodotto anche un incremento del numero di superamenti della soglia di informazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$), in particolare nelle stazioni dove i livelli erano già molto vicini a tale limite anche nei precedenti anni.

Nel 2021 solo 8 stazioni avevano rilevato almeno una giornata oltre la soglia di informazione mentre nel 2022 solo 2 stazioni non hanno mai rilevato superamenti della soglia presa in considerazione.

Nel Grafico 3 sono riportate le stazioni di misura in ordine decrescente rispetto alla differenza di superamenti della soglia di informazione fra il 2022 e il 2021.

Come già detto, la causa principale di tale situazione è da ricercarsi nell'aumento di temperatura verificatosi nel periodo aprile-settembre 2022. Riportando in un unico grafico () il giorno medio mensile per la temperatura rilevata nella stazione di Torino - Consolata e la concentrazione di ozono misurata nella stazione di Orbassano - Gozzano è ben visibile la correlazione tra il fenomeno meteorologico e quello di inquinamento dell'aria.

Si nota l'elevata differenza della temperatura nel mese di luglio 2022 rispetto l'anno precedente, risultato il 5° più piovoso della distribuzione storica (anomalia pluviometrica +71 %), mentre ad un settembre 2022 lievemente più fresco, corrisponde una minore concentrazione dell'inquinante.

Il diverso andamento della concentrazione di ozono e della temperatura sono ben visibili anche attraverso i grafici di Figura 161 e Figura 162 che riportano il valore orario della concentrazione di ozono degli ultimi tre anni nella stazione di Orbassano - Gozzano e della temperatura media oraria della stazione di via della Consolata - Torino.

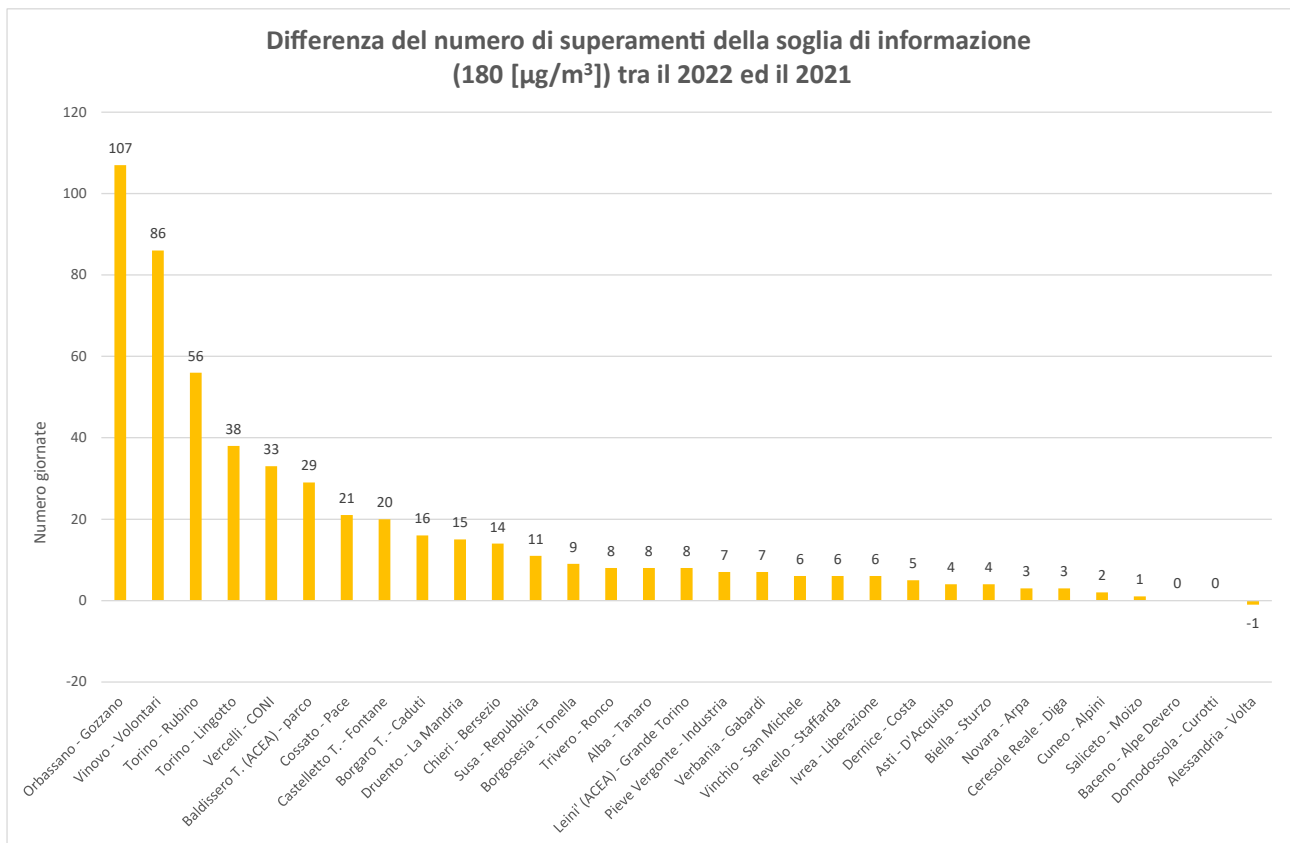


Figura 159: Stazioni di misura in ordine decrescente rispetto alle differenze di superamenti della soglia di informazione

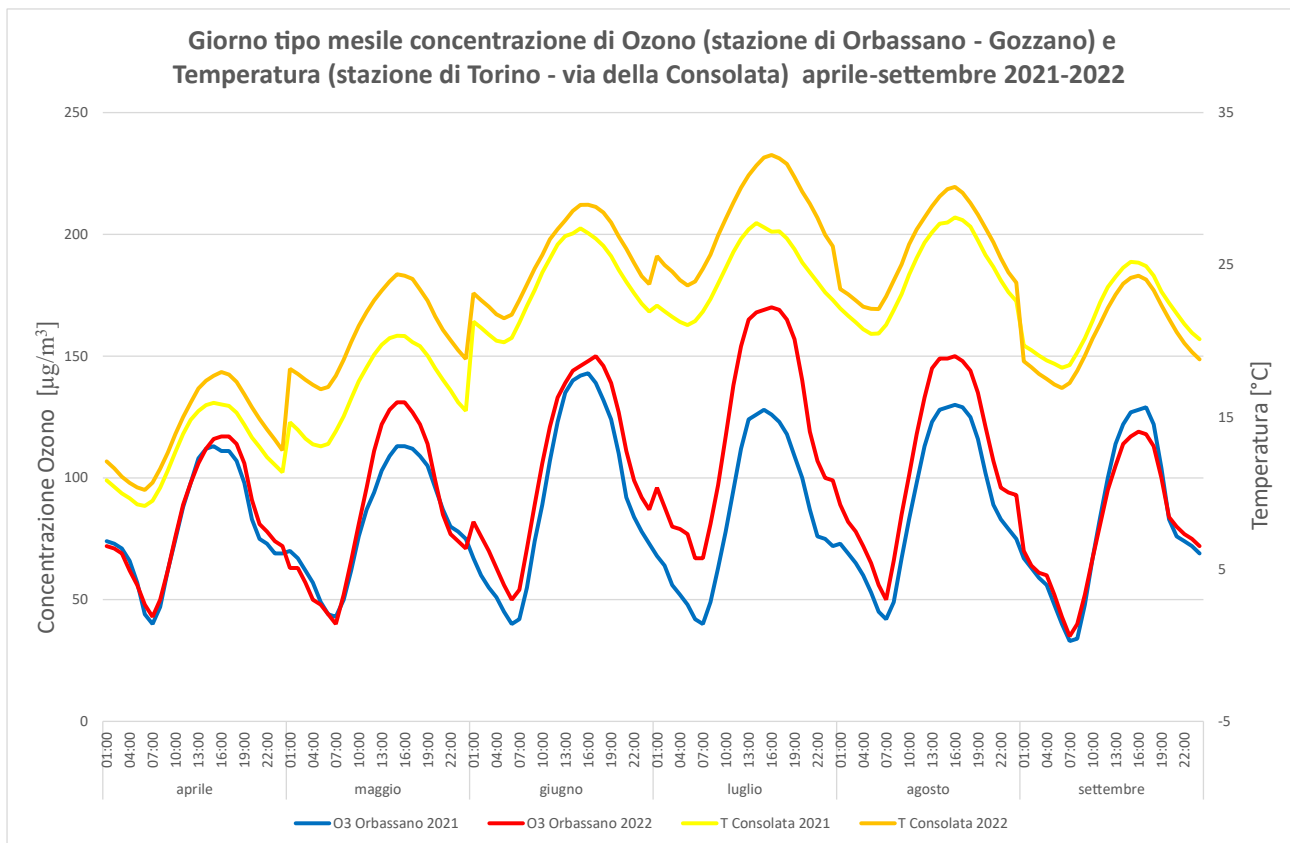


Figura 160: Giorno tipo mensile nel periodo aprile-settembre 2021 e 2022 della concentrazione di ozono $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e dal valore di temperatura $^{\circ}\text{C}$

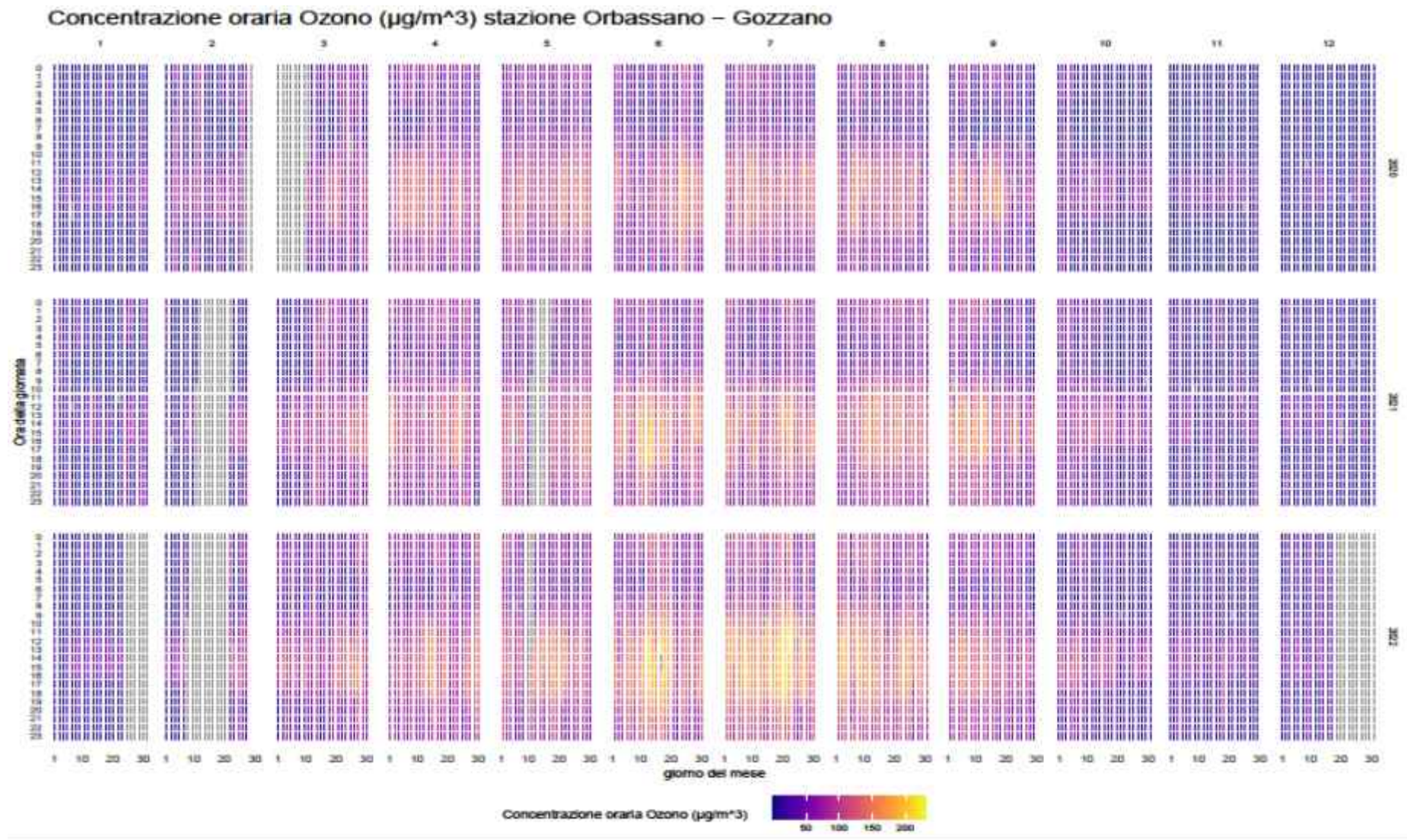


Figura 161: - Concentrazioni orarie di ozono negli anni 2020-2021-2022 nei 12 mesi dell'anno per la stazione di Orbassano – Gozzano. Le concentrazioni sono espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In grigio le ore in cui i dati non sono disponibili

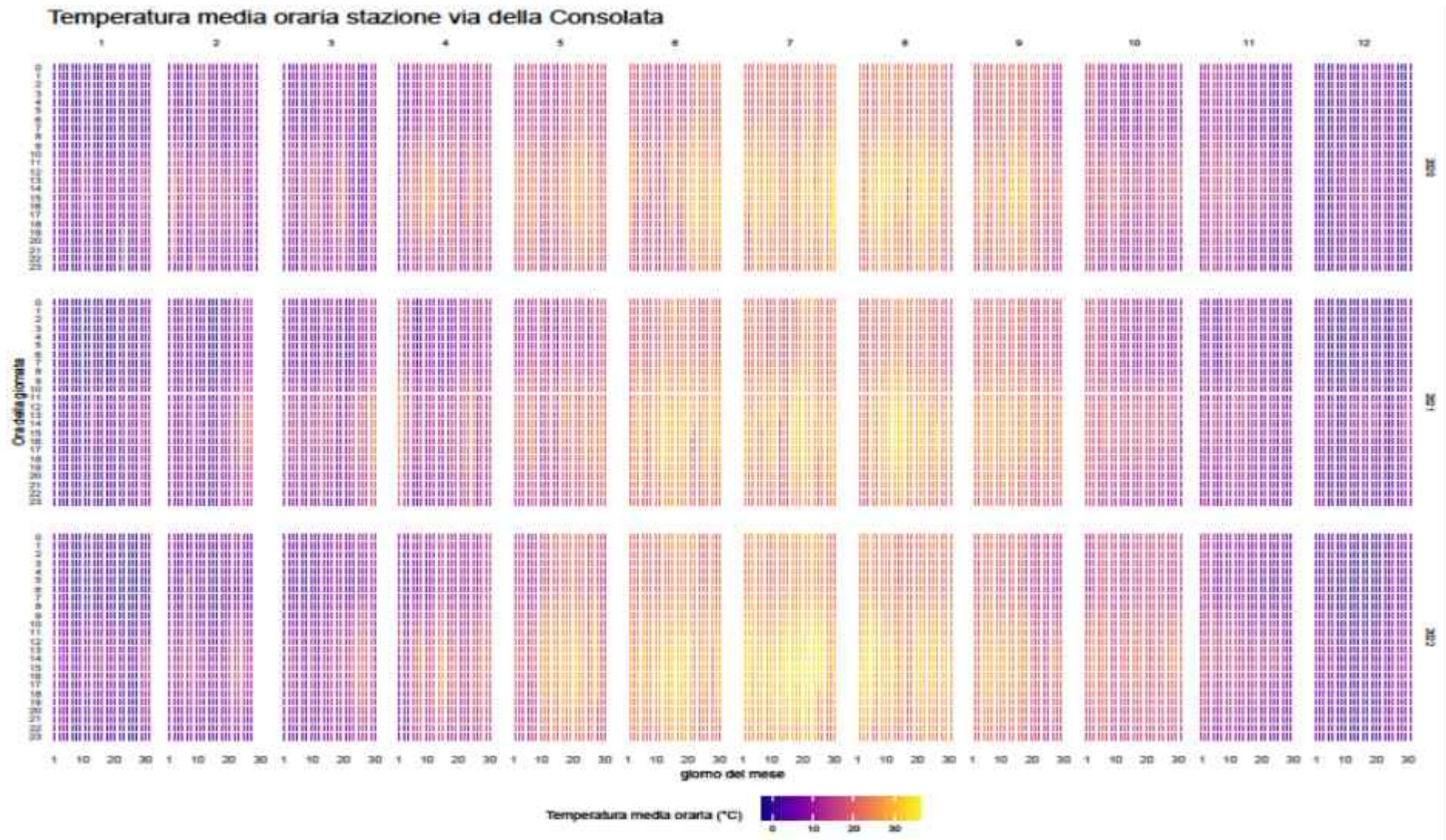


Figura 162: Valore medio orario della temperatura negli anni 2020-2021-2022 nei 12 mesi dell'anno presso la stazione di Via della Consolata Torino. Le temperature sono espresse in °C. In grigio le ore in cui i dati non sono disponibili

In Figura 163 è riportato il valore medio mensile della concentrazione di ozono misurato nel periodo aprile - settembre negli anni 2021-2022 presso la stazione di Orbassano – Gozzano; si nota come in tutti i mesi del 2022, eccetto settembre, i valori siano stati mediamente più alti: in particolare nel 2021 il mese di luglio ha interrotto il trend in salita, a differenza di quanto successo nel 2022 dove c'è stato un andamento a campana con le concentrazioni massime proprio nel mese di luglio.

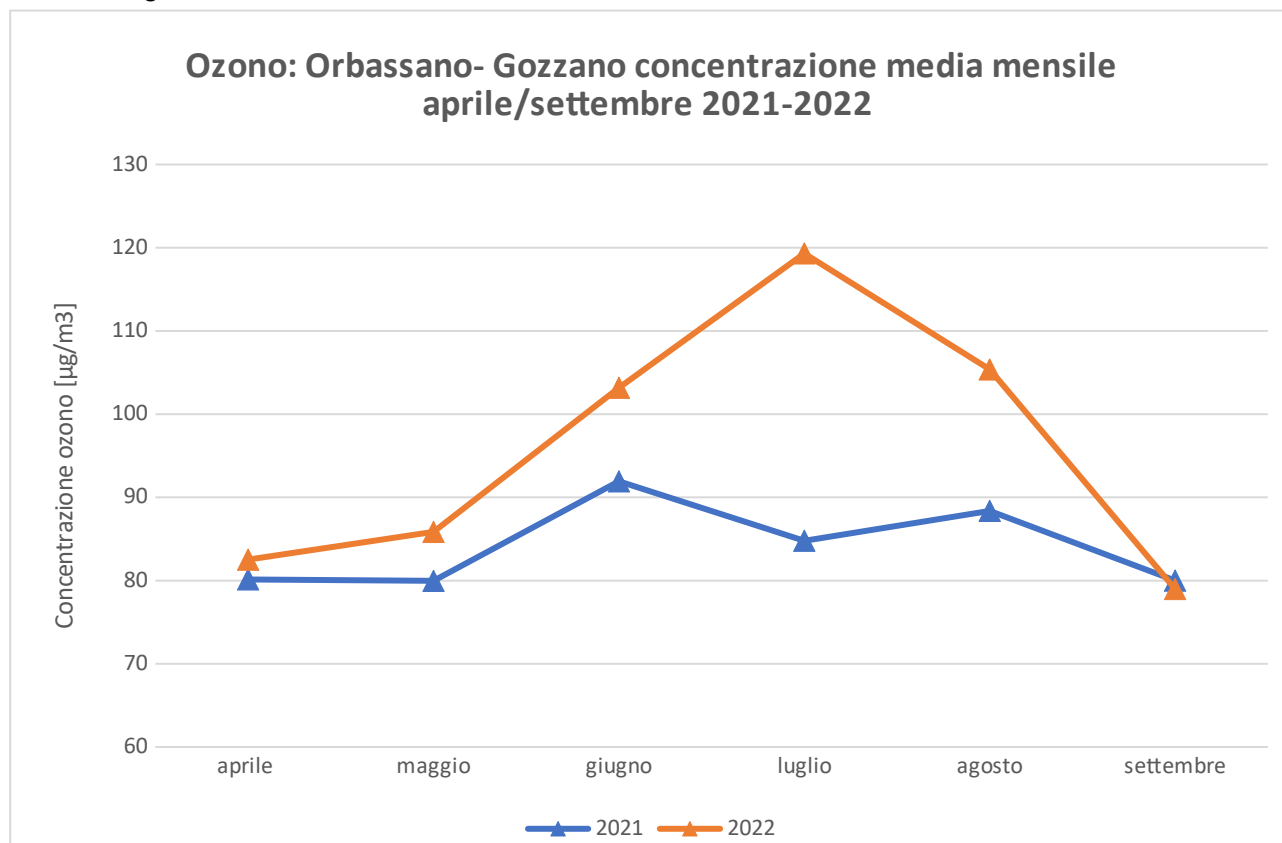


Figura 163: Valore medio mensile delle concentrazioni di ozono rilevate presso la stazione di Orbassano - Gozzano nel periodo maggiormente critico aprile/settembre negli anni 2021 e 2022

7.5 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 (PM2.5).

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
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO	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 164 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 165 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. Per un maggiore approfondimento sulle emissioni di NH₃ relative al comparto agricoltura e allevamento di IREA 2019 si veda l'Approfondimento 7.2.

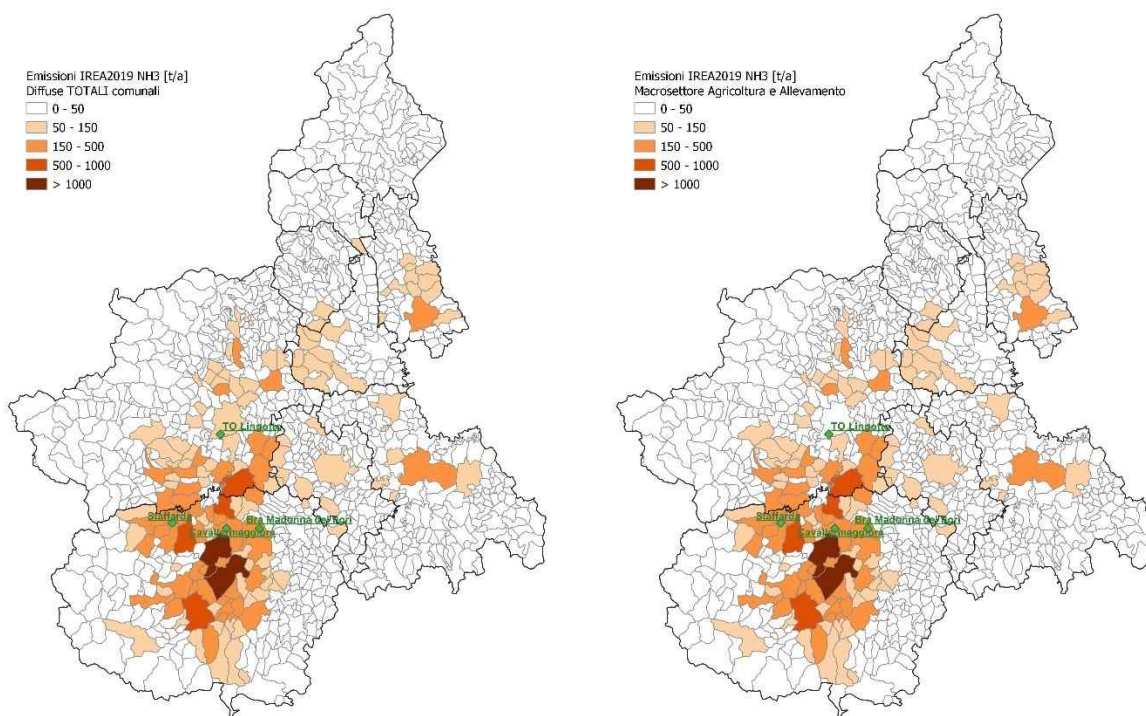


Figura 164: Emissioni a livello comunale di NH₃ relative alla totalità dei comparti emissivi (a sinistra) e al solo comparto Agricoltura e Allevamento (a destra)

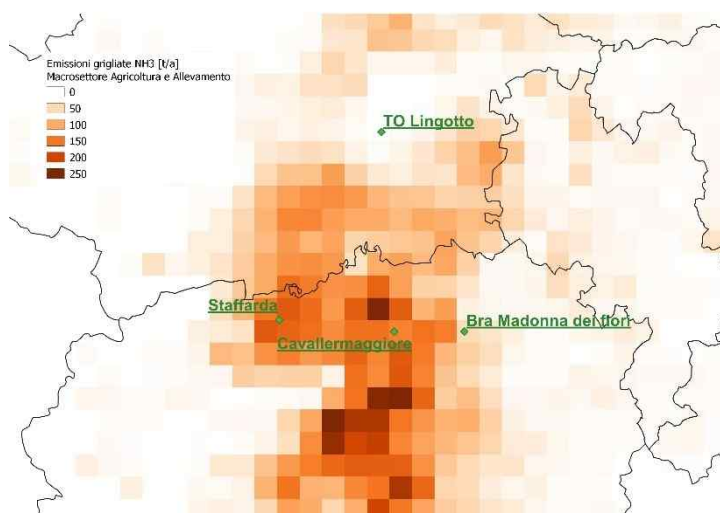
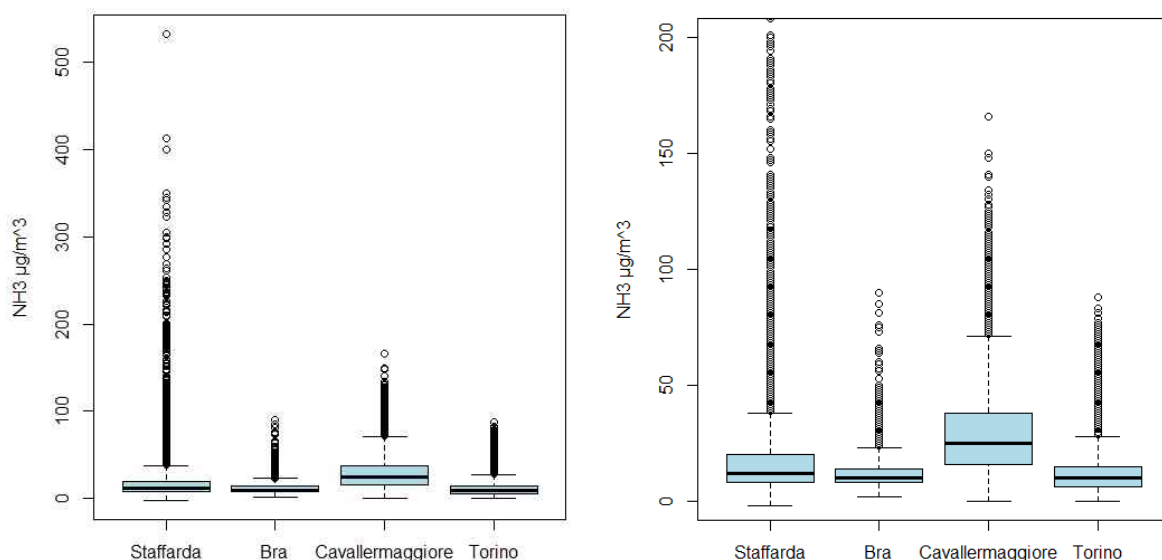


Figura 165: distribuzione spaziale su maglia 4x4 km delle emissioni di NH₃ del comparto Agricoltura e Allevamento: focus della zona relativa al basso torinese e alto cuneese

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 166 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 12 e 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



I

Figura 166: Box plot delle concentrazioni orarie rilevate nelle varie stazioni di monitoraggio

Le elaborazioni sulle medie mensili del periodo 22 aprile 2021 – 21 aprile 2023 su Cavallermaggiore e Torino – Lingotto (Figura 167), mostrano come per il sito di Cavallermaggiore le concentrazioni medie più elevate si osservino nei mesi di febbraio, giugno e ottobre, mentre a Torino - Lingotto il picco di concentrazioni sia limitato al mese di febbraio.

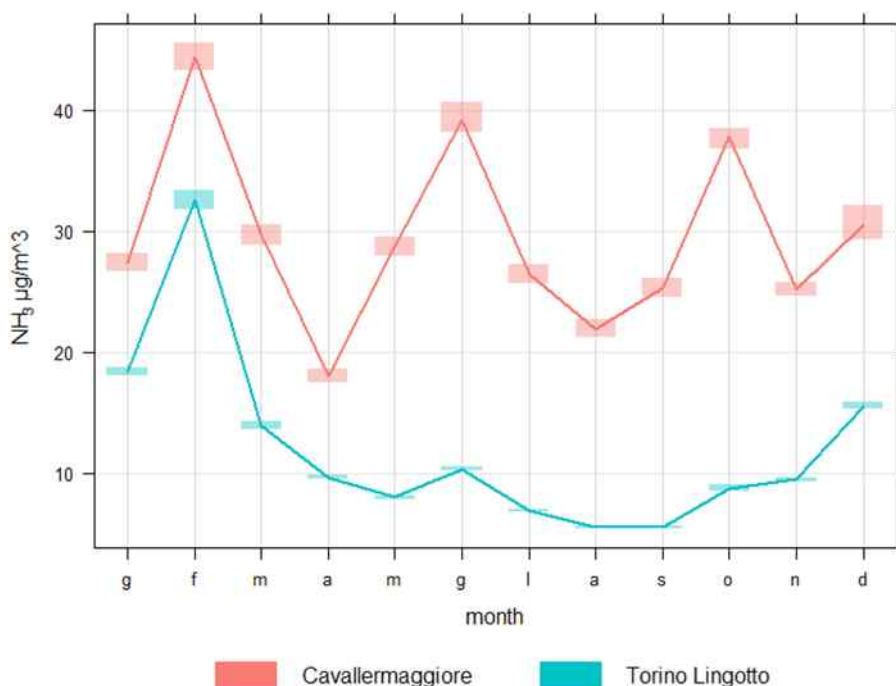


Figura 167: Andamento delle concentrazioni medie mensili del periodo 22 aprile 2021 - 21 aprile 2023 rilevate a Cavallermaggiore e Torino - Lingotto. La banda colorata indica l'intervallo di confidenza al 95% della media

8 Appendice A1

PM10 - 90,41° Percentile (percentuale dati validi >=80%)																	
ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	37	50	42	32		30	23	22	15		43	36	34	
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				68	58	73	60	76	53	55	61	54	53	
		Borgaro T. - Caduti	FS	74	90	84	67	55	70	62	75	53	50	60	58	53	
		Chieri-Bersezio	FS											57	53	54	
		Collegno - Francia	TU				72	60	78	65	80	58	60	70	63	64	
		Druento - La Mandria	FR	52	65	58	47	38	45	43	55	38	36	40	36	36	
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS		82	69	61	51	77	66	71			54	64	57	52
		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
		Torino - Grassi	TU	95	120		100				81	87	69	73	83	66	73
		Torino - Lingotto	FU	78	100	91	81	65	84	72	84	55	58	69	55	60	
Torino - Rebaudengo	TU						82	84	80	94	67	68	75	64	66		
Torino - Rubino	FU	84	108	89	74	63	82	70	79	55	59	68	62	61			
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS	70	61	53	47	41		57	64	50	45	48	52	46	
		Dernice - Costa	FR	27	37	35	25	26	27	27	29	26	23	23	24	25	
	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	
		Alba - Tanaro	FU	62	72	71	58	52	58	52	59	50	46	53	46	46	
	CN	Mondovì - Aragno	TU					47	50	50	54	44	39	43	46	47	
		Saliceto - Moizo	FR	55	59	51	44	43	42	40	46	38	38	42	38	39	
	NO	Borgomanero - Molli	TU				45	38	48	41	46	38	34	40	37	37	
		Castelletto T. - Fontane	FR					39	49	45	50	39	37	42	40	44	
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	60	78	78	64	47	61	54	68	49	51	56	49	51	
		Pinerolo - Alpini	FU	50	63	61	50		38	43	55	37	35	36	30	33	
	VB	Susa - Repubblica	FS	40	42	42	32	29	33	30	40	31	27	27	29	30	
		Omegna - Crusinallo	TU					42	62	47	54	42	42	45	44	47	
	VC	Verbania - Gabardi	FU	32	39	42	32	25	31	28	35	25	24	23	25	31	
Borgosesia - Tonella		FU	46	60	50	48	35	45	43	51	37	34	30	28	34		
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			33	29	27	28	29	38	28	25	22	27	29	
		Ceresole Reale - Diga	FR	13	17	16	13	12	15	18	23	20	20		19	22	
	TO	Oulx - Roma	TS	34	35	30	31	31		28	31	31	27	26	26	31	
		Baceno - Alpe Devero	FR							11	10	13	12	14		11	15
VB	Domodossola - Curotti	FS					49	60	49	57	40	39	51	45	47		
Pianura	AL	Alessandria - D'Annunzio	TU	64	94	89	75	71	71	66	82	57	63	71	64	60	
		Alessandria - Volta	FU	73	81	82	70	59	65	53	75	53	56	64	56	53	
		Casale M.to - Castello	FU				52	54	65	53	69	49			48	44	
		Novi Ligure - Gobetti	TU						61	56	65	52	50	54	48	49	
	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	
	BI	Asti - D'Acquisto	FU	62	78	61	67	52	53	49	57	51	57	58	55	53	
		Biella - Lamarmora	TU	55	69	57	53	44	56	48		45	40	47	42	39	
	CN	Biella - Sturzo	FU	50	57	45	38	33	42	41	48	32	29	34	29	32	
		Bra - Madonna Fiori	TU	74	82	79	68	64	64	54	65	49	45	54	53	49	
	NO	Cuneo - Alpini	FU	48	52	55	44	37	38	45	48	37	30	35	39	52	
		Cavallermaggiore-Galliei	FS												53	41	
	TO	Cerano - Bagno	FS	64	71	73	63	52	68	55	72	49	52	59	54	56	
		Novara - Roma	TU	67	80	69	58	42	57	52	67	47	49	53	50	48	
	VC	Novara - Arpa	FU	53	66	62	56	47		52	61	44	47	52	50	52	
		Carmagnola - I Maggio	TU	87	87	97	84	69	83	70	83	60	65	68	56	65	
	VC	Cigliano-Autostrada	TR					47	59	55	70	57		66	49	49	
		Vercelli - CONI	FS	59	74	69	60	50	62	55	70	46	49	54	48	48	
		Vercelli - Gastaldi	TU			80	70	59	72	56	73	49	58	58	48	49	

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 90.41° percentile dati giornalieri (µg/m³)

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%

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

Tabella 28: PM10, 90.41° percentile delle concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

NO2 - 99,79° Percentile dei dati orari
(Percentuale dati validi >= 80%)

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - Parco	FR	105	120	106	78	79	75	72	91	60	70	78	58		
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				137	120	135	132	173	122	122	96	95	90	
		Borgaro T. - Caduti	FS	112	137	151	125	114	143	145	117	93	100	86	91	89	
		Chieri - Bersezio	FS			149	111	109	115	93	96	83	92	65	73	76	
		Collegno Francia	TU			144	179	144		162	182	131	159	124	142	86	
		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	
		Orbassano - Gozzano	FS	126	134	132	119	106	164	108	128	98	114	108	106	92	
		Settimo T. - Vivaldi	TU	159	166	196	166	112	134	144	145	95	143	95	106	99	
		Torino - Consolata	TU	179	173	171	176	165	165	157	160	129	147	131	120	122	
		Torino - Lingotto	FU	133	174	158	147	131	118	171	128	103	110	79	93	83	
		Torino - Rebaudengo	TU	197	190	195	208	175	204	213	208	153			137	144	141
Torino - Rubino	FU	140	148	154	134	130	127	116	111	91	118	85	85	84			
Vinovo - Volontari	FS	109	122	134	93	102	120	88	121	92	109	83	81	87			
Collina	AL	Dernice - Costa	FR	65	63	55	65	53	56	68	64	55	52	58	48	44	
	AT	Vinchio - San Michele	FR	93	74	72	65	52	65	58	66	49	56	53	54	39	
	BI	Cossato - Pace	FU	84	96	99	85	65	83	70	77	57	68	64	68	57	
	CN	Alba - Tanaro	FU	104	101	125	98	73	83	84	89	67	68	69	63	61	
		Mondovì - Aragno	TU				92	94	95	87	86	91	75	86	78		
	NO	Saliceto - Moizo	FR	71	66	54	56	42	49	49	55	42	51	34	42	45	
		Borgomanero - Molli	TU				111	117	125	107	117	90	112	96	94	87	
	TO	Castelletto T. - Fontane	FR	116	105	113	105	98	109	121	82	75	79	66	65	69	
		Ivrea - Liberazione	FS	95	103	117	106	87	99	98	96	80	94	80	75	82	
	VB	Susa - Repubblica	FS	102	78	83	70	70	94	69	75	67	63	56	71	53	
		Omegna - Crusinallo	TU			112	111	112	91	91	93	79	86	84	78	77	
	VC	Verbania - Gabardi	FU	95	92	89	82	65	68	79	91	80	76	65	67	62	
Borgosesia - Tonella		FU	80	79	83	92	89	96	68	70	75	87	62	62	64		
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			73		66	79	65	54		52	44		47	
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	29	30	32	19	33	20	18	21	25	25	28	26	18	
		Oulx - Roma	TS	99	84	81	86	85	89	80	79	73	79	63		62	
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR			21	18		29	19	25	19	15		18	22	
		Domodossola - Curotti	FS					69	72	62	57	52	71	60	58	59	
	Pieve Vergonte - Industria	FS	78	78	77	69	57	66	59	66	46	50	48	46	43		
Pianura	AL	Alessandra - D'Annunzio	TU	162	166	182	110	117	146	147	137	114	134	114	115	122	
		Alessandra - Volta	FU	86	109	166	78	64	54	86	119	83	90	68	74	78	
		Casale M.to - Castello	FU	96	119	151	109	111	127	115	113	93	100	82	89	86	
		Novi Ligure - Gobetti	TU	160	142	122	134	94	100	85	178	201	94	81	72	80	
		Tortona - Carbone	TU	115	160	132	124	93	96	101	123	101	117	85	91	81	
	AT	Asti - Baussano	TU	139	137	149	119	96	99	112	117	90	114	88	82	81	
		Asti - d'Acquisto	FU	113	114	136	108	100	102	103	123	118	90	73	73	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	
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	123	96	127	100	75	85	81	102	73	82	69	70	65	
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												66	65,9	
		Cuneo - Alpini	FU	119	99	108	103	81	97	86	103	80	86	85	77	75	
	NO	Revello - Staffarda	FR					61	48	43	58	42	43	36	42	35	
		Cerano - Bagno	FS	101	119	135	115	104	115	113	110	73	82	71	69	64	
		Novara-Roma	TU	164	172	167	163	151	157	142	156	129	119	102	94	76	
		Novara - Arpa	FU	107	138	114	108	102	108	78	87	97	92	94	66	89	
	TO	Treccate - Verra	FU	98	139	157	95	135	96	88	103	85	90	90	78	78	
Carmagnola - I Maggio		TU					119	127	136	136	111	107	118	92	90		
VC	Cigliano-Autostrada	TR					143		112		90	90	63	68	64		
	Vercelli - CONI	FS	87	106	116	108	86	91	83	84	72	64	69	57	57		
	Vercelli - Gastaldi	TU	140	165	164	137	112	131	138	143	98	140	91	106	98		

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 99,79° percentile dati orari (µg/m³)
 Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 80%
 n dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90%

Tabella 29: NO₂, 99,79° percentile delle concentrazioni medie orarie misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2022.

**O3 - 93,15° percentile dei dati orari
(Percentuale dati validi >=80%)**

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	133	130	130	133	121	130	123	126	126	124	119	126	137
		Borgaro T. - Caduti	FS	112	114	112	105	99	124	116	107	108	105		118	127
		Chieri - Bersezio	FS				109	116	124	115	120	121	115	96	107	115
		Druento - La Mandria	FR	117	128	131	122	106	119	115	115	111	106		117	119
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	119	122	105	107	91	107	111	107	104	112	107	113	122
		Orbassano - Gozzano	FS	107	119	120	120	112	130	130	132	127	120	120	128	148
		Torino - Lingotto	FU	107	105	114		114	117	111	110	116	117	113	126	136
Torino - Rubino	FU					105	114	111	111	115	116	116	115	136		
Torino - Volontari	FS	110	121	119	114	102	101	108	116	122	115	110	108	141		
Collina	AL	Dernice - Costa	FR	127	122	127	122	112	122	117	127	120	123	125	115	128
	AT	Vinchio - San Michele	FR	123	128	130	125	111	119	129	121	118	115	122	116	130
	BI	Cossato - Pace	FU	123	128	106	116	115	120	109	116	110	110	113	112	129
	CN	Alba - Tanaro	FU	115	122	119	111	105	110	109	113	109	110	107	113	125
		Saliceto - Moizo	FR	109	107	116	105	100	107	103	107	113	102	100	106	113
	NO	Castelletto T. - Fontane	FR	111	124	118	114	104	113	106	117	116	111	113	108	128
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	116	114	110	107	103	117	100	113	114	106	112	114	120
		Susa - Repubblica	FS	107	110	110	107	97	100	113	116	109	106	106	114	124
	VB	Verbania - Gabardi	FU	113	127	118	115	100	123	110	115	116	115	117	110	112
VC	Borgosesia - Tonella	FU	113	112	133	113	106	102	98	103	98	102	112	117	124	
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			120	102	91	114	103	106	102	111	103	125	
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	129	124	125	119	112	119	117	115	106	112	109	109	123
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR	97	99	101	113		111	109	110	112			109	114
		Domodossola - Curotti	FS					107	108	98	104	103	102	109	106	112
	Pieve Vergonte - Industria	FS	104	122	119	113	109	118	112	117	113	109	130	111	121	
Planura	AL	Alessandria - Volta	FU	122	111	117	101	98	118	129	116	125	118	115	118	125
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	116	118	121	119	104	120	114	120	114	112	118	109	120
	BI	Biella - Sturzo	FU	103	121	129	113	99	92	106	111	112	117	113	97	116
	CN	Cuneo - Alpini	FU	110	119	116	114	100	115	114	116	105	112	117	119	120
		Revello - Staffarda	FR					105	119	111	110	99	101	101	110	119
	NO	Novara - Arpa	FU	125	125	119	101	87	118	109	116	111	104	101	99	121
VC	Vercelli - CONI	FS	118	133	130	113	113	129	111	99	110	111	106	116	137	

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%

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

Tabella 30: 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 2022.

9 Appendice A2

PARTICOLATO ATMOSFERICO – PM₁₀ - PM_{2.5}

<p>Caratteristiche</p>	<p>Il particolato atmosferico è formato da particelle, solide o aerosol, sospese in aria.</p> <p>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.</p>
<p>Sorgenti</p>	<p>Naturali: azione del vento sulla polvere e sul terreno, incendi boschivi, eruzioni vulcaniche, aerosol marino, ecc.</p> <p>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.</p>
<p>Tipologia</p>	<p>Primario: immesso direttamente in atmosfera</p> <p>Secondario: prodotto da trasformazioni chimico-fisiche che coinvolgono diverse sostanze quali SO₂, NO_x, COVs, NH₃.</p>
<p>Permanenza spazio temporale</p>	<p>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 <i>il 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.</p>
<p>Effetti</p>	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>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).</p> <p>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.</p>

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	<p>Gli ossidi di azoto (NO, NO₂, N₂O ed altri) vengono generati in tutti i processi di combustione che utilizzano l'aria come comburente.</p> <p>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.</p>
Sorgenti	<p>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.</p> <p>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.</p>
Tipologia	<p>Primario: il biossido di azoto rappresenta, in genere, al massimo il 5% degli ossidi di azoto emessi direttamente dalle combustioni in aria.</p> <p>Secondario: la maggior parte dell'NO₂ presente in atmosfera deriva dall'ossidazione del monossido di azoto ed è quindi di natura secondaria.</p>
Permanenza spazio temporale	<p>Il tempo medio di permanenza in atmosfera degli ossidi di azoto è breve: circa tre giorni per NO₂ e quattro giorni per l'NO.</p>
Effetti	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>

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	<p>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.</p> <p>Negli strati di atmosfera più prossimi alla superficie terrestre, la troposfera, l'ozono si può originare dalla presenza di precursori sia naturali che antropici.</p> <p>Naturali: composti organici volatili biogenici prodotti dalle piante</p> <p>Antropiche: ossidi di azoto e sostanze organiche volatili emessi da attività umane.</p>
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	<p>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.</p> <p>Ambiente: sugli ecosistemi vegetali gli effetti ossidanti della molecola interferiscono con la funzione clorofilliana e con la crescita delle piante.</p> <p>Materiali: i materiali, come la gomma e le fibre tessili, subiscono alterazioni chimiche che ne compromettono le caratteristiche e la resistenza.</p>

IPA - Benzo(a)pirene

Caratteristiche	<p>Il benzo(a)pirene - B(a)P - è stato scelto come marker dell'esposizione agli IPA nell'aria ambiente.</p> <p>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.</p> <p>Gli IPA sono generalmente composti persistenti, caratterizzati da un basso grado di idrosolubilità e da una elevata capacità di aderire al materiale organico.</p>
Sorgenti	<p>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.</p> <p>Naturali: eruzioni vulcaniche ed incendi boschivi.</p> <p>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.</p>
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	<p>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.</p> <p>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.</p>

BENZENE - C₆H₆

Caratteristiche	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>È utilizzato per conferire proprietà antidetonanti nelle benzine "verdi".</p>
Sorgenti	<p>Naturali: incendi boschivi ed eruzioni vulcaniche, ma le conseguenti concentrazioni in atmosfera sono quantitativamente irrilevanti.</p> <p>Antropiche: costituiscono le sorgenti principali.</p> <p>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.</p> <p>Una fonte importante, in ambienti indoor, è rappresentata dal fumo di tabacco.</p>
Tipologia	<p>È un inquinante primario.</p>
Permanenza spazio temporale	<p>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.</p>
Effetti	<p>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.</p>

MONOSSIDO DI CARBONIO – CO

Caratteristiche	<p>Il monossido di carbonio è un gas incolore, inodore e insapore, infiammabile, e molto tossico.</p> <p>Viene generato durante la combustione di materiali organici, come intermedio di reazione, quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente.</p> <p>Il monossido di carbonio è l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera.</p>
Sorgenti	<p>Naturali: incendi boschivi, eruzioni vulcaniche, emissioni da oceani e da paludi.</p> <p>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.</p>
Tipologia	<p>Il monossido di carbonio viene emesso come tale in atmosfera ed è quindi un inquinante primario.</p>
Permanenza spazio temporale	<p>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.</p>
Effetti	<p>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.</p> <p>Sull'ambiente ha effetti trascurabili.</p>

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	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>

METALLI PESANTI: Piombo, Arsenico, Cadmio e Nichel

<p>Caratteristiche</p>	<p>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.</p> <p>In atmosfera sono rintracciabili prevalentemente nel particolato aereo-disperso.</p>
<p>Sorgenti</p>	<p>Naturali: eruzioni vulcaniche, fenomeni di erosione.</p> <p>Antropiche: le principali sorgenti sono le combustioni, i processi industriali (industrie minerarie, metallurgiche e siderurgiche) e le abrasioni dei materiali.</p>
<p>Tipologia</p>	<p>I metalli pesanti sono inquinanti primari.</p>
<p>Permanenza spazio temporale</p>	<p>Essendo rintracciabili prevalentemente nel particolato aereo-disperso, l'inquinamento da metalli pesanti presenta distribuzione spazio-temporale analoga a quella dei PM₁₀.</p>
<p>Effetti</p>	<p>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.</p> <p>Ambiente: nell'ambiente, il fenomeno dell'accumulo sui terreni può danneggiare la fertilità del suolo e favorire l'ingresso dei metalli nella catena alimentare.</p>