

LA QUALITÀ DELL'ARIA IN PIEMONTE



RAPPORTO 2021

Redazione a cura di:

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Stefano Bande, Manuela Bernardi, Francesca Bissardella, Roberta De Maria, Stefania Ghigo, Federica Libanoro, Salvatore Magri, Christian Ronchi

Dipartimento Territoriale di Alessandria e Asti (Piemonte Sud Est)

Cristina Otta

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, alle attività analitiche e alle simulazioni modellistiche:

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Roberto Almasio, Silvio Bo, Cinzia Cascone, Marilena Maringo

Dipartimento Territoriale di Alessandria e Asti (Piemonte Sud Est)

Laura Erbetta, Cristina Littera, 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)

Sara Martini, Luca Pascucci, Aurelio Pellutiè, 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 2022

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

Sommario

1	Introduzione.....	7
2	Inquadramento Normativo.....	8
2.1	Piano Regionale Qualità dell'Aria.....	10
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).....	13
3.3	Il Sistema Modellistico Regionale.....	14
3.4	Valutazione modellistica di qualità dell'aria per l'anno 2021.....	16
4	Considerazioni sulla meteorologia del 2021.....	17
4.1	Le temperature.....	17
4.2	Le precipitazioni.....	20
4.3	La ventilazione.....	22
4.4	Le nebbie.....	22
4.5	Le condizioni meteo-diffusive.....	23
5	Il quadro regionale.....	24
5.1	Particolato sospeso: PM10.....	24
5.1.1	Media annua.....	24
5.1.2	Superamenti del valore limite giornaliero.....	28
5.2	Particolato sospeso: PM2.5.....	33
5.2.1	Media annua.....	33
5.3	Biossido di azoto (NO ₂).....	39
5.3.1	Media annua.....	39
5.3.2	Superamenti del valore limite orario.....	44
5.4	Ozono (O ₃).....	46
5.4.1	Media massima giornaliera su 8 ore.....	46
5.4.2	Massime medie orarie.....	51
5.4.3	Soglie per la protezione della vegetazione.....	52
5.5	Benzo(a)pirene nel PM10.....	53
5.5.1	Media annua.....	53
5.6	Benzene.....	57
5.6.1	Media annua.....	57
5.7	Monossido di carbonio e biossido di zolfo.....	58
5.7.1	Massima media su 8 ore.....	58
5.7.2	Massima media giornaliera.....	58
5.8	Metalli nel PM10.....	59

6	Il dettaglio per provincia.....	64
6.1	Città Metropolitana di Torino.....	64
6.1.1	Particolato sospeso: PM10.....	64
6.1.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	68
6.1.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	69
6.1.4	Biossido di azoto.....	70
6.1.5	Ozono.....	74
6.2	Provincia di Alessandria.....	77
6.2.1	Particolato sospeso: PM10.....	77
6.2.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	80
6.2.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	80
6.2.4	Biossido di azoto.....	81
6.2.5	Ozono.....	84
6.3	Provincia di Asti.....	85
6.3.1	Particolato sospeso: PM10.....	85
6.3.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	87
6.3.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	88
6.3.4	Biossido di azoto.....	88
6.3.5	Ozono.....	90
6.4	Provincia di Biella.....	92
6.4.1	Particolato sospeso: PM10.....	92
6.4.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	94
6.4.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	95
6.4.4	Biossido di azoto.....	96
6.4.5	Ozono.....	98
6.5	Provincia di Cuneo.....	99
6.5.1	Particolato sospeso: PM10.....	99
6.5.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	101
6.5.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	102
6.5.4	Biossido di azoto.....	103
6.5.5	Ozono.....	106
6.6	Provincia di Novara.....	108
6.6.1	Particolato sospeso: PM10.....	108
6.6.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	110
6.6.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	111
6.6.4	Biossido di azoto.....	112

6.6.5	Ozono.....	114
6.7	Provincia di Verbania.....	116
6.7.1	Particolato sospeso: PM10.....	116
6.7.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	118
6.7.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	119
6.7.4	Biossido di azoto.....	120
6.7.5	Ozono.....	122
6.8	Provincia di Vercelli.....	124
6.8.1	Particolato sospeso: PM10.....	124
6.8.2	Benzo(a)pirene nel PM10.....	126
6.8.3	Particolato sospeso: PM2.5.....	127
6.8.4	Biossido di azoto.....	127
6.8.5	Ozono.....	129
7	Approfondimenti.....	131
7.1	Il black carbon in Piemonte.....	131
7.1.1	Introduzione.....	131
7.1.2	Le misure.....	131
7.2	Il protocollo operativo antismog della Regione Piemonte.....	139
7.2.1	Applicazione nell'inverno 2021/2022.....	139
7.3	Gli inquinanti non più critici nell'aria, le buone notizie.....	142
7.3.1	Andamenti storici.....	142
7.4	Qualità dell'aria e meteorologia.....	146
7.5	Studio modellistico di dispersione degli inquinanti immessi in atmosfera dal termovalorizzatore di Torino – Anno 2019.....	150
7.5.1	Introduzione.....	150
7.5.2	Metodologia.....	151
7.5.3	Dati emissivi.....	152
7.5.4	Risultati.....	152
7.5.5	Conclusioni.....	156
8	Appendice A1.....	157
9	Appendice A2.....	160
10	Appendice A3.....	168

Glossario

As: Arsenico

BC: Black Carbon

BTX: Benzene, Toluene e Xileni

Cd: Cadmio

CH₄: Metano

CO: Monossido di carbonio

CO₂: Biossido di carbonio

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

EMEP: *European Monitoring and Evaluation Programme*

HCl: Acido cloridrico

HF: Acido fluoridrico

IPA: Idrocarburi Policiclici Aromatici

IREA: Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera

FAIRMODE: Forum for Air quality Modeling

MATTM: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

MITE: Ministero della Transizione Ecologica

Ni: Nichel

NH₃: Ammoniaca

NMHC: Idrocarburi non metanici

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*

SNPA: Sistema Nazionale Protezione Ambiente

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 2021 è il primo report di Arpa Piemonte che fornisce un quadro descrittivo 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 2021, 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.

Dal punto di vista meteorologico, l'anno 2021 ha presentato condizioni più favorevoli alla dispersione degli inquinanti in atmosfera rispetto agli anni precedenti, contribuendo a confermare la tendenza al complessivo miglioramento della qualità dell'aria sul territorio regionale per molti inquinanti; alcuni di questi, grazie alle politiche di riduzione delle emissioni attuate nel corso degli anni, non destano più preoccupazione (monossido di carbonio, biossido di zolfo, benzene, metalli pesanti). Rimangono alcune criticità per il mancato rispetto dei limiti previsti dal D.Lgs. 155/2010 in relazione al particolato PM10 sul breve periodo, con superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera in diverse aree urbane localizzate prevalentemente nella Città Metropolitana di Torino e nelle province di Alessandria ed Asti. Per il biossido d'azoto si osserva un significativo trend di decrescita delle concentrazioni, ma permangono 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. Infine, limitatamente al periodo estivo, l'ozono presenta superamenti diffusi su gran parte del territorio regionale del valore obiettivo per la protezione della salute umana.

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, raccomandati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, sempre più stringenti. 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 PM_{2,5}. 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.

Con una risoluzione approvata dal Parlamento Europeo il 25 marzo 2021 è stata chiesta la revisione delle direttive della qualità dell'aria (direttive 2004/107/CE e 2008/50/CE), per aggiornare gli standard di riferimento ormai datati di 15-20 anni, anche con nuovi indicatori e mirare al rafforzamento dei sistemi di monitoraggio, modellizzazione ed elaborazione di piani per la qualità dell'aria, tenendo conto della complessa natura dell'inquinamento atmosferico. Il percorso di aggiornamento è stato avviato dalla Commissione Europea e dovrebbe portare a fine 2022 alla completa revisione della normativa comunitaria sulla qualità dell'aria¹.

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 https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12677-Air-quality-revision-of-EU-rules_en

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 (1 ottobre-31 marzo)	Livelli critici annuale/invernale per la protezione della vegetazione	20 µg/m ³	
Biossido di azoto (NO₂)	1 ora	Valore limite per la protezione della salute umana	200 µg/m ³	da non superare più di 18 volte per anno civile
	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	40 µg/m ³	
	Superamento per 3 ore consecutive	Soglia di allarme	400 µg/m ³	in stazione con rappresentatività > 100 Km ² o intera zona
Ossidi di azoto (NO_x)	Anno civile	Livello critico per la vegetazione	30 µg/m ³	
PM₁₀	1 giorno	Valore limite per la protezione della salute umana	50 µg/m ³	da non superare più di 35 volte per anno civile
	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	40 µg/m ³	
PM_{2,5}	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	25 µg/m ³	dal 01/01/2020 valore limite da stabilire con successivo decreto ai sensi dell'articolo 22, comma 6
Benzene (C₆H₆)	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	5,0 µg/m ³	
Monossido di carbonio (CO)	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore consecutive	Valore limite per la protezione della salute umana	10 mg/m ³	
Piombo (Pb)	Anno civile	Valore limite per la protezione della salute umana	0,5 µg/m ³	tenore totale presente nella frazione PM ₁₀ del materiale particolato
Arsenico (As)	Anno civile	Valore obiettivo	6,0 ng/m ³	tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM ₁₀ del materiale particolato
Cadmio (Cd)	Anno civile	Valore obiettivo	5,0 ng/m ³	
Nichel (Ni)	Anno civile	Valore obiettivo	20,0 ng/m ³	
Benzo(a)pirene (B(a)P)	Anno civile	Valore obiettivo	1,0 ng/m ³	
Ozono (O₃)	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore consecutive	Valore obiettivo per la protezione della salute umana	120 µg/m ³	da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni
	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore consecutive nell'arco di un anno civile	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	120 µg/m ³	
	Da maggio a luglio, calcolato sulla base dei valori di 1 ora	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	18000 µg/m ³ *h	AOT40 ² come media su cinque anni
	Da maggio a luglio, calcolato sulla base dei valori di 1 ora	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	6000 µg/m ³ *h	AOT40
	1 ora	Soglia di informazione	180 µg/m ³	
	1 ora	Soglia di allarme	240 µg/m ³	

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

² AOT40 (espresso in µg/m³*h) si intende la somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ e 80 µg/m³ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00, ora dell'Europa centrale (CET)

2.1 Piano Regionale Qualità dell'Aria

Regione Piemonte, attraverso il Piano Regionale di Qualità dell'Aria (PRQA) approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale (DCR) 25 marzo 2019, n. 364-6854 (Approvazione del Piano regionale di qualità dell'aria ai sensi della legge regionale 7 aprile 2000, n. 43), ha adottato uno strumento di programmazione, coordinamento e controllo sul tema dell'inquinamento atmosferico finalizzato ad un progressivo miglioramento delle condizioni ambientali e la salvaguardia della salute dell'uomo e dell'ambiente. Gli obiettivi del Piano, nonché le procedure per la sua approvazione, sono individuati dalla legge regionale 7 aprile 2000 n. 43 ai sensi del d.lgs. 155/2010.

All'interno del PRQA vengono descritti lo stato di qualità dell'aria e identificati i comparti emissivi (agricoltura, energia, trasporti, industria) che hanno maggior peso sulle concentrazioni atmosferiche. Ispirandosi agli obiettivi di sostenibilità ambientale delle più recenti strategie e politiche comunitarie, nazionali e regionali, il PRQA individua 47 specifiche misure aventi come obiettivo il miglioramento della qualità dell'aria per la protezione della salute umana e degli ecosistemi, attraverso l'applicazione di soluzioni realistiche, strategie di lungo periodo e azioni possibili a breve termine.

Il PRQA può articolarsi in "piani stralcio o parti di piano" ovvero provvedimenti approvati dal Consiglio regionale che, per specifici ambiti trattati (agricoltura, energia, industria, riqualificazione urbana, trasporti, comunicazione), stabiliscono prescrizioni e indicazioni di tipo tecnico, nonché obblighi, divieti ed eventuali finanziamenti, finalizzati a mettere in pratica gli scenari di riduzione delle emissioni previsti dal Piano stesso.

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 ed in particolare un inceneritore, 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, ottenuti in laboratorio tramite speciazione sui filtri di particolato, sono forniti con cadenza mensile utilizzando comunque i filtri di PM10 campionati quotidianamente. La successiva Tabella 2 riporta l'elenco completo delle stazioni del SRRQA e la loro dotazione strumentale, mentre la Figura 2 ne illustra la collocazione spaziale.

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

La dotazione strumentale delle stazioni della rete regionale al 31/12/2021															
		Agglomerato (IT0118)		Pianura (IT0119)		Collina (IT0120)		Montagna (IT0121)							
PROVINCIA	STAZIONE	Tipo stazione	zona	SO ₂	CO	CO ₂	NO _x	O ₃	BTX	PM ₁₀	PM _{2,5}	As, Cd, Ni, Pb	IPA	NMHC	HCl, HF
TO	Borgaro T. - Caduti	FS	IT0118												
TO	Baldissero (ACEA) - Parco	FR	IT0118												
TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS	IT0118												
TO	Chieri - Bersezio	FS	IT0118												
TO	Collegno - Francia	TU	IT0118												
TO	Druento - La Mandria	FR	IT0118												
TO	Leini (ACEA) - Grande Torino	FS	IT0118												
TO	Orbassano - Gozzano	FS	IT0118												
TO	Settimo T. - Vivaldi	TU	IT0118												
TO	Torino - Consolata	TU	IT0118												
TO	Torino - Grassi	TU	IT0118												
TO	Torino - Lingotto	FU	IT0118												
TO	Torino - Rebaudengo	TU	IT0118												
TO	Torino - Rubino	FU	IT0118												
TO	Vinovo - Volontari	FS	IT0118												
AL	Alessandria - D'Annunzio	TU	IT0119												
AL	Alessandria - Volta	FU	IT0119												
AL	Alessandria-Spinetta (Solvay)	IS	IT0119												
AL	Casale M. - Castello	FU	IT0119												
AL	Novi Ligure - Gobetti	TU	IT0119												
AL	Tortona - Carbone	TU	IT0119												
AT	Asti - Baussano	TU	IT0119												
AT	Asti - D'Acquisto	FU	IT0119												
BI	Biella - Lamarmora	TU	IT0119												
BI	Biella - Sturzo	FU	IT0119												
CN	Bra - Madonna dei Fiori	TU	IT0119												
CN	Cavallermaggiore	FS	IT0119												
CN	Cuneo - Alpini	FU	IT0119												
CN	Revello - Staffarda	FR	IT0119												
NO	Cerano - Bagno	FS	IT0119												
NO	Novara - Arpa	FU	IT0119												
NO	Novara - Roma	TU	IT0119												
NO	Treccate - Verra	FU	IT0119												
TO	Carmagnola - I Maggio	TS	IT0119												
VC	Cigliano - Autostrada	TR	IT0119												
VC	Vercelli - CONI	FS	IT0119												
VC	Vercelli - Gastaldi	TU	IT0119												
AL	Arquata Scrivia - Minzoni	IS	IT0120												
AL	Dernice - Costa	FR	IT0120												
AT	Vinchio - San Michele	FR	IT0120												
BI	Cossato - Pace	FU	IT0120												
CN	Alba - Tanaro	FU	IT0120												
CN	Mondovì - Aragno	TU	IT0120												
CN	Saliceto - Moizo	FR	IT0120												
NO	Borgomanero - Molli	TU	IT0120												
NO	Castelletto T. - Fontane	FR	IT0120												
TO	Ivrea - Liberazione	FS	IT0120												
TO	Pinerolo - Alpini	FU	IT0120												
TO	Susa - Repubblica	FS	IT0120												
VB	Omegna - Crusinallo	TU	IT0120												
VB	Verbania - Gabardi	FU	IT0120												
VC	Borgosesia - Tonella	FU	IT0120												
BI	Trivero - Ronco	FS	IT0121												
TO	Ceresole Reale - Diga	FR	IT0121												
TO	Oulx - Roma	TS	IT0121												
VB	Baceno - Alpe Devero	FR	IT0121												
VB	Domodossola - Curotti	FS	IT0121												
VB	Pieve Vergonte - Industria	FS	IT0121												
DOTAZIONE COMPLESSIVA				9	11	1	54	31	17	53	29	27	38	2	2
Legenda	TU = Stazione di Traffico Urbano														
	FU = Stazione di Fondo Urbano														
	FS = Stazione di Fondo Suburbano														
	FR = Stazione di Fondo Rurale														
	IS = Stazione Industriale di Fondo														
	TR = Stazione di Traffico Rurale														

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

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).

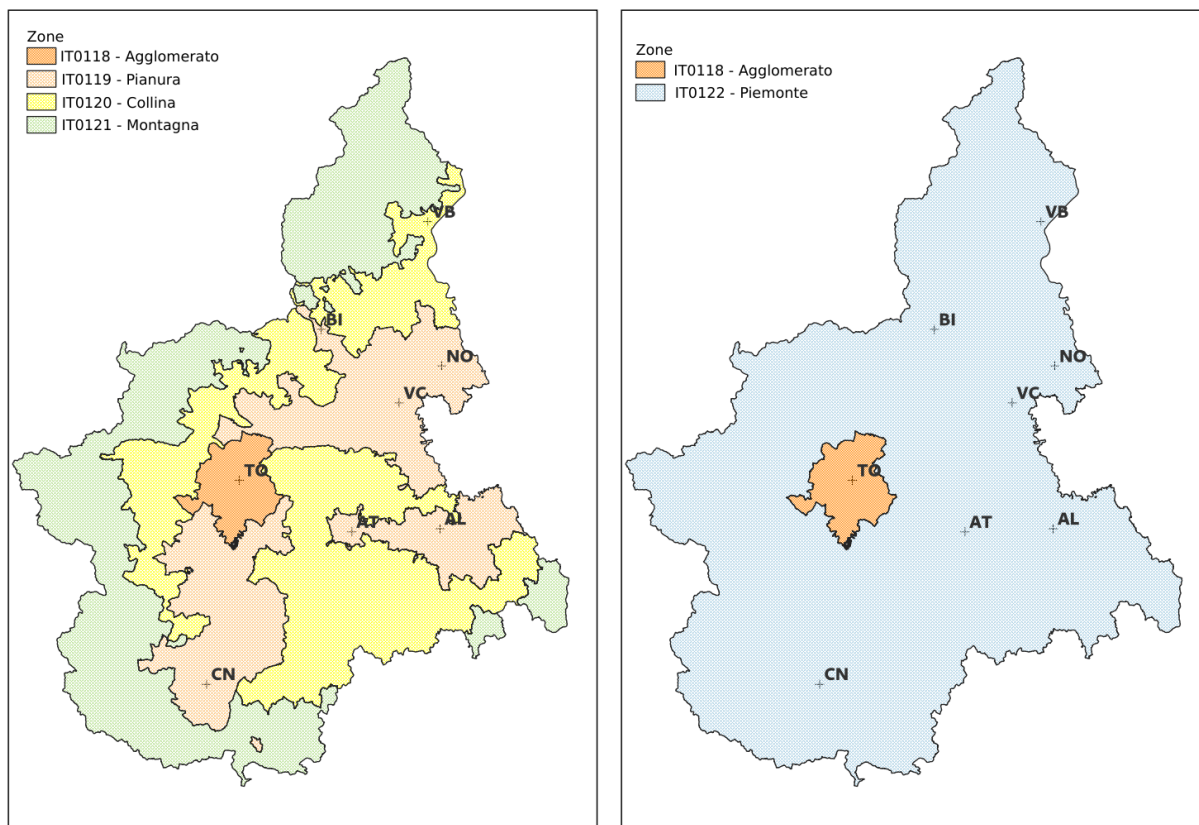


Figura 1: Zonizzazione del territorio ai fini della gestione della qualità dell'aria per la tutela della salute umana. A destra zonizzazione relativa all'ozono a sinistra relativa a tutti gli altri inquinanti.

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).

La strumentazione utilizzata è conforme allegato VI del D.lgs. 155/2010 il quale specifica i metodi di riferimento e quelli equivalenti. La strumentazione viene gestita, in parte internamente ed in parte attraverso una ditta esterna, al fine di garantire il buon funzionamento ed il raggiungimento degli obiettivi di qualità in termini di raccolta minima dei dati ed incertezza della misura, così come specificati dalla normativa - Allegato I D.Lgs.155/2010 – ed è sottoposta a rigidi controlli di qualità secondo il D.M. 30/3/2017 e le successive Linee Guida emanate dal sistema SNPA. Arpa Piemonte è dotata di un Servizio Tarature, il quale attua i controlli e le tarature sulla strumentazione e partecipa regolarmente agli interconfronti nazionali organizzati da ISPRA al fine di garantire l'affidabilità della strumentazione e delle procedure di misura adottate.

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

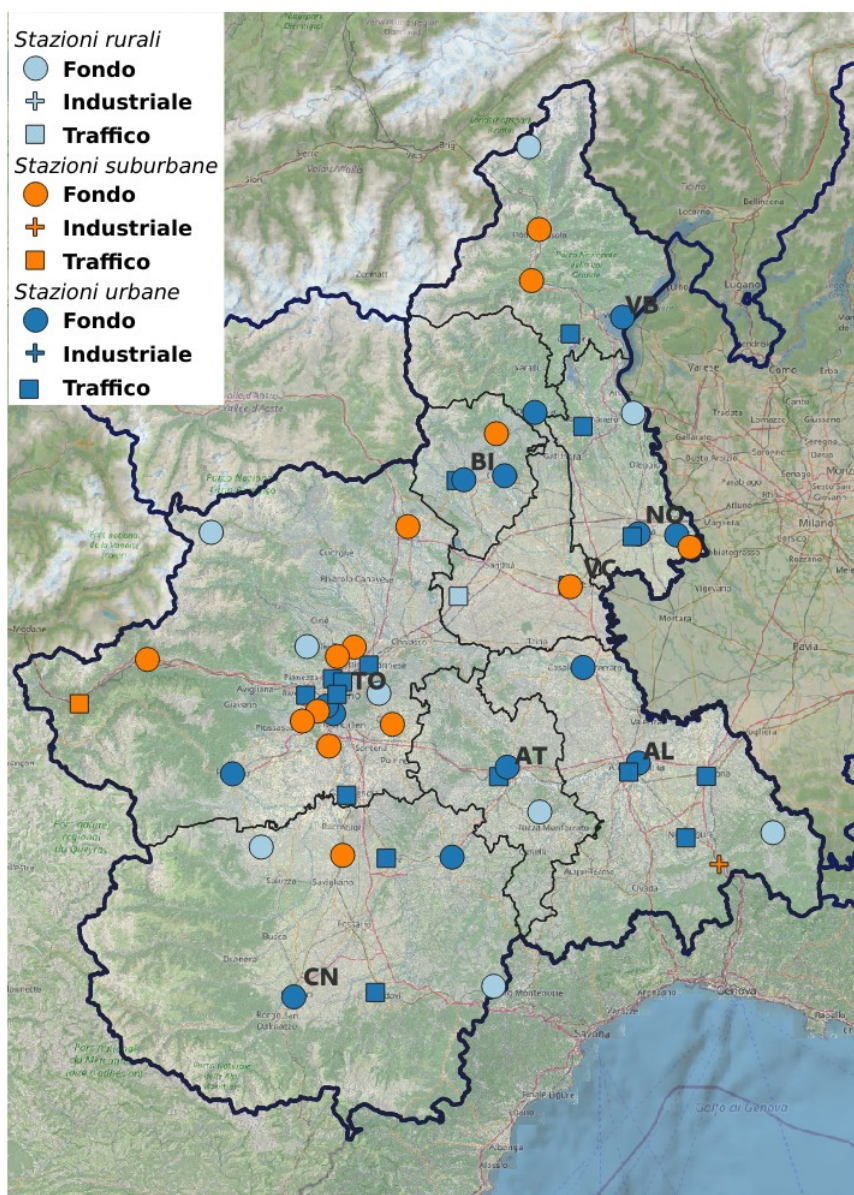


Figura 2: Localizzazione delle stazioni del SRRQA, differenziate per tipologia di stazione (fondo/traffico/industriali) e per tipologia di zona (urbana/suburbana/rurale).

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

Il settore Emissioni e Rischi Ambientali della Direzione Ambiente, Governo e Tutela del 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 disponibile dell'IREA fa riferimento all'anno 2015.

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

REGIONE PIEMONTE - Emissioni per comparto

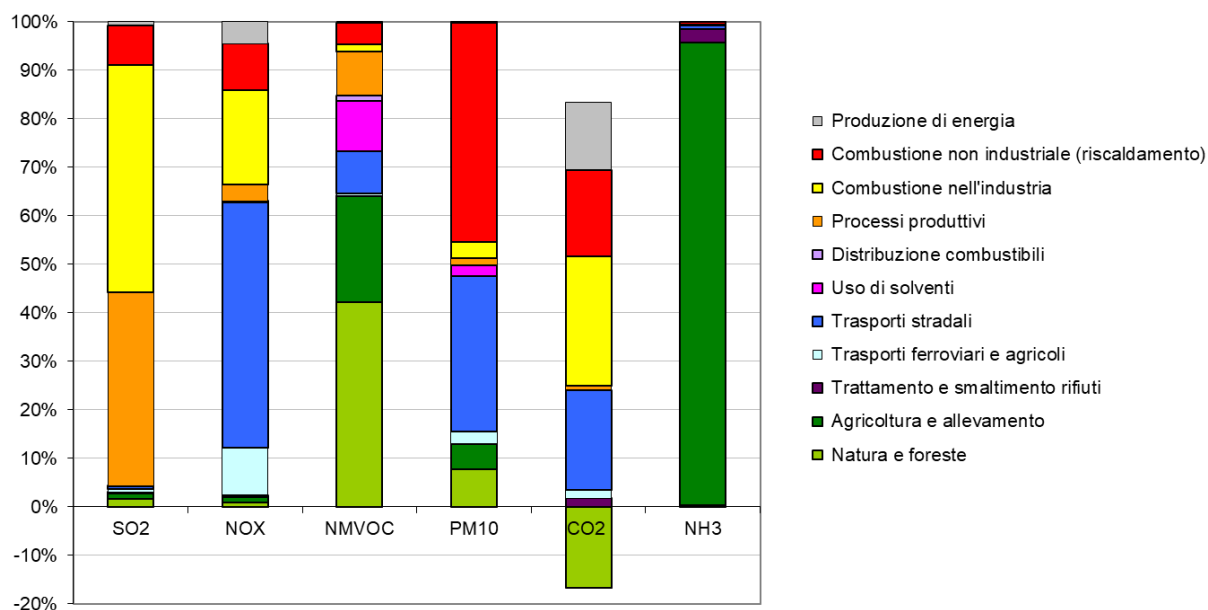


Figura 3: Contributo percentuale ai principali inquinanti per comparto emissivo (Macrosettore SNAP) - IREA 2015.

La Figura 3 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 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%).

3.3 Il Sistema Modellistico Regionale

A partire dai primi anni 2000, Arpa Piemonte, dando seguito al mandato ricevuto dal Settore competente della Direzione Ambiente della Regione Piemonte, ha sviluppato ed implementato una catena modellistica operativa, basata sull'applicazione dei modelli euleriani di chimica e trasporto (i modelli *CTM*, *Chemical Transport Models*), i più idonei da applicare - come indicato esplicitamente nell'appendice III del D. Lgs. 155/10 - in un contesto, quale quello piemontese, caratterizzato da un'elevata complessità morfologica ed emissiva, su scale spaziali che vanno da quella urbana a quella regionale e di bacino, su scale temporali sia orarie sia di lungo periodo; tale sistema modellistico è 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.

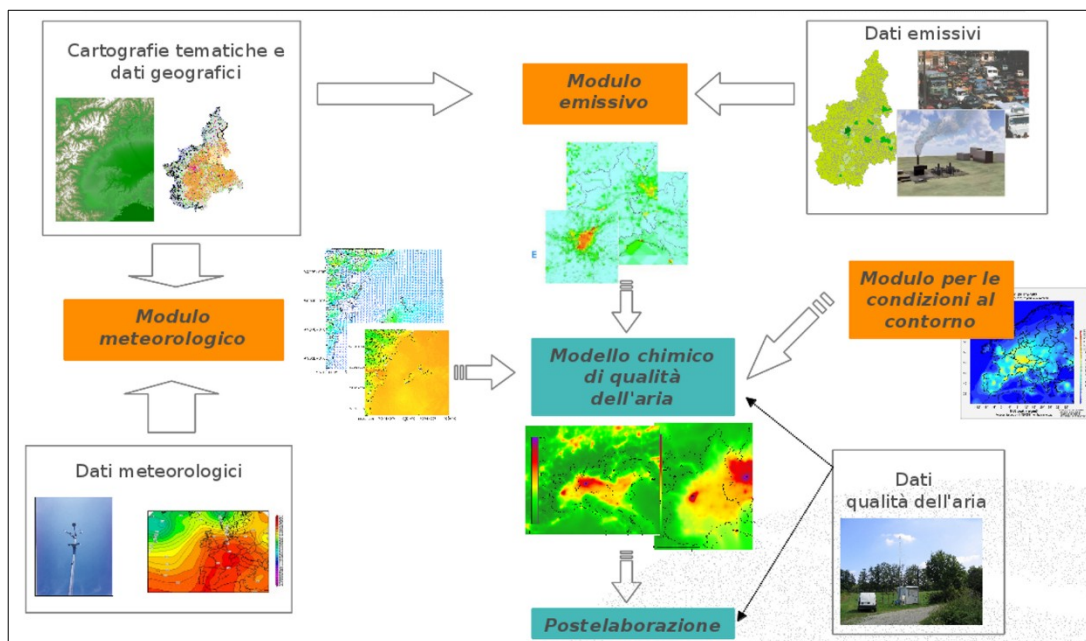


Figura 4: Architettura e schema di funzionamento del sistema modellistico regionale

La catena modellistica, rappresentata in Figura 4, è in realtà una rete integrata di codici di calcolo: le molteplici basi di dati in ingresso vengono elaborate dalle componenti specifiche del sistema in modo da produrre tutte le informazioni necessarie al modello di chimica e trasporto. I principali elementi che compongono il sistema si possono sinteticamente riassumere in:

- un modulo territoriale che, a partire dalle basi di dati territoriali, costruisce i campi dei parametri morfologici e territoriali;
- un modulo meteorologico che, a partire dai dati meteorologici di ingresso (osservazioni al suolo e in quota e/o campi tridimensionali di modelli meteorologici numerici), costruisce i campi tridimensionali meteorologici e di turbolenza utilizzati dal modello di qualità dell'aria;
- un modulo delle emissioni⁶ che, a partire dagli inventari delle emissioni disponibili nell'area di studio, ricostruisce i campi tridimensionali orari dei ratei di emissione per tutte le specie chimiche trattate dal modello di qualità dell'aria;
- il modello di qualità dell'aria, il modello di chimica e trasporto⁷ in grado di ricostruire i campi tridimensionali ed orari di concentrazione delle diverse specie considerate;
- un modulo per le condizioni iniziali e al contorno che, a partire dai campi tridimensionali di concentrazione di un modello di qualità dell'aria a scala continentale e/o dai dati chimici osservati, prepara le informazioni necessarie ai bordi dell'area di studio;
- un modulo di post-processing che elabora i campi tridimensionali di concentrazione per produrre campi aggregati di indicatori e mappe tematiche ed effettua la valutazione delle prestazioni del sistema modellistico;
- un modulo di data fusion, che integra i risultati del modello di qualità dell'aria con le misure della rete SRRQA attraverso una procedura geostatistica di assimilazione, in modo da correggere gli errori del modello ed ottenere la migliore riproduzione dello stato di qualità dell'aria.

Il sistema modellistico è un sistema multiscala, in grado di effettuare le simulazioni di qualità dell'aria su differenti domini a differente risoluzione. A partire da un dominio di background a bassa risoluzione, tramite la tecnica delle griglie innestate viene effettuata la discesa di scala su sotto-domini ad alta risoluzione. L'approccio multiscala permette di simulare le dinamiche di dispersione, trasporto e trasformazione degli inquinanti nei domini target considerando nel contempo anche gli effetti delle sorgenti emissive localizzate al loro esterno e descrivendo meglio i fenomeni di

⁶ EMMA (Emgr/Make), ARIA/ARIANET

⁷ Flexible Air quality Regional Model, <http://www.farm-model.org/>

accumulo caratterizzati da più grandi scale spaziali (ad esempio legati allo smog fotochimico). Il sistema modellistico viene applicato ai tre domini computazionali innestati rappresentati in Figura 5: un dominio di background che include tutto il bacino padano adriatico, l'arco alpino ed i principali rilievi appenninici, con una risoluzione orizzontale di 8 km, un dominio target regionale che comprende l'intera regione Piemonte ad una risoluzione orizzontale di 4km ed un sotto-dominio target ad alta risoluzione (1 km), centrato sull'area metropolitana torinese.

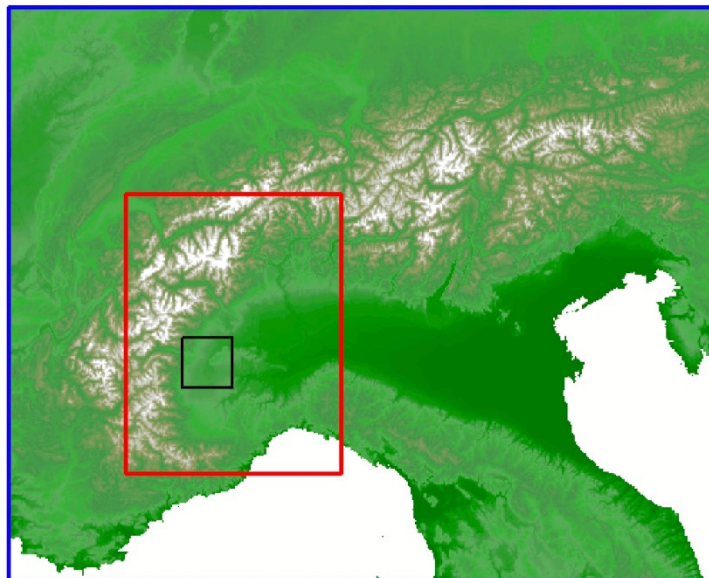


Figura 5: Domini di applicazione del sistema modellistico regionale

Il sistema modellistico regionale è un sistema allo stato dell'arte nell'ambito della modellistica numerica, in costante aggiornamento ed evoluzione ed è attualmente operativo in tre versioni differenti:

- diagnostica di lungo periodo, produce le simulazioni annuali, con dettaglio orario, sull'intero territorio regionale e sul nord Italia;
- previsionale, fornisce le previsioni di qualità dell'aria per il giorno in corso ed i due giorni successivi, pubblicate quotidianamente sul sito di Arpa Piemonte;
- diagnostica *near real time*, fornisce quotidianamente informazioni circa lo stato di qualità dell'aria relativo al giorno precedente il giorno di emissione.

3.4 Valutazione modellistica di qualità dell'aria per l'anno 2021

Il sistema modellistico regionale in versione diagnostica di lungo periodo è utilizzato per realizzare la valutazione modellistica di qualità dell'aria per l'anno 2021 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 per tutte il 2021, dal 01/01/2021 al 31/12/2021 con frequenza oraria sul dominio regionale e sul dominio di background descritti in Figura 5. La componente meteorologica utilizza i campi meteorologici numerici del modello COSMO-I5⁸, sviluppato nell'ambito del consorzio internazionale COSMO, di cui Arpa Piemonte fa parte. La componente emissiva è prodotta tramite il modulo delle emissioni a partire dall'ultima release di IREA per il territorio piemontese (anno 2015), integrata con le informazioni riguardanti gli inventari delle regioni confinanti e comprese nel dominio di calcolo: l'inventario armonizzato prepAIR⁹ all'anno 2017 per le regioni partner del progetto (Emilia-Romagna, Friuli-Venezia-Giulia, Lombardia, Trentino-Alto-Adige, Valle d'Aosta, Veneto), l'inventario predisposto nell'ambito del progetto CLIMAERA¹⁰ per le regioni italiane e francesi partner (Liguria, Provenza-Alpi-Costa Azzurra ed

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

⁹ Po Regions Engaged to Policies of AIR, progetto LIFE 15 IPE IT 013; <https://www.lifeprepare.eu/>

¹⁰ Progetto di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia Alcotra (2017-2020), <https://www.climaera.eu/it/>

Auvergne-Rhône-Alpes), l'Inventario Nazionale ISPRA per l'anno 2015 per le porzioni territoriali delle altre regioni italiane comprese nel dominio, ed i dati EMEP per i rimanenti territori esteri. Le condizioni al contorno sul dominio sovraregionale sono desunte a partire dai dati messi a disposizione dalla banca dati Prev'Air¹¹.

Il modello FARM, come descritto nel precedente paragrafo, fornisce su tutto il dominio di simulazione le concentrazioni orarie dei principali inquinanti atmosferici (O₃, NO₂, NO_x, PM10, PM2.5, CO, SO₂, 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 PM10 e PM2.5, il biossido di azoto e l'ozono, i risultati del modello FARM sono stati integrati con le misure della rete di rilevamento della qualità dell'aria attraverso una procedura di assimilazione geostatistica¹²: si ottiene in tal modo una nuova versione del sistema modellistico corretto 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.

Come richiesto dal D.lgs 155/2010 a valle delle simulazioni è stata condotta un'analisi delle prestazioni del sistema modellistico riguardo alla sua capacità nel riprodurre i livelli di inquinamento osservati dalle stazioni di monitoraggio. I risultati in dettaglio dell'analisi sono riportati in Appendice A3: lo studio mostra come il sistema modellistico riesca a riprodurre in modo soddisfacente i livelli di inquinamento misurati dalle stazioni, in linea con quanto riportato dalla letteratura scientifica di riferimento, anche se in alcune aree del territorio si osservano sottostime legate sia a fenomeni che avvengono su scale spaziale non riprodotte alla risoluzione del sistema modellistico e dei suoi dati di ingresso (emissivi e meteorologici in particolare).

4 Considerazioni sulla meteorologia del 2021

L'anno 2021 in Piemonte è stato complessivamente nella norma rispetto agli ultimi 30 anni per quanto riguarda le temperature medie e leggermente al di sotto per quanto riguarda le precipitazioni cumulate.

4.1 Le temperature

Entrando nel dettaglio il 2021 è stato il 15° più caldo degli ultimi 65 anni, con una temperatura media sulla regione di circa 9.9°C ed un'anomalia termica media in linea con la norma del trentennio 1991-2020 ma superiore di +0.8°C rispetto alla climatologia del trentennio di riferimento precedente 1971-2000.

Come si evince dalla Figura 6 solo i mesi di gennaio, aprile e maggio hanno registrato un'anomalia termica negativa, mentre tutti gli altri sono stati più caldi della norma e tre di loro (febbraio, giugno e settembre) sono risultati entro i primi 10 posti della rispettiva classifica mensile.

Grazie alla presenza di due mesi vicini (aprile e maggio) con un'anomalia termica negativa, per la prima volta dal 2014 si è verificata una stagione con temperature inferiori al clima dell'ultimo trentennio; infatti, la primavera 2021 ha interrotto una sequenza di 26 stagioni più calde della climatologia, che andava dall'autunno 2014 fino appunto all'inverno 2021.

¹¹ <http://www2.prevoir.org/>

¹² E' 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.

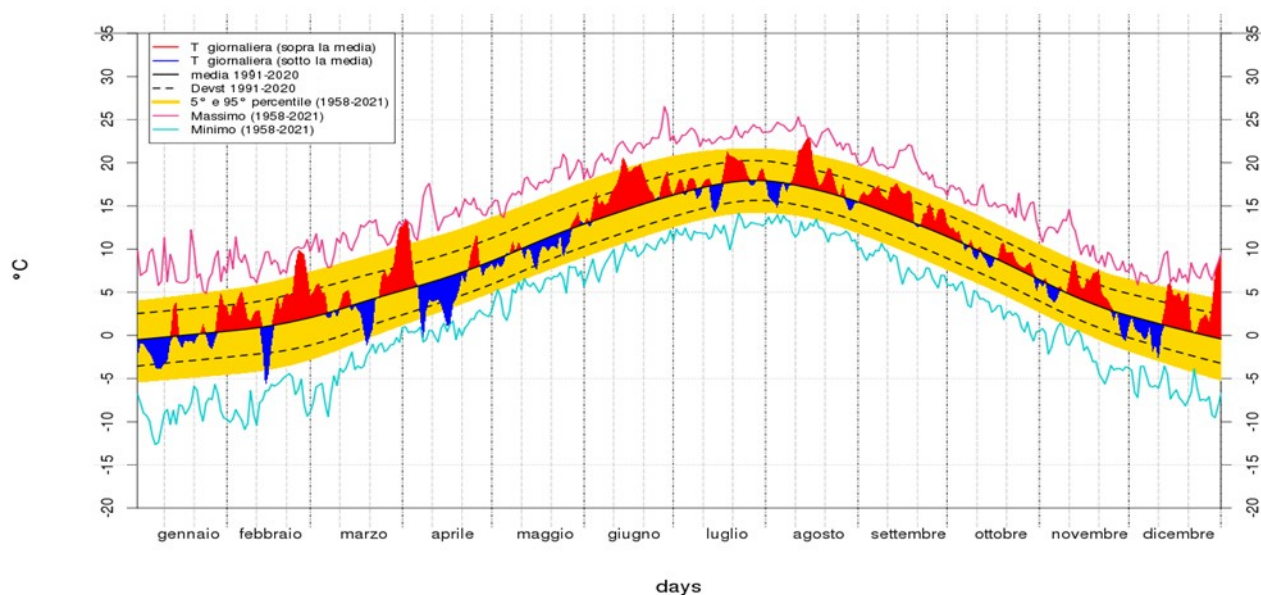


Figura 6: Andamento giornaliero della temperatura media in Piemonte nel corso dell'anno 2021

Dopo un gennaio molto piovoso e caratterizzato da numerosi sistemi perturbati che sono transitati sul Piemonte, di particolare interesse il mese di febbraio 2021 quando una robusta area di alta pressione ha dominato l'inizio e la fine del mese determinando due periodi favorevoli al ristagno degli inquinanti, interrotti solo a metà febbraio quando un'irruzione di aria fredda continentale ha causato la discesa della neve sin sulle pianure e un brusco calo termico, tanto che in quei giorni si sono segnati i valori minimi dell'annata.

Analizzando più in dettaglio l'anomalia mensile della pressione in quota nel 2021 tramite l'altezza del geopotenziale a 500 hPa, riportata in Figura 7, si vede come oltre a febbraio, anche i mesi di marzo, giugno, settembre e, in parte, ottobre e dicembre siano stati caratterizzati da condizioni atmosferiche di alta pressione le quali, accompagnate da precipitazioni generalmente al di sotto della norma descritte in Tabella 3, hanno favorito un aumento delle concentrazioni di inquinanti.

Viceversa, nei mesi di gennaio, maggio e almeno parzialmente, di novembre, le mappe mostrano una chiara anomalia negativa di pressione sul Piemonte, spesso accompagnata da precipitazioni nella norma o addirittura al di sopra della climatologia del periodo, condizioni che possono aver favorito il dilavamento degli inquinanti.

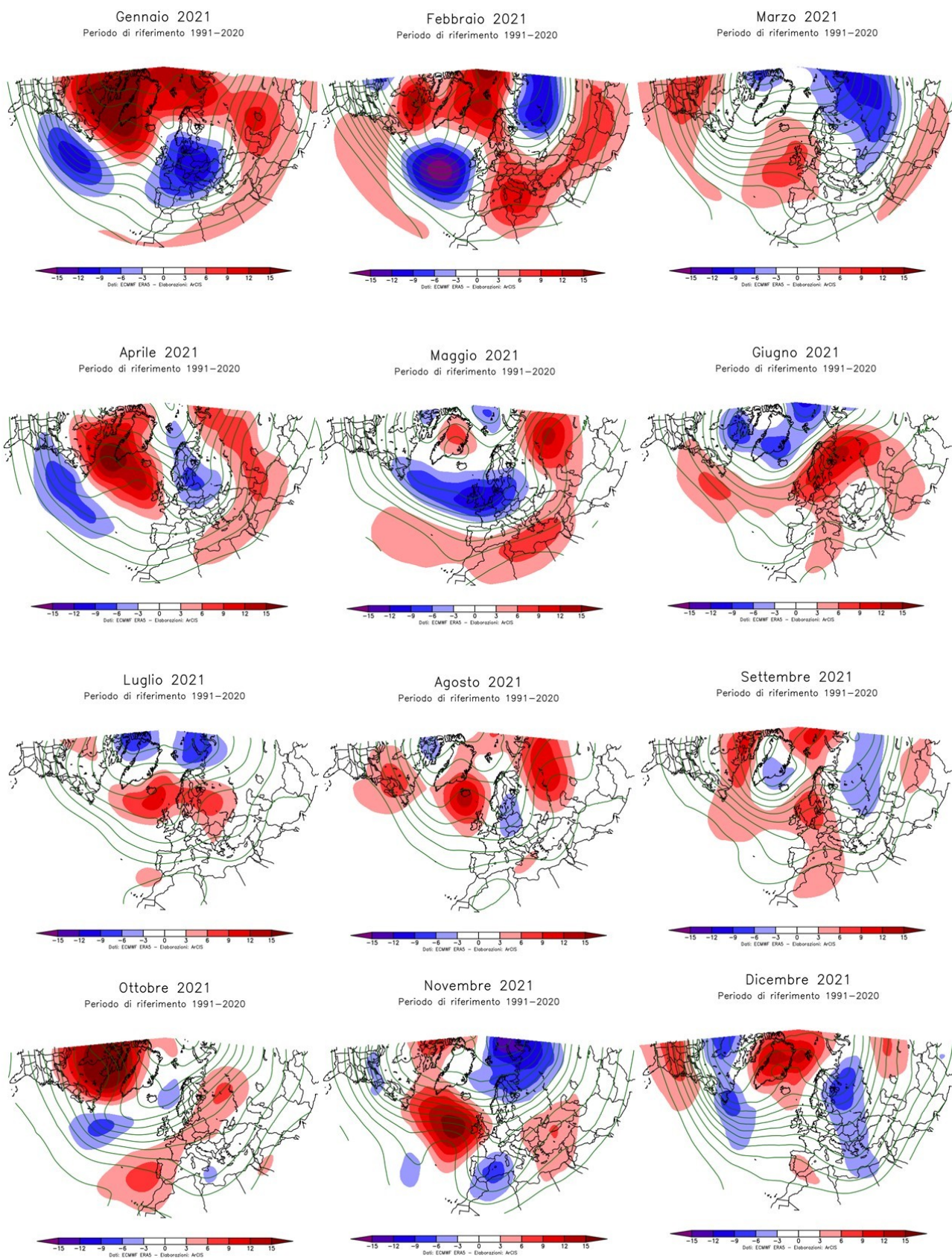


Figura 7: Anomalia media mensile dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nel corso dell'anno 2021.

4.2 Le precipitazioni

Dal punto di vista delle precipitazioni, in generale, l'apporto delle piogge e nevicate totali annue nel 2021 è stato pari a circa 858 mm, con un deficit netto di 192 mm, ovvero il 17% in meno rispetto alla norma del trentennio 1991-2020. L'anno 2021 diventa quindi il 16° anno meno piovoso a partire dal 1958, non molto lontano dal 2012 e dal 2020 se guardiamo alle annate più recenti. In quest'anno, comunque, si è verificato anche un evento alluvionale particolarmente localizzato ed intenso nei giorni 3-5 ottobre. L'alluvione ha coinvolto la parte meridionale dell'alessandrino dove alcune stazioni della rete meteorografica ligure-piemontese hanno stabilito dei primati italiani in termini di quantitativi in 12 e 24 ore. Da solo questo evento ha contribuito con circa il 10% della pioggia totale caduta nel corso del 2021.

Precipitazione	Anomalia pluviometrica (° %)	Posizione nella distribuzione storica	Valore medio (mm)
Gennaio 2021	+130	8° più piovoso	106.0
Febbraio 2021	-22	25° meno piovoso	33.6
Marzo 2021	-87	5° meno piovoso	8.4
Aprile 2021	-41	18° meno piovoso	63.7
Maggio 2021	-6	29° più piovoso	115.3
Giugno 2021	-23	22° meno piovoso	72.7
Luglio 2021	+71	5° più piovoso	112.6
Agosto 2021	-62	3° meno piovoso	29.1
Settembre 2021	-42	26° meno piovoso	57.2
Ottobre 2021	-22	27° meno piovoso	89.6
Novembre 2021	+8	23° più piovoso	142.3
Dicembre 2021	-50	22° meno piovoso	28.5
Anno 2021	-17	16° meno piovoso	858.4

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. In arancione (secco) o blu (piovoso) i mesi nelle prime 10 posizioni storiche

Per quanto riguarda i giorni piovosi, intesi come le giornate in cui sono precipitati sulla regione in media più 1 mm al giorno, sono stati in totale 124 nel 2021, un numero leggermente inferiore rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020 che si attesta sulle 134 giornate. Volendo ampliare il concetto di "giorno piovoso" sul territorio regionale, si sono considerate tutte quelle giornate nelle quali è caduto almeno 1 mm di precipitazione solida o liquida su almeno la metà del territorio regionale. Questo per rappresentare una situazione di pioggia più diffusa, evitando di contare come giorno piovoso in Piemonte quei casi in cui è precipitato molto ma su porzioni limitate del territorio. Il grafico in Figura 9 illustra proprio la differenza tra le giornate di pioggia così definite aggregate mese per mese nel corso dell'anno 2021 e la loro media nel periodo climatico di riferimento.

Si nota come solo nei mesi di gennaio, aprile, luglio e novembre vi sia un surplus di giorni piovosi, mentre in tutti gli altri mesi le giornate utili per il dilavamento degli inquinanti siano state al di sotto della norma, in modo più pronunciato nei mesi di marzo, maggio, agosto e dicembre. In totale in regione si sono registrati 77 giorni di pioggia "diffusa" contro una media climatica di 95.

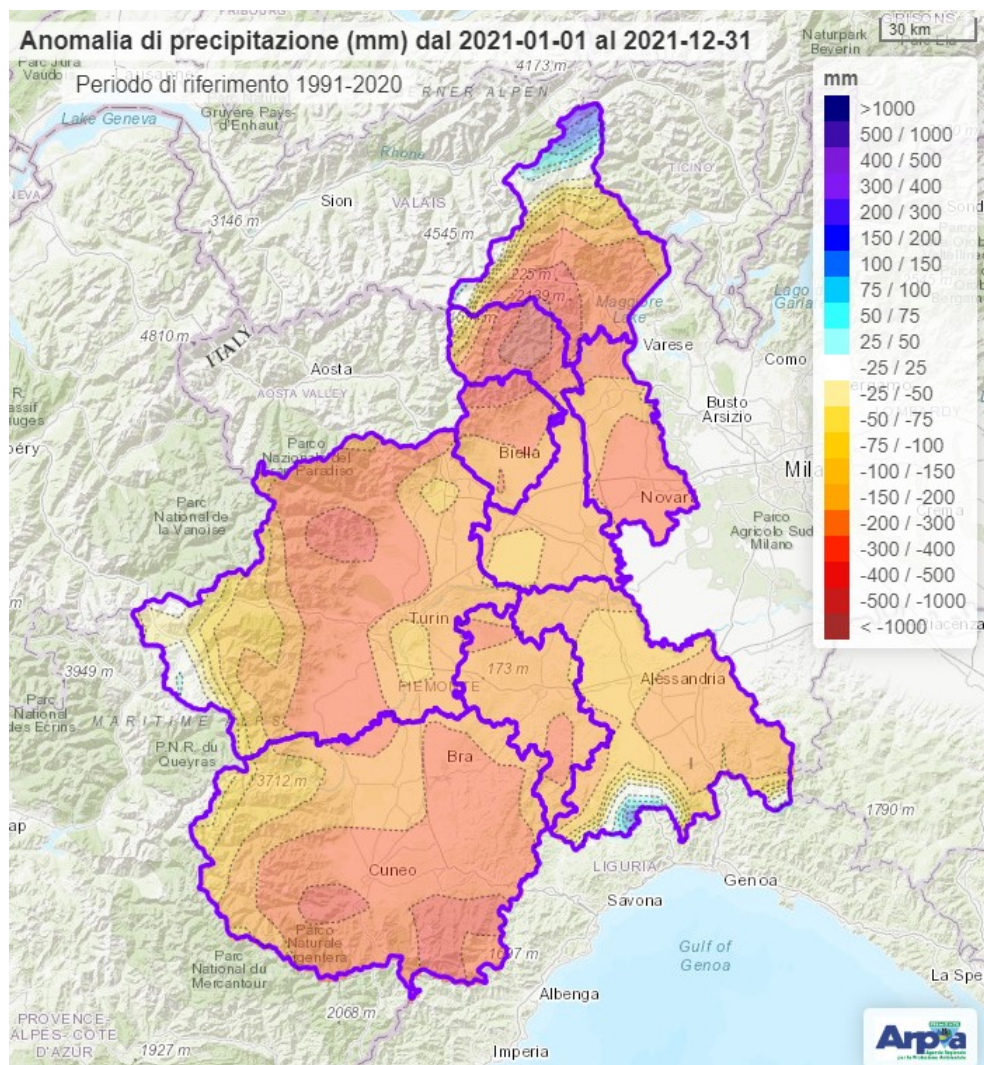


Figura 8: Anomalia di pioggia cumulata sull'anno 2021 in Piemonte, rispetto alla norma 1991-2020.

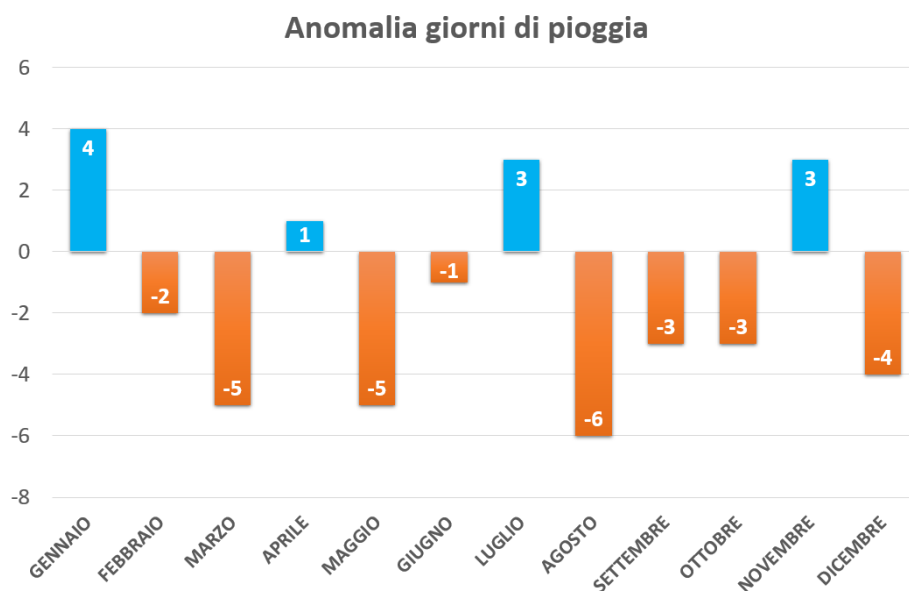


Figura 9: Anomalia mensile del numero di giorni di pioggia sul Piemonte rispetto alla norma 1991-2020.

4.3 La ventilazione

Nella primavera 2021 il numero complessivo di giorni di foehn (28) ha eguagliato il precedente primato del 2010, mentre su scala mensile si segnalano i frequenti episodi nei mesi di gennaio ma soprattutto di dicembre, quando le giornate di foehn sul Piemonte sono state più del doppio della norma del ventennio 2000-2020 come si evince dalla Tabella 4.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
2021	12	5	9	6	13	3	3	4	2	4	8	15
Media 2000-2020	9	7	8	4	5	3	5	4	5	4	5	7

Tabella 4: Numero di giorni di foehn per mese sul Piemonte, anno 2021 e media climatica a confronto.

4.4 Le nebbie

A fare da controaltare 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 di nebbiose. Nell'anno 2021 si sono verificati in totale 118 giorni di nebbia ordinaria (visibilità inferiore ad 1 km), un numero leggermente inferiore rispetto ai 122 attesi dalla climatologia recente del periodo 2004-2020. Invece sono mancati circa un terzo degli episodi annuali di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m): 14 rilevati e 22 attesi dalla norma climatica, come si evince dai dati riportati in Tabella 5.

	Giorni nebbia ordinaria (vis < 1 km)	Climatologia giorni nebbia ordinaria (vis < 1 km)	Giorni nebbia fitta (vis < 100 m)	Climatologia giorni nebbia fitta (vis < 100 m)
Gennaio	17	20	2	6
Febbraio	18	16	2	4
Marzo	9	9	2	1
Aprile	4	5	0	0
Maggio	3	3	0	0
Giugno	1	1	0	0
Luglio	3	2	0	0
Agosto	0	1	0	0
Settembre	5	6	0	0
Ottobre	19	19	0	3
Novembre	18	19	1	4
Dicembre	21	21	7	4
Anno	118	122	14	22

Tabella 5: Giorni di nebbia ordinaria e fitta registrati in Piemonte nell'anno 2021, comparati con le medie del periodo 2004-2020.

Tra i mesi in cui normalmente si verificano le nebbie fitte solo dicembre e marzo hanno avuto un numero di episodi nebbiosi superiore alla climatologia mentre i giorni di nebbia sono risultati inferiori a gennaio, febbraio, ottobre e novembre.

4.5 Le condizioni meteo-diffusive

La caratterizzazione delle condizioni meteo-diffusive nell'anno 2021 è stata realizzata anche calcolando l'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10"¹³.

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 10 sono riportati i valori mensili dell'indice calcolati per l'anno 2021 e confrontati con i massimi e i minimi mensili della climatologia del periodo 2006-2020.

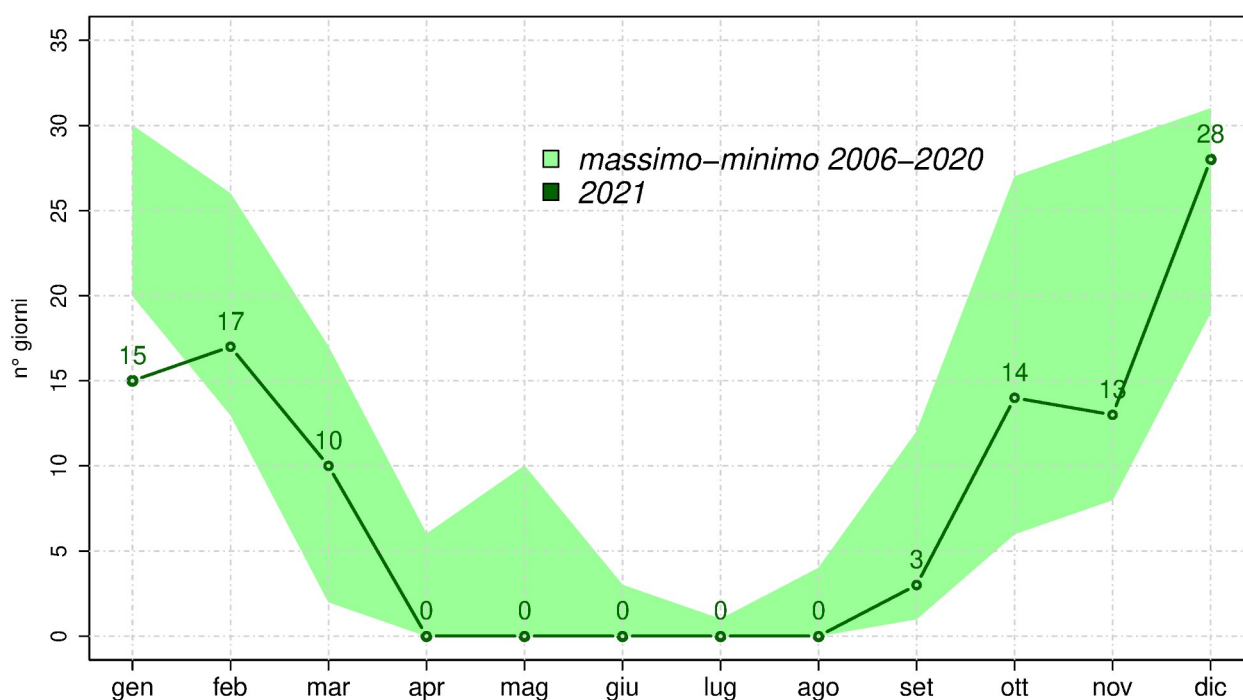


Figura 10: Andamento mensile dell'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10" sull'agglomerato urbano di Torino nell'anno 2021, confrontato con i massimi ed i minimi mensili del periodo di riferimento 2006-2020.

Incrociando quindi i dati dell'indice riportati in Figura 10 con i dati delle giornate di foehn (Tabella 4) e con quelle di pioggia (Figura 9) espressi come anomalie rispetto ad un periodo climatologico, si evidenzia come nei mesi di gennaio e di novembre le condizioni meteorologiche siano state più favorevoli alla dispersione degli inquinanti rispetto agli anni precedenti, mentre nel mese dicembre le criticità derivanti dalla quasi totale assenza di precipitazioni sono state mitigate da un surplus di eventi di foehn che hanno portato ad un numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 comunque in linea con la climatologia di confronto.

¹³ Bande S., L'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10", Relazione "Uno sguardo all'aria 2016", pp. 86-90, 2017.

5 Il quadro regionale

5.1 Particolato sospeso: PM10

5.1.1 Media annua

Nel corso del 2021, su tutto il territorio regionale è stato rispettato il valore limite medio annuo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come si può osservare dalla Figura 11 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 dei principali centri urbani (Torino, Alessandria, Asti), dove diventano importanti effetti locali non riproducibili alla risoluzione della simulazione.

Il confronto fra i valori registrati presso le stazioni di monitoraggio, riportato in Figura 12, mostra che le concentrazioni maggiori sono state registrate presso le stazioni da traffico delle maggiori aree urbane, quali Torino – Grassi ($36 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Torino – Rebaudengo ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Alessandria D'Annunzio ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Asti – Baussano ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Per quanto riguarda le stazioni di fondo i valori più elevati si hanno in Torino – Rubino, Alessandria – Volta e Cavallermaggiore – Galilei ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il grafico illustrato in Figura 13 descrive l'andamento della media mensile di tutte le stazioni della rete regionale, suddivise in stazioni di fondo e di traffico; il profilo temporale trova riscontro nella meteorologia dell'anno 2021, caratterizzato da precipitazioni anche intense nei mesi di gennaio, maggio e novembre alle quali corrispondono riduzioni significative delle medie mensili di particolato PM10 e da condizioni atmosferiche generalmente di alta pressione nei mesi di febbraio, settembre, ottobre e dicembre che hanno favorito l'incremento delle concentrazioni medie.

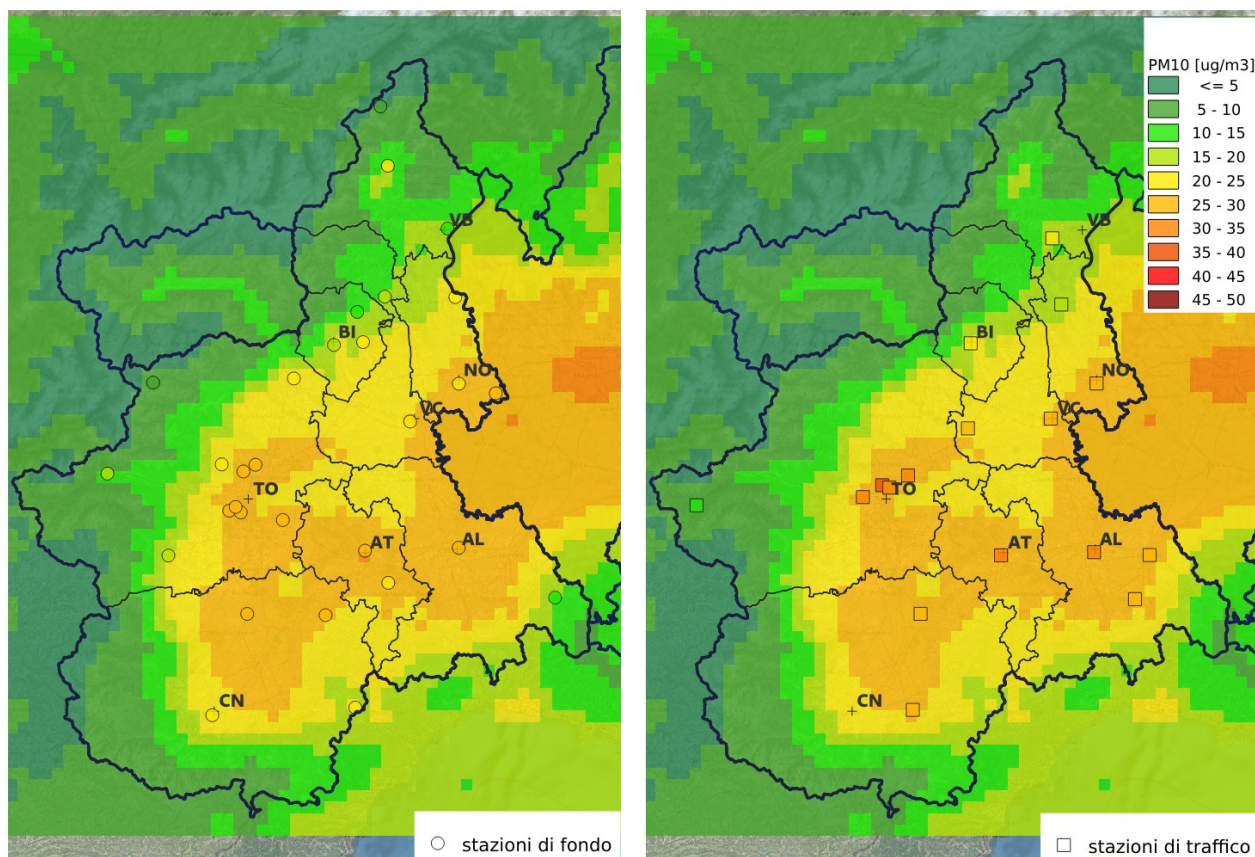


Figura 11: PM10: concentrazioni medie per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

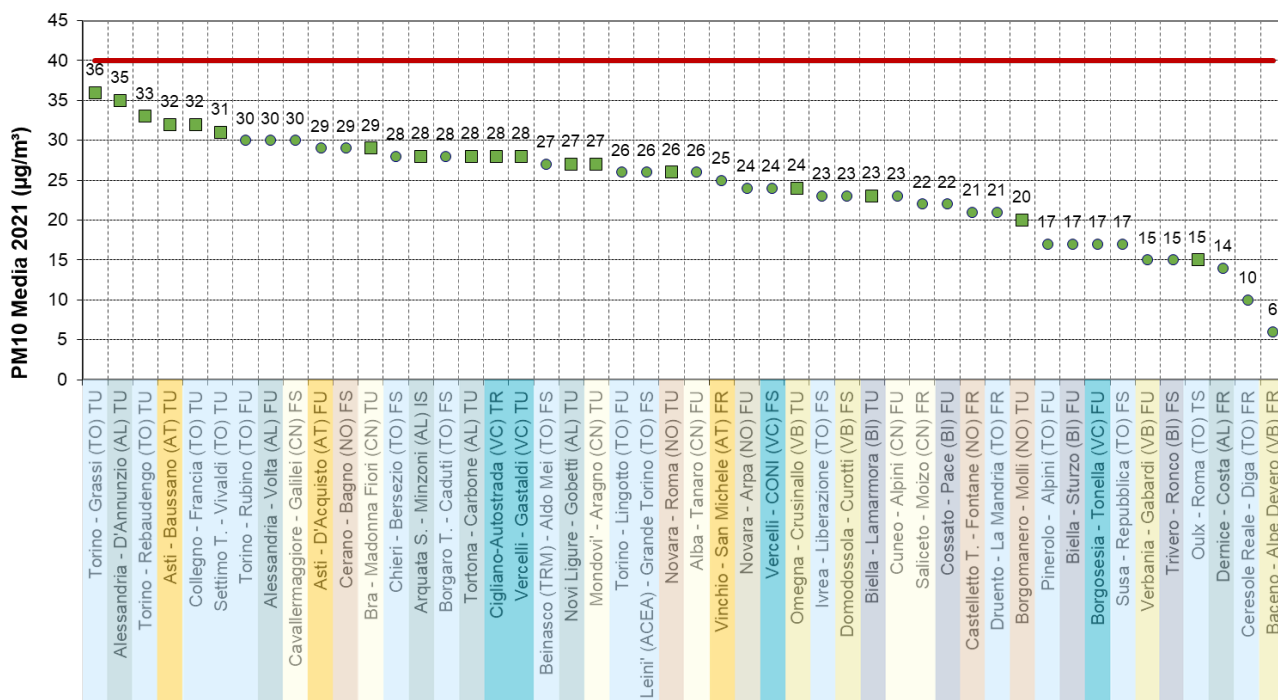


Figura 12: PM10: concentrazioni medie per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

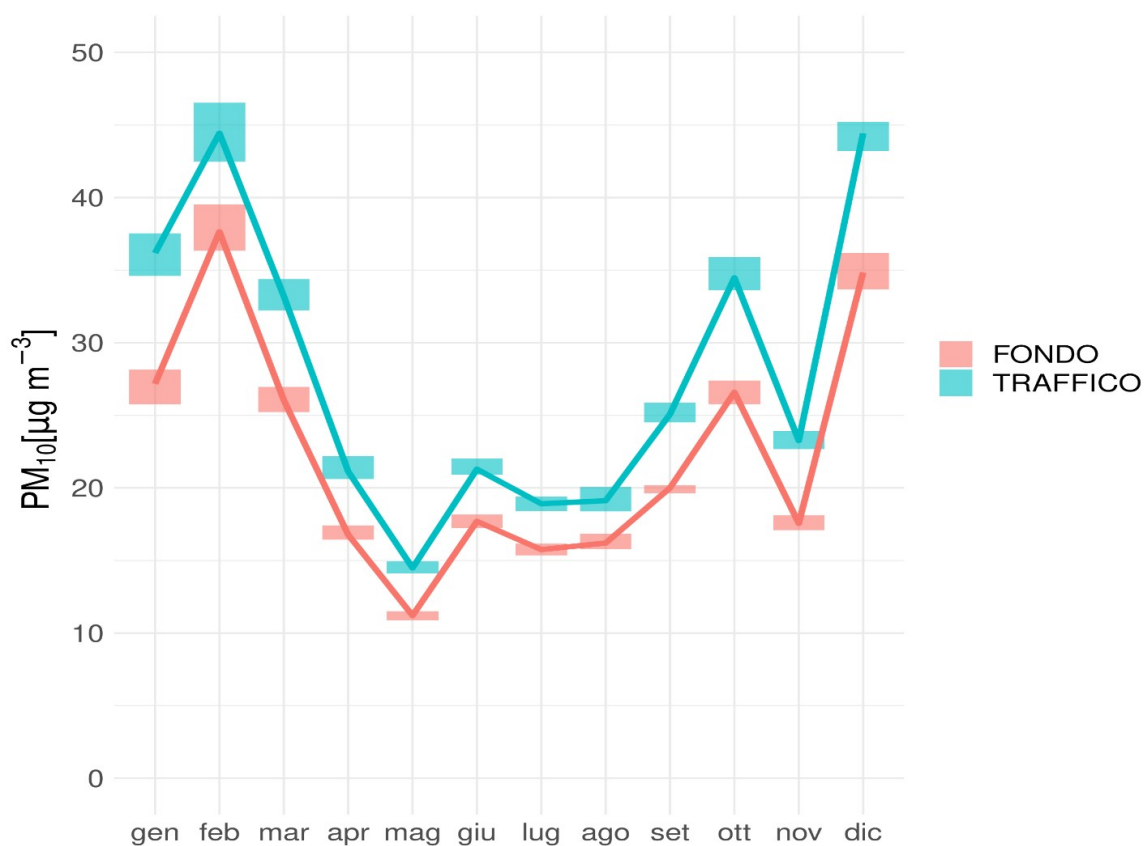


Figura 13: PM10: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2021 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

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

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 annuale (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 2021.

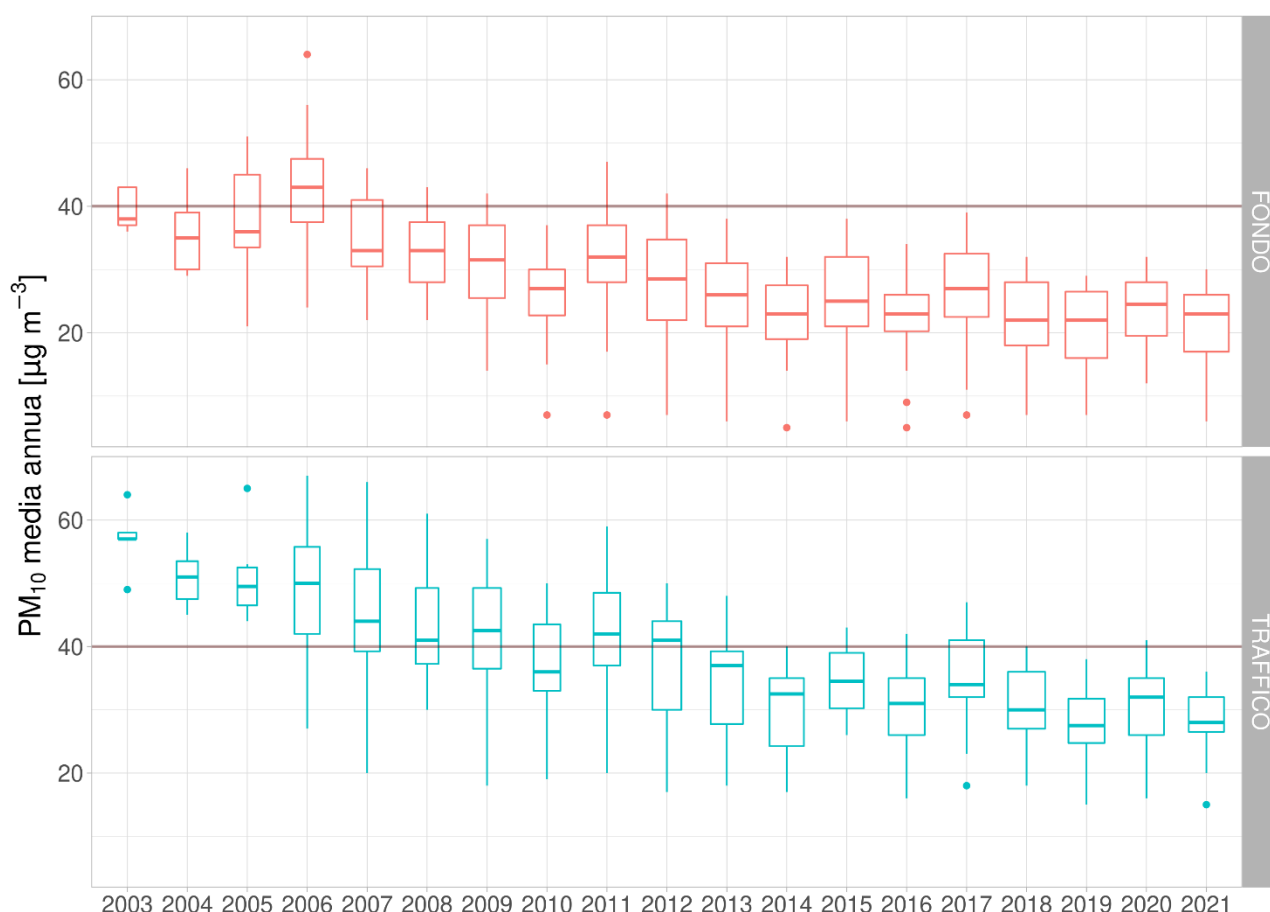


Figura 14: PM10: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2021 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

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 2021 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 evidenzia una generale riduzione delle concentrazioni medie annue nel corso degli anni, attribuibile – a meno di oscillazioni annuali dovute all'influenza delle condizioni meteorologiche - all'applicazione di politiche di riduzione delle emissioni.

Il trend decrescente delle concentrazioni è evidenziato anche dalle elaborazioni in Figura 14 ed in Figura 15. Nella prima sono riportati i box plot¹⁴ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2003 - 2021, 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 medi 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 numericamente¹⁵, tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati

14 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)

15 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.

openair¹⁶. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati (sono state analizzate solo le stazioni con almeno cinque anni di dati), sono mostrati in Figura 15 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, nella quasi totalità delle stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa.

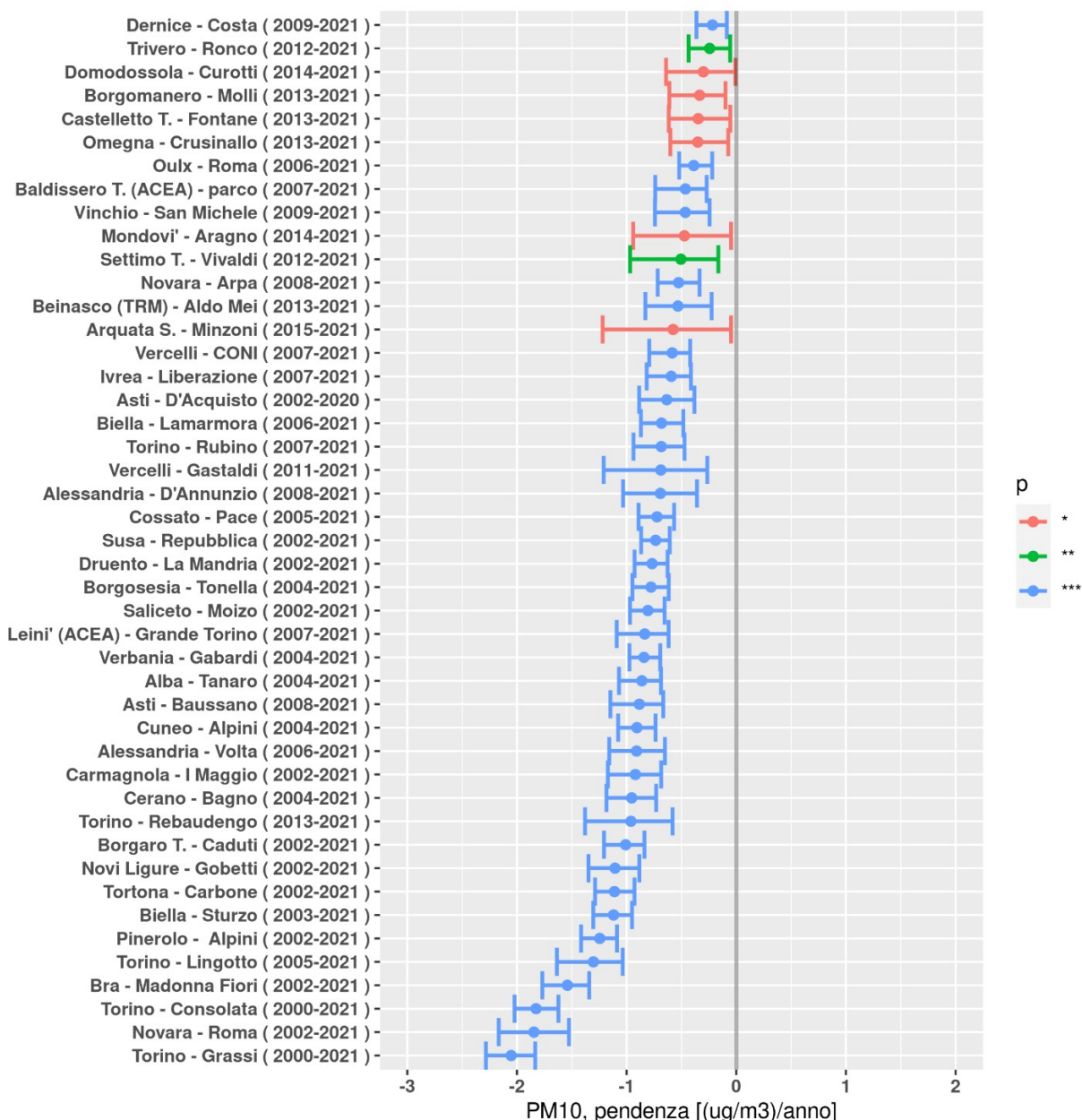


Figura 15: PM10: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue di PM10, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (blu al 99%, verde al 95% e rosso al 90%).

5.1.2 Superamenti del valore limite giornaliero

L'anno 2021 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 superiore a quanto consentito dalla normativa - ovvero 35 superamenti per anno solare. Come si può osservare dalla Figura 16, 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),

¹⁶ Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair --- an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

nelle aree circostanti ed in alcune zone di pianura tra il torinese e la provincia di Cuneo. Come nel caso della media annua del PM10, le stazioni di fondo sono generalmente ben rappresentate dalla valutazione modellistica (mappa a sinistra), mentre le stazioni da traffico vengono talvolta sottostimate (mappa a destra).

La Figura 17 illustra il numero dei superamenti registrati presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria: i valori più elevati si hanno nella città metropolitana di Torino, in provincia di Asti ed Alessandria, con superamenti del valore limite per la media giornaliera per più di 35 giorni in tutte le stazioni – sia di traffico che di fondo - dei capoluoghi e in alcuni dei maggiori comuni delle stesse province; a questi si aggiungono Cerano - Bagno nel novarese, Bra – Madonna dei Fiori e Cavallermaggiore – Galilei nel cuneese.

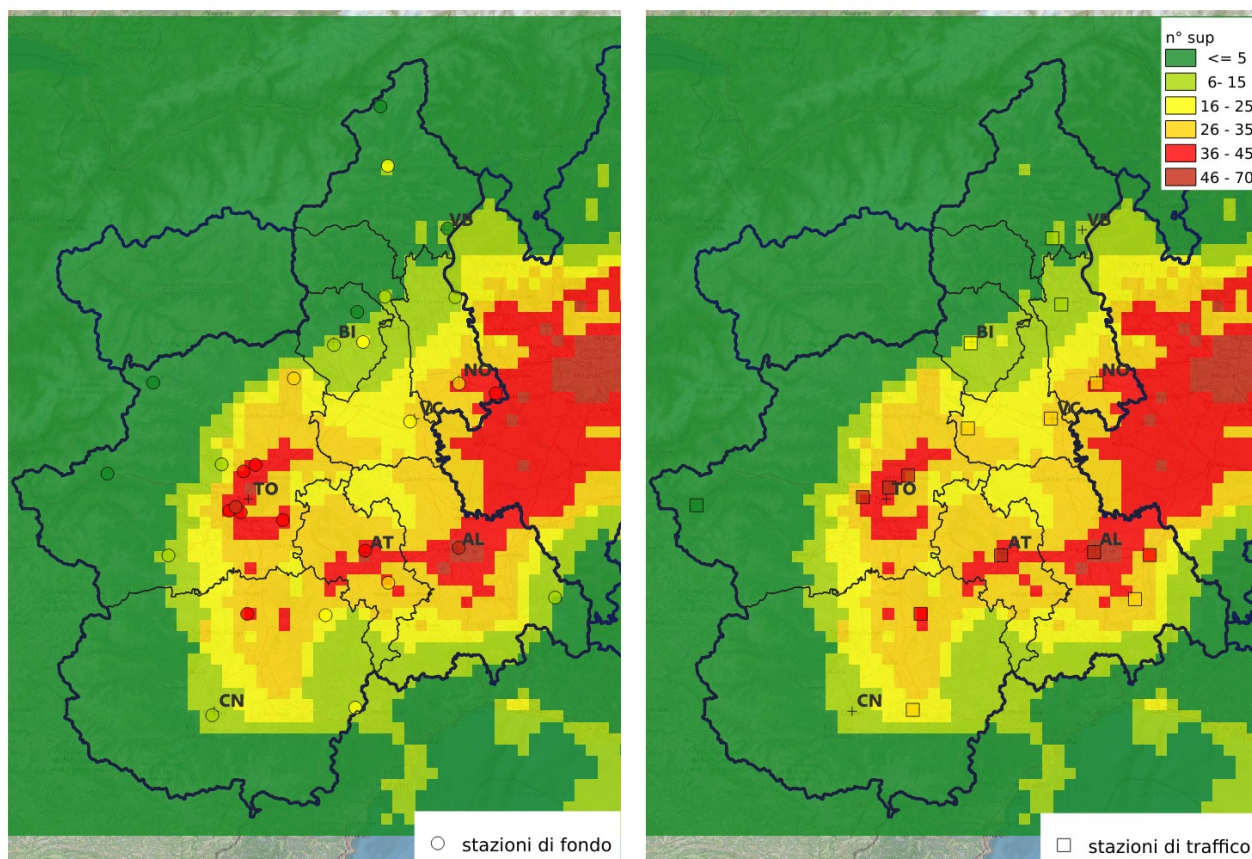


Figura 16: PM10: numero superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

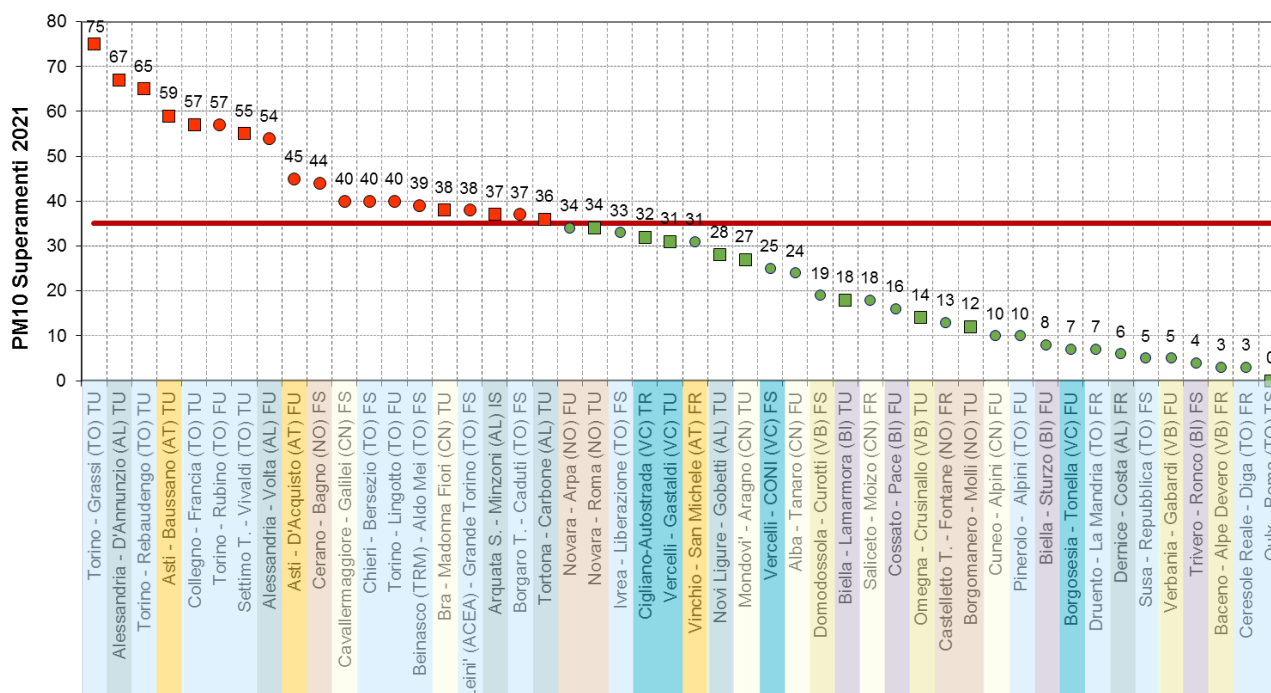


Figura 17: PM10: numero superamenti del valore limite per la concentrazione media giornaliera per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente per il numero di superamenti. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni 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 2021 rispetto agli anni precedenti (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. 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 40% nel 2021.

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 90.41¹⁷ percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 rilevate negli anni dal 2010 al 2021 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria aventi almeno l'80% dei dati validi.

17 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

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

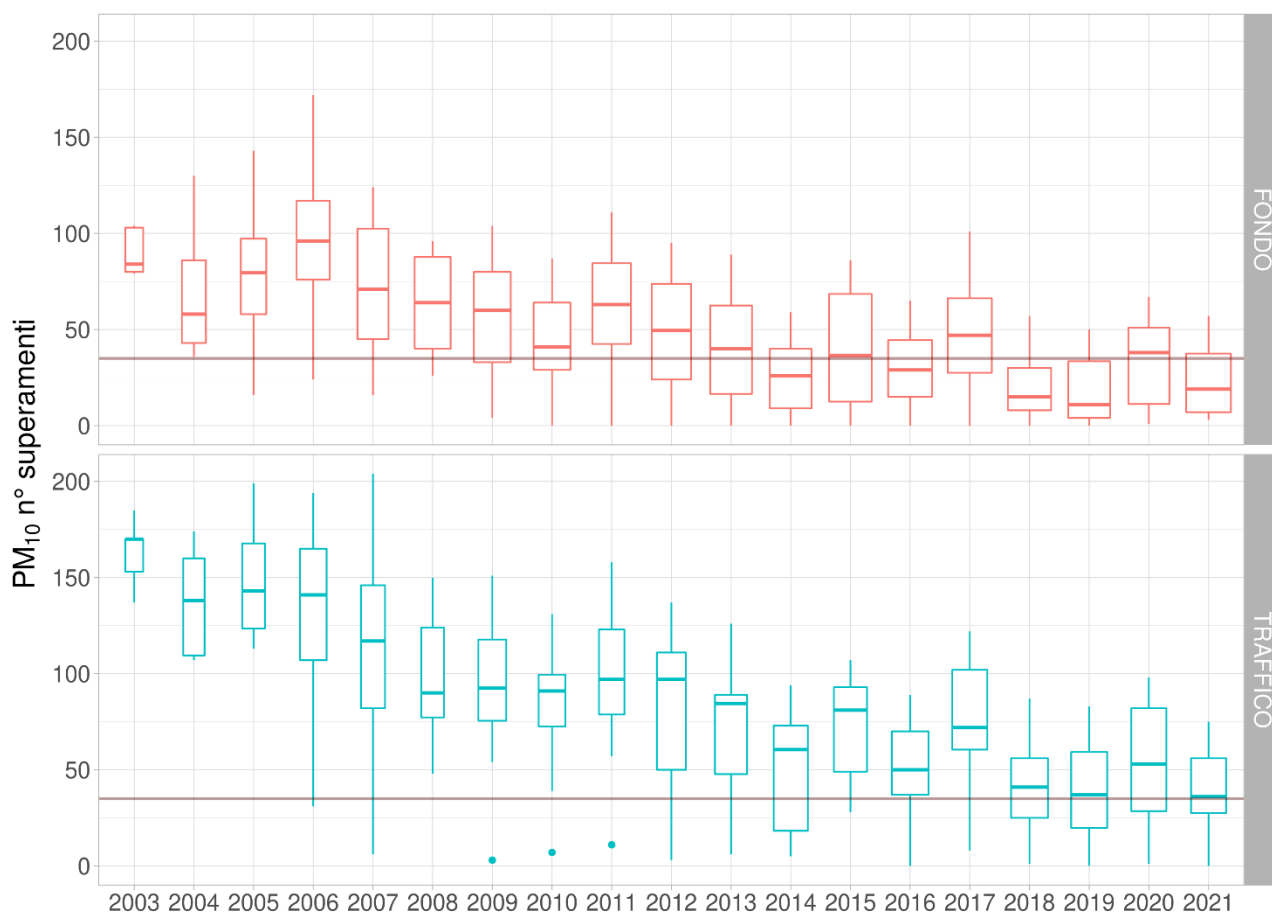


Figura 18: PM10: box plot delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2021 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

Il trend comunque decrescente delle concentrazioni medie giornaliere è evidenziato anche dalla elaborazione di Figura 18, in cui sono riportati i box plot¹⁸ delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite giornaliero misurati da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2003 - 2021, 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, in cui le distribuzioni non sembrano variare di molto se non per oscillazioni probabilmente dovute all'influenza delle condizioni meteorologiche nei diversi anni.

Il trend di riduzione delle medie giornaliere di ciascuna stazione è stato infine valutato numericamente¹⁹, tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair²⁰, 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 con almeno cinque anni di dati), sono mostrati in Figura 19 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 risulta essere comunque in diminuzione e mai in aumento; le diminuzioni maggiori si hanno

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

19 Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliere, è 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.

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

nelle stazioni di traffico. Il numero di stazioni in cui il trend è statisticamente significativo (33 stazioni) è minore rispetto a quanto visto per la concentrazione media annuale (45 stazioni), a conferma della criticità su tutto il territorio regionale per questo indicatore.

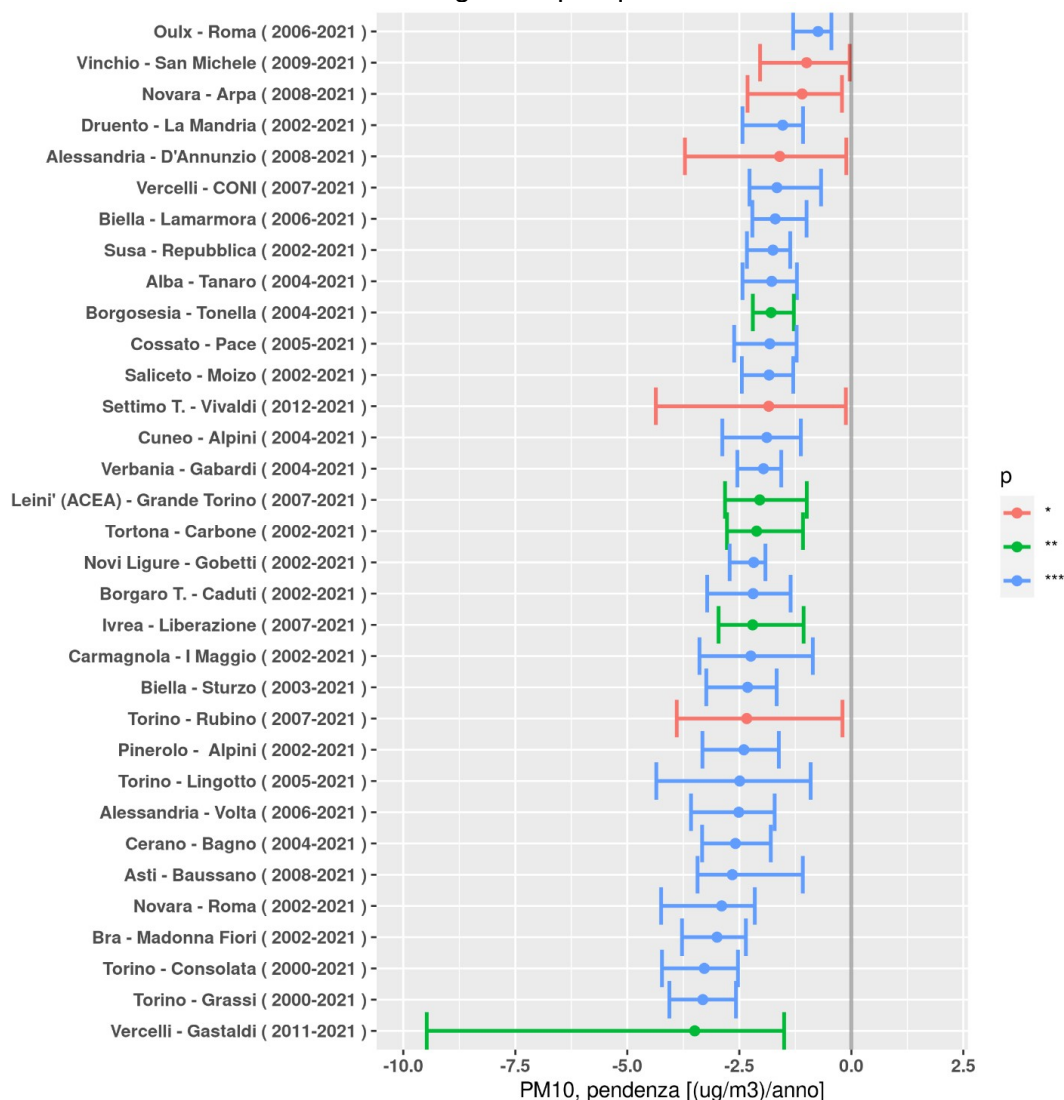


Figura 19: PM10: stima del trend del percentile 90.4 della distribuzione delle medie giornaliere di PM10 calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività 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 2021, su tutto il territorio regionale è stato rispettato il valore limite per la media annua di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come si può osservare dalla Figura 20 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 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla maggior parte del territorio regionale, con valori localmente superiori ai $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore indicato nella Direttiva 2008/50/CE come limite a partire dal 01/01/2020, ma non ancora recepito a livello nazionale) nelle zone di pianura tra città metropolitana di Torino e provincia di Cuneo. 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.

Il confronto fra i valori registrati presso le stazioni di monitoraggio, riportato in Figura 21, mostra che le concentrazioni maggiori sono state registrate presso le stazioni da traffico dell'agglomerato urbano di Torino, Settimo T.se – Vivaldi ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Torino – Rebaudengo ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e nelle stazioni di fondo suburbano di Cavallermaggiore - Galilei ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Chieri – Bersezio ($21 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

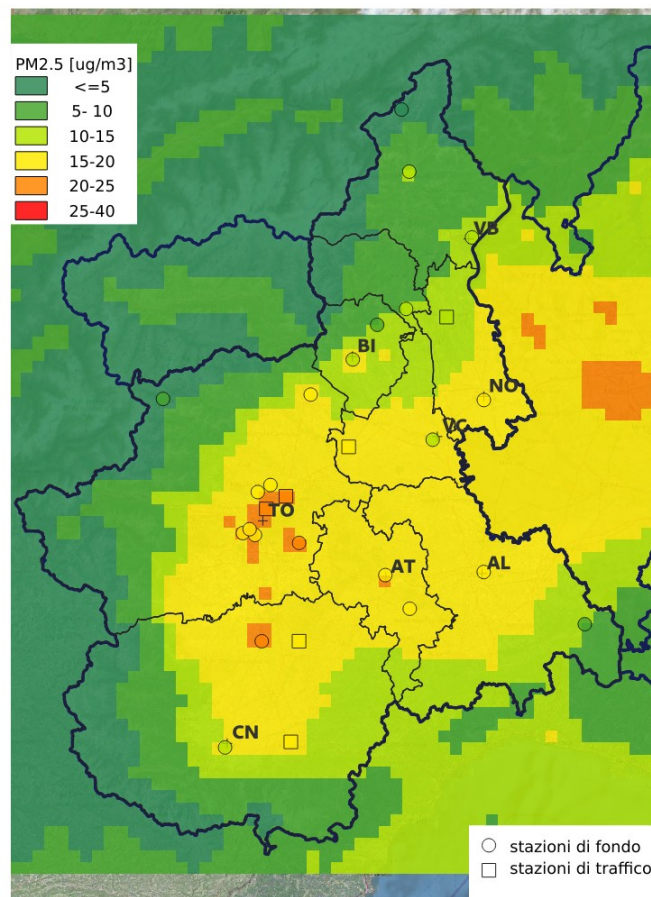


Figura 20: PM2.5: concentrazioni medie per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

Il grafico illustrato in Figura 22 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 2021, caratterizzato da precipitazioni anche intense nei mesi di gennaio, maggio e novembre e da condizioni atmosferiche generalmente di alta pressione nei mesi di febbraio, settembre, ottobre e dicembre. Da sottolineare come per il PM2.5, a differenza del PM10, il mese con la concentrazione media mensile più alta sia dicembre e non febbraio e che l'incremento delle concentrazioni medie mensili tra febbraio e gennaio ed il decremento delle stesse tra ottobre e novembre sia meno marcato di quanto si può osservare per il PM10.



Figura 21: PM2.5: concentrazioni medie per l'anno 2021: 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).

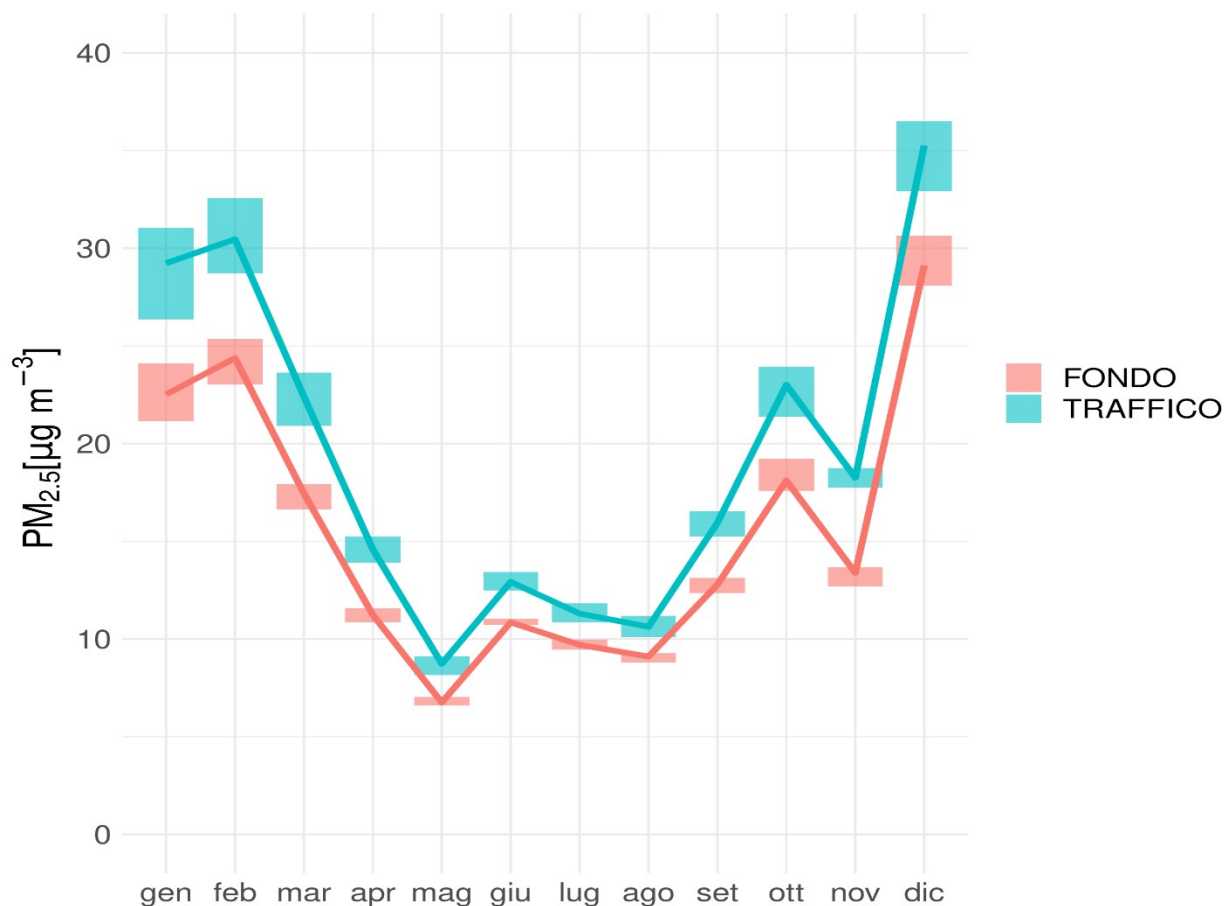


Figura 22: PM2.5: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2021 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

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 2021 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.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS			25	25	23	26	23	26	20	20	21	18
		Borgaro T. - Caduti	FS		33	31	27	23	26	23	27	22	19	21	20
		Chieri - Bersezio	FS				28	22	24	22	27	22	20	22	21
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS		29	26	26	22	30	24	26			22	16
		TO - Lingotto	FU	29	35	33	29	24	27	23	27	21	19	22	20
		TO - Rubino	FU								27	23	20	20	19
		Settimo T. - Vivaldi	TU			37	33	26	31	26	30	24	22	23	23
		TO - Rebaudengo	TU					25		29	33	25	25	22	23
Collina	AL	Dernice - Costa	FR		13	13	11	11	11	10	12	11	9	9	9
	AT	Vinchio - San Michele	FR	21	23	22	20	19	21	19	21	19	16	18	17
	CN	Mondovì - Aragno	TU					16	18	18	20	17	15	16	17
	NO	Borgomanero - Molli	TU					14	18	17	19	15	15	15	14
	TO	Ivrea - Liberazione	FS		28	27	24	19	24	20	24	19	16	19	17
	VC	Borgosesia - Tonella	FU		22	20	17	14	17	15	18	14	13	13	13
	VB	Verbania - Gabardi	FU			16	12	11	13		14	11	10	11	12
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
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR		6				4	3	4	4			4
		Domodossola - Curotti	FS						18	16	18	14	14	17	13
Pianura	AL	Alessandria - Volta	FU		27	30	27	22	24	22	26	22	20	21	19
	AT	Asti - d'Acquisto	FU		29									22	20
	BI	BI - Sturzo	FU		22	16	14	12	16	14	16	13	11	12	12
	CN	Revello - Staffarda	FR						26	24	27	23	21	18	
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												22
		CN - Alpini	FU		21	20	15	15	16	17	19	15	13	14	15
		Bra - Madonna Fiori	TU											20	19
	NO	NO -Verdi/Arpa	FU		26	25	19		23	20	22		17	18	17
	VC	Cigliano - Autostrada	TR						22	21	24			23	20
		VC - CONI	FS		28	22	23	22	27	20	23	18	18	18	15

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		
> 5	<= 12	
> 12	<= 17	
> 17	<= 25	
> 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 2021.

Questo comportamento è confermato anche dalle elaborazioni in Figura 23 ed in Figura 24. Nella prima sono riportati i box plot²¹ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2010 - 2021, suddivise per tipologia di stazione (di

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

fondo e di traffico). Si può notare il trend decrescente delle concentrazioni, con i box plot delle distribuzioni che - a partire dal 2018 - sono tutti al di sotto del valore limite, sia per le stazioni di fondo che di traffico. Il trend di decrescita sembra comunque essersi stabilizzato nell'ultimo quadriennio.

Il trend di riduzione per la media annuale è stato infine valutato numericamente²², tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair²³. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati (sono state analizzate solo le stazioni con almeno cinque anni di dati), sono mostrati in Figura 24 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 in nessuna stazione è stato calcolato un trend in aumento statisticamente significativo; nelle restanti stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa, anche se numericamente inferiore a quanto osservato nelle stesse stazioni per la media annuale del PM10. Le ragioni di questa differenza 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.

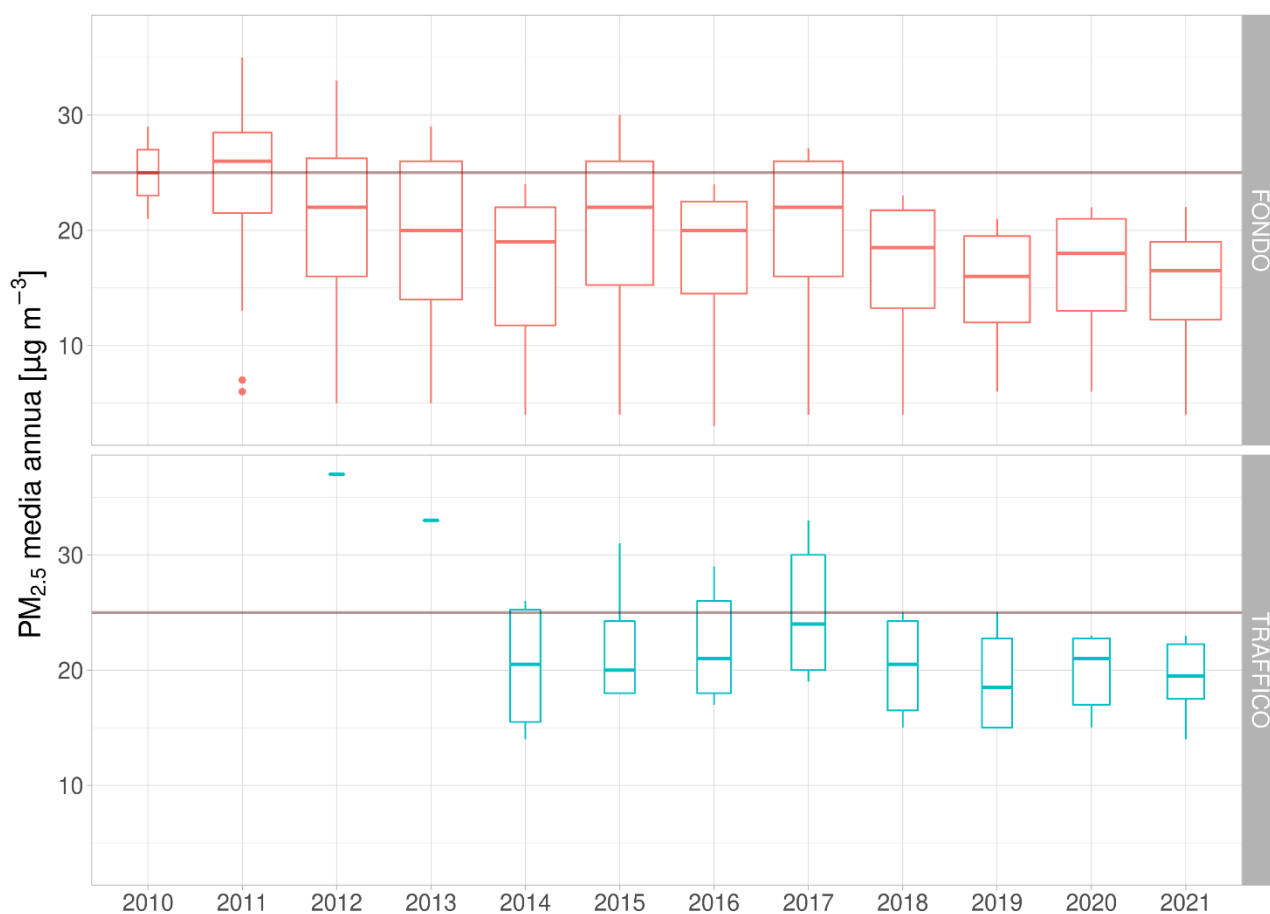


Figura 23: PM2.5: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2021 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

- ²² Per ogni stazione della rete regionale, a partire dalle concentrazioni media giornaliere, è stata stimata la pendenza media della retta di regressione, con il relativo intervallo di confidenza, tramite lo stimatore Theil-Sen. 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.
- ²³ Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair --- an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

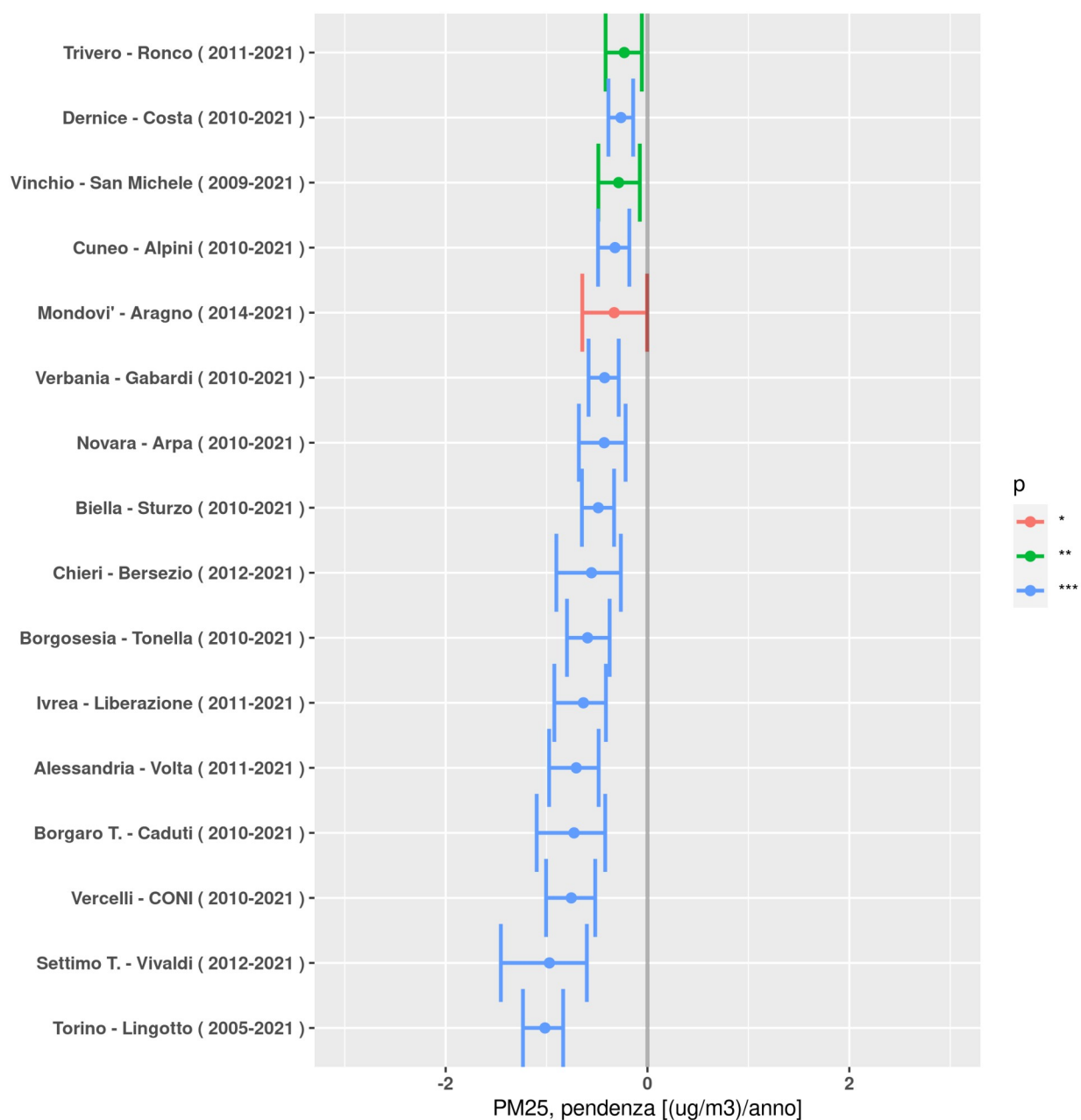


Figura 24: PM2.5: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività 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 2021, riportata in Figura 25 sovrapposta ai valori delle concentrazioni misurate presso le stazioni di monitoraggio, mostra come le concentrazioni più elevate 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, 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 (43 µg/m³). Il confronto con i valori registrati presso le altre stazioni di monitoraggio, riportato in Figura 26 mostra nel resto della regione valori di media annua ampiamente inferiori al valore limite, sia nelle stazioni di traffico (33 µg/m³ a Collegno – Francia, 32 µg/m³ ad Alessandria – D'Annunzio e 31 µg/m³ a Novara – Roma) sia in quelle di fondo (31 µg/m³ a Torino – Lingotto e 29 µg/m³ a Orbassano – Gozzano).

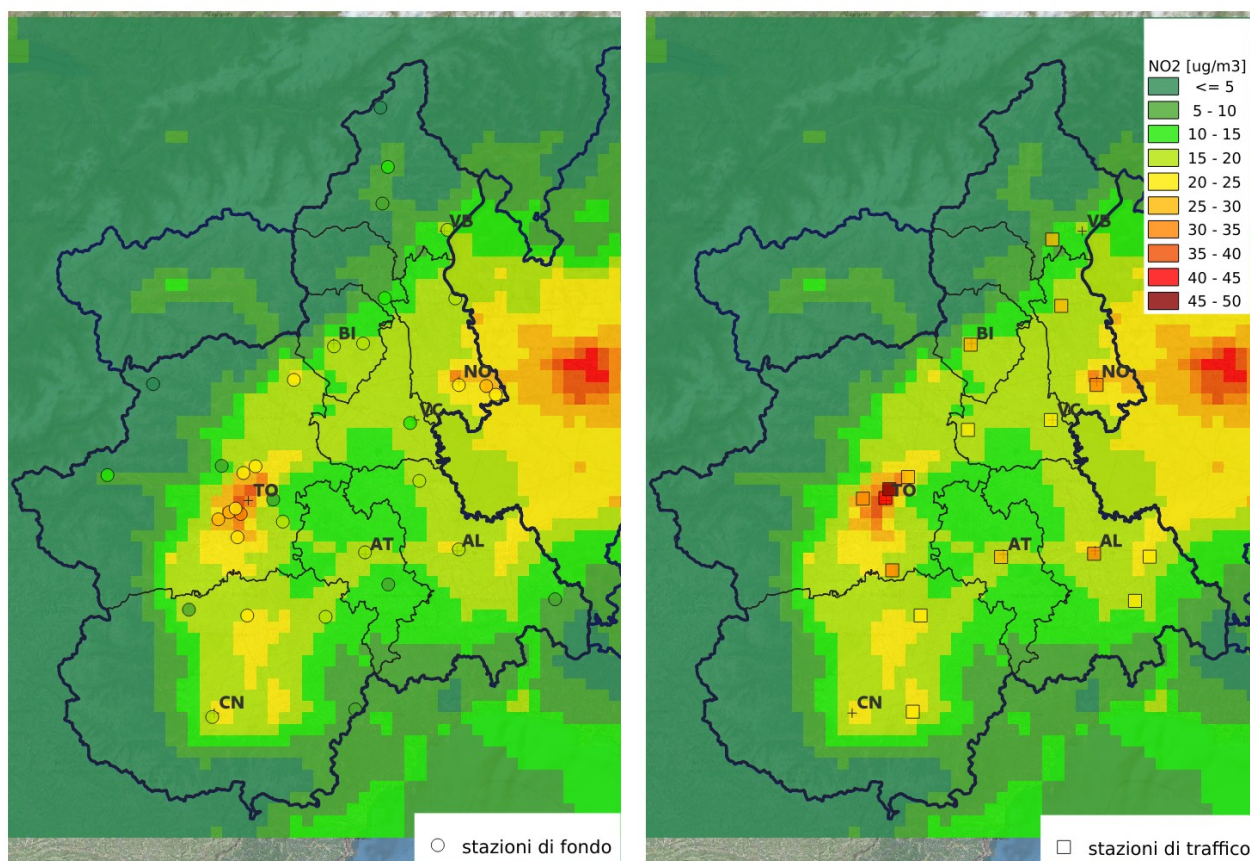


Figura 25: NO₂: concentrazioni medie per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

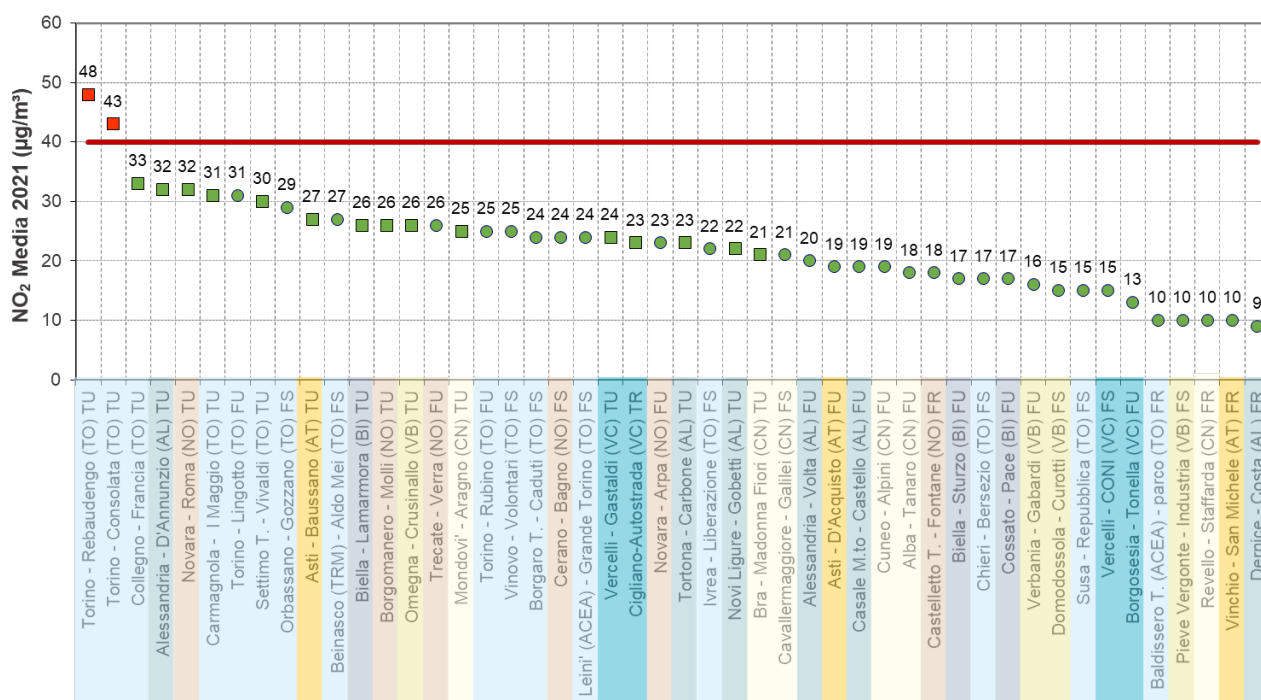


Figura 26: NO₂: concentrazioni medie per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

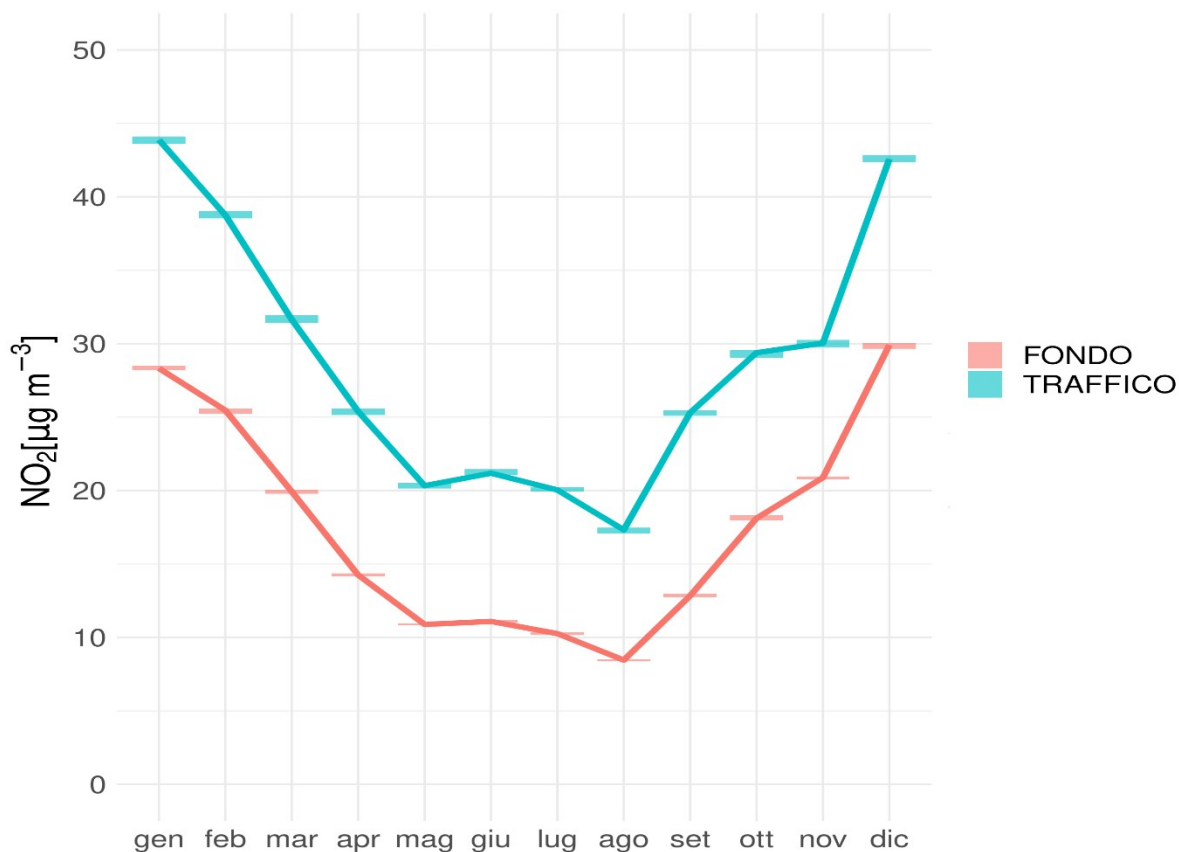


Figura 27: NO₂: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2021 suddivise per tipologia (fondo e traffico), con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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
		Borgaro T. - Caduti	FS	31	34	32	31	26	29	30	30	30	25	23	24
		Chieri - Bersezio	FS	39	39	33	28	23	25	19	23	20	21	14	17
		Collegno Francia	TU			40	44	47	36	46	58	53	46	30	33
		Druento - La Mandria	FR	16	18	18	12	14	16	11	12	12	11	11	9
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	32	30	28	33	31	31	24	32	25	23	21	24
		Orbassano - Gozzano	FS	37	39	35	32	32	35	32	34	30	31	29	29
		Settimo T. - Vivaldi	TU	46	49	49	43	35	41	36	36	33	36	26	30
		Torino - Consolata	TU	65	65	59	60	59	53	50	59	52	53	42	43
		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
		Torino - Rubino	FU	44	50	49	42	39	44	35	37	31	33	26	25
		Vinovo - Volontari	FS	35	40	34	31	30	43	33	35	26	28	21	25
Collina	AL	Demice - 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
		Mondovì - 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	26
	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	22
	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
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			19		22	18	16	11		11	10	
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	6	7	7	6	4	5	4	5	6	6	6	4
		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	15
Pianura	AL	Pieve Vergonte - Industria	FS	25	26	18	19	15	18	15	16	13	11	12	10
		Alessandra - D'Annunzio	TU	47	45	43	33	36	35	43	38	31	32	32	32
		Alessandria - Volta	FU	34	31	36	22	21	18	23	35	24	25	19	20
		Casale M.to - Castello	FU	31	33	35	32	30	33	26	29	25	24	20	19
		Novi Ligure - Gobetti	TU	53	39	40	38	42	32	30	33	30	30	23	22
	AT	Tortona - Carbone	TU	42	59	42	37	27	29	29	31	28	29	24	23
		Asti - Baussano	TU	49	46	47	41	37	35	39	40	31	34	28	27
		Asti - d'Acquisto	FU	35	34	30	25	24	25	27	29	23	23	18	19
	BI	Biella - Lamarmora	TU	45	39	37	34		37	34	29	22	30	27	26
		Biella - Sturzo	FU	31	29	24	21	18	30	27	17	20	18	16	17
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	30	29	30	29	23	26	23	26	22	24	21	21
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												21
		Cuneo - Alpini	FU	34	31	31	28	25	28	26	26	23	23	21	19
	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	24
		Novara-Roma	TU	58	52	53	53	50	55	51	53		35	31	32
		Novara - Arpa	FU	32	42	37	33	33	34	26	26	26	27	25	23
		Treccate - Verra	FU	30	45	54	30	41	30	27	32	26	29	26	26
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU					36	38	39	42	38	34	30	31
		Cigliano-Autostrada	TR					41	50	39		29	23	22	23
		Vercelli - CONI	FS	26	27	27	27	21	24	21	19	21	19	13	15
		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	
> 10	<= 26
> 26	<= 32
> 32	<= 40
> 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 2021.

Il grafico illustrato in Figura 27 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 dicembre e gennaio, nonostante quest'ultimo sia stato caratterizzato da precipitazioni anche intense, ma con un'anomalia termica negativa. Contrariamente a quanto ci si possa attendere, il mese di novembre mostra, specie per le stazioni di traffico, medie mensili confrontabili con quelle del mese di ottobre e il mese di maggio livelli di concentrazioni inferiori a quelli di giugno, a conferma della presenza di precipitazioni anche intense in questi due periodi.

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 2021 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 28 sono riportati i box plot²⁴ delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate da tutte le stazioni della rete regionale nel periodo 2003 - 2021, suddivise per tipologia di stazione (di fondo e di traffico).

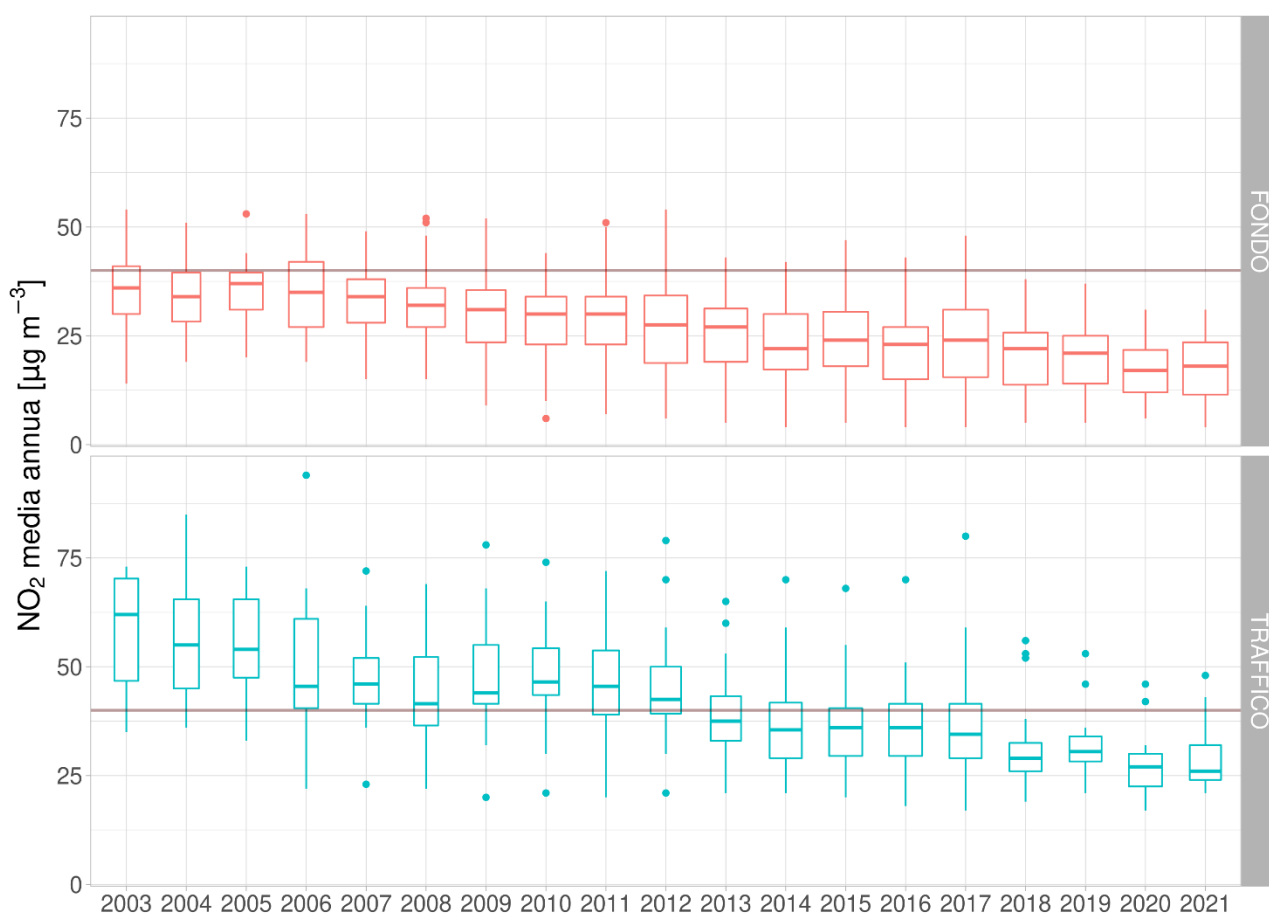


Figura 28: NO₂: box plot delle distribuzioni delle concentrazioni medie annuali misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2021 suddivise per tipologia (fondo e traffico).

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, limite superato solo nelle stazioni di traffico di Torino. 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.

24 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)

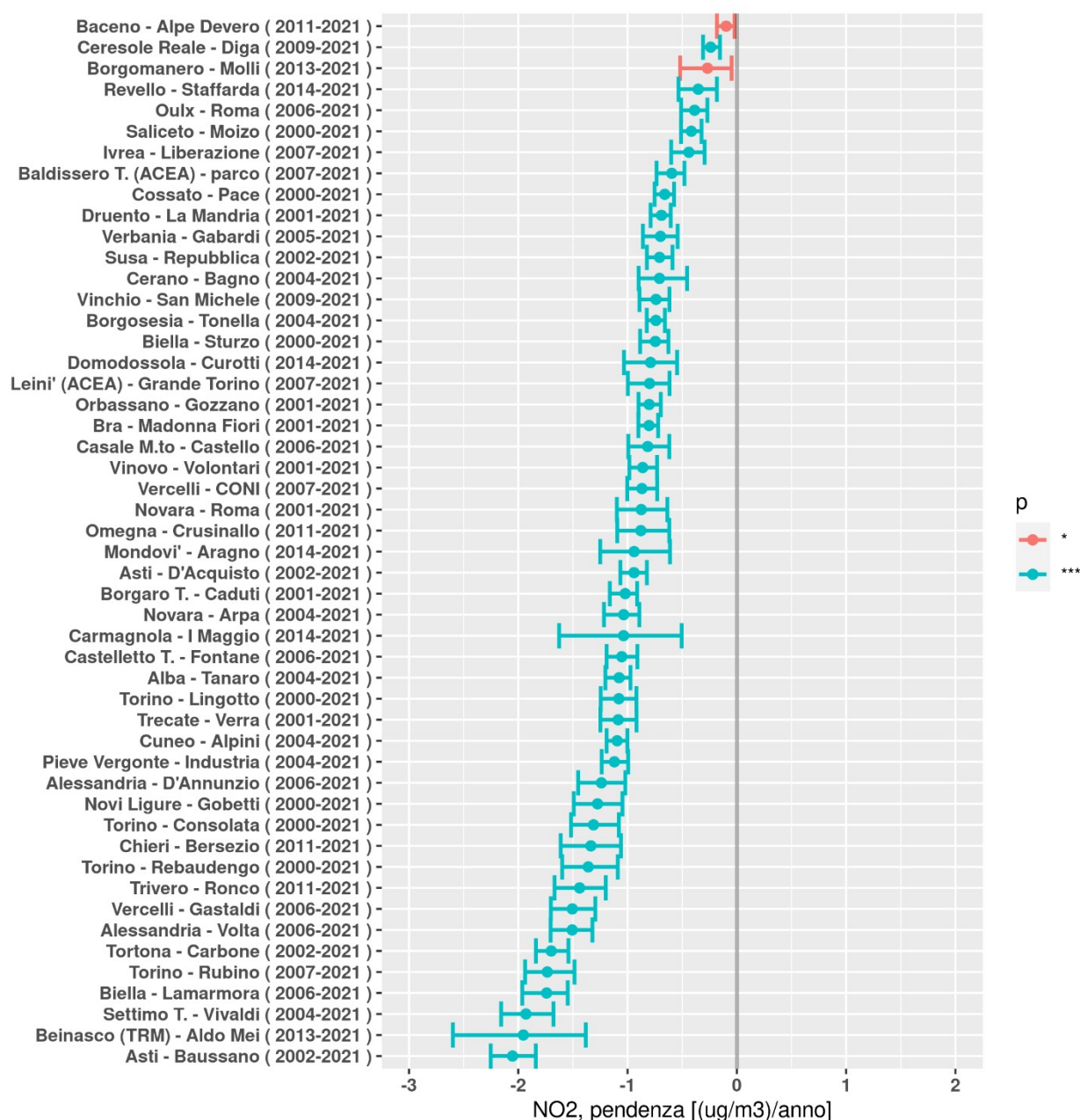


Figura 29: NO₂: stima del trend, in µg/m³ all'anno, delle concentrazioni medie annue, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprime il diverso livello di significatività statistica (blu al 99%, verde al 95% e rosso al 90%).

Il trend di riduzione per la media annuale è stato infine valutato numericamente²⁵, tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair²⁶. I risultati, calcolati considerando il periodo di disponibilità dei dati (sono state analizzate solo le stazioni 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 µg/m³ all'anno) ed il relativo intervallo di confidenza. Solo in una stazione il trend risulta essere non significativo, 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

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

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

importanti tra le stazioni – si va ad esempio da un trend di poco inferiore allo zero con un livello di significatività del 90% nella stazione di Borgomanero - Molli ad un valore inferiore a 2 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno nella stazione di Asti - Baussano - a sottolineare come questo inquinante risenta maggiormente, rispetto al particolato, di effetti locali.

5.3.2 Superamenti del valore limite orario

Nel corso del 2021 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 non rispetto del limite si è avuto 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 orario in nessuna postazione di monitoraggio.

In Appendice A1 è riportata, per completezza d'informazione, una tabella contenente i valori del 99.79^{o27} percentile delle concentrazioni medie orarie di biossido di azoto rilevate negli anni dal 2010 al 2021 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria aventi almeno l'80% dei dati validi.

27 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 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$

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

5.4 Ozono (O₃)

5.4.1 Media massima 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 30 - 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 numero maggiore di superamenti sia concentrato nell'area attorno al capoluogo piemontese. Il confronto con i superamenti registrati presso le stazioni evidenzia una corretta rappresentazione da parte della valutazione modellistica, seppur con sottostime a carattere locale. Il numero di superamenti misurato presso le stazioni, dettagliato in Figura 31, mostra come l'obiettivo a lungo termine sia superato su tutto il territorio regionale.

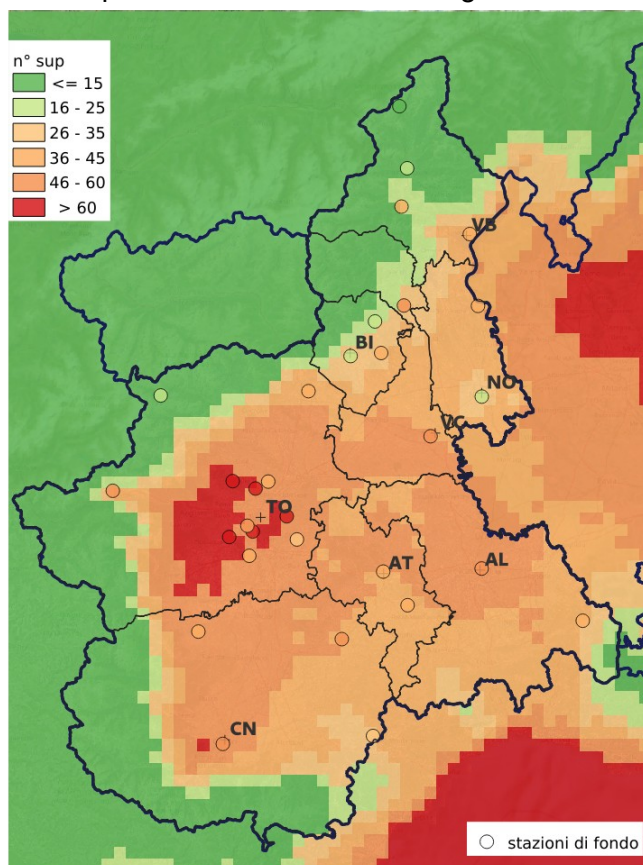


Figura 30: Ozono: numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA sovrapposti alle concentrazioni stimate dal sistema modellistico regionale.

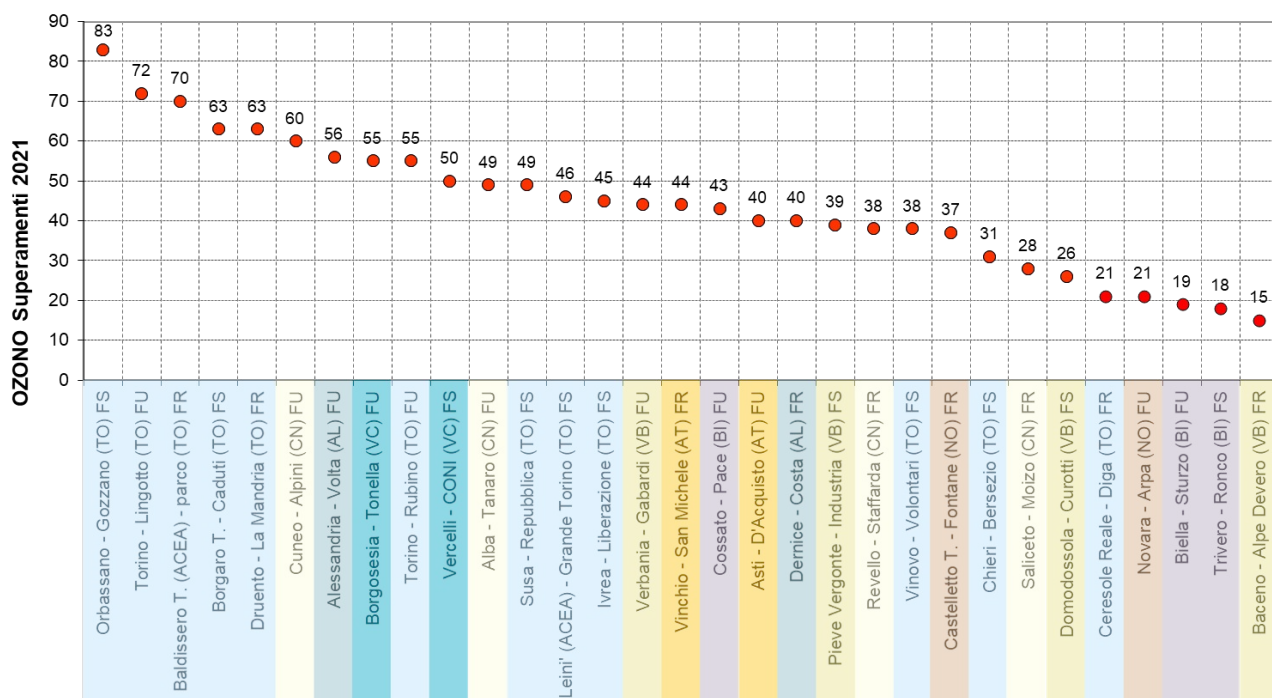


Figura 31: Ozono: numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente per il numero di superamenti. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

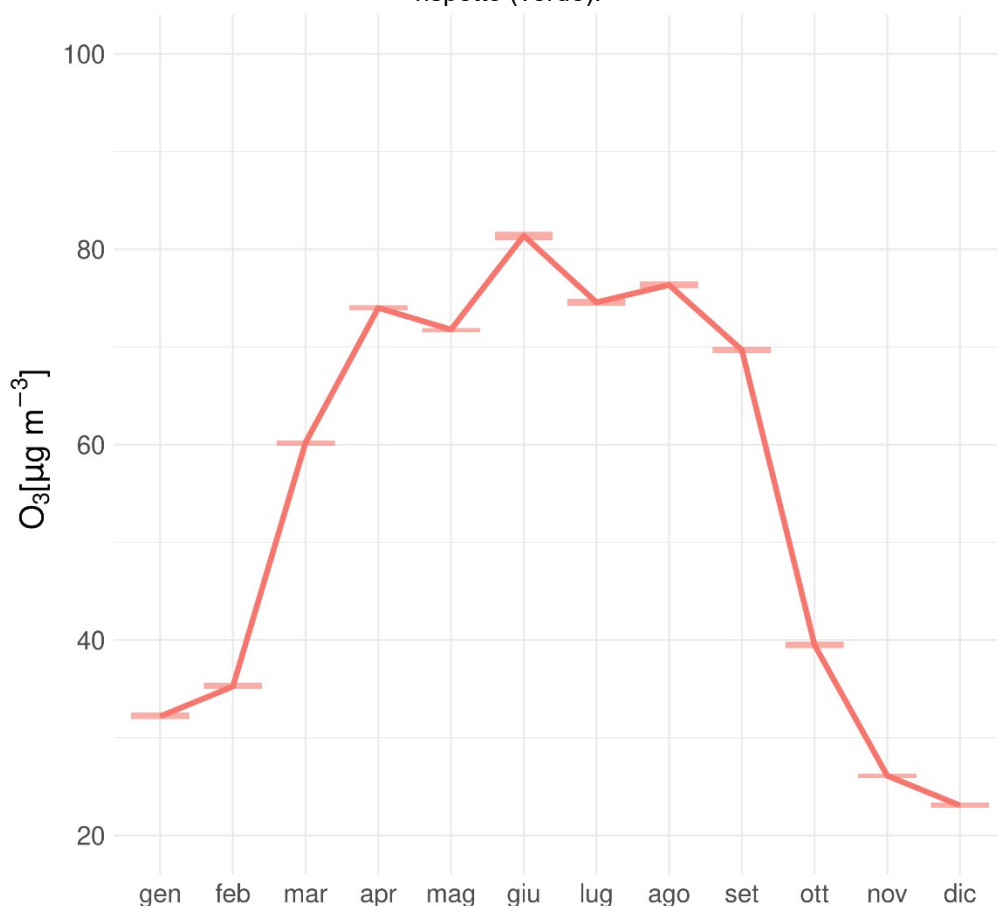


Figura 32: Ozono: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2021, con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

Il grafico illustrato in Figura 32 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. Si distinguono i mesi di maggio e luglio, con una riduzione delle concentrazioni medie mensili associabili alle precipitazioni verificatesi, specialmente nel mese di luglio risultato particolarmente piovoso rispetto alla norma del periodo.

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 2010: il calcolo del valore obiettivo è stato realizzato mediando i valori di tre anni (ad es. il valore del 2021 corrisponde alla media sugli anni dal 2019 al 2021)²⁸, 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, con valori di poco inferiori nelle stazioni rurali di fondo.

Una valutazione di criticità diffusa emerge anche dall'analisi dei box plot²⁹ del numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2021, riportati in Figura 33. 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 34 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 2003 al 2021: 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.

L'analisi del trend delle concentrazioni di ozono di ciascuna stazione è stata infine eseguita numericamente³⁰ tramite lo stimatore Theil-Sen implementato nel software di analisi dati openair³¹, considerando il percentile al 93.15³² 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 con almeno cinque anni di dati), sono mostrati in Figura 35 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, ove statisticamente significativo, risulta 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 2010 al 2021 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria aventi almeno l'80% dei dati validi.

28 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)

29 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)

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

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

32 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 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	95	102	88	85	71	67	58	65	66	70	57	61
		Borgaro T. - Caduti	FS	39	44	46	38	26	36	41	56	40	37	35	47
		Chieri - Bersezio	FS				36	36	55	63	63	52	42	24	26
		Druento - La Mandria	FR	56	68	80	84	60	51	46	57	54	48	45	52
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	60	64	56	47	26	27	31	39	40	37	34	38
		Orbassano - Gozzano	FS	45	55	54	64	55	58	54	79	80	73	68	71
		Torino - Lingotto	FU	48	33	36	38	44	50	48	46	41	50	51	58
		Torino - Rubino	FU					18	36	41	49	48	47	52	53
		Vinovo - Volontari	FS	56	65	57	61	41	30	22	42	52	52	34	36
Piemonte	AL	Alessandria - Volta	FU	61	59	55	46	37	38	53	66	74	64	63	56
		Dernice - Costa	FR	51	55	68	63	51	45	43	62	60	64	65	60
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	49	53	58	60	64	58	56	59	59	56	55	49
		Vinchio - San Michele	FR	68	84	87	85	63	48	56	68	70	55	55	51
	BI	Biella - Sturzo	FU	39	35	50	66	49	25	18	27	37	46	46	38
		Cossato - Pace	FU	63	80	62	62	37	43	39	45	41	42	37	39
		Trivero - Ronco	FS			53	40	30	26	27	34	26	31	25	24
	CN	Alba - Tanaro	FU	54	59	62	60	40	31	29	38	41	40	36	38
		Cuneo - Alpini	FU	40	47	48	52	37	38	35	48	38	37	39	51
		Revello - Staffarda	FR					22	22	34	37	29	21	14	22
		Saliceto - Moizo	FR	48	38	35	35	29	22	21	24	29	28	25	19
	NO	Castelletto T. - Fontane	FR	43	62	71	66	49	44	37	49	51	52	49	42
		Novara - Arpa	FU	73	75	71	55	36	31	36	51	47	41	31	25
		Ceresole Reale - Diga	FR	82	82	80	68	54	47	41	45	39	31	23	22
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	53	46	45	41	31	40	35	44	39	42	38	38
		Susa - Repubblica	FS	42	36	37	40	29	21	24	41	44	37	25	31
		Baceno - Alpe Devero	FR						31	22	21	18	21	22	15
	VB	Domodossola - Curotti	FS					25	35	31	32	25	26	26	26
		Pieve Vergonte - Industria	FS	45	53	60	65	50	46	45	56	54	50	60	57
		Verbania - Gabardi	FU	38	46	60	64	44	43	40	52	50	49	53	51
		Borgosesia - Tonella	FU	53	55	60	59	52	34	24	24	15	21	27	41
	VC	Vercelli - CONI	FS	64	78	89	85	59	57	52	46	31	34	34	37

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

n. superamenti valore obiettivo protezione salute

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

Dato assente perché strumento non presente o per 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 2010 al 2021.

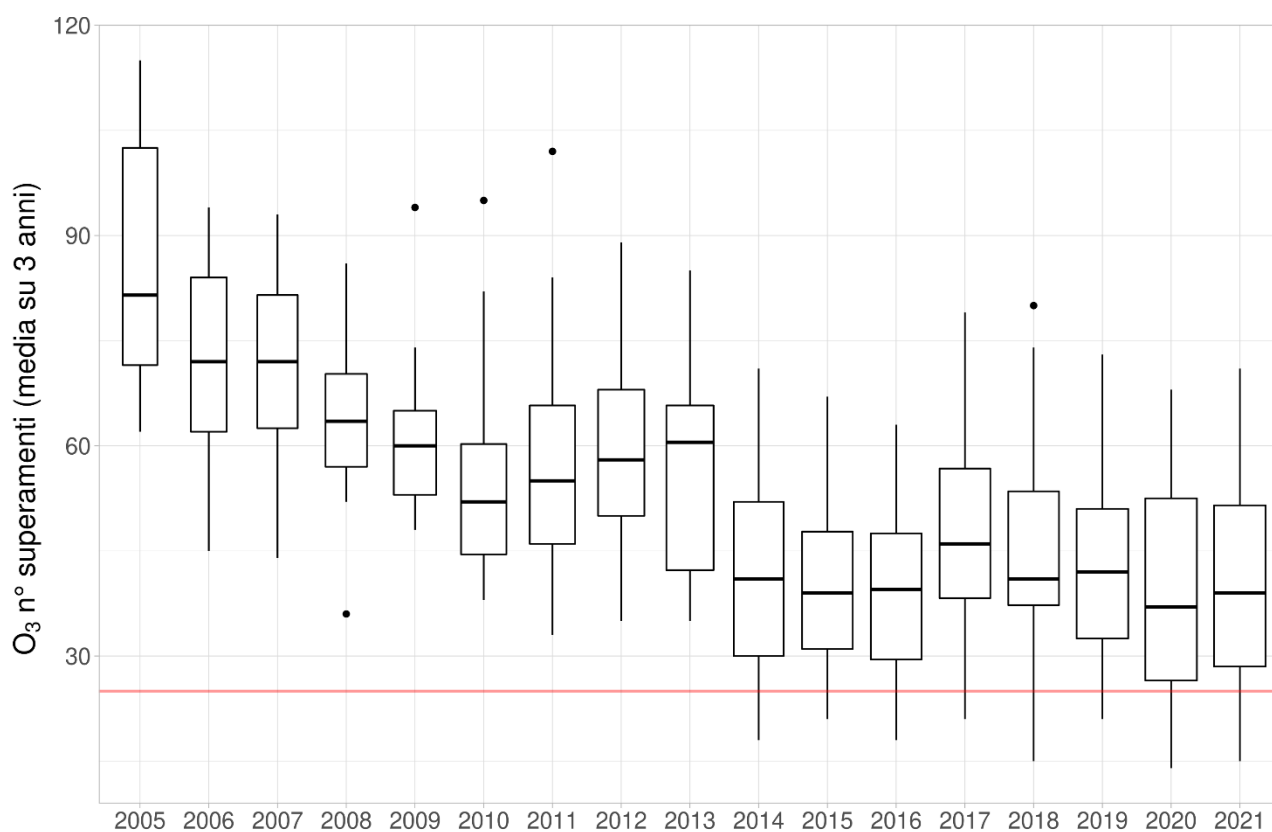


Figura 33: Ozono: box plot del numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2021.

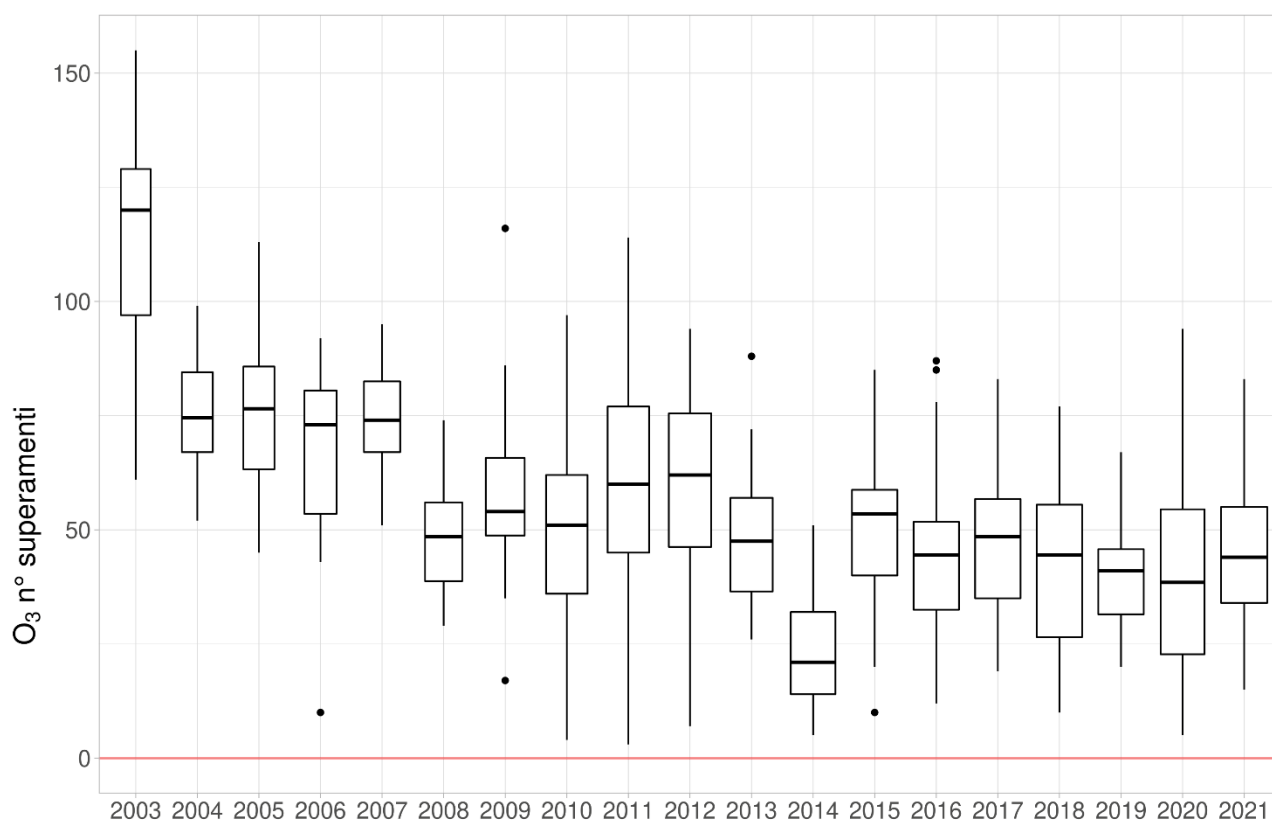


Figura 34: Ozono: box plot del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana misurati presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2003 al 2021.

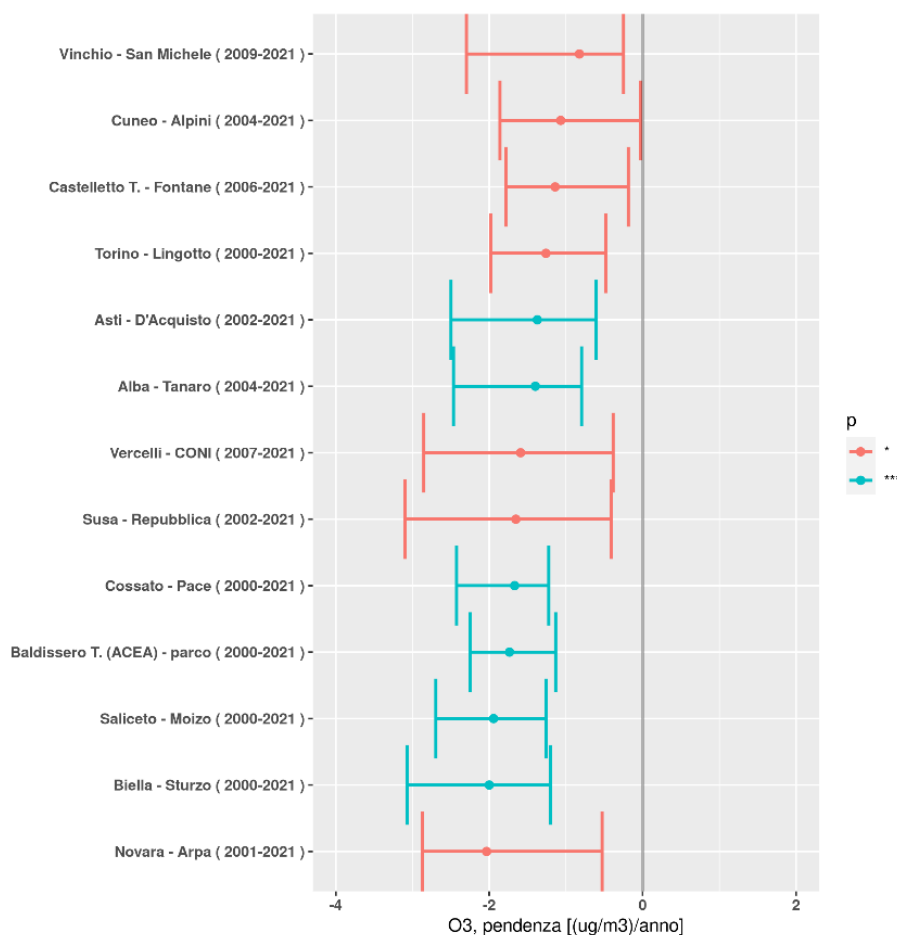


Figura 35: Ozono: stima del trend del percentile 93.15 della distribuzione delle massime medie mobili sulle 8 ore calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il diverso livello di significatività statistica (blu al 99%, verde al 95% e rosso al 90%).

5.4.2 Massime 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 2010 al 2021: 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. Su tutto il territorio regionale, nel corso degli anni, si è assistito ad una riduzione del numero di superamenti della soglia di informazione, con superamenti che – nel corso del 2021 – sono concentrati in particolar modo nell'Agglomerato e nella stazione di fondo urbano di Alessandria – Volta.

Nel corso del 2021 e negli ultimi 3 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 consecutive³³.

³³ 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

ZONA UE	Provincia	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	4	4	12	16	14	26	1	3	0	3	0	0
		Borgaro T. - Caduti	FS	0	0	2	0	2	32	15	6	2	5		4
		Chieri - Bersezio	FS				0	9	0	1	4	0	1	0	0
		Druento - La Mandria	FR	22	19	63	42	26	69	36	46	3	17		10
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	1	4	0	0	2	3	4	1	0	5	0	0
		Orbassano - Gozzano	FS	0	6	14	4	7	68	39	79	9	34	1	18
		Torino - Lingotto	FU	0	1	3		18	8	8	7	3	18	0	1
		Torino - Rubino	FU					6	3	12	6	4	29	0	2
		Vinovo - Volontari	FS	0	5	0	0	4	1	4	12	9	8	0	0
Piemonte	AL	Alessandria - Volta	FU	29	3	35	3	16	21	64	14	5	29	0	19
		Dernice - Costa	FR	9	0	17	14	0	8	4	8	0	10	0	0
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	3	1	6	25	8	15	14	6	1	2	0	0
		Vinchio - San Michele	FR	0	2	8	21	19	0	32	7	0	10	0	0
	BI	Biella - Sturzo	FU	0	1	13	0	13	0	0	4	0	11	0	0
		Cossato - Pace	FU	4	11	0	0	27	24	0	2	0	5	0	0
		Trivero - Ronco	FS			7	0	0	0	0	0	0	3	0	0
	CN	Alba - Tanaro	FU	0	6	5	5	14	1	0	3	0	9	0	0
		Cuneo - Alpini	FU	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
		Revello - Staffarda	FR					1	4	0	2	0	0	0	0
		Saliceto - Moizo	FR	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NO	Castelletto T. - Fontane	FR	17	14	30	20	11	49	2	20	9	7	1	0
		Novara - Arpa	FU										22	0	0
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	8	4	5	6	0	0	1	1	0	0	0	0
		Ivrea - Liberazione	FS	0	1	0	0	1	4	0	7	0	1	2	0
		Susa - Repubblica	FS	0	0	0	0	0	0	12	5	0	0	0	0
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR	0	0	0	0		0	0	0	0			0
		Domodossola - Curotti	FS					0	4	0	0	0	5	0	0
		Pieve Vergonte - Industria	FS	3	13	18	13	11	28	11	23	7	8	19	0
		Verbania - Gabardi	FU	36	46	34	27	3	73	24	30	16	16	0	5
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	1	0	62	4	6	0	0	0	0	6	0	2
		Vercelli - CONI	FS	1	8	10	1	10	27	0	0	0	15	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

O3 n. superamenti soglia informazione

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

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 12: Ozono: numero di superamenti della soglia di informazione misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2021.

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 2021 corrisponde alla media sugli anni dal 2017 al 2021); 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 misurato³⁴. In gran parte della

³⁴ 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)

regione i valori di AOT40 superano il valore obiettivo per la protezione della vegetazione; va tuttavia ricordato che, secondo i criteri di localizzazione dei punti di misura definiti per l'ozono, le stazioni i cui dati vengono comunicati alla Comunità Europea per valutare il rispetto dei limiti per l'AOT40 ai fini degli adempimenti previsti dal D.Lgs. 155/2010 sono solamente Druento – La Mandria (per la zona Agglomerato - IT0118), Baceno – Alpe Devero, Ceresole Reale - Diga, Dernice – Costa, Saliceto – Moizo e Vinchio – San Michele (per il resto della regione, zona Piemonte - IT0122).

ZONA UE	Provincia	Stazione	TIPO STAZIO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Borgaro T. - Caduti	FS	27215	24904	21865	22021	20111	22863	24168	24168				
		Chieri - Bersezio	FS												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
		Orbassano - Gozzano	FS	27643	25777	24532	26631	22485						31519	33243
		Torino - Lingotto	FU	31866	26639	21275	21275	22570	25339	28626					
		Torino - Rubino	FU												26297
		Vinovo - Volontari	FS	28322	28250	28178	28719	24358	24179	23215	21658				22052
Piemonte	AL	Alessandria - Volta	FU	32037	30185	29512	27806	24693	24403	28276	28409	31190	32254	31916	28926
		Dernice - Costa	FR			30619	31554	29951	28578	28969	29976	28265	29561	30274	28969
	AT	Asti - D'Acquisto	FU	33246	28942	29043	31211	28888	29311	29749	29746	27811	28613	27121	25447
		Vinchio - San Michele	FR		31931	33321	33102	31450	31359	33327	31489	28849	25808	27130	22926
	BI	Biella - Sturzo	FU	32336	28839	28683	28230	24983	23189	23209	20658	19281	25288	26085	23125
		Cossato - Pace	FU	39725	35589	32221	32845	30567	28002					27762	27615
	CN	Trivero - Ronco	FS					18327	20533	19150	17889	17875	22312	17723	17715
		Alba - Tanaro	FU	36357	29261	29557	28178	27009	26344	25317	24221	23542	24996	21971	22108
		Cuneo - Alpini	FU	31609	27656	26652	26897	23735	24873	24568	24951	23759	24585	24298	24589
		Revello - Staffarda	FR						25676	25747	25538	23361	21912	19598	18620
	NO	Saliceto - Moizo	FR	33818	26643	25936	24712	21799	22143	22048	19850	20406	23802	17797	17586
		Castelletto T. - Fontane	FR				28169	25908	28039	26895	27116	26972	27132	24703	24004
		Novara - Arpa	FU	39593	35955	33963	29497	24164	22473	21192	21383	23523	29892	21571	19658
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR					34767	32029	32029					
		Ivrea - Liberazione	FS			23370	23370	21901	23271	21927	23021	23695	25324	22332	23826
		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
		Pieve Vergonte - Industria	FS	31213	25618	26381	26571	25502	27350	26790	27403	27422	29205	28604	28011
		Verbania - Gabardi	FU	29422	29422	26210	25535	23685	25935	25563	26469	26870	24773	25647	24478
	VC	Borgosesia - Tonella	FU	25194	26379	28120	28650	26636	25397	24419	21263	19297			
		Vercelli - CONI	FS	32079	33413	34862	33162	32234	35367	32472	30426	31787	32104	23288	23487

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

O3	AOT40 vegetazione	(µg/m³ h)
<= 9000		
> 9000	<= 18000	
> 18000	<= 30000	
> 30000	<= 40000	
> 40000		

Dato assente perché strumento non presente o per percentuale dati validi inferiore al 90%

Tabella 13: Ozono: AOT40 valore obiettivo per la protezione della vegetazione misurato presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2021.

5.5 Benzo(a)pirene nel PM10

5.5.1 Media annua

Nel corso del 2021, 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 36 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 37, mostra che le concentrazioni maggiori sono state registrate presso le stazioni di Domodossola – Curotti (fondo suburbano) e Settimo – Vivaldi (traffico urbano).

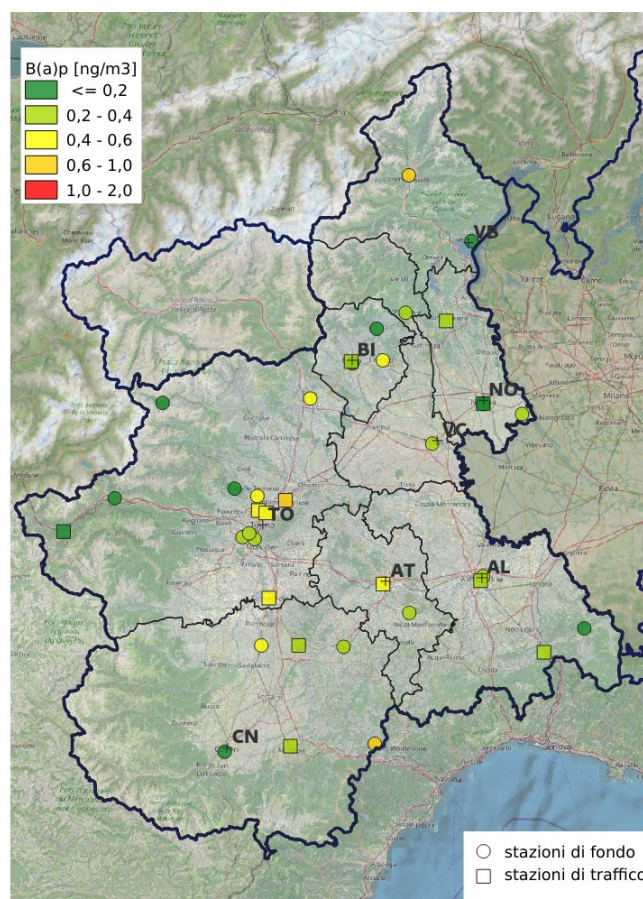


Figura 36: Benzo(a)pirene: concentrazioni medie per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA.

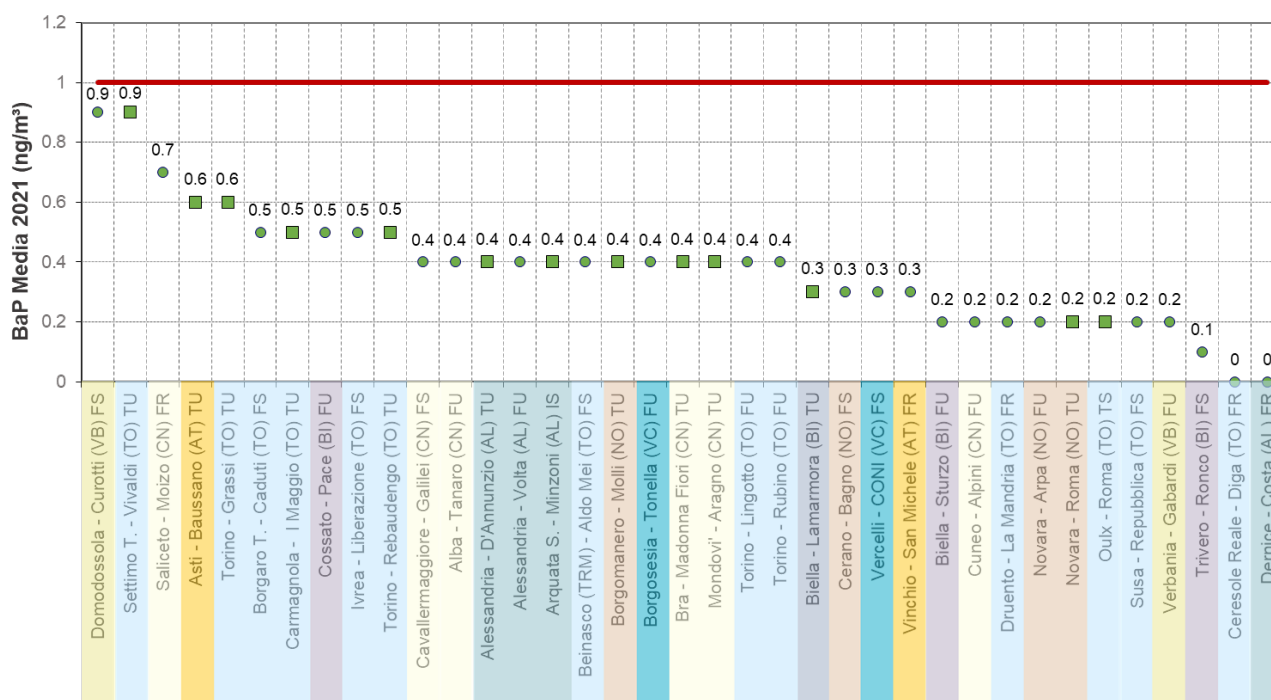


Figura 37: Benzo(a)pirene: concentrazioni medie per l'anno 2021: valori misurati presso le stazioni del SRRQA, posizionate in ordine decrescente di concentrazione. La forma dell'indicatore definisce la tipologia di stazione (cerchio per le stazioni di fondo, quadrato per le stazioni da traffico), il colore indica il superamento del valore limite (rosso) o il suo rispetto (verde).

Il grafico in Figura 38 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 dell'ormai 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 2021 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 numericamente³⁵, tramite lo stimatore Theil-Sen, implementato nel software di analisi dati openair³⁶. I risultati sono mostrati in Figura 39, 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 con almeno cinque anni di dati). In nessuna stazione è stato calcolato un trend in aumento, nella quasi totalità delle stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa.

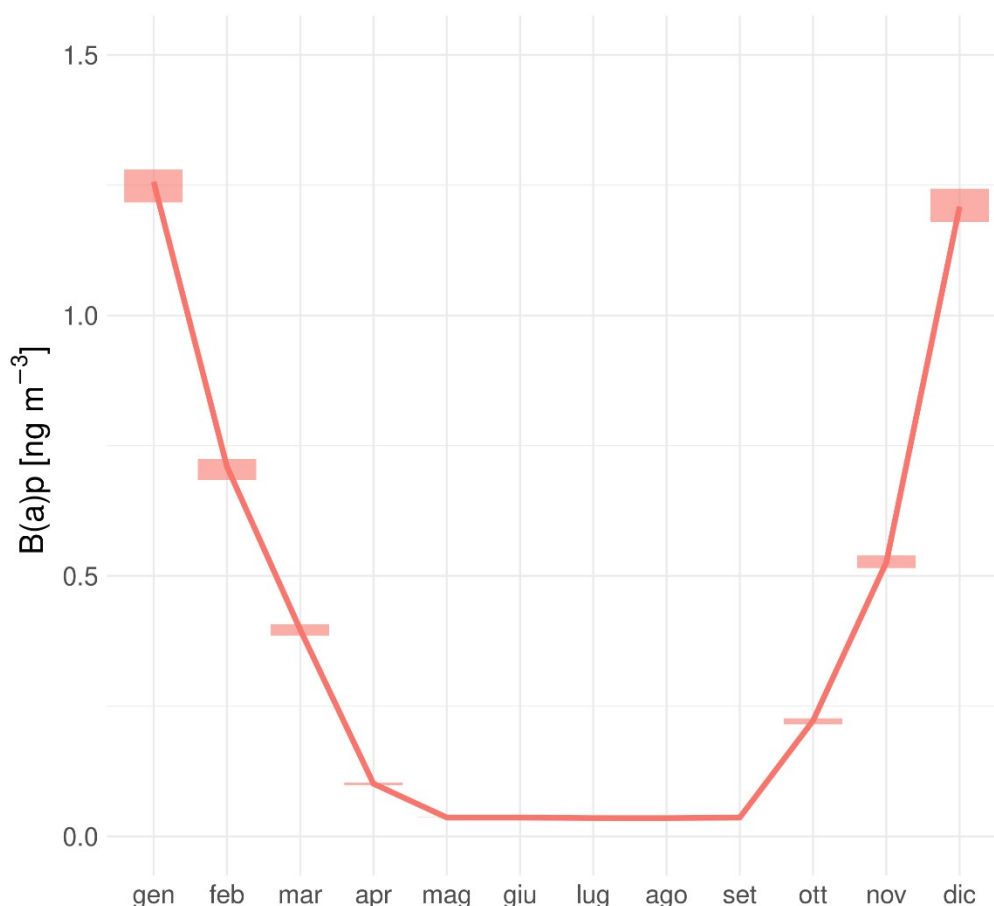


Figura 38: Benzo(a)pirene: concentrazione media mensile misurata presso le stazioni della rete regionale per l'anno 2021, con relativo intervallo di confidenza per la media al 95%.

³⁵ 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.

³⁶ Carlsaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair --- an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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
		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
		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
		Settimo T. - Vivaldi	TU			1	1.2	1.3	1.4	1.1		0.8	0.8	1	0.9
		Torino - Consolata	TU	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.4	0.4		
		Torino - Grassi	TU	0.8	0.9		1.1			0.9	1	0.7	0.7	0.9	0.6
		Torino - Lingotto	FU	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.5	0.5	0.7	0.4
		Torino - Rebaudengo	TU			0.9	1.2	1.1	1.2	1.1	1.6	0.8	0.9	0.8	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
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4
		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
	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
	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
	CN	Alba - Tanaro	FU	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4
		Mondovì - Aragno	TU					0.5	0.7	0.5	0.5	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
	NO	Borgomanero - Molli	TU				1	0.8	1	0.8	0.9	0.6	0.6	0.6	0.4
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	1	0.8	0.9	0.6	0.7	0.9	0.5
		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
	VB	Verbania - Gabardi	FU	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2
	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
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
	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				0.5	0.5		0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2
	VB	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
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
		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
	AT	Asti - Baussano	TU			1.2	0.9	0.8	1.1	1	1	0.7	0.8	0.9	0.7
	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
		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
	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
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												0.4
		Cuneo - Alpini	FU	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2
	NO	Cerano - Bagno	FS	0.5	0.8	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.4	0.5	0.5	0.3
		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
		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
	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
	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

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
> 0.4	<= 0.6
> 0.6	<= 1
> 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 2021.

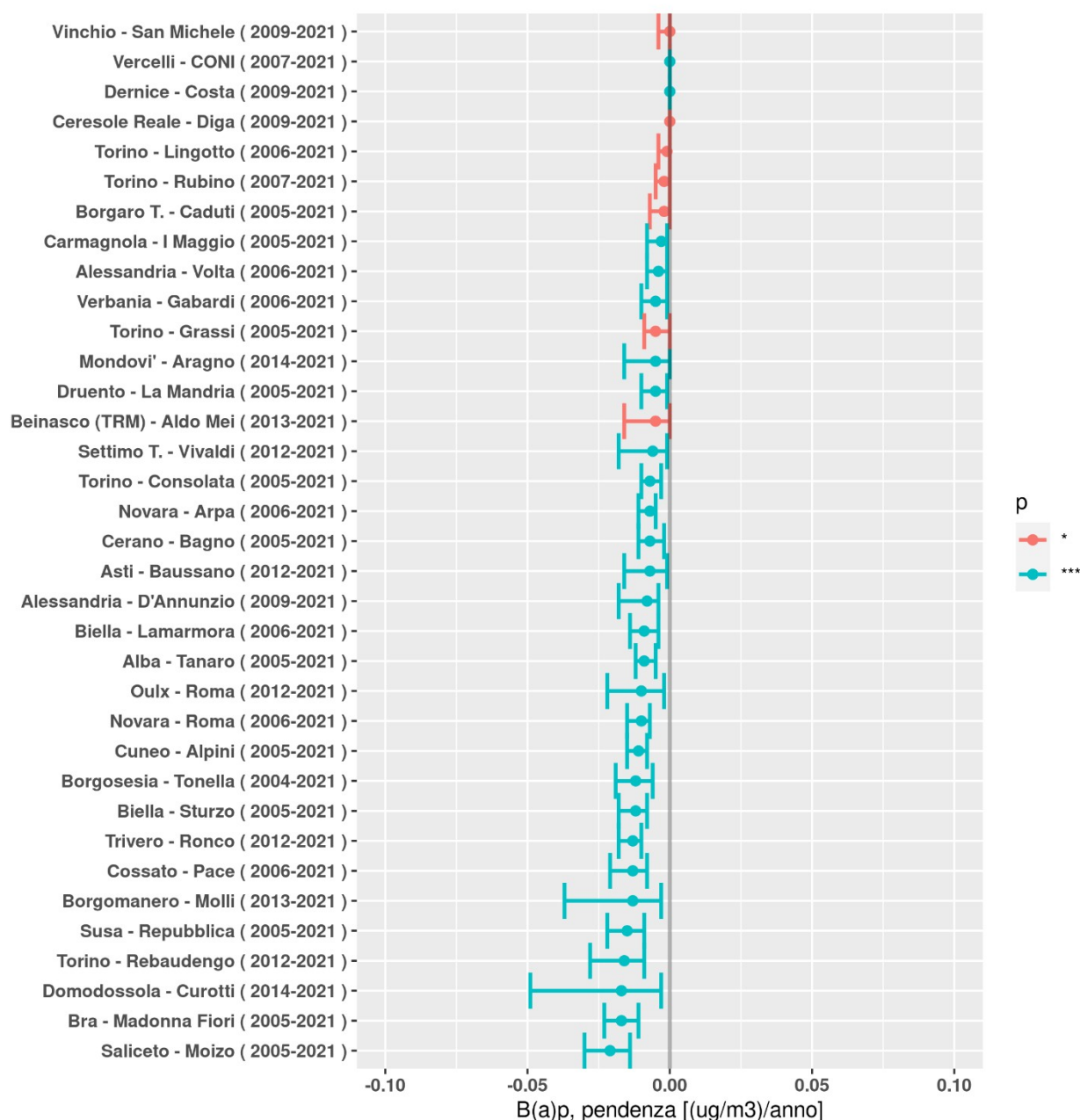


Figura 39: Benzo(a)pirene: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue di benzo(a)pirene, calcolato sui dati disponibili di ogni stazione. Il pallino indica il valore del trend, le barre orizzontali il relativo intervallo di confidenza, i colori esprimono il 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 2021 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. E' 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, al quale è dedicato, nell'apposita sezione del rapporto, un approfondimento relativo alle serie storiche misurate nella città di Torino.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS						1.3	1.3	1.3	1	1	1	1
		Borgaro T. - Caduti	FS				1.5	1.4	1.3	1.2	1.3	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
		Torino - Consolata	TU	4			2.2	2	2.1	1.8	1.7	0.9	1.2		1.3
		Torino - Lingotto	FU			1.3	1.2	1	1.1	1.1		1	0.9		1
		Torino - Rebaudengo	TU			2	2	2.4	2.6	2.1	2.3	1.5		1.6	1.6
		Torino - Rubino	FU		2.7		2.5	2.2	2.1	1.6	1.3	1.1	1	1	0.9
		Vinovo - Volontari	FS			1.2	1.7	1.2	1.6	1.4	1.5	1.1	1	1.1	1.1
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
	NO	Borgomanero - Molli	TU				1	1.1	1.2	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
Montagna	VB	Pieve Vergonte - Industria	FS			2.4	1.4	1.6	1.6	1.3	1.8	1.7	0.8		1.2
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
	NO	Cerano - Bagno	FS	2.4	2.7	1	1.1	1	1.3	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2
		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
	VC	Cigliano - Autostrada	TR						1.1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.6	0.8

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

Benzene media annuale (µg/m³)

<= 1
 > 1 <= 2
 > 2 <= 3.5
 > 3.5 <= 5
 > 5

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

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 2021.

5.7 Monossido di carbonio e biossido di zolfo

Anche il monossido di carbonio e il biossido di zolfo sono inquinanti che non destano più preoccupazione sul territorio piemontese, non facendo più registrare da molti anni superamenti dei rispettivi valori limite. Ad entrambi gli inquinanti è dedicato un approfondimento nell'apposita sezione del rapporto relativo alle serie storiche misurate nella città di Torino.

5.7.1 Massima media 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 2021, 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 al più pari a circa il 30% del valore limite.

5.7.2 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 2021, 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.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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
		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
		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	
		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
Collina	CN	Mondovì - Aragno	TU					1.5	1.7	1.7	1.4	1.2	1.1	1.1	
	NO	Borgomanero - Molli	TU				2	2	2.3			2	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
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
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
	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
	VC	Cigliano - Autostrada	TR					1.7	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5

Legenda

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

CO massima media su 8 ore (mg/m³)

<= 1	
> 1	<= 5
> 5	<= 7
> 7	<= 10
> 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: concentrazioni massime medie sulle 8 ore misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2021.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Torino - Consolata	TU	16	14	15	13	14	13	12	15	16	19	20	11
		Torino - Rebaudengo	TU	31	16	19	14	18	10	16	16	17		16	12
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS	15	19	18	16	20	22	27	33	17	25	32	18
Montagna	VB	Pieve Vergonte - Industria	FS	16	12	22	13	22	8	8	5	7	9	8	11
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU	15	19	21	17	10	13	15		11	14		
	NO	Cerano - Bagno	FS	125	48	39	55	23	30	25	23	25	35	17	22
		Novara - Roma	TU			15	16	16	15	18	20	18	18	8	11
		Treccate - Verra	FU	82	50	46	16	15	23	16	14	33	29	9	12
	VC	Cigliano - Autostrada	TR					9	10	9		9	9	7	12

Legenda

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

SO2 massima media giornaliera (µg/m³)

<= 20	
> 20	<= 50
> 50	<= 75
> 75	<= 125
> 125	

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

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

Tabella 17: Biossido di zolfo: concentrazioni massime medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2021.

5.8 Metalli nel PM10

Le concentrazioni dei metalli normati dal D.Lgs. 155/2010, ovvero arsenico, cadmio, nichel e piombo 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 2021 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.

Al piombo, per l'importanza rappresentata in passato da questo inquinante, è dedicato nell'apposita sezione del rapporto un approfondimento relativo alle serie storiche misurate nella città di Torino.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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
		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
		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
		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
		Torino - Grassi	TU	0.7	0.8		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
		Torino - Rebaudengo	TU			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
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							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
	TO	Susa - Repubblica	FS	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	0.7
Montagna	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	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
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU									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
	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
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												0.7
		Cuneo - Alpini	FU	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	NO	Cerano - Bagno	FS	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
		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
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
		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

Legenda

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

As media annuale (ng/m³)

<= 1	
> 1	<= 2.4
> 2.4	<= 3.6
> 3.6	<= 6
> 6	

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

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

Tabella 18: Arsenico: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2021.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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
		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
		Torino - Consolata	TU	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	
		Torino - Grassi	TU	0.2	0.5		0.3			0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
		Torino - Lingotto	FU	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
		Torino - Rebaudengo	TU			0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2
		Torino - Rubino	FU	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	CN	Mondovì - Aragno	TU					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
Montagna	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	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
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU									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
	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
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												0.1
		Cuneo - Alpini	FU	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	NO	Cerano - Bagno	FS	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
		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
	TO	Carmagnola - I Maggio	TS	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	VC	Vercelli - CONI	FS	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

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

Cd media annuale (ng/m³)

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

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

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 2021.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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
		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
		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	
		Torino - Grassi	TU	7.6	8.7		5.8			3.9	4.8	4.8	3.2	4.2	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
		Torino - Rebaudengo	TU			7.2	5.2	4.5	4.6	3.0	3.0	2.3	4.0	2.1	1.6
		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
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				2.9	2.7	3.0	2.2	2.7	2.2	2.4	1.7	1.8
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS							1.9	2.4	2.4	1.5	2.4	2.4
	CN	Mondovi' - Aragno	TU					9.7	2.8	0.9	1.5	1.0	2.2	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
Montagna	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	1.3		1.0	0.7	0.9	0.0	0.8	0.9		0.8		0.7
		Oulx - Roma	TS				1.4	1.8		1.3	2.0	1.3	1.6	1.1	1.3
Pianura	AT	Asti - Baussano	TU									1.4	1.8	1.4	1.4
	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
		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
	CN	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
		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
		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

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 2021.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Borgaro T. - Caduti	FS	0.01	0.013	0.01	0.01	0.01	0.01	0.007	0.007	0.006	0.01	0.005	0.005
		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	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	0.01	
		Torino - Grassi	TU	0.017	0.02		0.01			0.011	0.011	0.01	0.01	0.01	0.015
		Torino - Lingotto	FU	0.011	0.012	0.01	0.009	0.007	0.009	0.007	0.007	0.01	0.005	0.005	0.005
		Torino - Rubino	FU	0.011	0.012	0.01	0.009	0.007	0.008	0.006	0.007	0.01	0.01	0.005	0.005
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				0.009	0.008	0.008	0.007	0.006	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
	CN	Mondovì - Aragno	TU					0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	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
Montagna	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	0		0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002		0		0
		Oulx - Roma	TS				0.002	0		0.002	0.002	0.001	0.004	0.001	0
Pianura	BI	Biella - Lamarmora	TU	0.008	0.009	0.008	0.006	0.007	0.006	0.01	0.009	0.01	0		0.004
	CN	Bra - Madonna dei Fiori	TU	0.009	0.008	0.007	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.003	0.003	0.004
		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
	NO	Cerano - Bagno	FS	0.011	0.013	0.013	0.01	0.008	0.009	0.007	0.009	0.007	0.006	0.007	0.008
		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
	TO	Carmagnola - I Maggio	TS	0.009	0.01	0.008	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.01
	VC	Vercelli - CONI	FS	0.008	0.009	0.01	0.007	0.005	0.007	0.007	0.01	0.006	0.006	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

Pb

media annuale

(µg/m³)

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

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

n

dato con percentuale dati validi compresa fra 80 e 90%

Tabella 21: Piombo: concentrazioni medie annue misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2021.

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

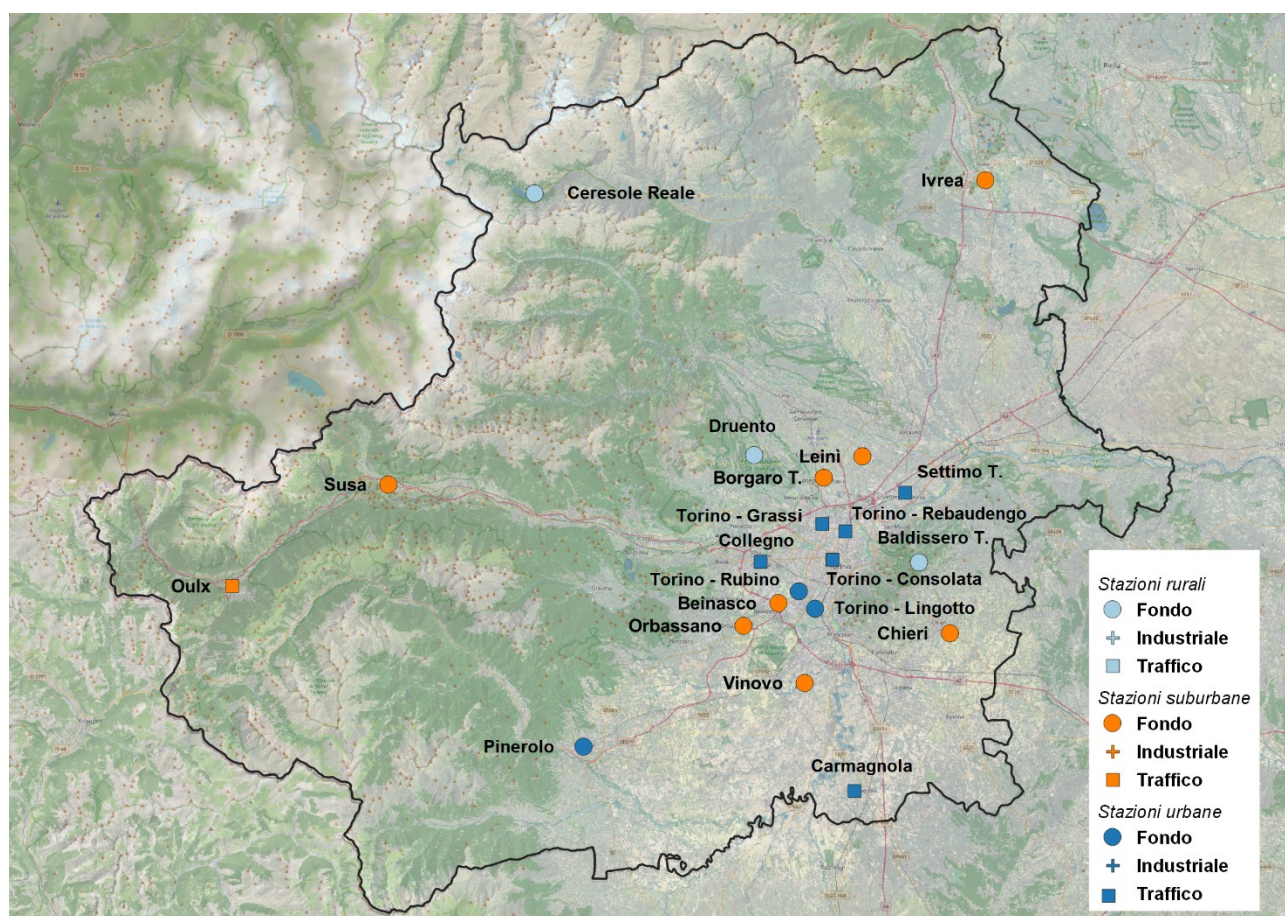


Figura 40: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento nel territorio della Città Metropolitana di Torino.

6.1.1 Particolato sospeso: PM10

L'andamento annuale delle concentrazioni medie di PM10 è rappresentato nella Figura 41, Figura 42 e Figura 43, mentre il numero dei superamenti del valore limite giornaliero è indicato nella Figura 44, Figura 45 e Figura 46. I valori sono registrati presso le stazioni attive nel 2021 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 2021 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 rispetto alla Città di Torino e quelle situate in contesti vallivi e rurali.

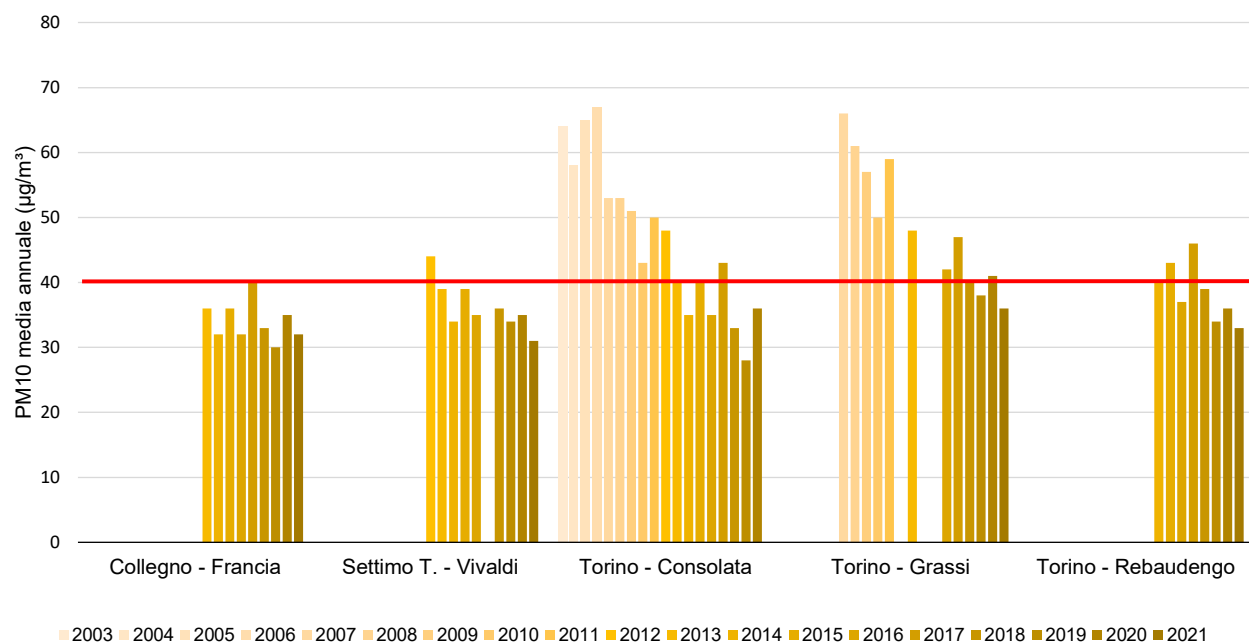


Figura 41: PM10 Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue delle stazioni di traffico site nell'area metropolitana torinese.

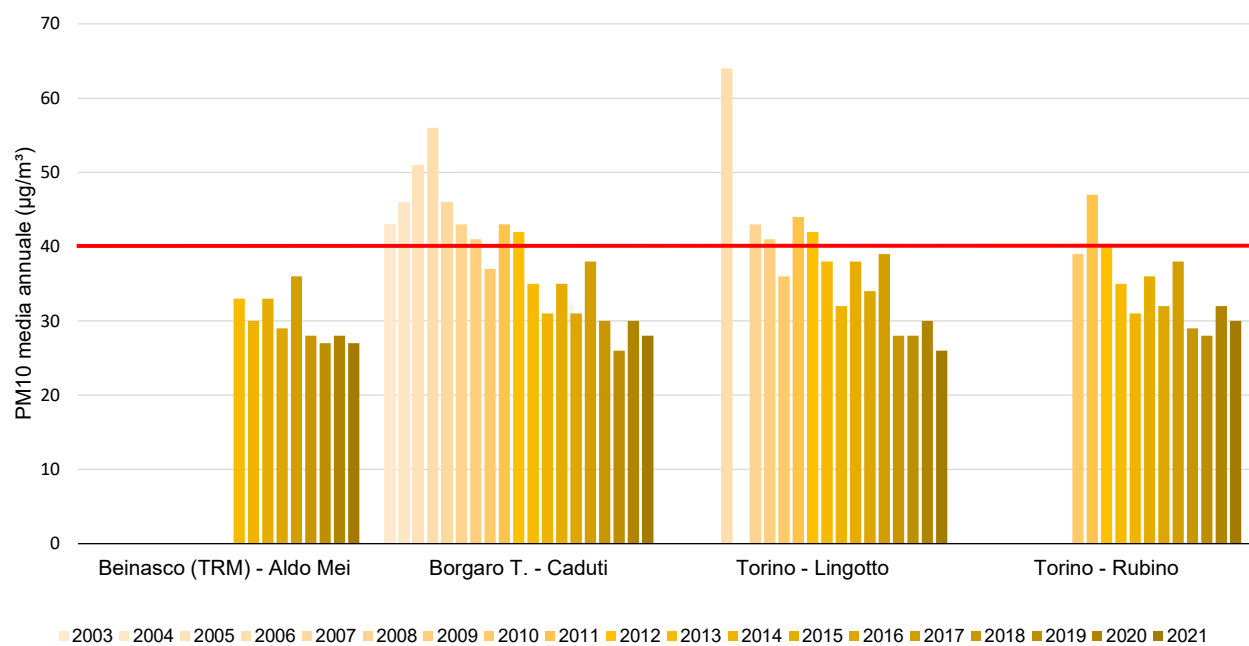


Figura 42: PM10 Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue delle stazioni di fondo site nell'area metropolitana torinese.

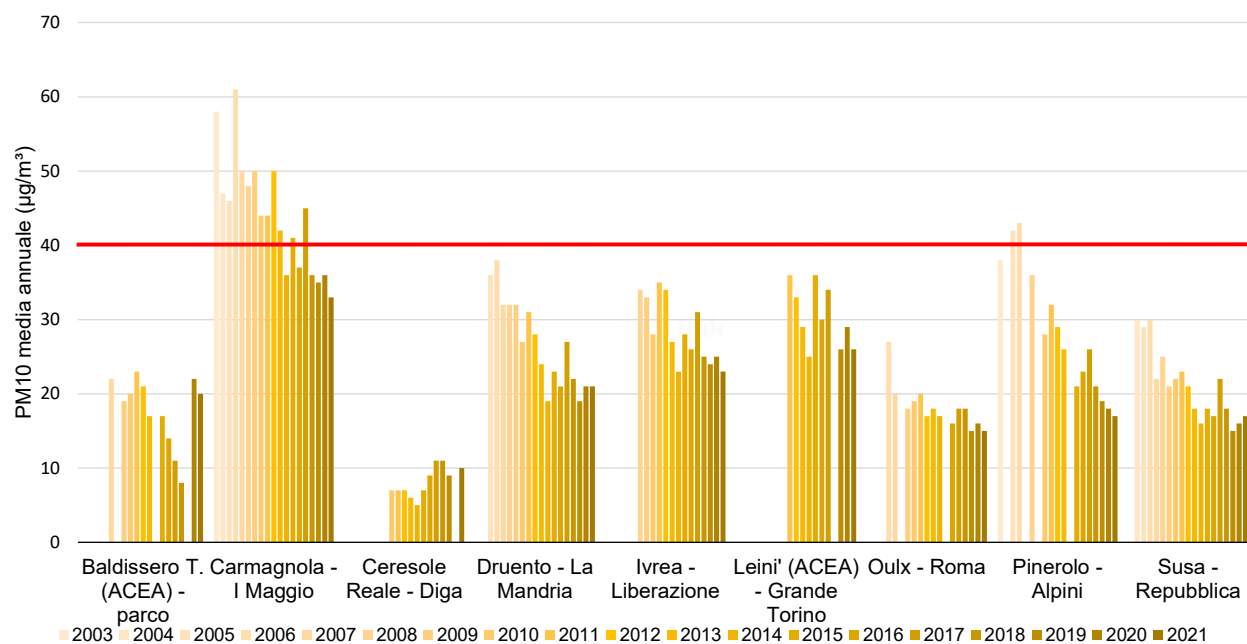


Figura 43: PM10 Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue delle stazioni esterne all'area metropolitana torinese.

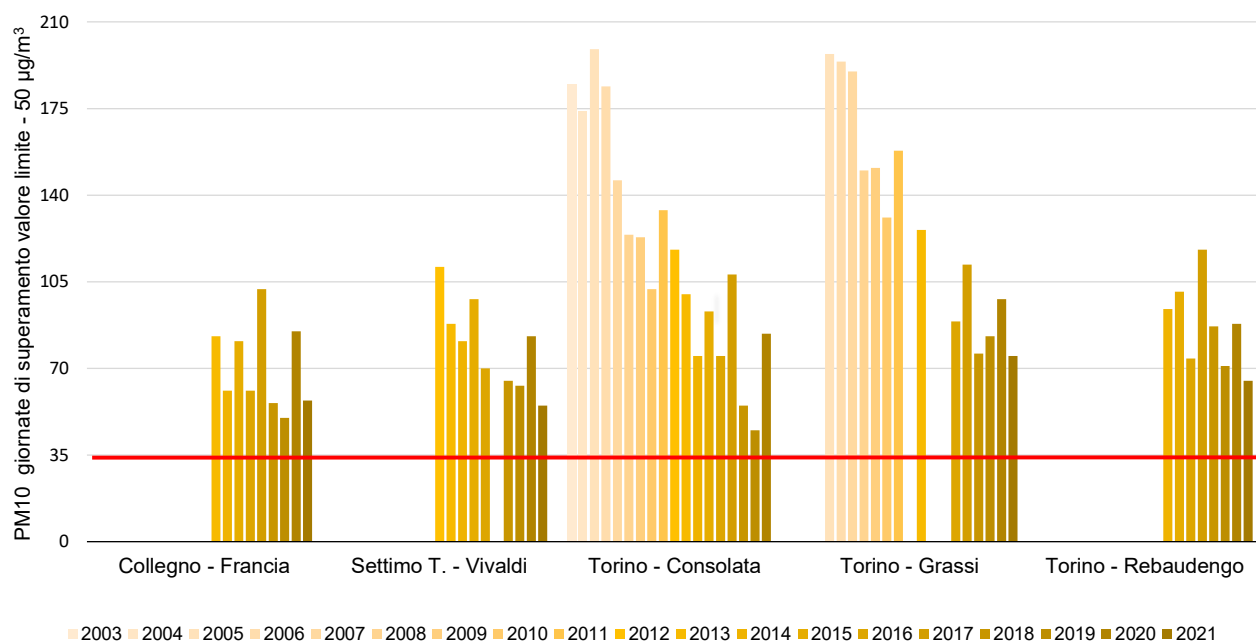


Figura 44: PM10 Città Metropolitana di Torino: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni di traffico site nell'area metropolitana torinese.

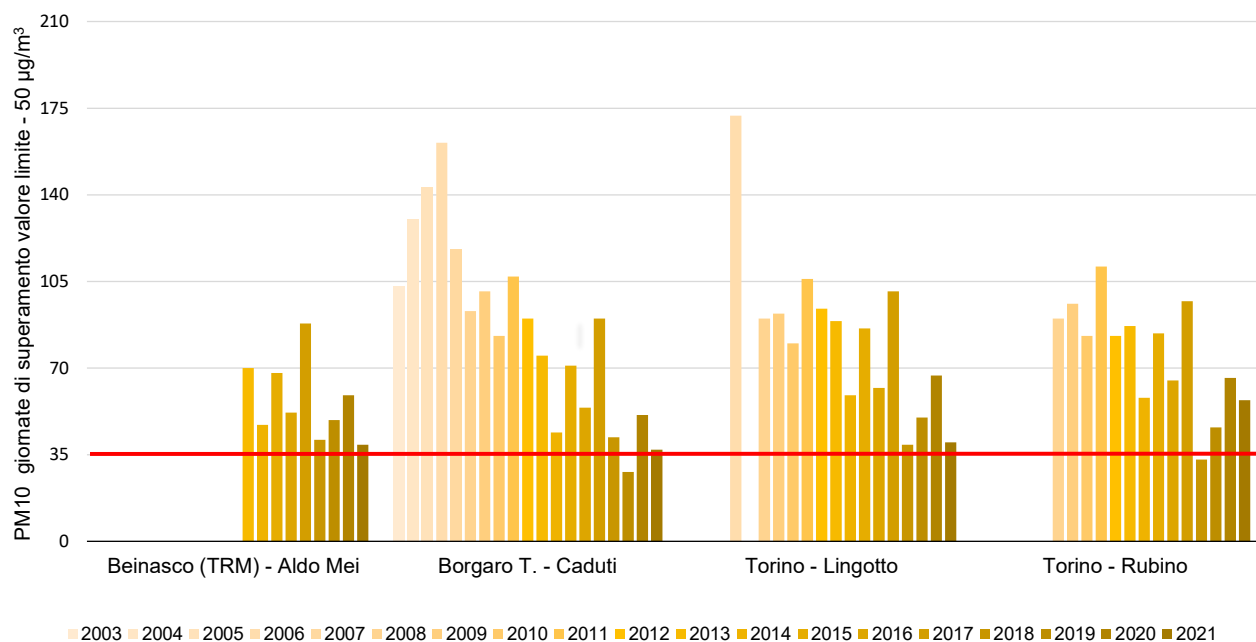


Figura 45: PM10 Città Metropolitana di Torino: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni di fondo site nell'area metropolitana torinese.

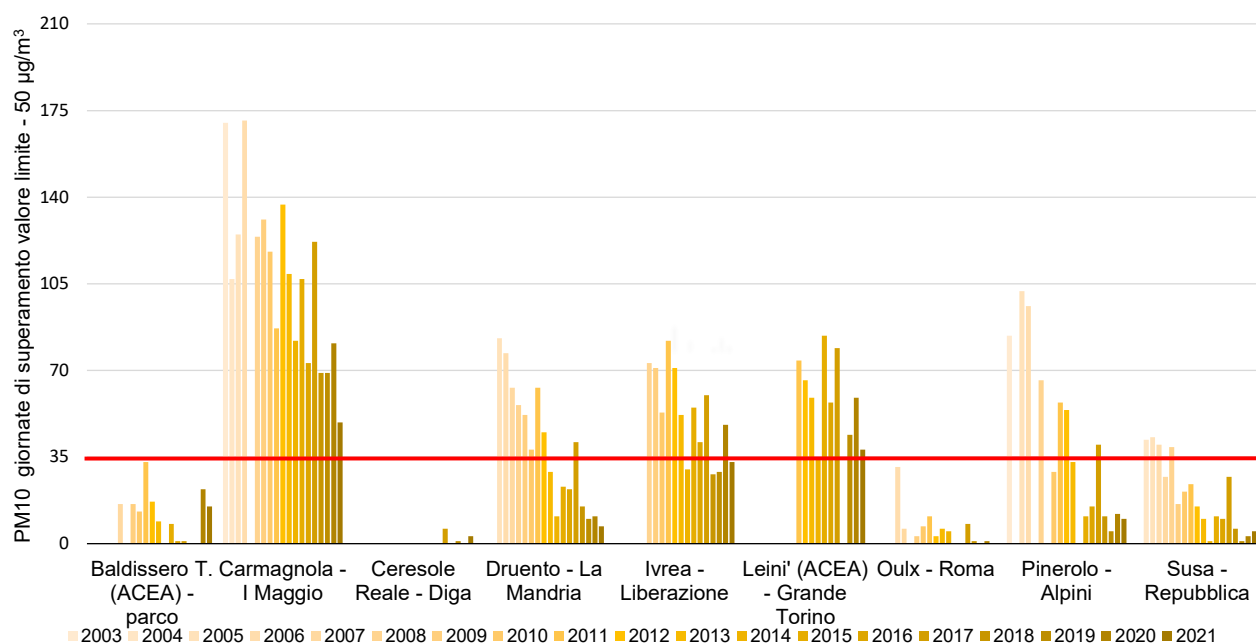


Figura 46: PM10 Città Metropolitana di Torino: numero di superamenti del limite giornaliero delle stazioni delle stazioni esterne all'area metropolitana torinese.

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2020 e 2021 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 47 rispetto al periodo di riferimento 2013-2019. Si è voluto rappresentare anche l'anno 2020, in quanto caratterizzato dal periodo delle restrizioni imposte dal lockdown a causa del Covid-19, nel quale parte delle emissioni si sono ridotte.

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 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiata) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra del grafico) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dai medesimi gruppi di stazioni negli anni presi come riferimento (2013-2019).

I gruppi di stazioni esaminati sono le stazioni di traffico e fondo ubicate a Torino e prima cintura, (in Figura 47 in alto a sinistra “Traffico Area Metropolitana Torinese” e in alto a destra “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 sui 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 Reale, 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).

Nel 2020, tra metà ottobre e fine novembre, si evidenzia per tutte le stazioni un lungo periodo di incremento delle concentrazioni, con accumulo del PM₁₀ attribuibile alle persistenti condizioni di stabilità anticiclonica e alle conseguenti rare precipitazioni che si sono verificate nel periodo. Il fenomeno è maggiormente evidente nelle stazioni di pianura situate sia all’interno che all’esterno dell’area metropolitana torinese. Esaminando l’andamento del 2021 è particolarmente evidente il picco nelle concentrazioni tra il 23 ed il 27 febbraio, dovuto a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara sul settore occidentale, che ha interessato il Piemonte anche nelle stazioni in quota. Invece, al di sotto della media 2013-2019 i primi giorni di gennaio, caratterizzati da intensa pioggia; il periodo dalla seconda metà di gennaio a metà febbraio, e tutto il mese di novembre, sempre per fenomeni piovosi.

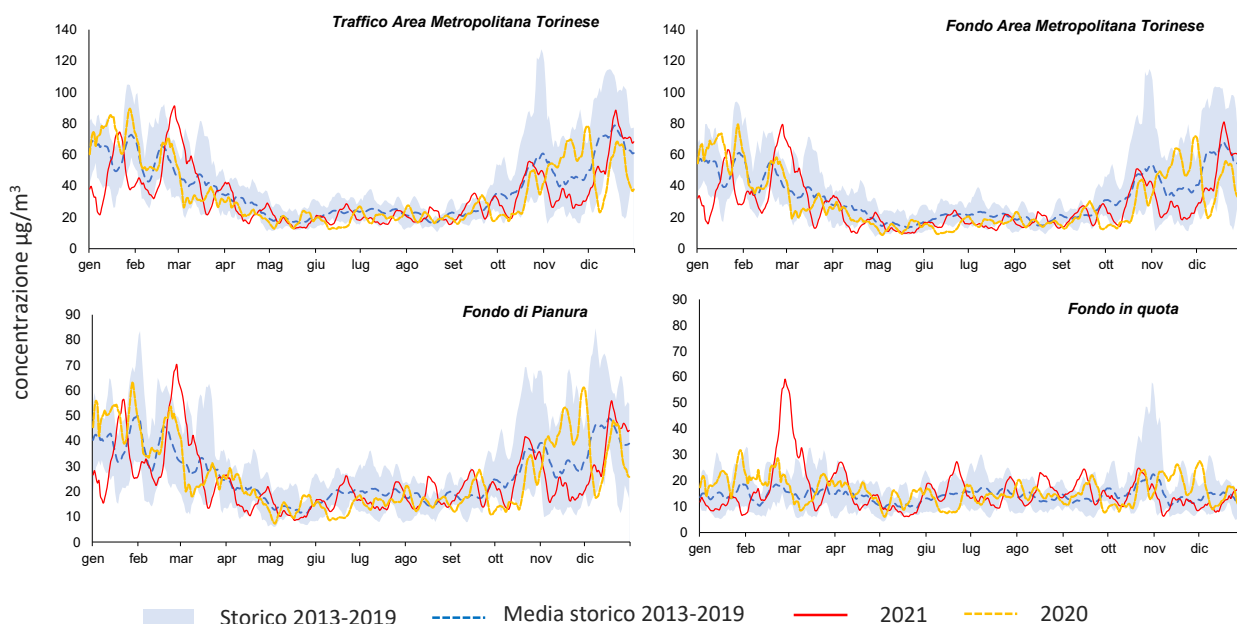


Figura 47: PM₁₀ Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 capitolo regionale relativo.

Nei grafici di Figura 48 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 agli altri inquinanti come il materiale particolato e gli ossidi di azoto, i valori medi mensili di benzo(a)pirene (B(a)P) 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 48). Le concentrazioni di B(a)P 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.

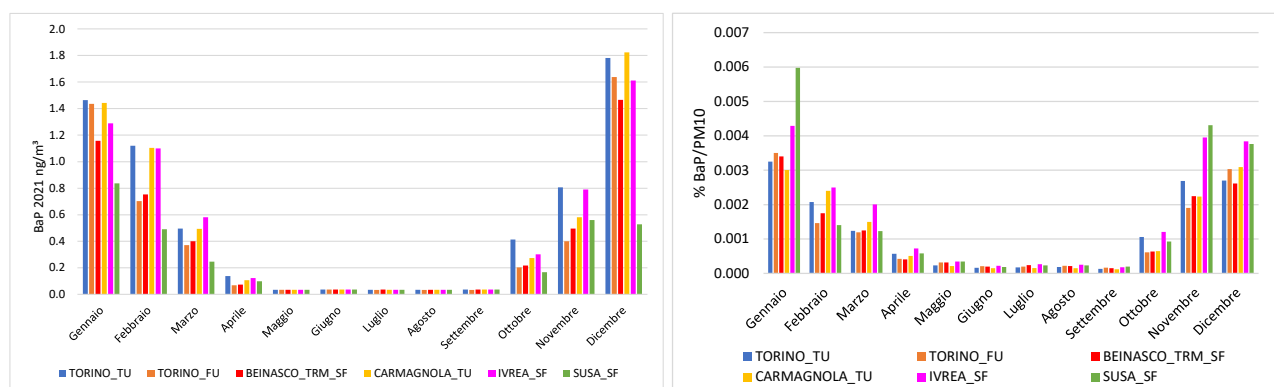


Figura 48: Benzo(a)pirene Città Metropolitana di Torino: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di B(a)P nel PM10 anno 2021.

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 di Figura 49, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2010. Come visibile il valore limite annuale di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ è rispettato nel 2021 in tutte le stazioni della rete di monitoraggio. La stazione di Ceresole Reale registra i valori minimi, poiché rappresenta un'area rurale non soggetta ad emissioni antropiche. I massimi si riscontrano nelle stazioni urbane di traffico come Torino-Rebaudengo e Settimo Torinese; i valori più bassi della rete, escludendo Ceresole, si rilevano a Ivrea e Leini, ma in generale i valori misurati sono molto omogenei nel territorio provinciale.

Nei siti urbani il particolato PM10, soprattutto in inverno, è costituito per più 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).

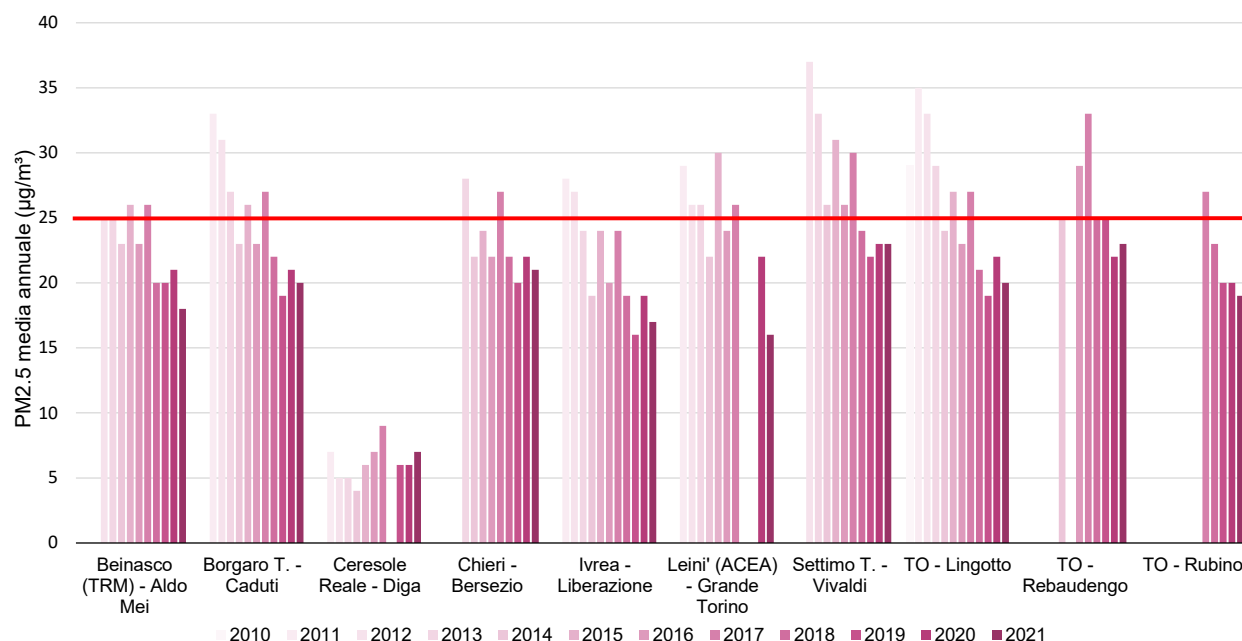


Figura 49: PM2.5 Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue.

6.1.4 Biossido di azoto

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici della Figura 50, Figura 51, Figura 52 e Figura 53, dove sono confrontate le concentrazioni medie di biossido di azoto (NO_2) registrate presso le stazioni attive nel 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

Il trend delle medie annuali è in riduzione, come indicato anche nel capitolo relativo alla valutazione regionale dell' NO_2 .

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 2021 al valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si registrano nelle stazioni di Torino - Rebaudengo e Torino - Consolata, seguite dalle stazioni di Settimo - Collegno e Carmagnola (con valori intorno ai $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 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 Reale, Oulx, Susa) e quelle di fondo in pianura più lontane da Torino (Chieri, Druento, Ivrea, Leini).

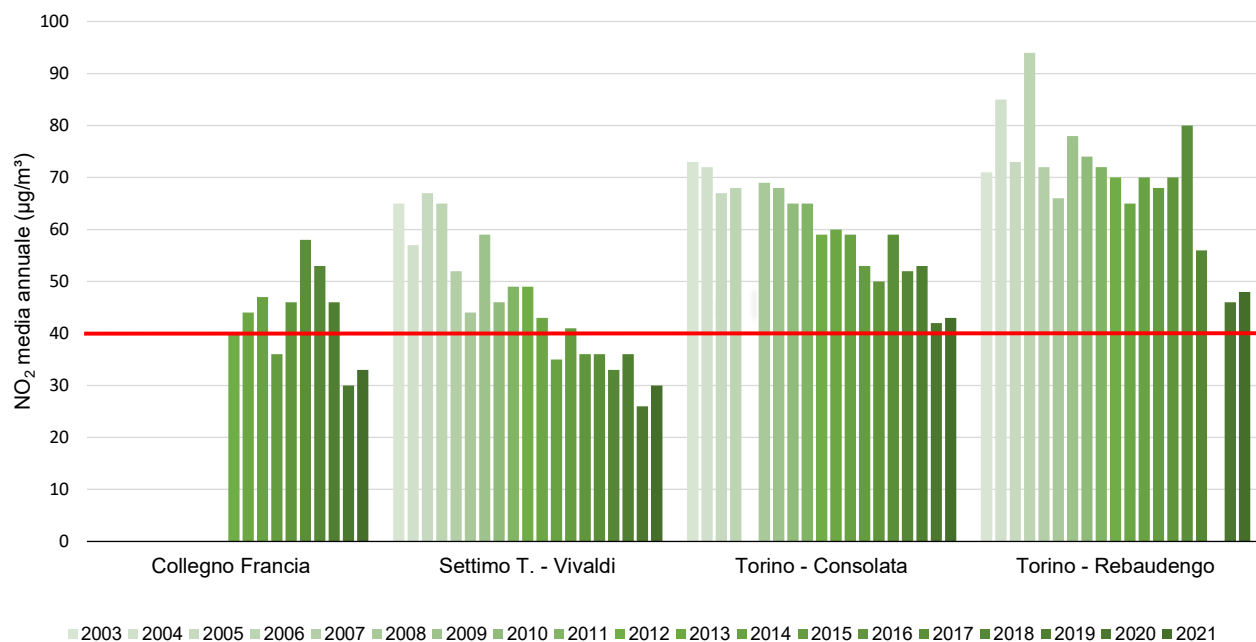


Figura 50: NO₂ Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di traffico Area Metropolitana Torinese.

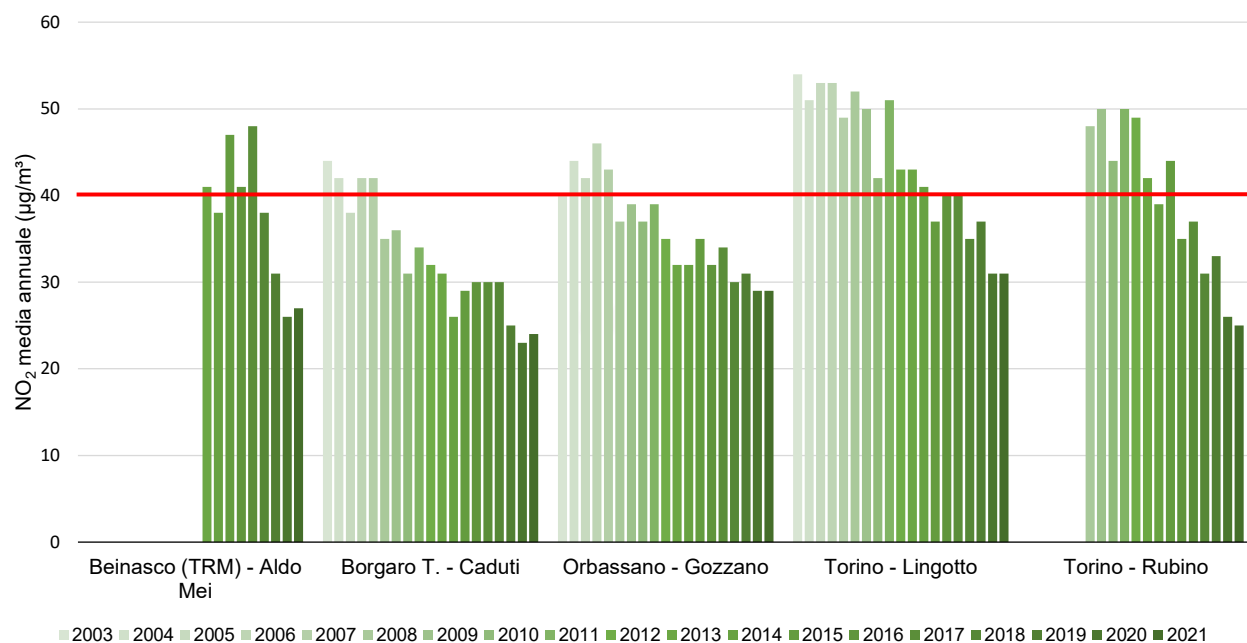


Figura 51: NO₂ Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di fondo area metropolitana torinese.

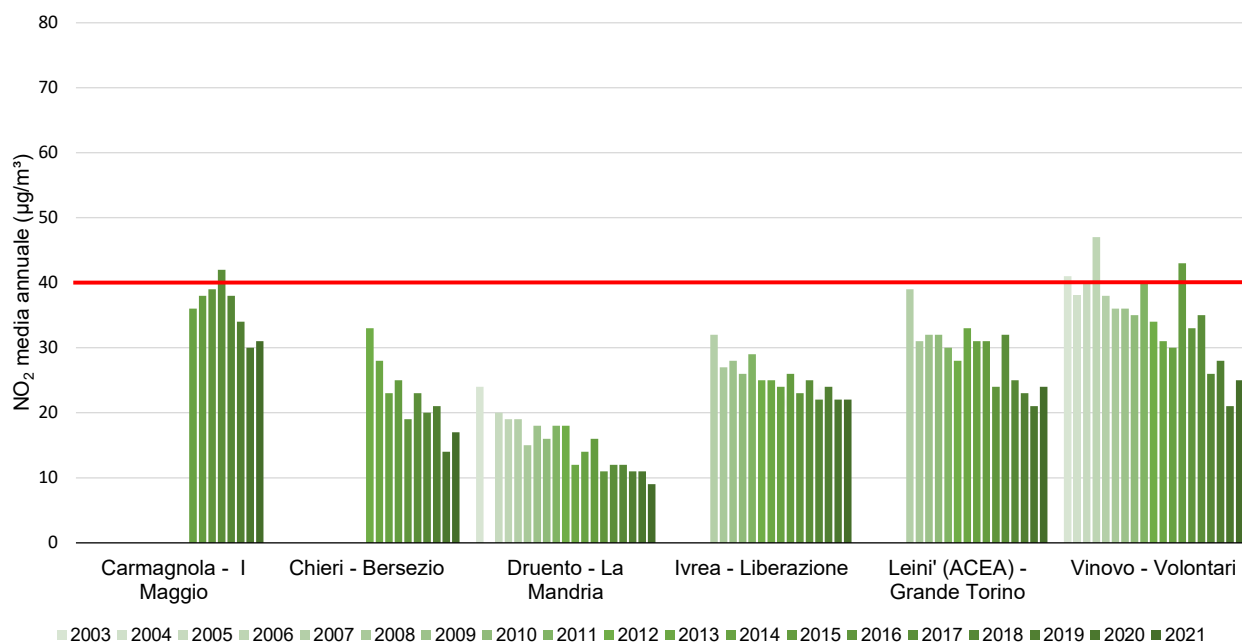


Figura 52: NO₂ Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di pianura esterne all'area metropolitana torinese.

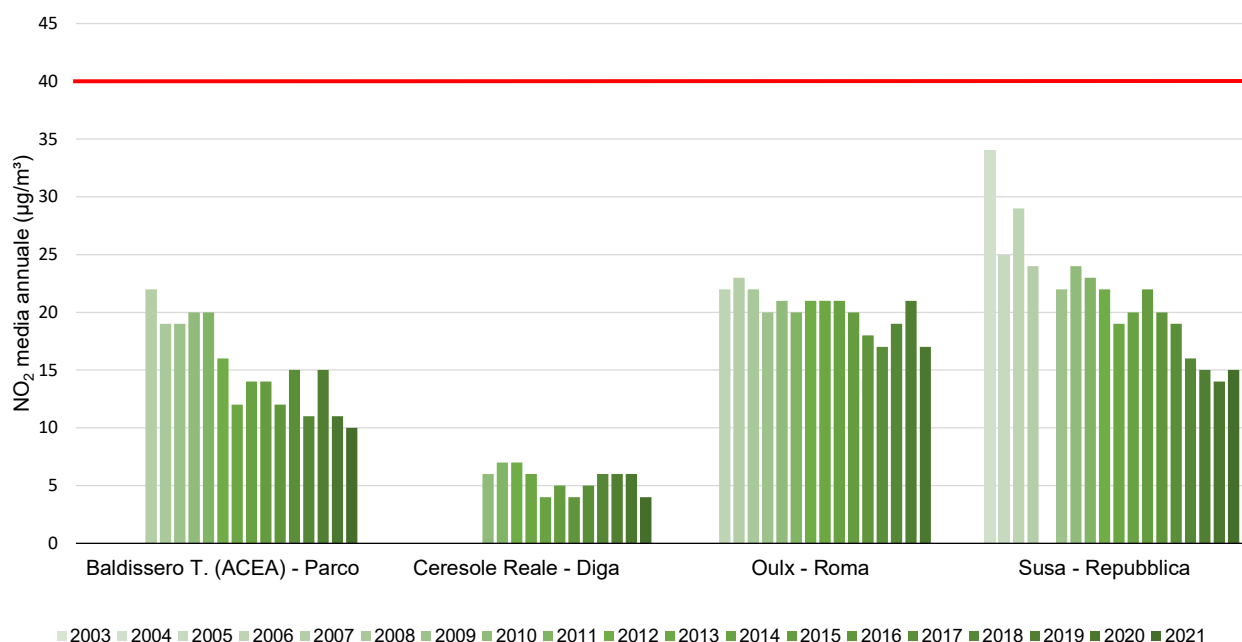


Figura 53: NO₂ Città Metropolitana di Torino: confronto medie annue stazioni di quota esterne all'area metropolitana torinese.

Analogamente al PM₁₀ le serie temporali delle concentrazioni dell'NO₂ misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 54. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni.

Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

Relativamente ai dati del 2020, si evidenzia la riduzione delle concentrazioni a partire dalla seconda decade di marzo, con valori inferiori ai minimi del periodo di riferimento (banda azzurra) per tutta la "Fase1" dell'emergenza sanitaria, durata fino al 3 maggio, e concentrazioni inferiori ai

valori medi del periodo di riferimento fino a inizio giugno. Lo scostamento rispetto alla media è evidente soprattutto nelle stazioni di traffico dell'area metropolitana torinese e nella stazione di Carmagnola, anch'essa posta vicino ad un'arteria ad elevato traffico veicolare (Figura 54).

Concentrazioni inferiori ai valori medi e, in taluni casi, inferiori anche ai valori minimi degli anni di riferimento, si riscontrano anche nell'autunno 2020 e nel periodo delle festività natalizie, interessati da nuove misure per il contenimento della pandemia.

Nel 2021 i dati sono spesso al di sotto del periodo di confronto 2013-2019 sia nelle stazioni di traffico dell'area metropolitana torinese che in quelle di fondo in tutto il territorio, confermando il trend in riduzione dell'inquinante. Nei grafici poco assimilabili alle altre sono la stazione di Carmagnola, al di fuori dell'area critica più prossima a Torino, ma fortemente influenzata dal traffico, e la stazione di Oulx, anch'essa classificata di traffico perché in prossimità di una strada, ma avente concentrazioni tra le più basse del territorio provinciale per la collocazione vicina all'estremità della Valle di Susa, maggiormente ventosa rispetto alla Pianura Padana. Anche per questo sito è possibile apprezzare che la media 2021 è quasi sempre al di sotto del periodo di confronto ed anche del 2020, tranne il mese di gennaio e l'ultima decade di dicembre.

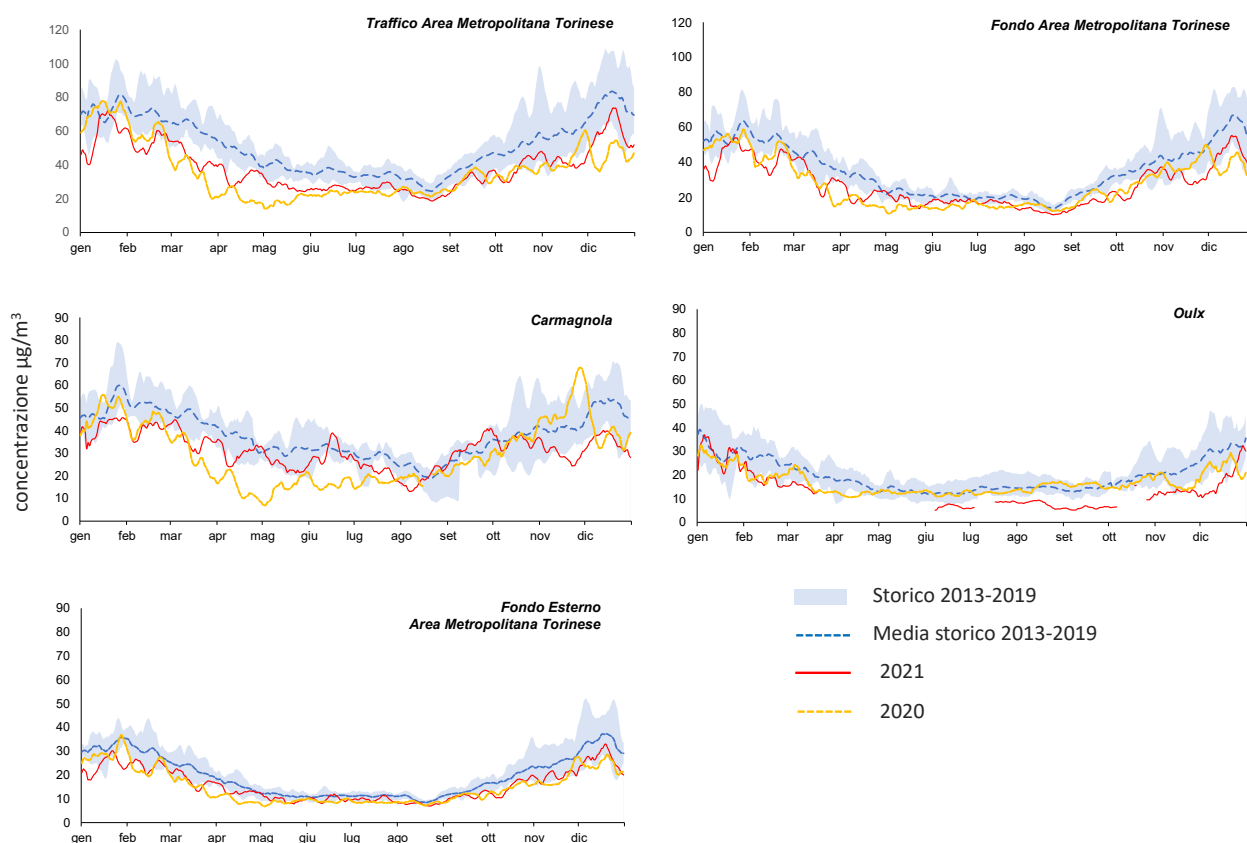


Figura 54: NO₂ Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Per le stazioni di Torino-Lingotto e Torino-Rebaudengo (Figura 55 a sinistra) e il gruppo di stazioni Beinasco, Carmagnola e Settimo (Figura 55 a destra) è stata calcolata la settimana tipo. Gli andamenti di NO₂ messi a confronto tra la stazione di fondo urbano di Torino - Lingotto (linea arancione) e la stazione da traffico di Torino - Rebaudengo (linea grigia) nel trimestre invernale dicembre – gennaio - febbraio (linea continua) e quello estivo giugno – luglio - agosto (linea tratteggiata), evidenziano sensibili riduzioni per entrambe il sabato e la domenica, più marcate nel periodo invernale. I picchi mattutini e serali, che trovano corrispondenza nell'andamento del traffico veicolare, sono decisamente più elevati presso la stazione da traffico rispetto a quella di fondo, con

concentrazioni nei picchi che arrivano a più del doppio nella stazione di Torino-Rebaudengo rispetto a quella di Torino-Lingotto, legate alle emissioni dirette del traffico veicolare.

L'influenza del traffico è nel visibile anche nelle stazioni esterne a Torino, in particolare Carmagnola e Settimo, aventi il classico doppio picco invernale pur con concentrazioni inferiori ai massimi di Torino - Rebaudengo, mentre nella stazione di Beinasco (di fondo suburbano) è più evidente il picco serale, riconducibile a fenomeni di trasporto dell'inquinante dalla Città di Torino.

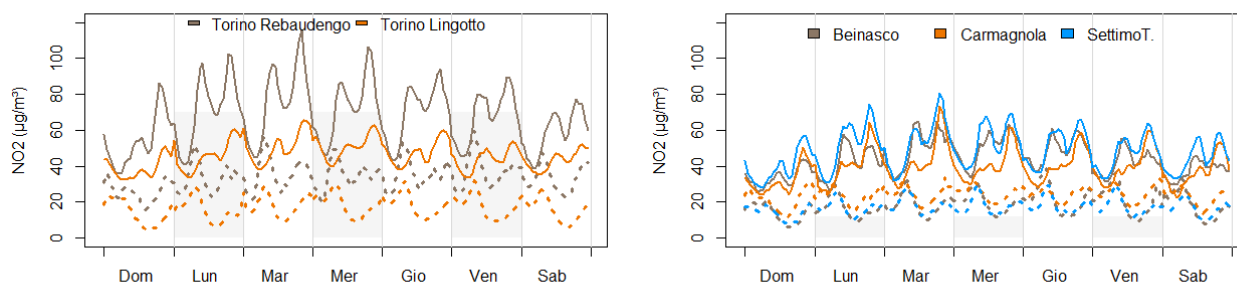


Figura 55: NO₂ Città Metropolitana di Torino: settimane tipo stazioni di Torino – Rebaudengo, Torino - Lingotto e Beinasco-Carmagnola-Settimo Torinese. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.1.5 Ozono

L'inquinante viene misurato presso le stazioni di fondo (urbano-suburbano) di Borgaro, Chieri, Ivrea, Leinì, Orbassano, Susa, Torino - Lingotto, Torino - Rubino e Vinovo ed in quelle di fondo rurale di Baldissero Torinese, Ceresole Reale e Druento. Nei grafici di Figura 56 e Figura 57 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2021, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni. Come visibile, il valore obiettivo nel 2021 (relativo al triennio 2019-2021) è superato in tutte le stazioni del territorio metropolitano, con l'eccezione della stazione di Ceresole Reale.

Non si riscontrano trend di elevata significatività statistica, se non per la stazione collinare di Baldissero Torinese per la quale è in diminuzione, come indicato nel capitolo relativo.

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 (NMVOC), precursori dell'ozono.

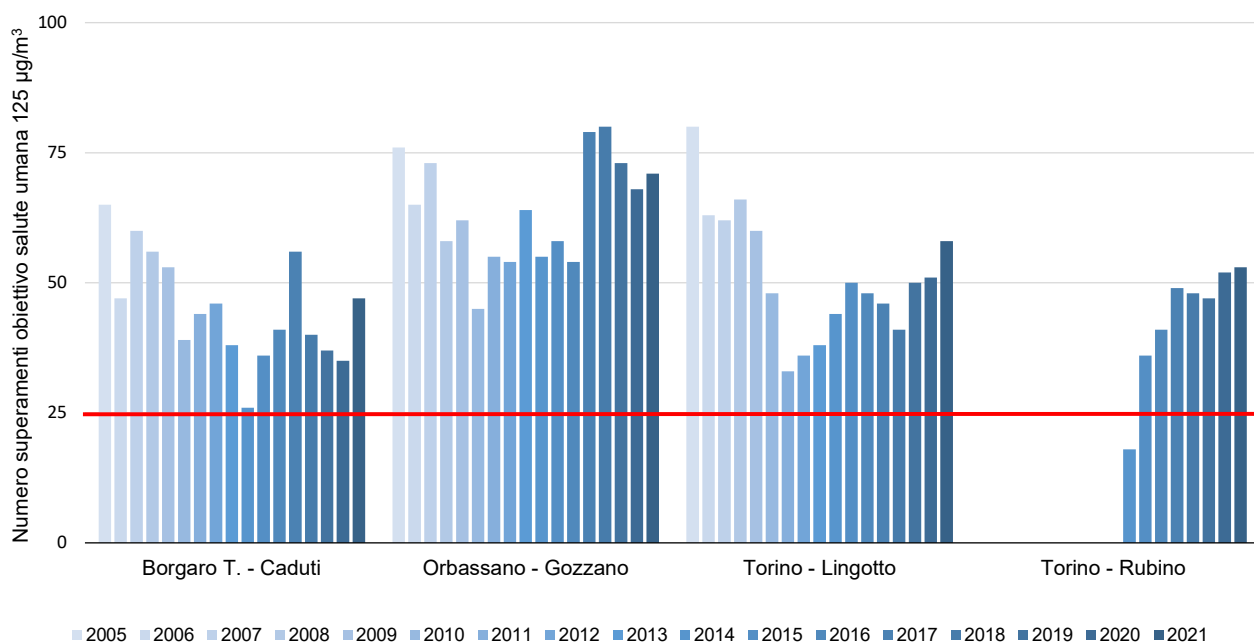


Figura 56: O₃ Città Metropolitana di Torino: confronto numero di superamenti valore obiettivo per la protezione della salute umana, stazioni di fondo dell'area metropolitana torinese.

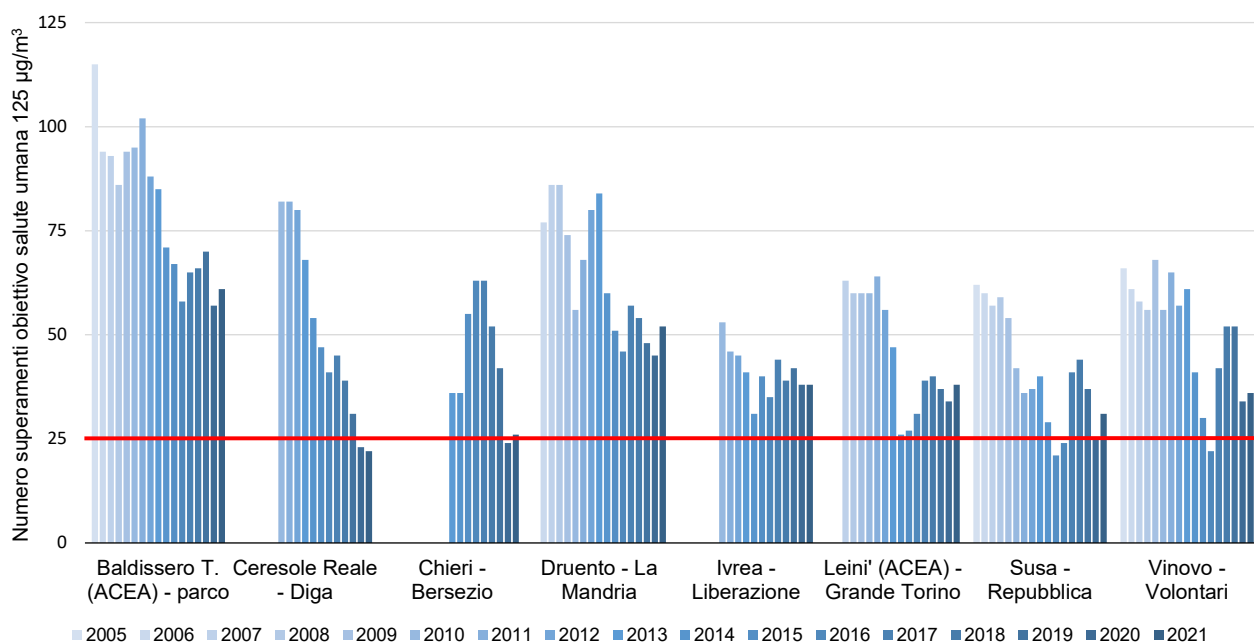


Figura 57: O₃ Città Metropolitana di Torino: confronto numero di superamenti valore obiettivo per la protezione della salute umana, stazioni di fondo esterne all'area metropolitana torinese.

Per quanto riguarda l'andamento giornaliero dell'inquinante (Figura 58) si può vedere che le concentrazioni di ozono sono generalmente maggiori d'estate e nelle stazioni di fondo in quota (Baldissero, Ceresole Reale, Susa), i cui valori minimi rimangono più alti nel periodo invernale rispetto alle stazioni urbane, sia nell'area metropolitana torinese (Borgaro, Orbassano, Torino – Lingotto, Torino - Rubino), che al di fuori (Chieri, Druento, Ivrea, Leini, Vinovo). Nell'anno 2021 si evidenziano in tutte le stazioni alcuni periodi con concentrazioni elevate rispetto agli anni di

riferimento, uno di questi, particolarmente lungo, è quello compreso tra la seconda decade di agosto e metà settembre.

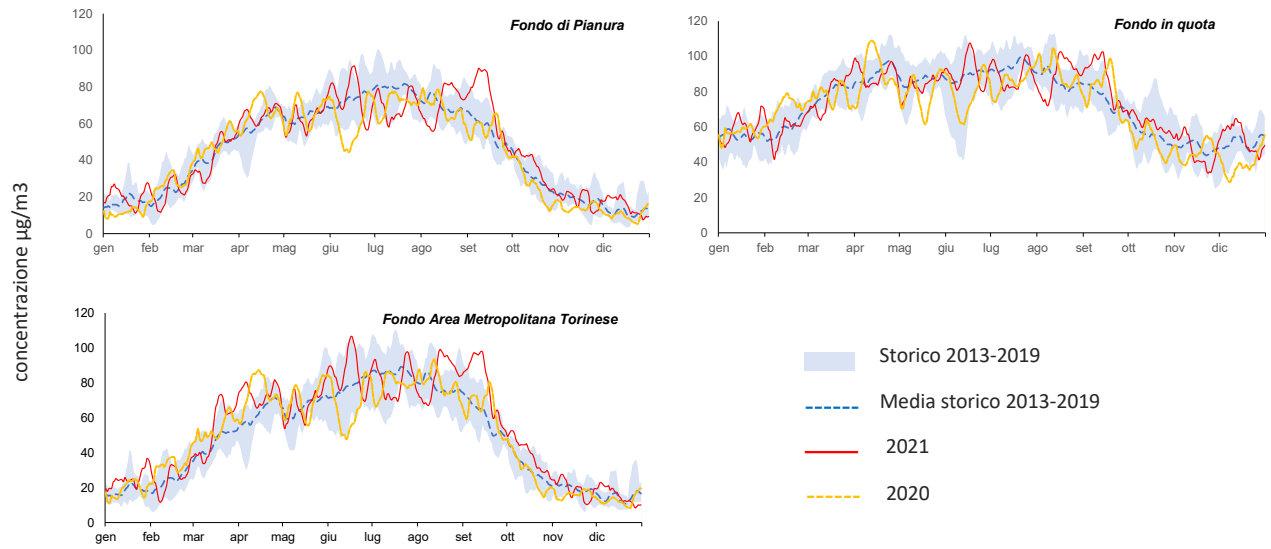


Figura 58: O₃ Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

6.2 Provincia di Alessandria

In provincia di Alessandria la rete di monitoraggio aria, illustrata in Figura 59, 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 seguente

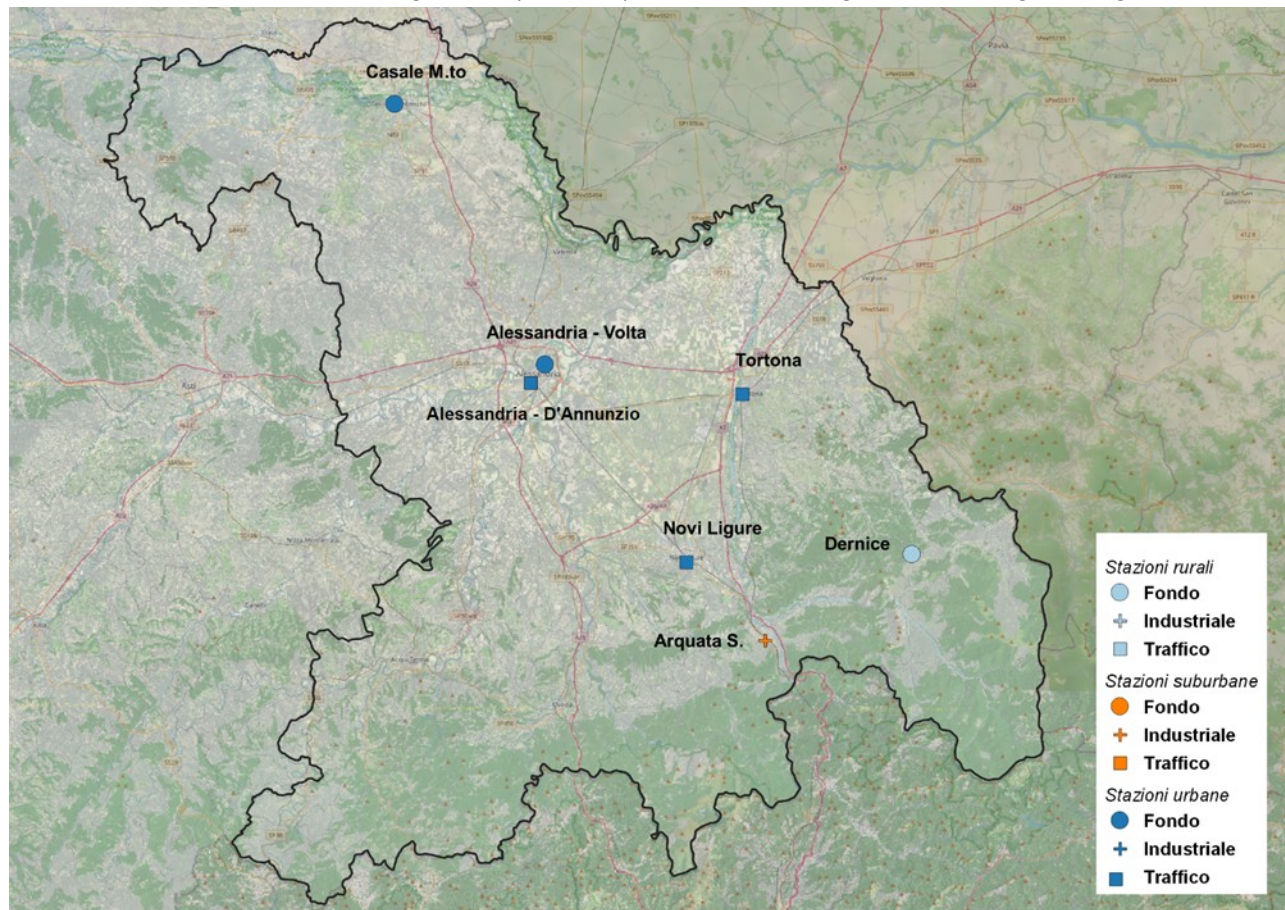


Figura 59: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Alessandria.

6.2.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici della Figura 60 e della Figura 61, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2021 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 ancora superiore al limite di legge solo per Alessandria e Arquata. Tuttavia, anche i superamenti del limite giornaliero fanno registrare una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni, così come già discusso nel capitolo dedicato della sezione regionale.

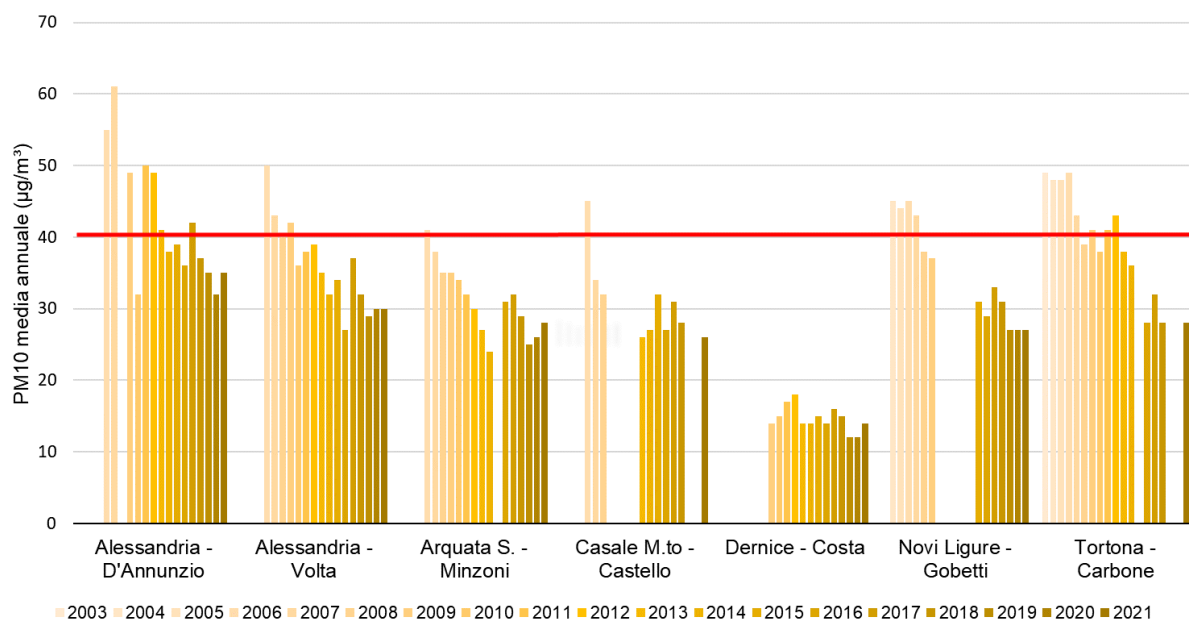


Figura 60: PM10 provincia di Alessandria: confronto medie annue

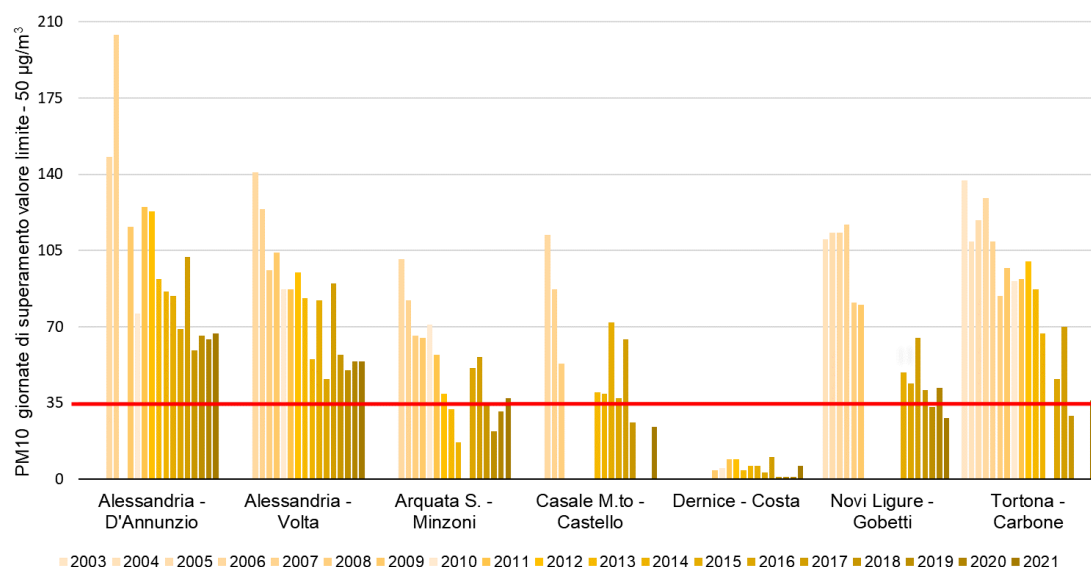


Figura 61: PM10 Provincia di Alessandria: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2020 e 2021 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 62 rispetto al periodo di riferimento 2013-2019. 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 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiato) 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 (2013-2019).

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 di alta pressione persistente e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento). Dal solo confronto delle serie temporali delle concentrazioni misurate non è possibile individuare scostamenti significativi rispetto agli anni precedenti attribuibili a variazioni delle emissioni conseguenti al lockdown.

Una situazione particolare si evidenzia per tutte le stazioni nel periodo compreso tra metà ottobre e fine novembre 2020, con concentrazioni elevate sia rispetto alle settimane precedenti che a quelle successive, 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 il picco di concentrazioni rilevato da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 23-25 febbraio 2021 e ben visibile nei grafici, sia dovuto ad un fenomeno di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che ha interessato anche il Piemonte.

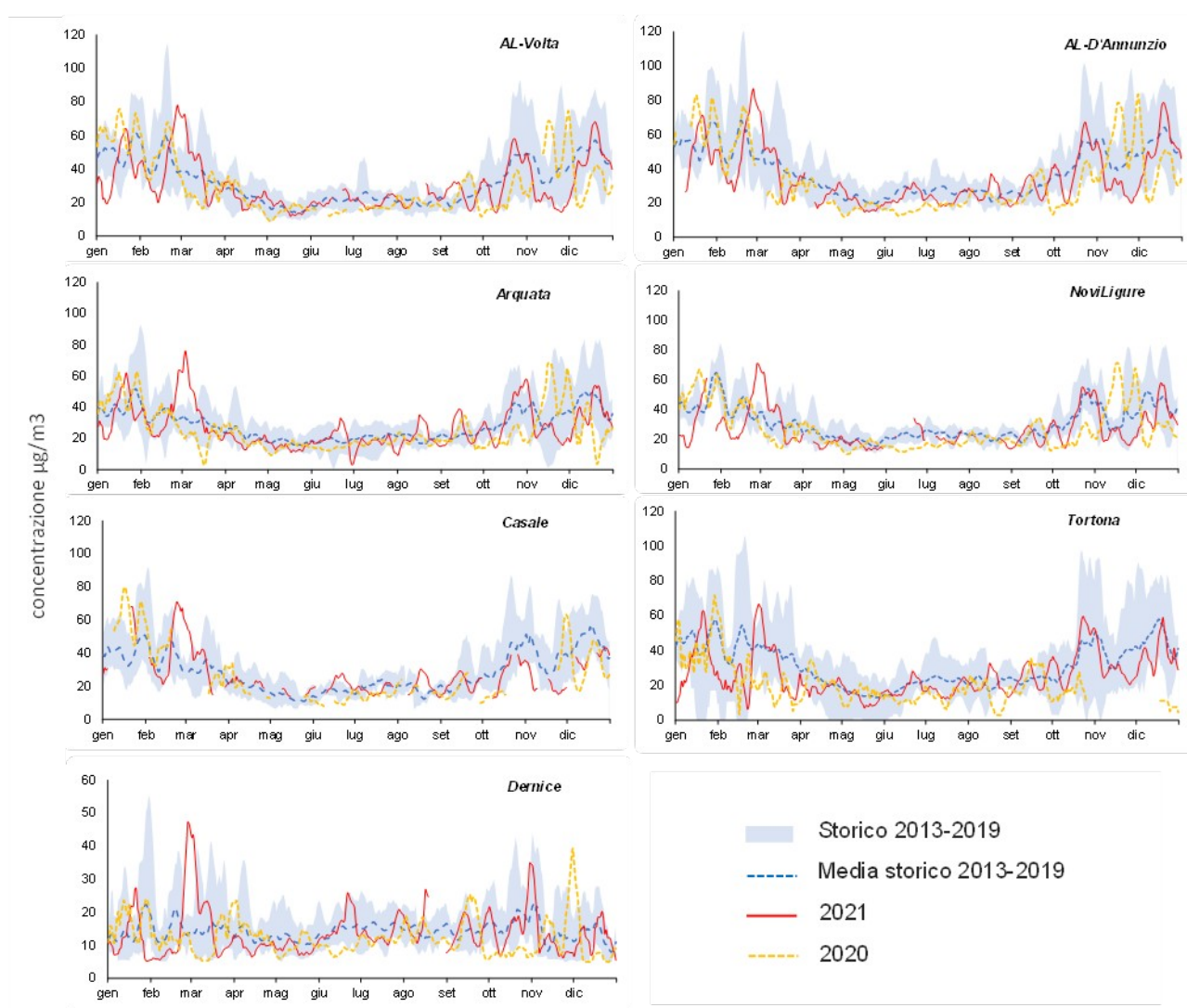


Figura 62 - PM10 Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 ove è determinato il parametro, dall'altro i valori mensili relativi alla percentuale in cui esso è presente nel PM10.

Analogamente agli altri inquinanti come il materiale particolato e gli ossidi di azoto, i valori medi mensili di B(a)P 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 e si "attiva" il 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 nella Figura 63.

Anche nel 2021 le concentrazioni più elevate di B(a)P nel PM10 si osservano presso le stazioni urbane di Alessandria e la stazione industriale di Arquata, mentre non si evidenziano valori significativi nella stazione di fondo rurale di Dernice. Considerando l'andamento mensile del contributo percentuale di B(a)P al PM10 viene ulteriormente evidenziato come in alcune stazioni le polveri del periodo invernale risultino arricchite di B(a)P (e di IPA più in generale). Le stazioni di Arquata e Alessandria, si confermano essere quelle con le percentuali maggiori di IPA nelle polveri.

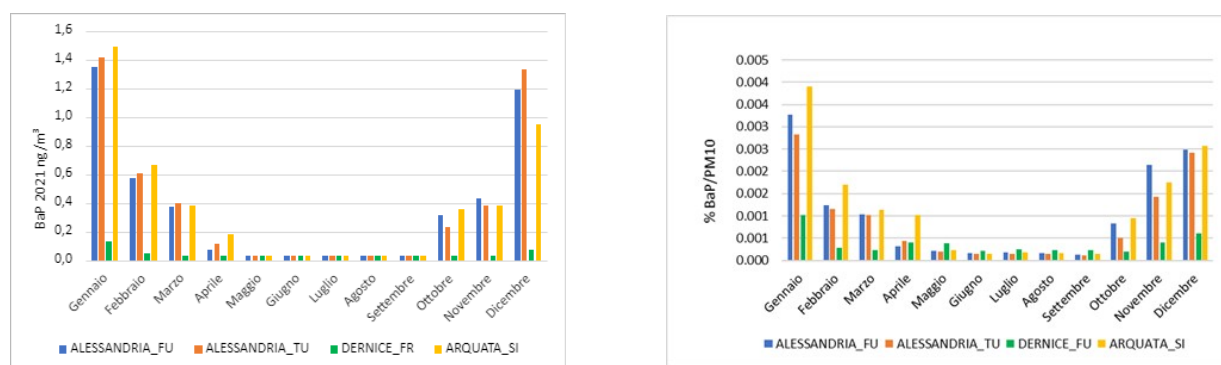


Figura 63: Benzo(a)pirene Provincia di Alessandria: concentrazioni medie mensili (a sinistra) e percentuali medie mensili (a destra) di B(a)P nel PM10 anno 2021.

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 64, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2010. Il dato annuo mostra per Alessandria valori superiori al limite normativo in 4 anni su 11, 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 con-

tributi secondari di origine antropica come le particelle carboniose (carbonio organico e carbonio elementare), sali inorganici (nitrato e solfato di ammonio), IPA e metalli pesanti.

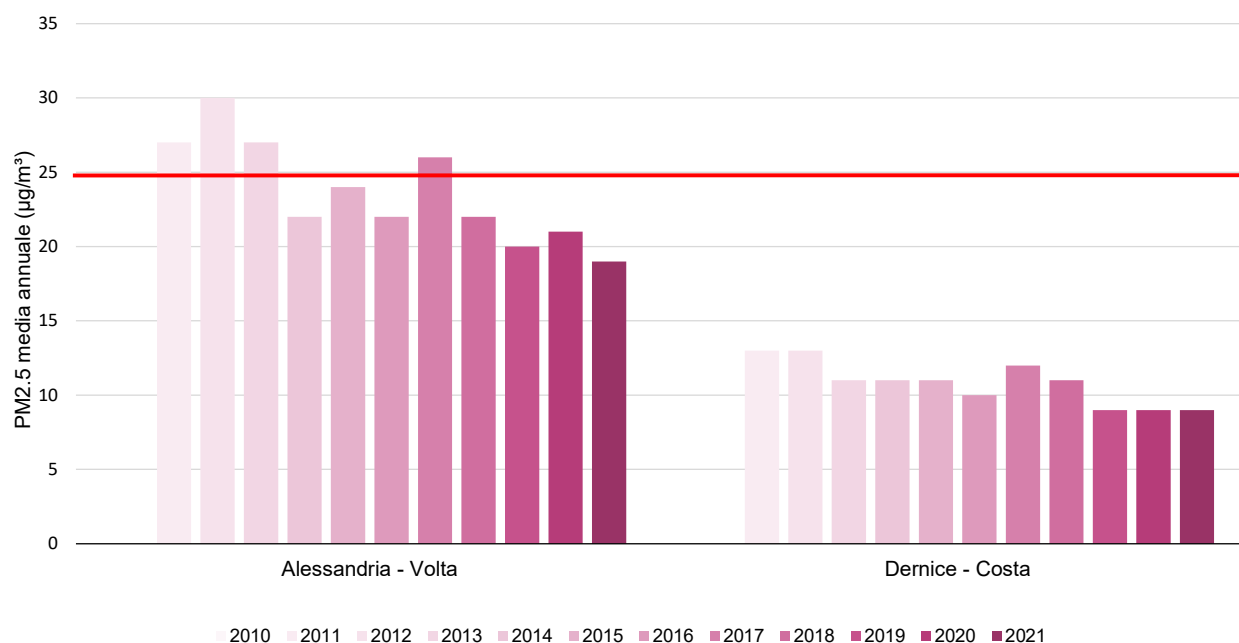


Figura 64: PM2.5 Provincia di Alessandria: confronto medie annue.

6.2.4 Biossido di azoto

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nel grafico della Figura 65, dove sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ registrate presso le stazioni attive nel 2021 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 (superiori a 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 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 tutto l'anno.

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.

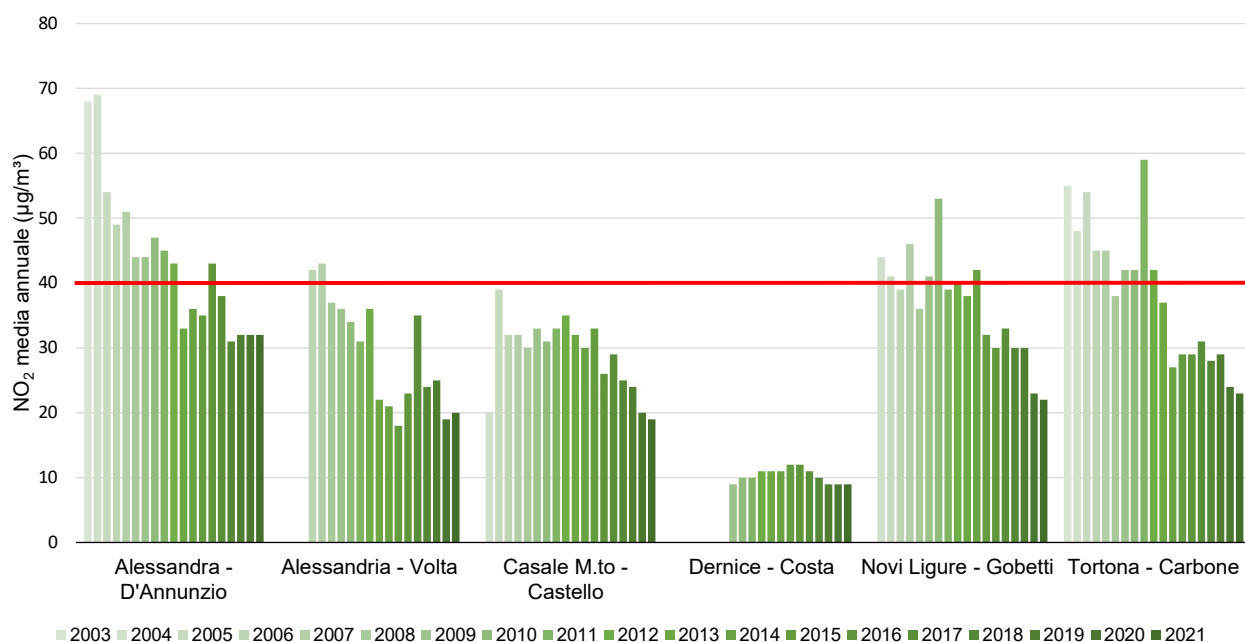


Figura 65: NO₂ Provincia di Alessandria: confronto medie annue.

Analogamente al PM₁₀ le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂ misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono riportate in Figura 65 e per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni. Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

Relativamente agli ossidi di azoto, i dati del 2021 di alcune stazioni urbane della provincia mostrano livelli prossimi o inferiori ai minimi del periodo di riferimento (banda azzurra) e confrontabili con quanto rilevato nel 2020 ad eccezione di quanto osservato nella stazione di Alessandria D'Annunzio, in cui si evidenzia una drastica riduzione dei valori misurati in corrispondenza del periodo ottobre-metà novembre 2021.

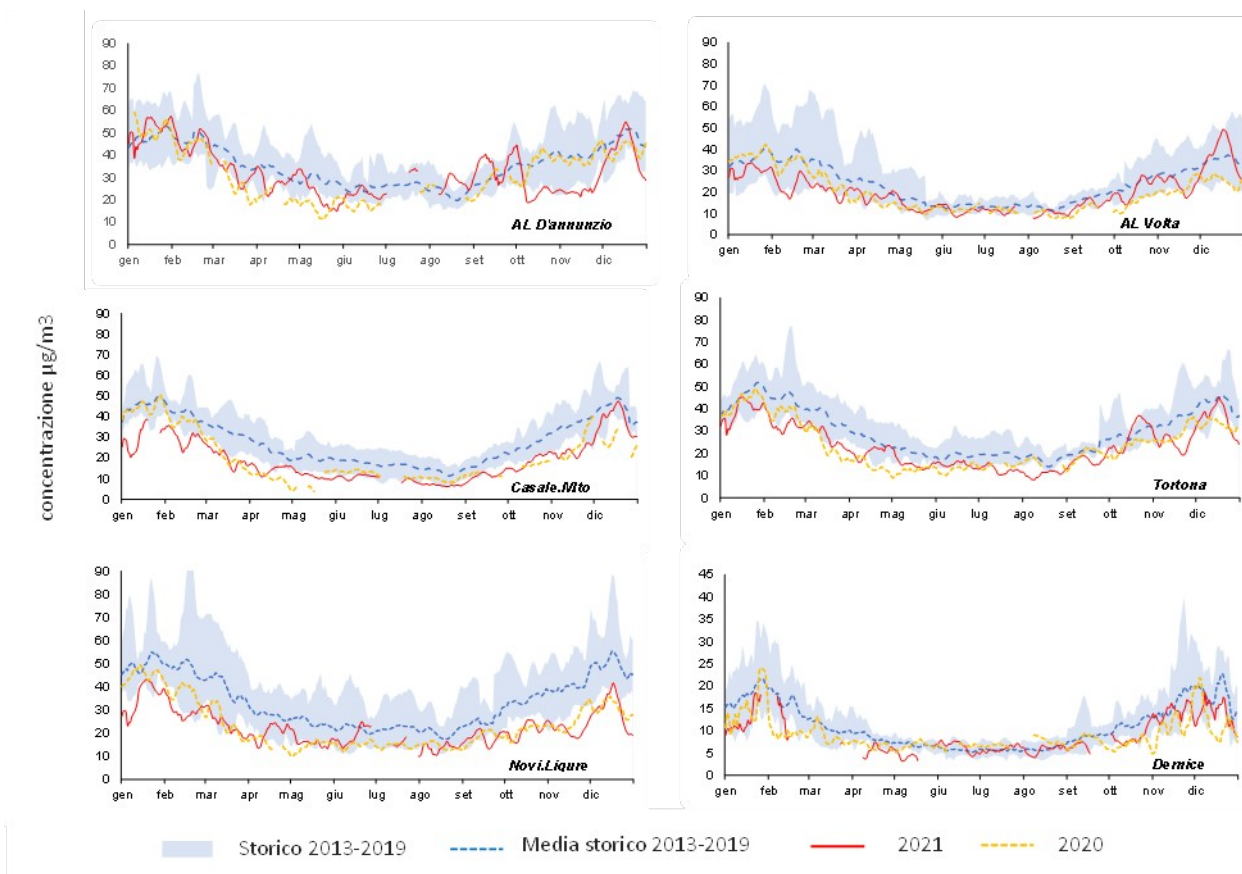


Figura 66: NO₂ Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

In Figura 67, gli andamenti di NO₂ nelle ore del giorno e sui giorni della settimana 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 (dicembre, gennaio, febbraio - linea continua) ed estivo (giugno, luglio, agosto - linea tratteggiata), evidenziano sensibili riduzioni per entrambe la domenica, più marcate nel periodo invernale. I picchi mattutini e serali (più marcati) che trovano corrispondenza nell'andamento del traffico veicolare sono decisamente più elevati presso la stazione da traffico rispetto a quella di fondo, con uno scostamento medio che si attesta sui 30 µg/m³ circa in più d'inverno ed inferiore a 20 µg/m³ circa d'estate legati alle emissioni dirette del traffico rispetto alla stazione di fondo.

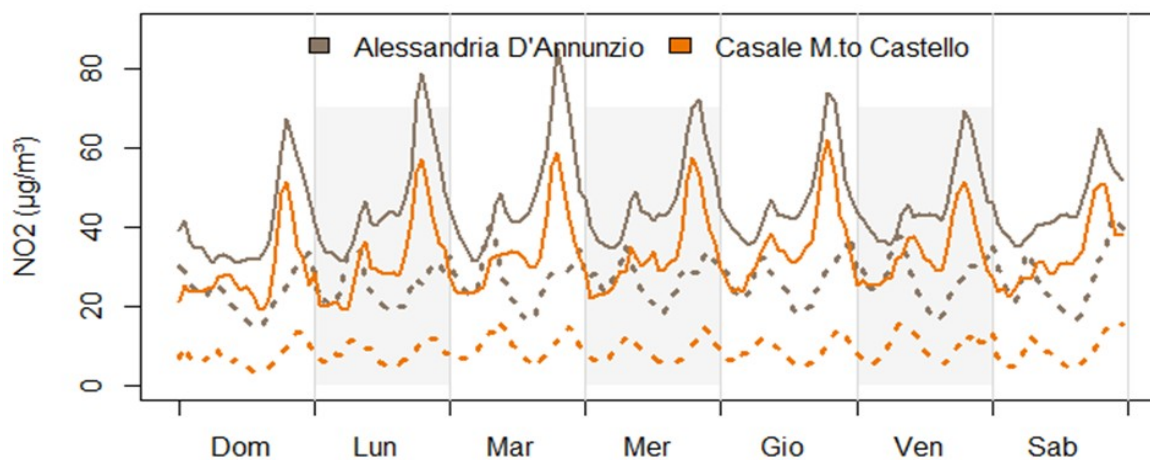


Figura 67: NO₂ Provincia di Alessandria: settimane tipo stazioni di Alessandria D'Annunzio e Casale Monferrato. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.2.5 Ozono

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 68 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2021, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni.

L'analisi del trend riportata nel capitolo dedicato 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 (NMVOC), precursori dell'ozono.

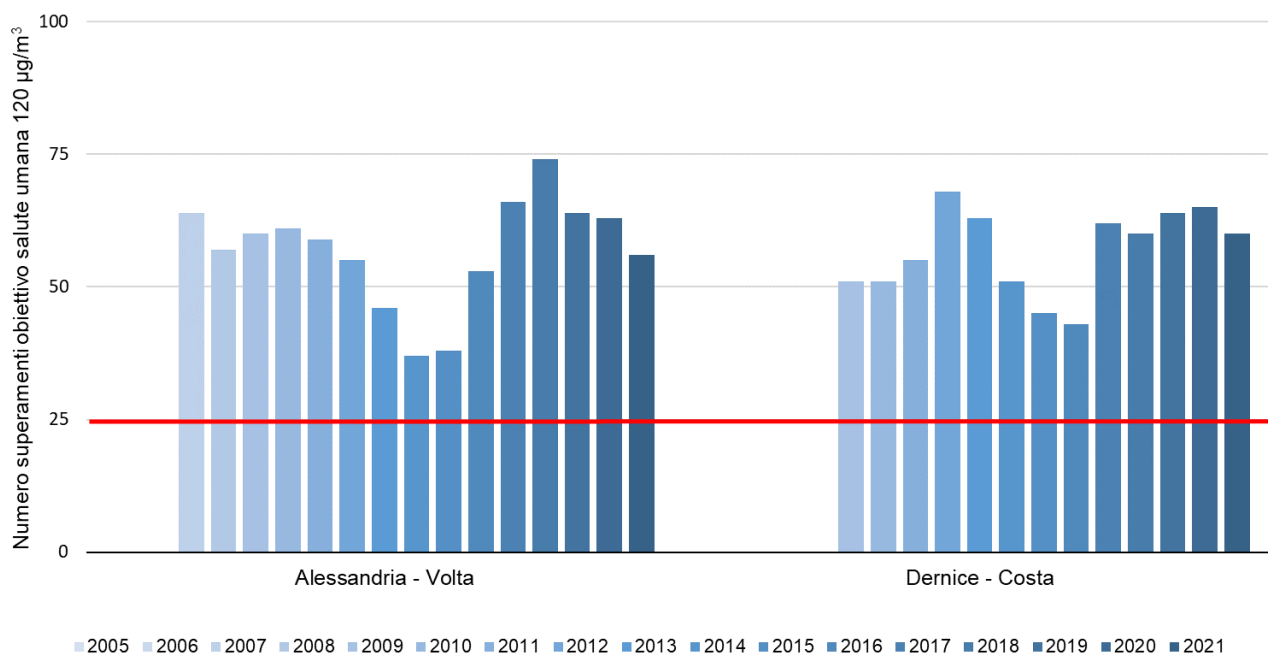


Figura 68: O₃ Provincia di Alessandria: confronto numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante del 2021, riportato in Figura 69, si evidenziano alcuni periodi di superamento dei valori storici a partire dalla seconda decade di giugno nella stazione di fondo urbano di Alessandria Volta e ad inizio settembre in entrambe le stazioni della rete in cui viene effettuato il monitoraggio.

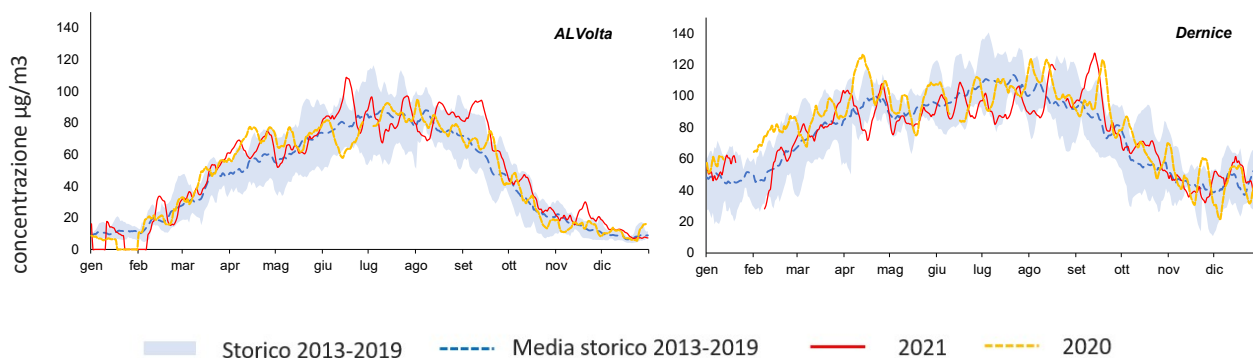


Figura 69: O₃ Provincia di Alessandria: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

6.3 Provincia di Asti

In provincia di Asti la rete di monitoraggio aria, illustrata in Figura 70, è presente con due stazioni nel capoluogo di Provincia e in un punto in area rurale presso il Comune di Vinchio.

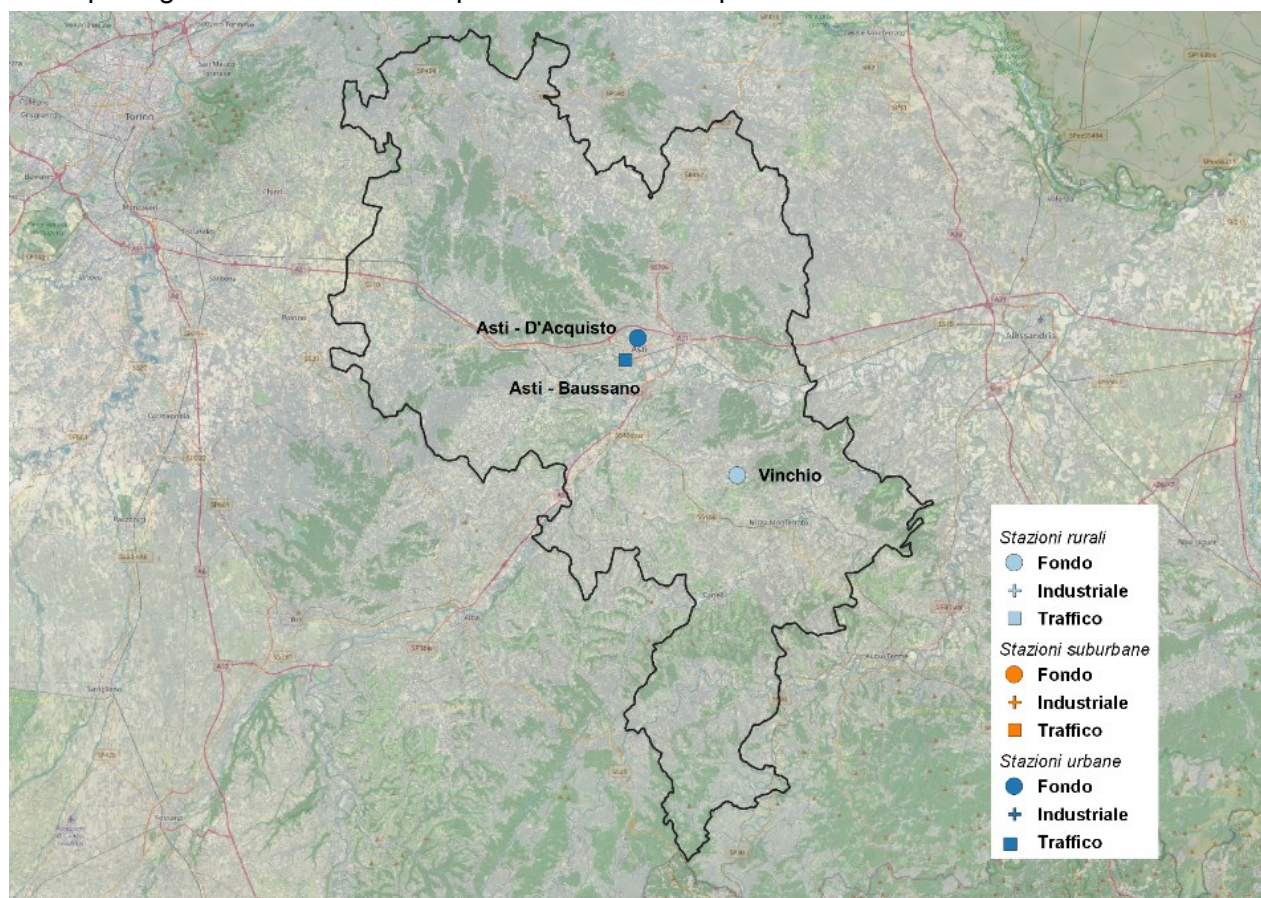


Figura 70: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Asti.

6.3.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici di Figura 71 e Figura 72, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2021 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 ancora superiore al limite di legge nelle stazioni urbane di Asti, più marcati nella stazione da traffico di Asti - Baussano rispetto a quella di fondo di Asti - D'Acquisto. Tuttavia, la differenza percentuale tra le concentrazioni medie annue rilevate nelle due stazioni risulta confrontabile con l'incertezza di misura e conferma l'omogeneità dell'inquinamento a scala comunale. Come già discusso nel capitolo dedicato della sezione regionale, si osserva comunque una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni.

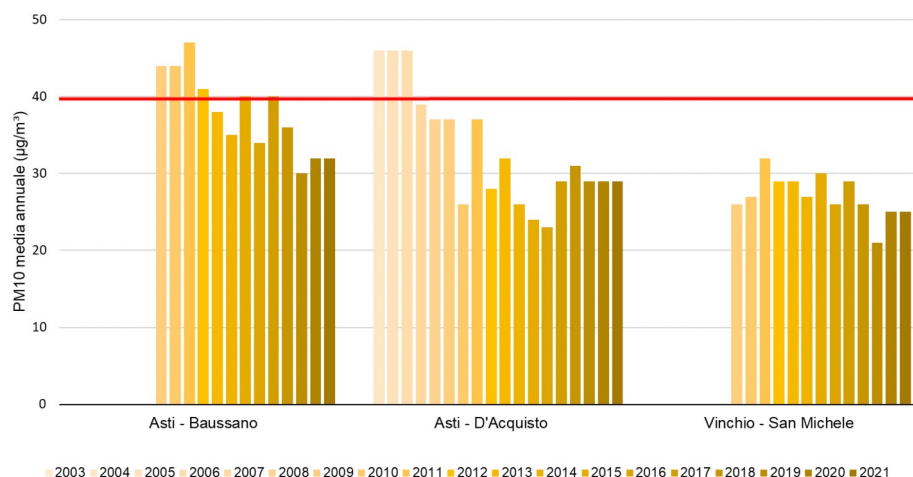


Figura 71: PM10 Provincia di Asti: confronto medie annue.

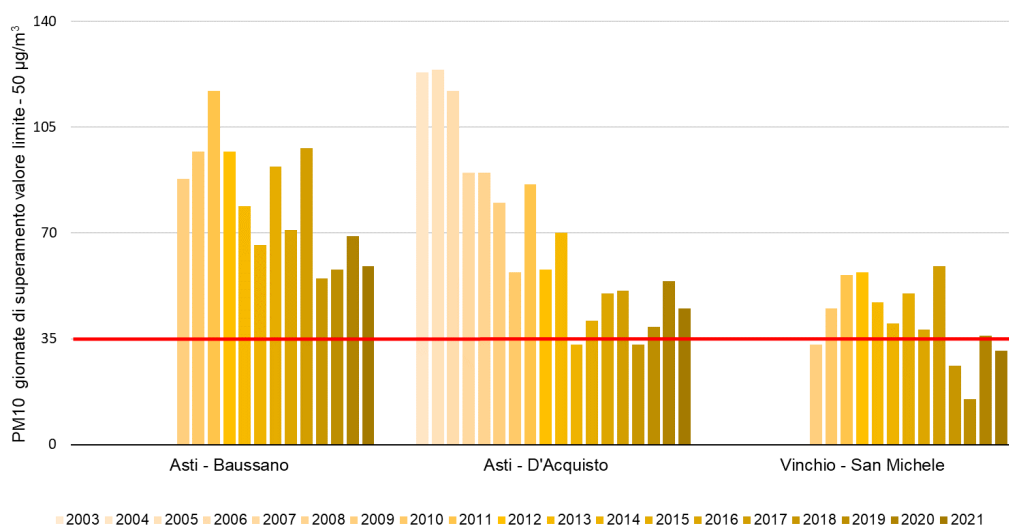


Figura 72: PM10 Provincia di Asti: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2020 e 2021 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 73 rispetto al periodo di riferimento 2013-2019. 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 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiato) 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 (2013-2019). 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 di alta pressione persistente e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento). Dal solo confronto delle serie temporali delle concentrazioni misurate non è possibile individuare scostamenti significativi rispetto agli anni precedenti attribuibili a variazioni delle emissioni conseguenti al lockdown.

Una situazione particolare si evidenzia per tutte le stazioni nel periodo compreso tra metà ottobre e fine novembre 2020, con concentrazioni elevate sia rispetto alle settimane precedenti che a quelle

successive, 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 il picco di concentrazioni rilevato da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 23 - 25 febbraio 2021 e ben visibile nei grafici, sia dovuto ad un fenomeno di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che ha interessato anche il Piemonte.

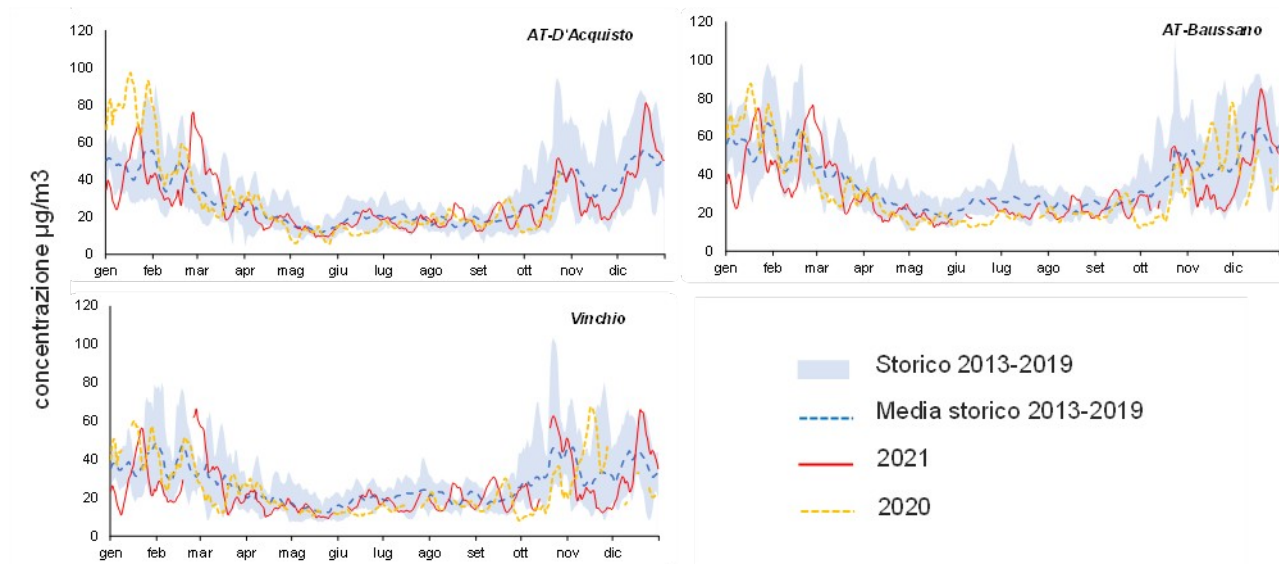


Figura 73: PM10 Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

6.3.2 Benzo(a)pirene nel PM10

Nel 2021 non si osservano superamenti del valore obiettivo presso nessuna delle stazioni provinciali ove è determinato il parametro, come dettagliato nel capitolo dedicato della sezione regionale.

Nei grafici di Figura 74 vengono rappresentati da un lato le concentrazioni medie mensili registrate dall'altro i valori mensili relativi alla percentuale in cui esso è presente nel PM10. Come visibile, analogamente agli altri inquinanti come il materiale particolato e gli ossidi di azoto, i valori medi mensili di B(a)P 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.

Anche per il 2021 la stazione con le concentrazioni più elevate di B(a)P nel PM10 risulta essere quella di Asti - Baussano, mentre non si evidenziano particolari criticità presso il sito rurale di Vinchio, anche considerando l'andamento mensile del contributo percentuale di B(a)P al PM10.

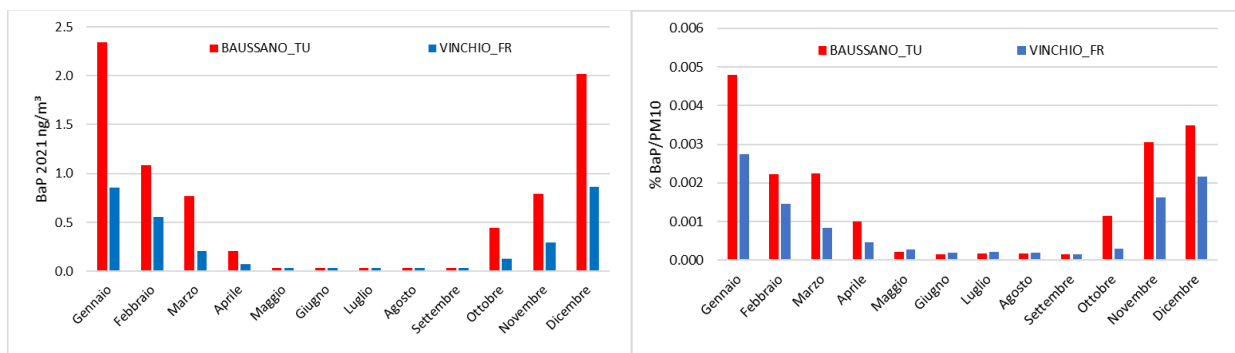


Figura 74: Benzo(a)pirene Provincia di Asti: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di B(a)P nel PM10 anno 2021.

6.3.3 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 75, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2010. I valori misurati nella stazione di Vinchio risultano leggermente inferiori a quelli rilevati presso la stazione di fondo urbano di Asti ma nel complesso 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.

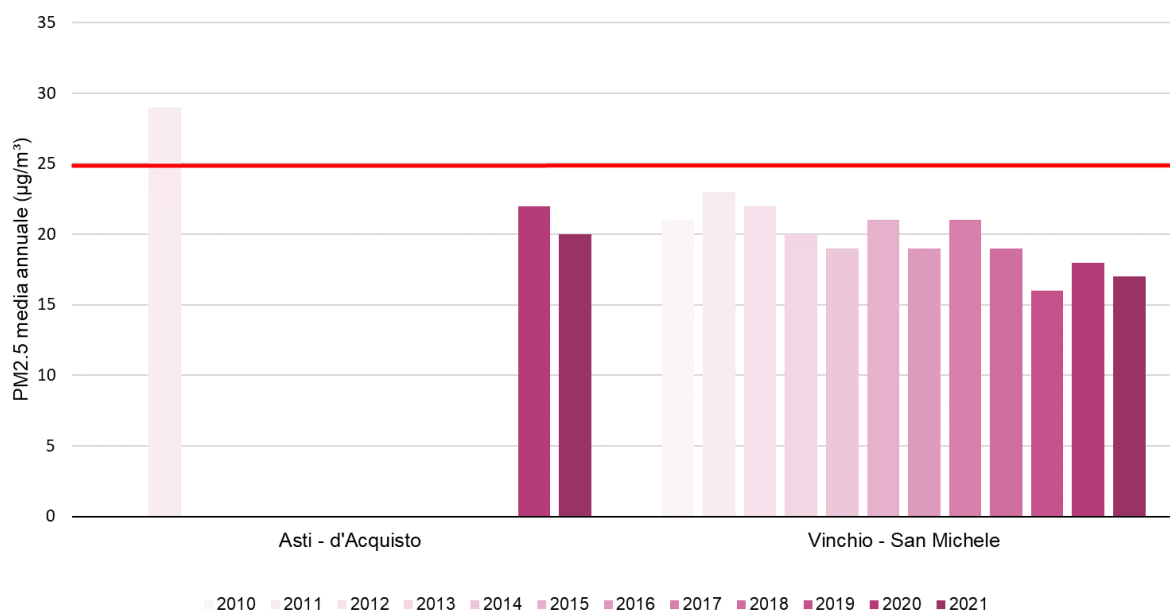


Figura 75: PM2.5 Provincia di Asti: confronto medie annue.

6.3.4 Biossido di azoto

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nel grafico di Figura 76, dove sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ registrate presso le stazioni attive nel 2021 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 Asti - 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.

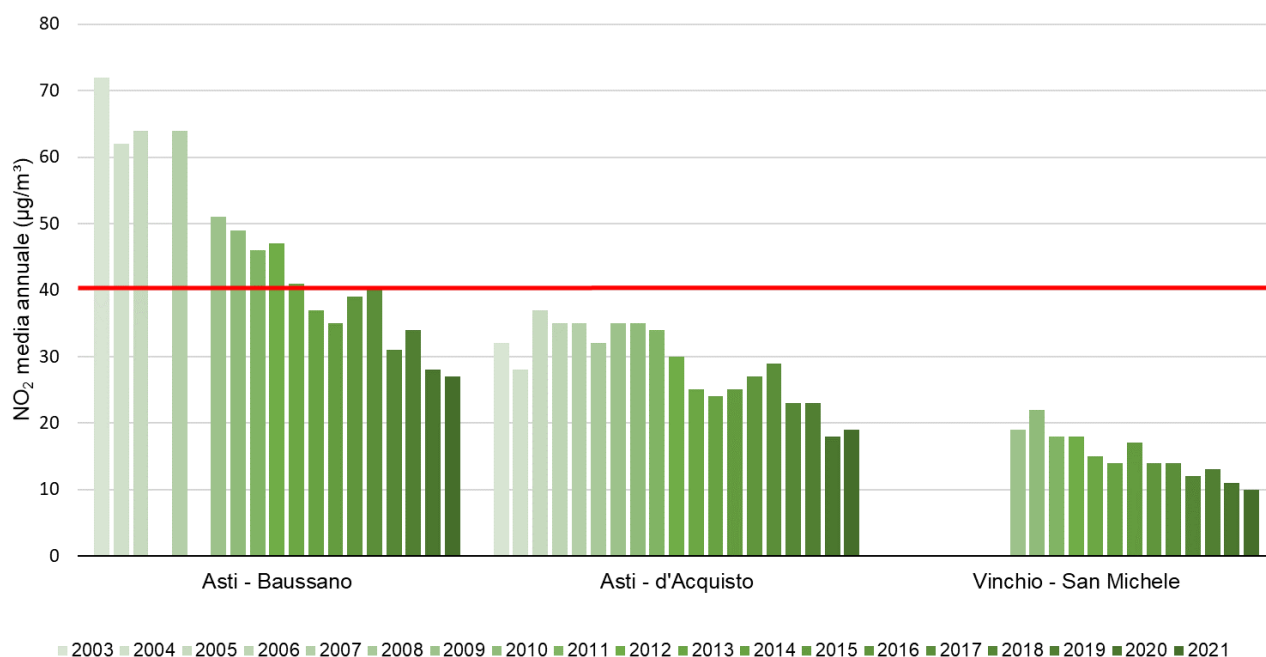


Figura 76: NO₂ Provincia di Asti: confronto medie annue.

Analogamente al PM₁₀ le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂ misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 77 e per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni. Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

Relativamente agli ossidi di azoto, i dati del 2021 di alcune stazioni urbane della provincia mostrano livelli prossimi o inferiori ai minimi del periodo di riferimento (banda azzurra) e confrontabili con quanto rilevato nel 2020 ad eccezione di quanto osservato nel mese di dicembre ove i valori raggiungono nuovamente quelle di riferimento.

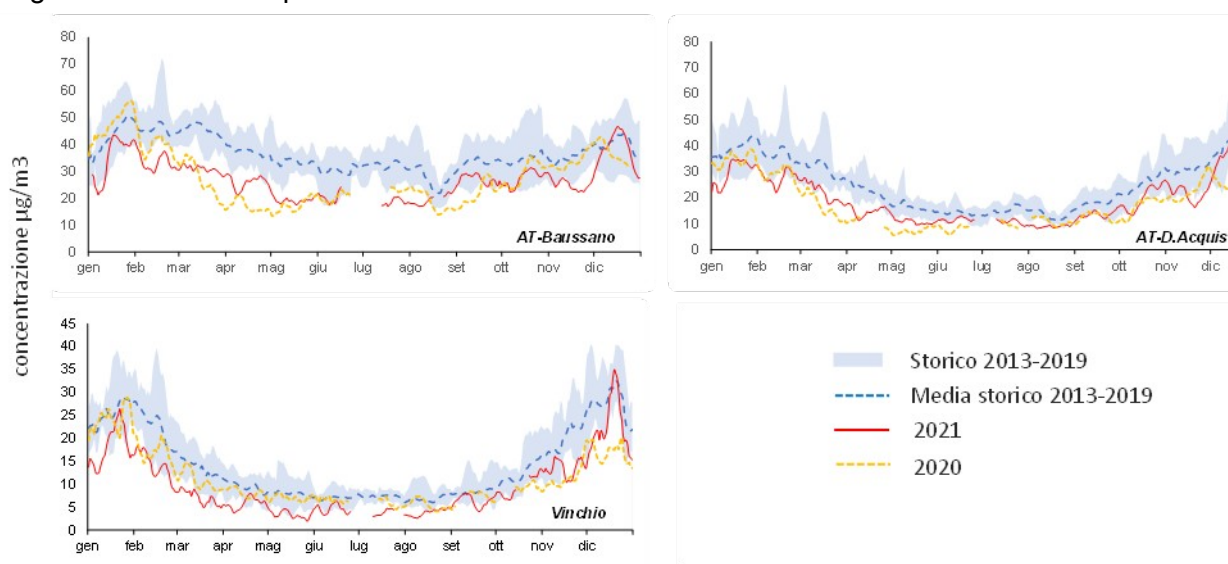


Figura 77: NO₂ Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

In Figura 78, 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 (dicembre, gennaio, febbraio - linea continua) ed estivo (giugno, luglio, agosto - linea tratteggiata), evidenziano sensibili riduzioni per

entrambi i punti di misura la domenica. 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.

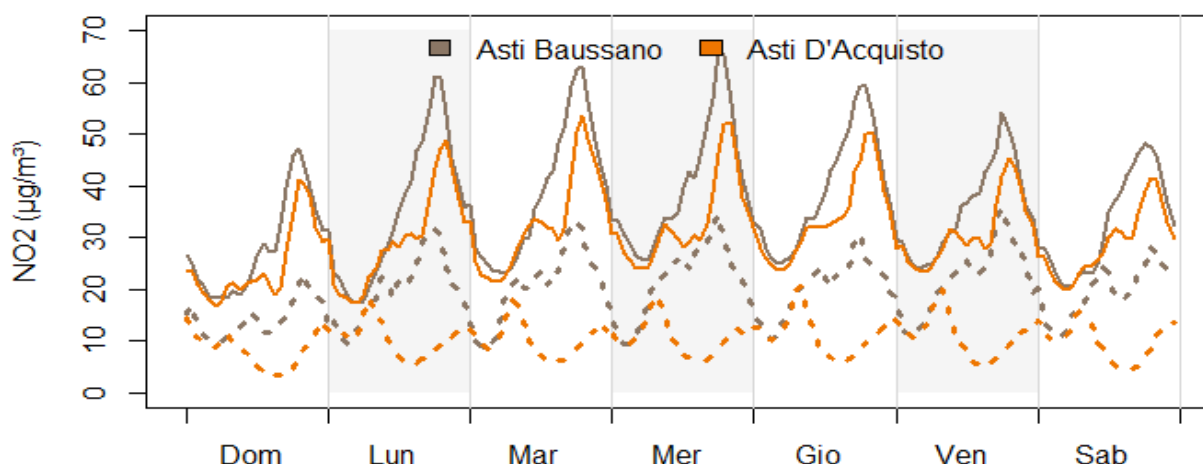


Figura 78: NO₂ Provincia di Asti: settimane tipo stazioni di Asti - Baussano e Asti - D'Acquisto. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.3.5 Ozono

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. Nei grafici di Figura 79 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2021, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni.

Nonostante il confronto con i limiti specifici per questo inquinante risulti ancora critico, la tendenza alla riduzione, valutata numericamente tramite lo stimatore Theil-Sen, ha evidenziato, come dettagliato nel paragrafo dedicato, una tendenza alla diminuzione, statisticamente significativa solo per la stazione urbana di Asti - D'Acquisto, in entrambe le stazioni di misura.

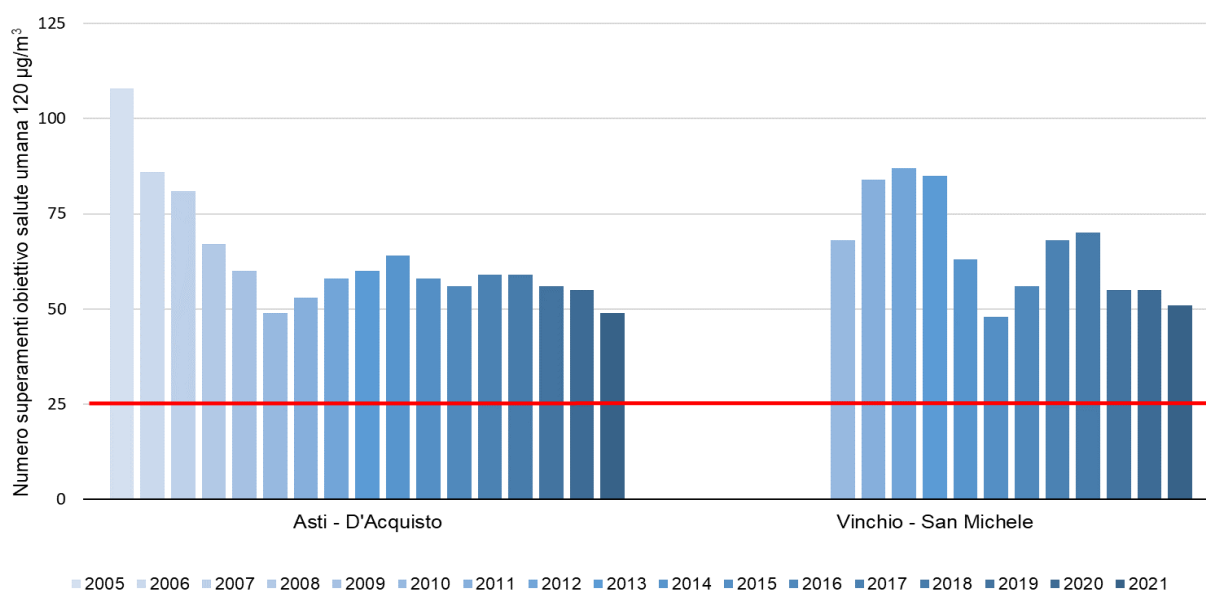


Figura 79: O₃ Provincia di Asti: confronto superamenti del valore obiettivo per la salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante del 2021, illustrato in Figura 80, si evidenziano alcuni periodi di superamento dei valori storici che possono essere osservati in entrambe le stazioni della rete in cui viene effettuato

il monitoraggio: nel mese di aprile, nel periodo agosto-settembre e per Asti - D'Acquisto tra metà maggio e metà giugno.

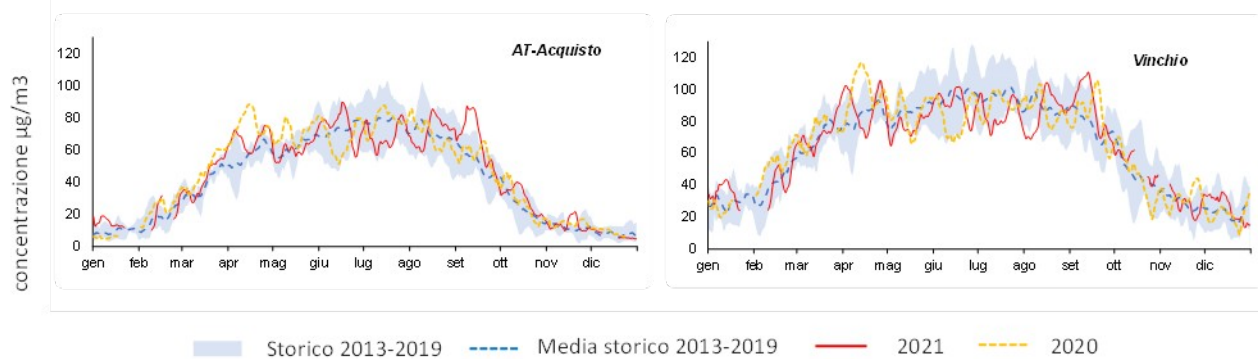


Figura 80: O₃ Provincia di Asti: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 81.

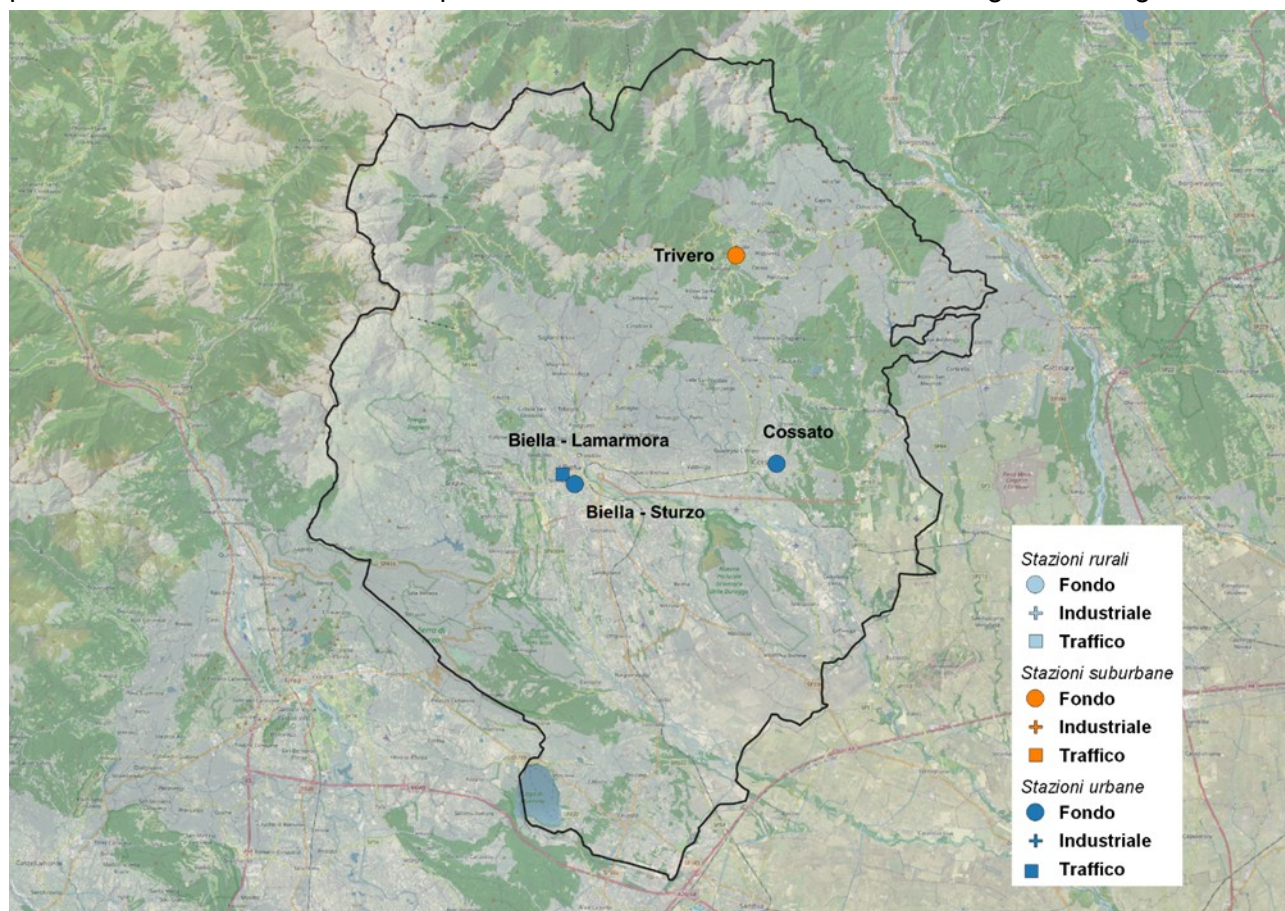


Figura 81 - Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Biella

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 82 e Figura 83, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2021 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.

I dati del 2021 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.

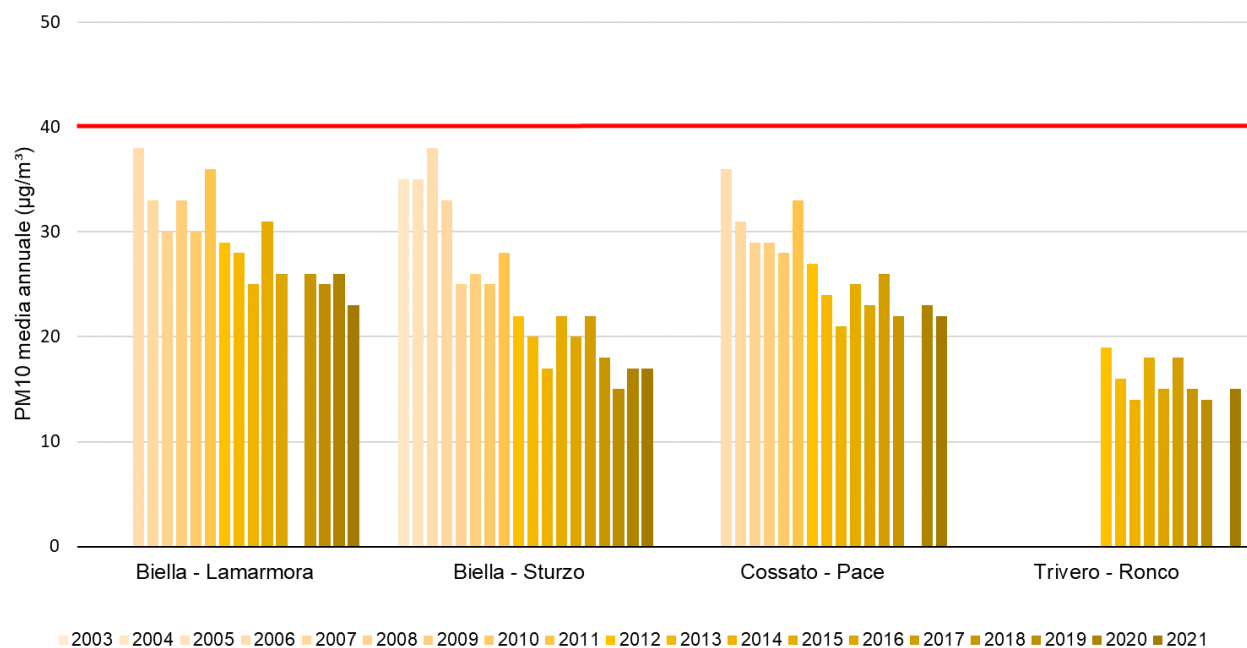


Figura 82: PM10 Provincia di Biella: confronto medie annue.

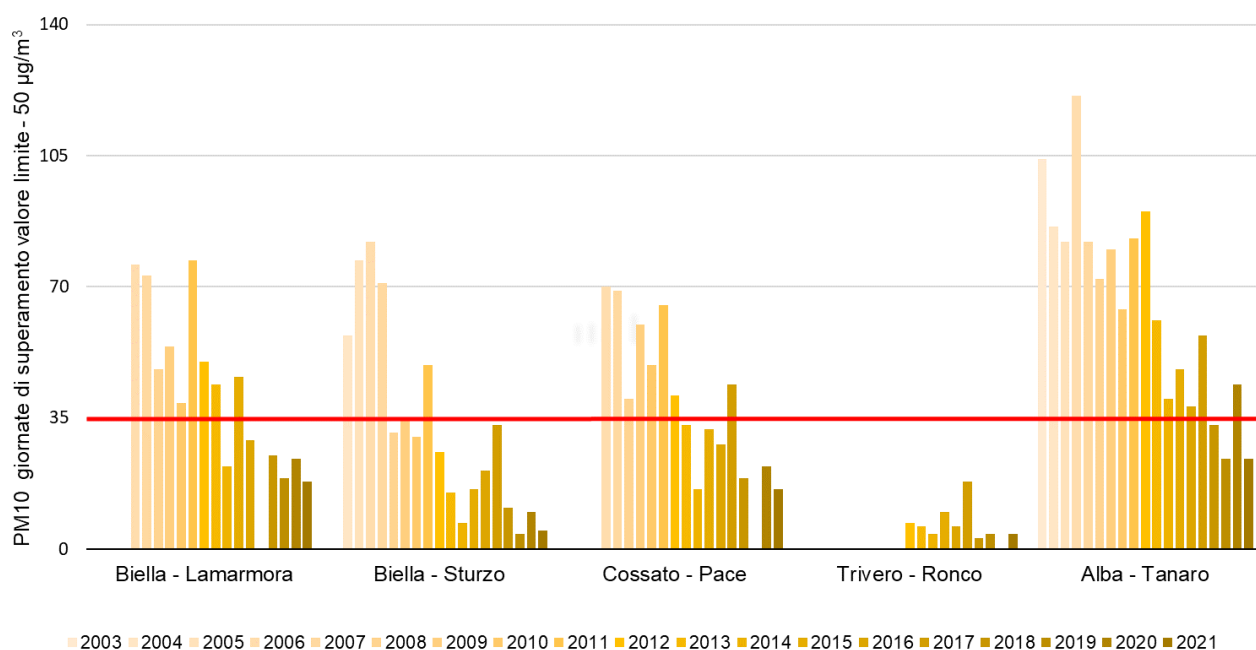


Figura 83: PM10 Provincia di Biella: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2020 e 2021 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2019 sono riportate nei grafici di Figura 84. 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 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiato) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2019 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.

In primo luogo, 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).

Dal confronto delle serie di concentrazioni misurate negli ultimi due anni (linea rossa e linea tratteggiata gialla) non si evincono scostamenti significativi rispetto agli anni precedenti (area azzurra), nemmeno durante le restrizioni alle attività e alla mobilità, introdotte al fine del contenimento dell'emergenza epidemiologica da COVID-19.

Una situazione particolare si evidenzia per tutte le stazioni nel periodo compreso tra metà ottobre e fine novembre 2020, con concentrazioni elevate sia rispetto alle settimane precedenti che a quelle successive, 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 il picco di concentrazioni rilevato da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 23 - 25 febbraio 2021 e ben visibile nei grafici, sia dovuto ad un fenomeno di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che ha interessato anche il Piemonte.

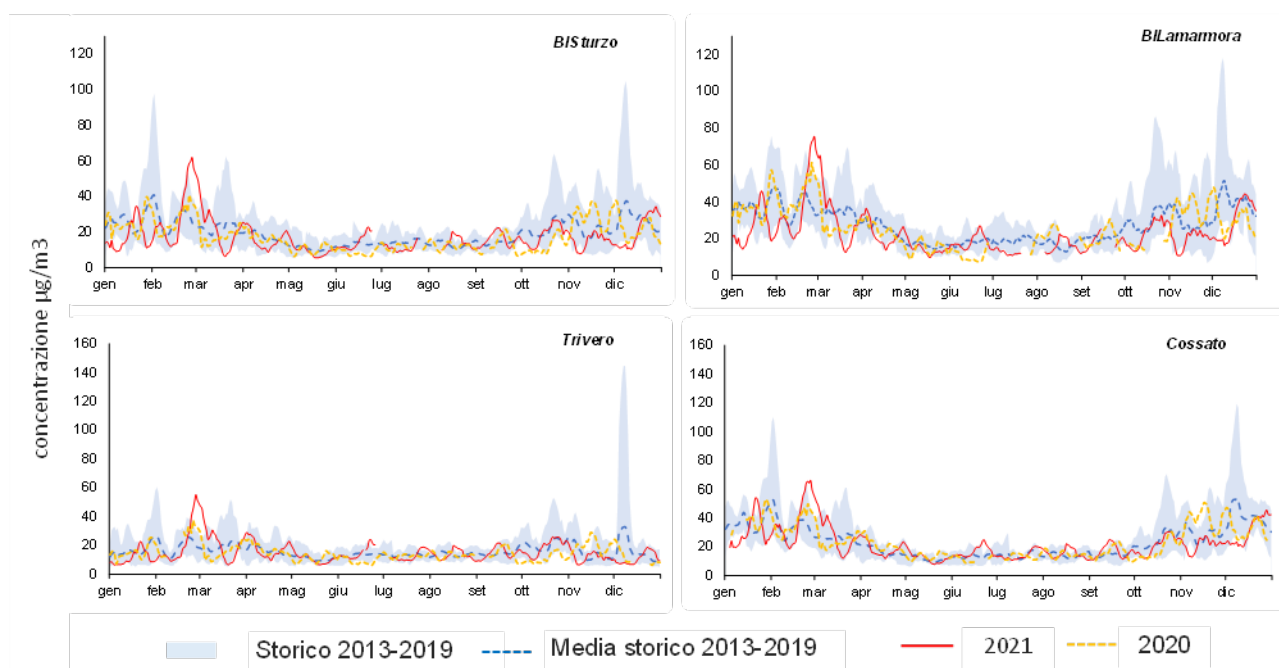


Figura 84 - PM10 Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

6.4.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 85 sono rappresentate le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)pirene, registrate nelle stazioni della provincia ove è determinato, ed i valori della percentuale in cui è presente nel PM10 su base mensile.

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

Infatti, nei mesi più caldi l'elevata radiazione solare contribuisce alla degradazione degli IPA, mentre nei mesi freddi e autunnali si creano condizioni di inversione termica favorevoli all'accumulo degli inquinanti. In particolare, le polveri PM10 risultano arricchite di questi composti

dovuti principalmente al contributo delle emissioni da combustione della legna per il riscaldamento domestico.

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 2021, analogamente agli anni precedenti, le concentrazioni di media annua di benzo(a)pirene nel PM10 risultino ampiamente inferiori al valore obiettivo fissato dalla normativa (1.0 ng/m^3), attestandosi a valori compresi tra $0.1 - 0.5 \text{ ng/m}^3$.

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

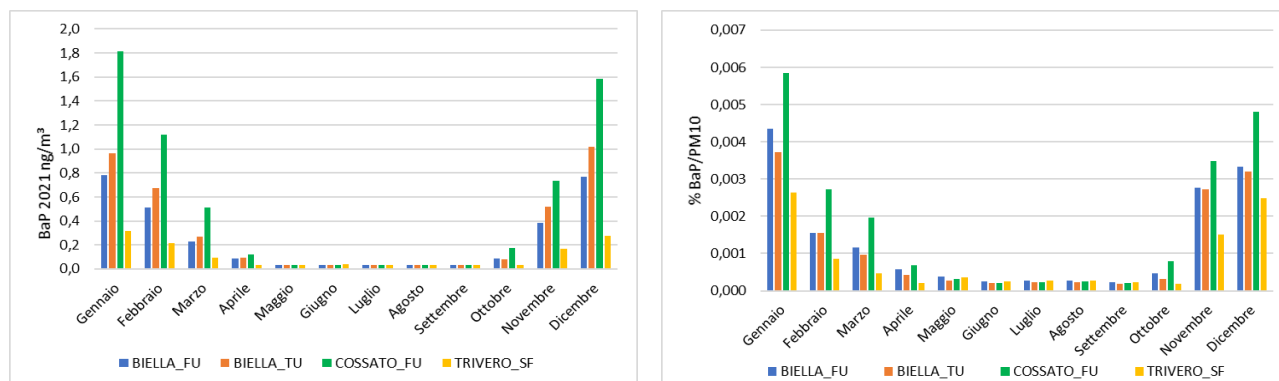


Figura 85: Benzo(a)pirene Provincia di Biella: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2021.

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.

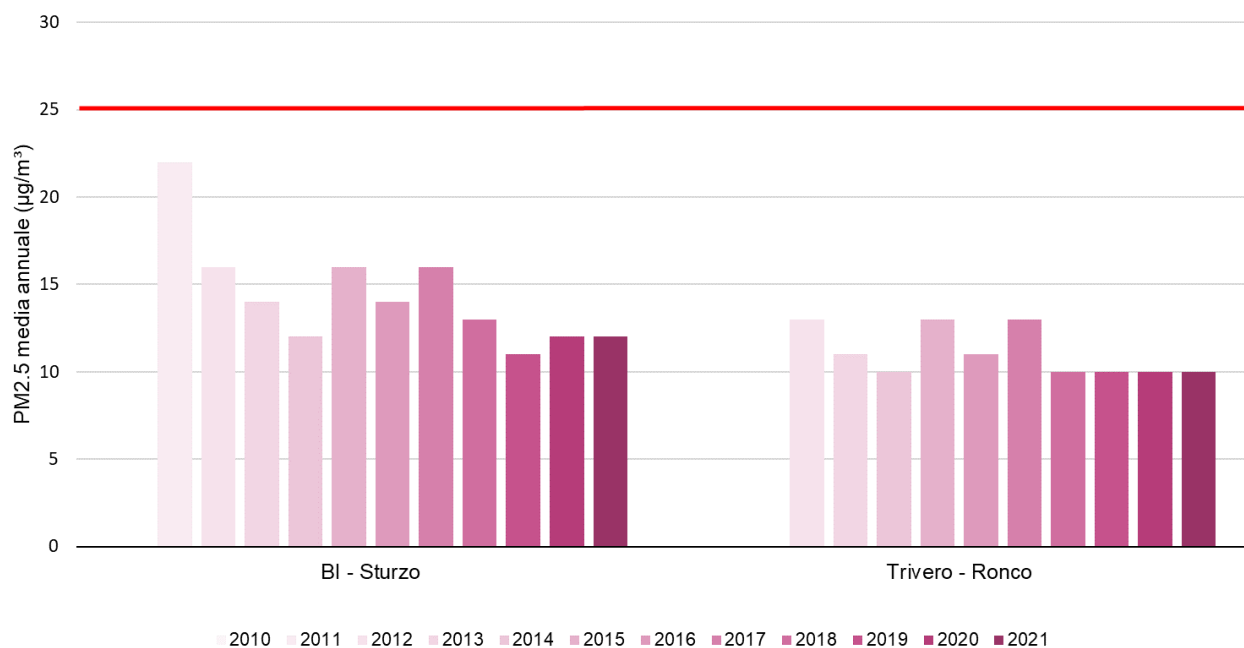


Figura 86: PM2.5 Provincia di Biella: confronto medie annue.

6.4.4 Biossido di azoto

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 2021 da cui si evince che nel 2021 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 2021 la concentrazione media è stata pari a 26 µg/m³.

Nelle restanti stazioni di fondo urbano di Biella (Biella - Sturzo) e Cossato le medie si attestano a 17 µg/m³, mentre la stazione di fondo suburbana di Trivero ha presentato il dato più basso della provincia, pari a 10 µg/m³, ma con un numero di dati inferiore all'obiettivo di qualità dei dati del 90% (79%).

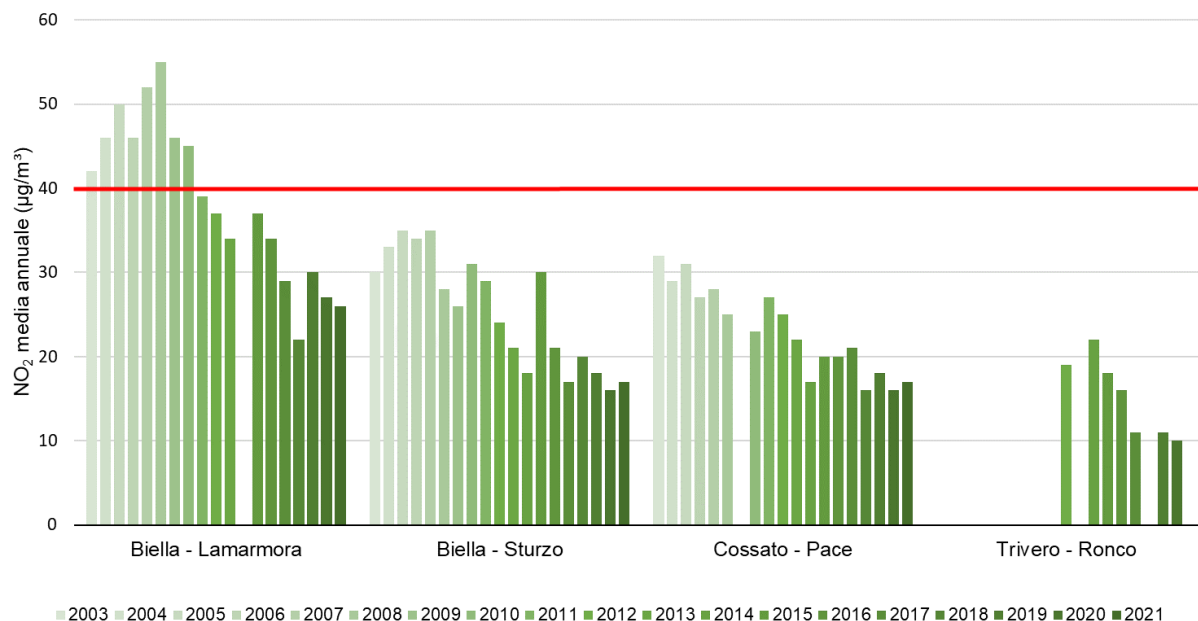


Figura 87: NO₂ Provincia di Biella: confronto medie annue.

Le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO₂, misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono rappresentate nei grafici di Figura 88 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Dall'osservazione attenta dei grafici si evidenzia il caratteristico comportamento stagionale.

In tutte le stazioni i dati relativi all'anno 2021 mostrano livelli prossimi o inferiori ai minimi del periodo di riferimento 2013-2019 (banda azzurra) e sono confrontabili con quelli relativi all'anno 2020, ad eccezione del periodo di "lockdown" in cui si osserva una lieve diminuzione.

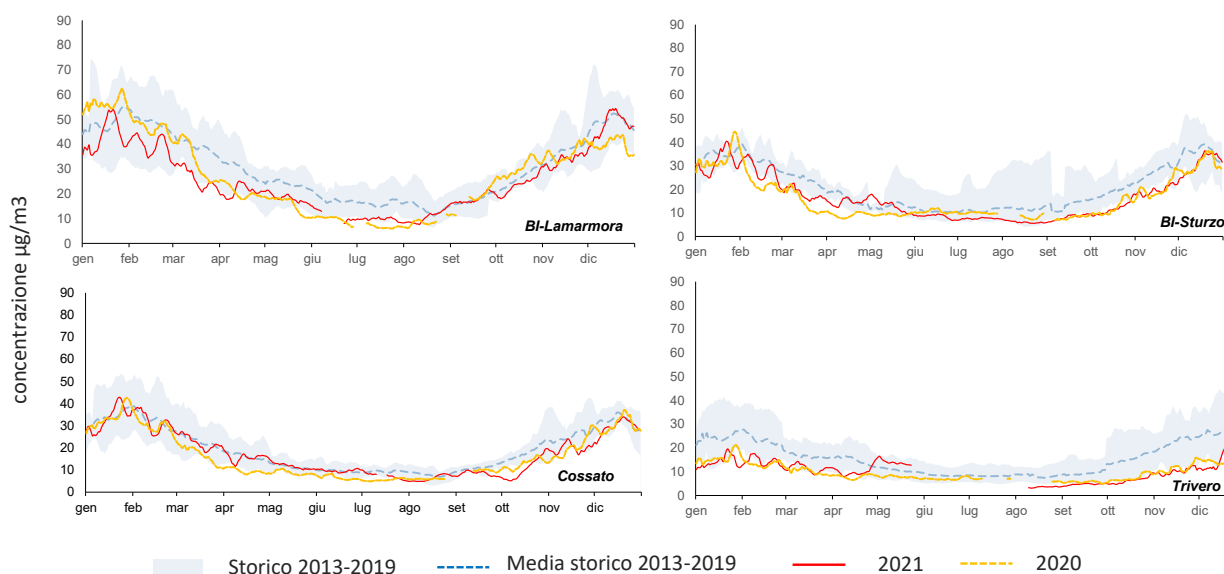


Figura 88: NO₂ Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 2021, 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 entrambe riduzioni di concentrazione la domenica, sia nel periodo invernale che in quello estivo.

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.

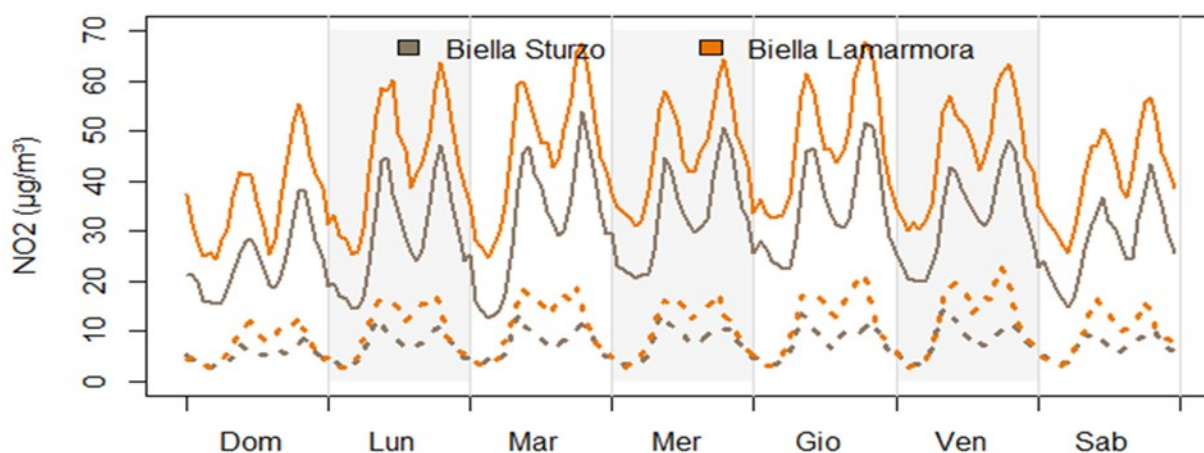


Figura 89 – NO₂ Provincia di Biella: settimane tipo stazioni di Biella Sturzo e Biella Lamarmora. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.4.5 Ozono

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 2021.

Nelle stazioni della provincia di Biella, come già evidenziato a livello regionale, pur confermandosi la criticità dovuta alle complesse dinamiche di formazione e trasformazione, si rileva una diminuzione del numero di superamenti.

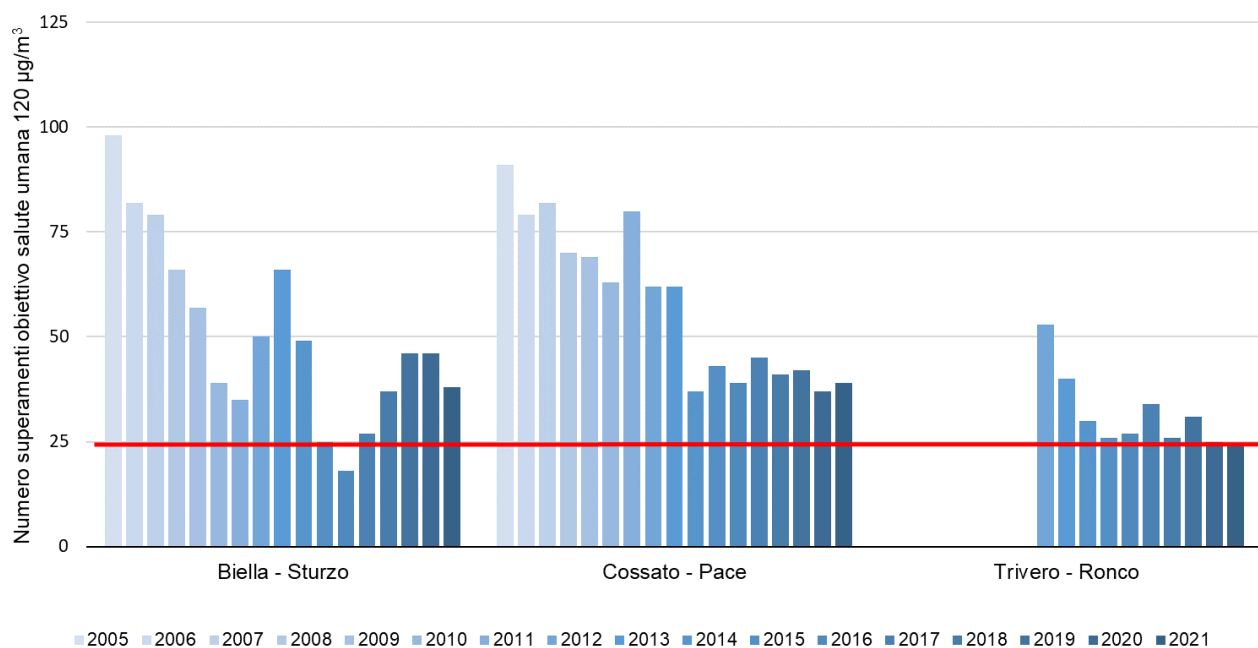


Figura 90: O₃ Provincia di Biella: numero superamenti obiettivo salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, nei grafici di Figura 91 si evidenziano alcuni periodi di scostamento rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2019, per entrambe le stazioni della rete, sia nell'anno 2020 (linea gialla tratteggiata) che nell'anno 2021 (linea rossa) in particolare nel periodo compreso tra la seconda decade di agosto e metà settembre.

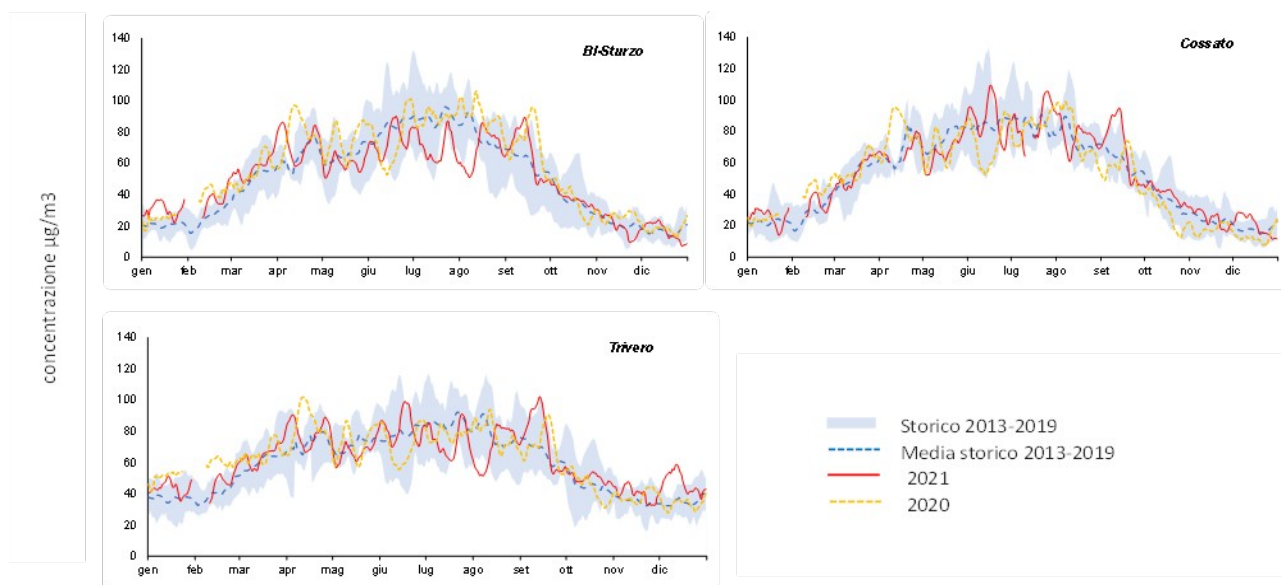


Figura 91 – O₃ Provincia di Biella: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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.

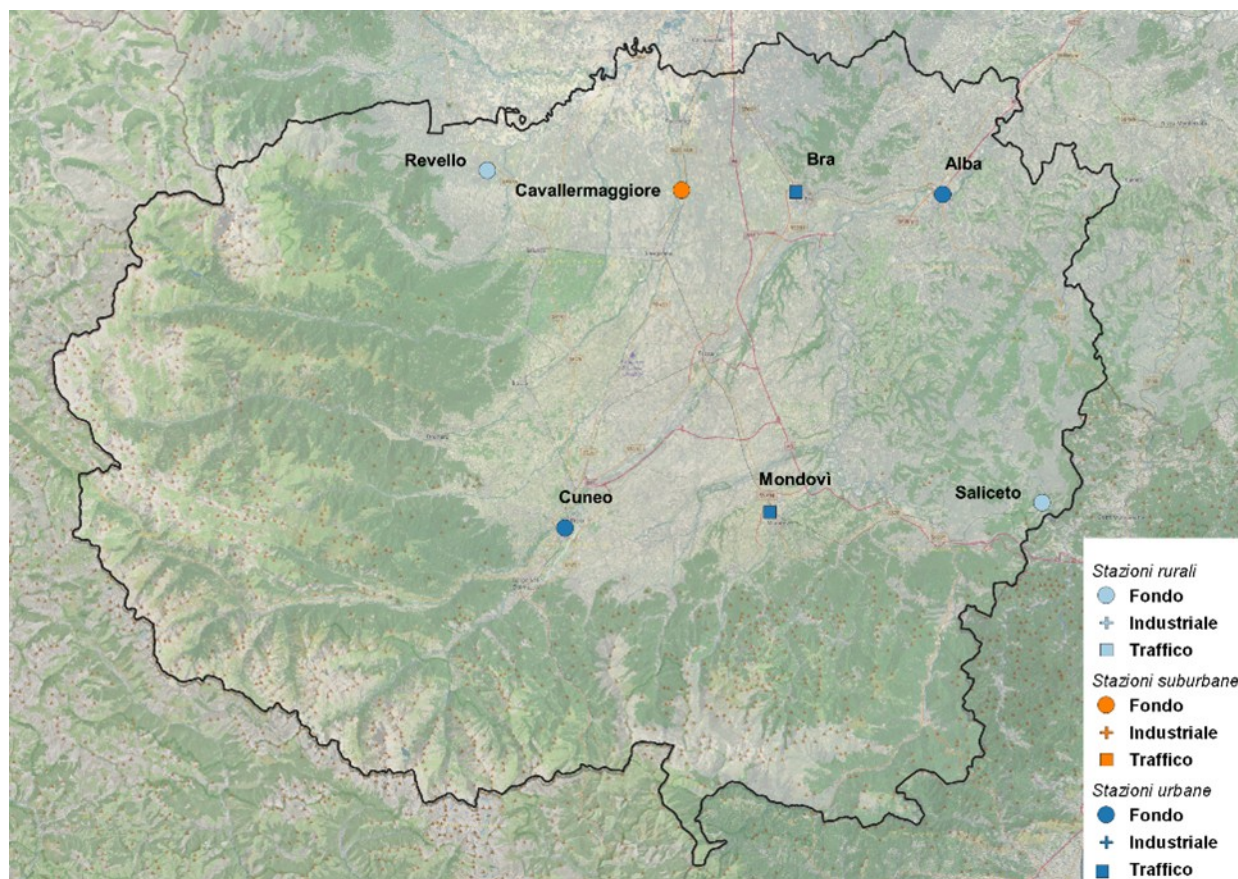


Figura 92: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Cuneo.

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 i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2021 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 2021 è stato ancora superiore al limite di legge nel sito di Bra e presso la nuova stazione di Cavallermaggiore.

I trend di riduzione delle concentrazioni sono quantificati per ciascuna stazione nel paragrafo dedicato nella sezione regionale.

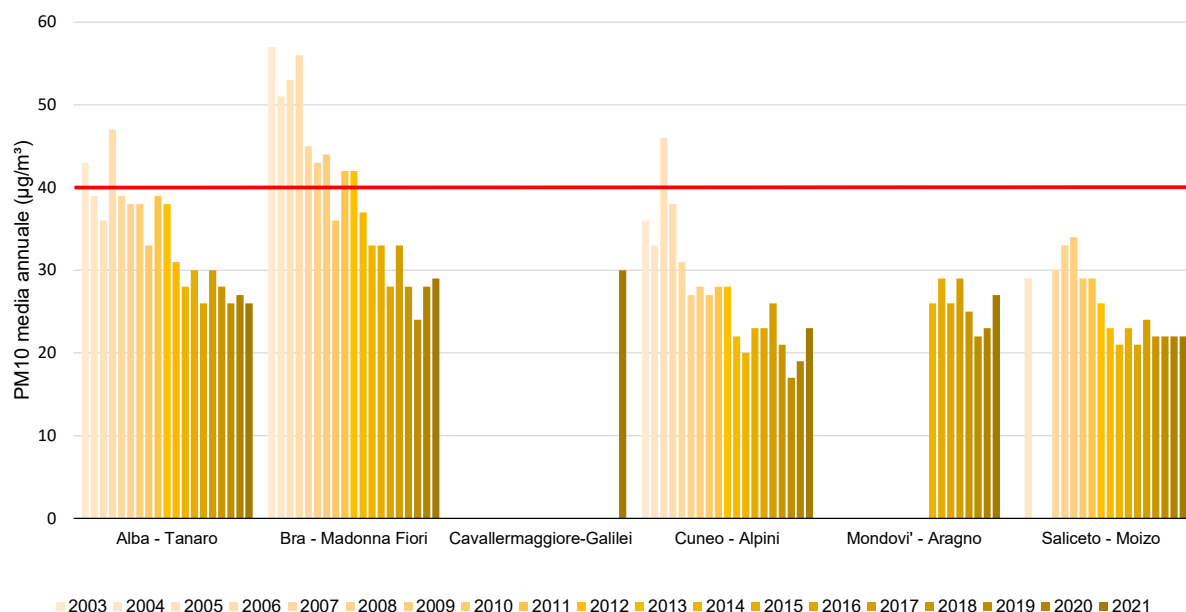


Figura 93: PM10 Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

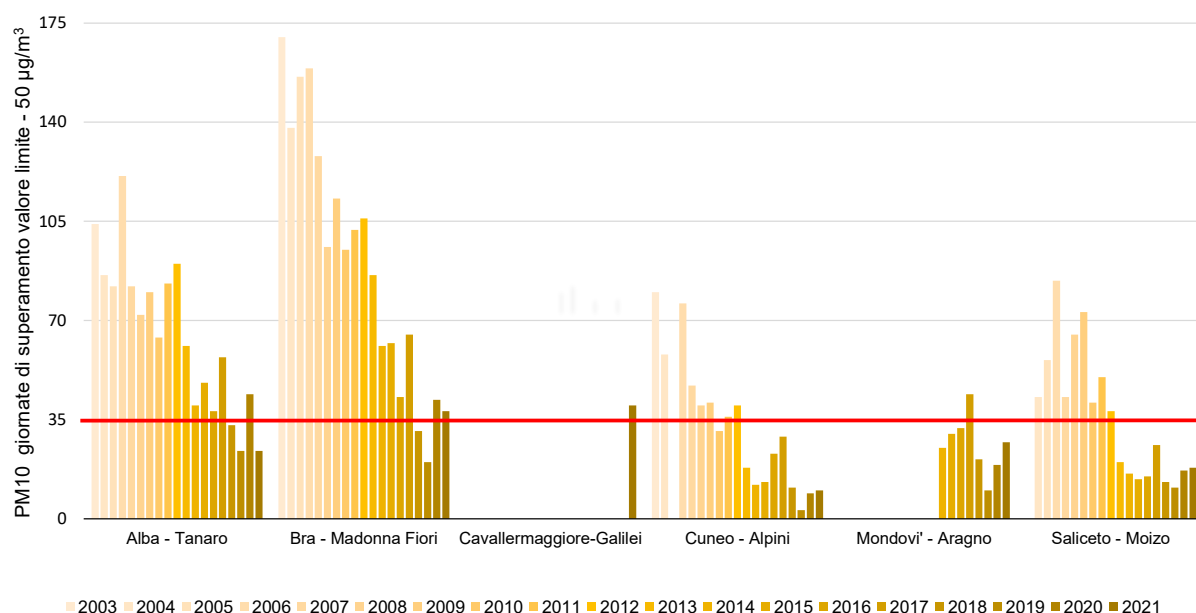


Figura 94: PM10 Provincia di Cuneo: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni giornaliere delle polveri sottili (PM10) misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre del 2020 e del 2021 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 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiato) 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 (2013-2019).

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.

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). A causa di questa forte influenza della meteorologia, dal solo confronto delle serie temporali delle concentrazioni misurate non è possibile individuare scostamenti significativi rispetto agli anni precedenti attribuibili a variazioni delle emissioni conseguenti alle restrizioni introdotte per fronteggiare l'emergenza da Covid 19. Sono invece evidenti, per tutte le stazioni, situazioni particolari di accumulo: nel periodo compreso tra metà ottobre e fine novembre 2020, nella seconda decade di gennaio 2021, dalla metà di febbraio alla prima decade di marzo (cui si è aggiunto, nei giorni intorno al 23 - 25 febbraio 2021, un importante contributo di polvere e sabbia trasportate dal Sahara), nella seconda metà di ottobre 2021 e nella seconda decade di dicembre 2021.

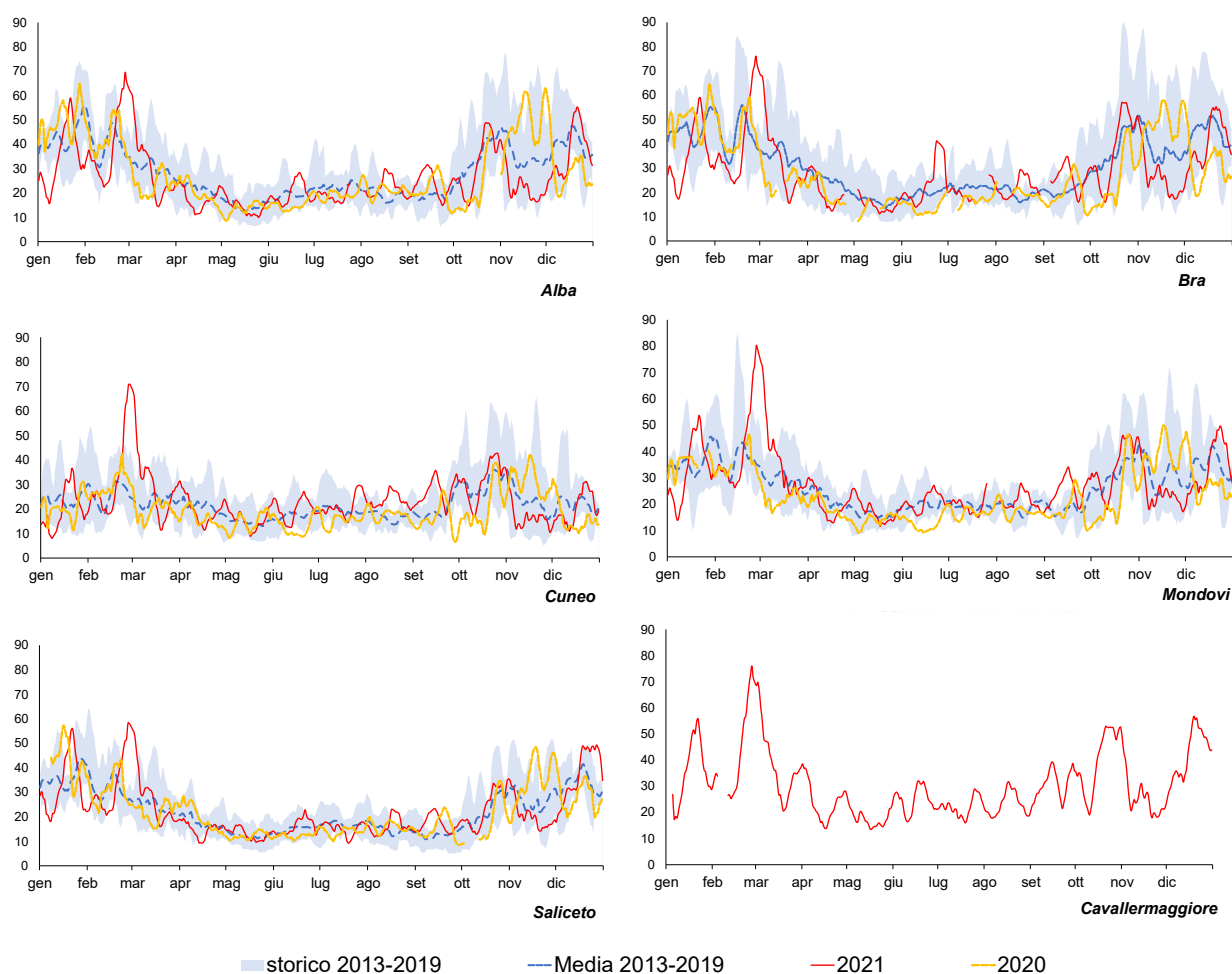


Figura 95: PM10 Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 capitolo regionale evidenzia come nel 2021 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 2021 in ciascuna stazione della provincia è riportato nel grafico di sinistra della Figura 96, 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 2021 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.

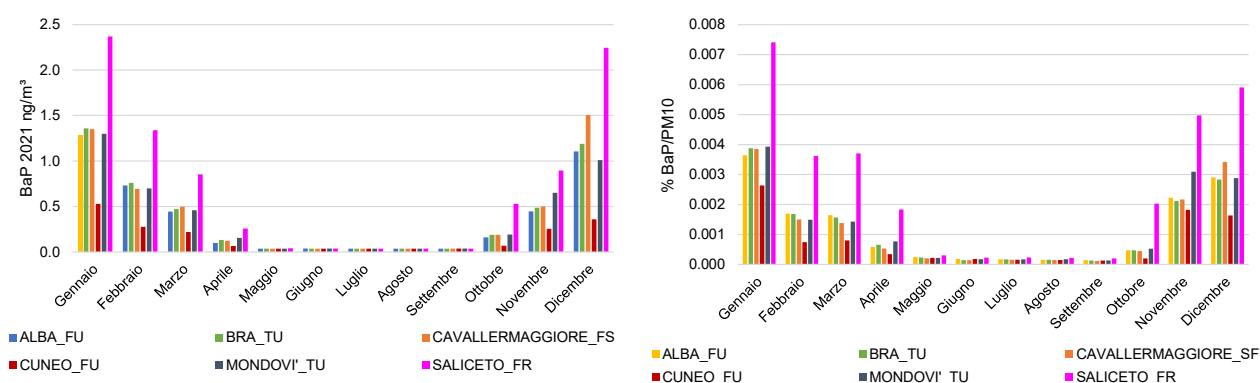


Figura 96: Benzo(a)pirene Provincia di Cuneo: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili di B(a)P nel PM10 anno 2021.

6.5.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella provincia di Cuneo la misura della frazione di particolato con diametro inferiore a $2.5 \mu\text{m}$ è iniziata nel 2011 presso la stazione di Cuneo. Nel 2014 è stata implementata presso le stazioni di Mondovì e Revello, 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 97, dove sono confrontate le concentrazioni medie dell'inquinante nel 2021 per le annualità disponibili. I livelli più elevati di questo inquinante sono stati finora osservati presso la stazione di Revello - Staffarda, dove la media annua ha superato il limite di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2015 e nel 2017, ma dove è forte il contributo locale della componente terrigena nei mesi "asciutti", primaverili ed estivi in particolare. Nel 2021 il limite è stato rispettato in tutta la provincia.

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.

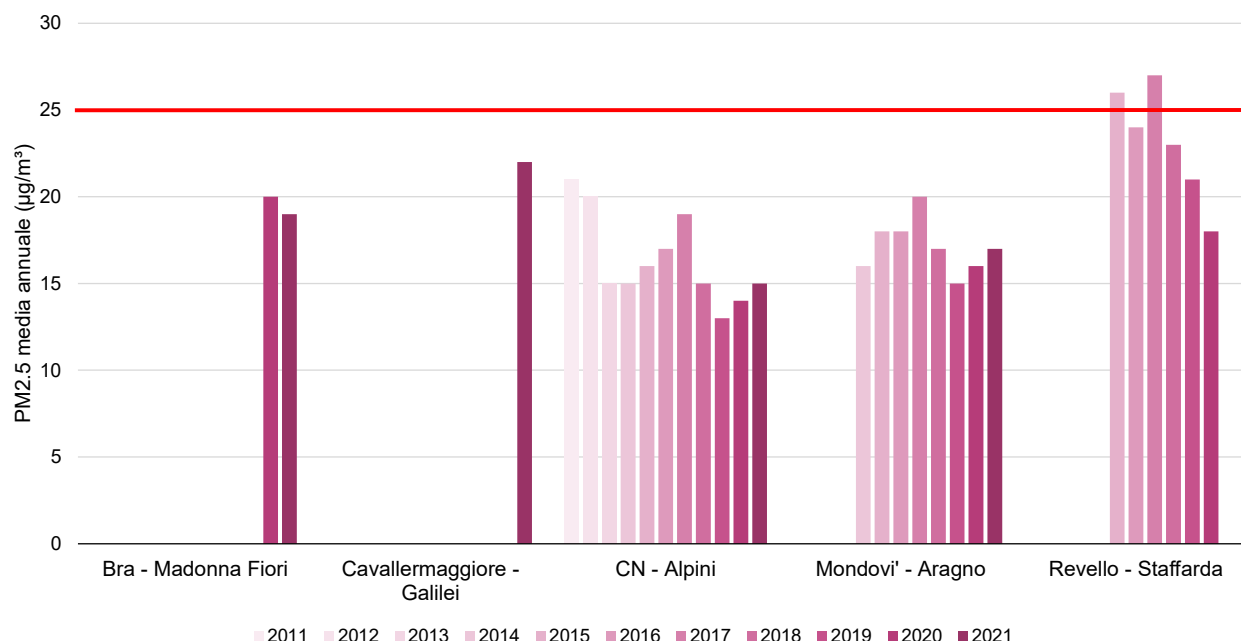


Figura 97: PM2.5 Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

6.5.4 Biossido di azoto

Le concentrazioni medie annue di biossido di azoto rilevate in tutte le stazioni della rete provinciale attive nel 2021 sono riportate, nel grafico di Figura 98, insieme a quelle degli anni precedenti e confrontate con il limite normativo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 dedicato nella sezione regionale.

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 2021 ha registrato il livello più basso tra le stazioni urbane. I valori più elevati 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, dove le restrizioni introdotte nel 2020 per contenere l'emergenza da COVID-19 hanno determinato le maggiori variazioni nelle concentrazioni di NO_2 , la media annua è 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 pari a quella misurata nel sito di Bra - Madonna dei Fiori.

Il limite normativo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è ampiamente rispettato in tutti i siti.

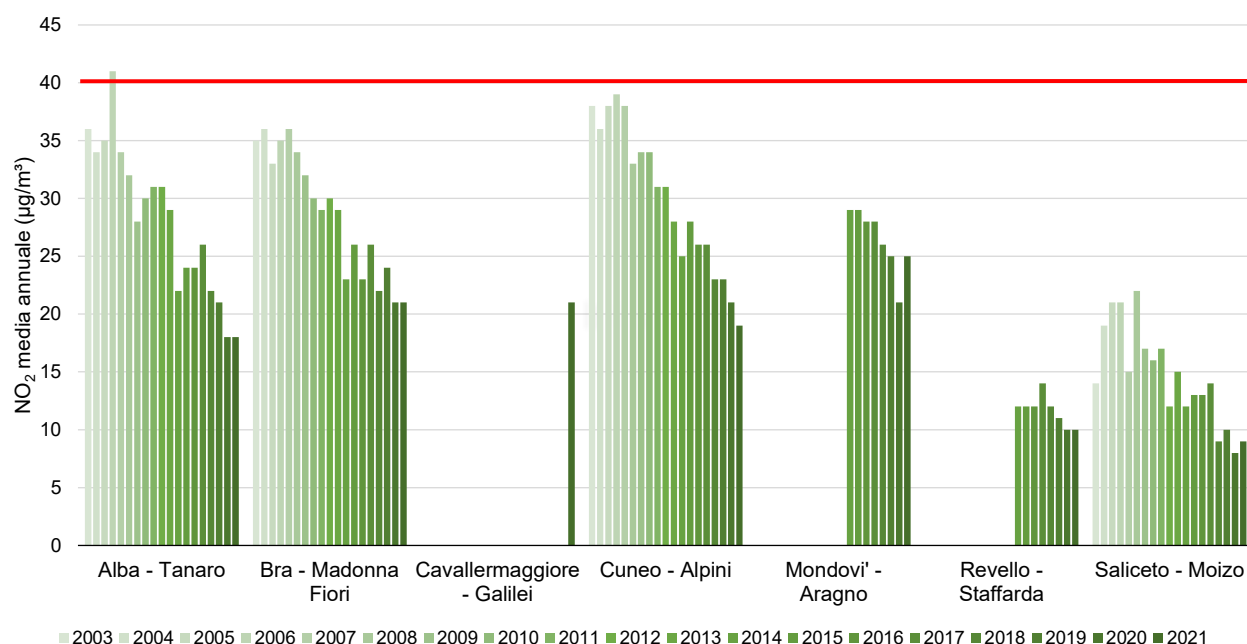


Figura 98: NO₂ Provincia di Cuneo: confronto medie annue.

Analogamente al PM₁₀ le serie temporali delle concentrazioni giornaliere del biossido di azoto misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre del 2020 e del 2021 da ciascuna stazione della provincia sono riportate nei grafici di Figura 99 come medie mobili calcolate su sette giorni. Le concentrazioni del 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiato) 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 (2013-2019).

Anche per questo inquinante viene evidenziato il caratteristico comportamento stagionale.

Le concentrazioni di NO₂ nelle stazioni urbane, dopo l'importante riduzione che si era verificata con la "Fase 1" dell'emergenza sanitaria (da circa metà marzo ai primi di maggio 2020), si sono per lo più mantenute a valori prossimi ai minimi del periodo di riferimento sia nella rimanente parte del 2020 che nel 2021.

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

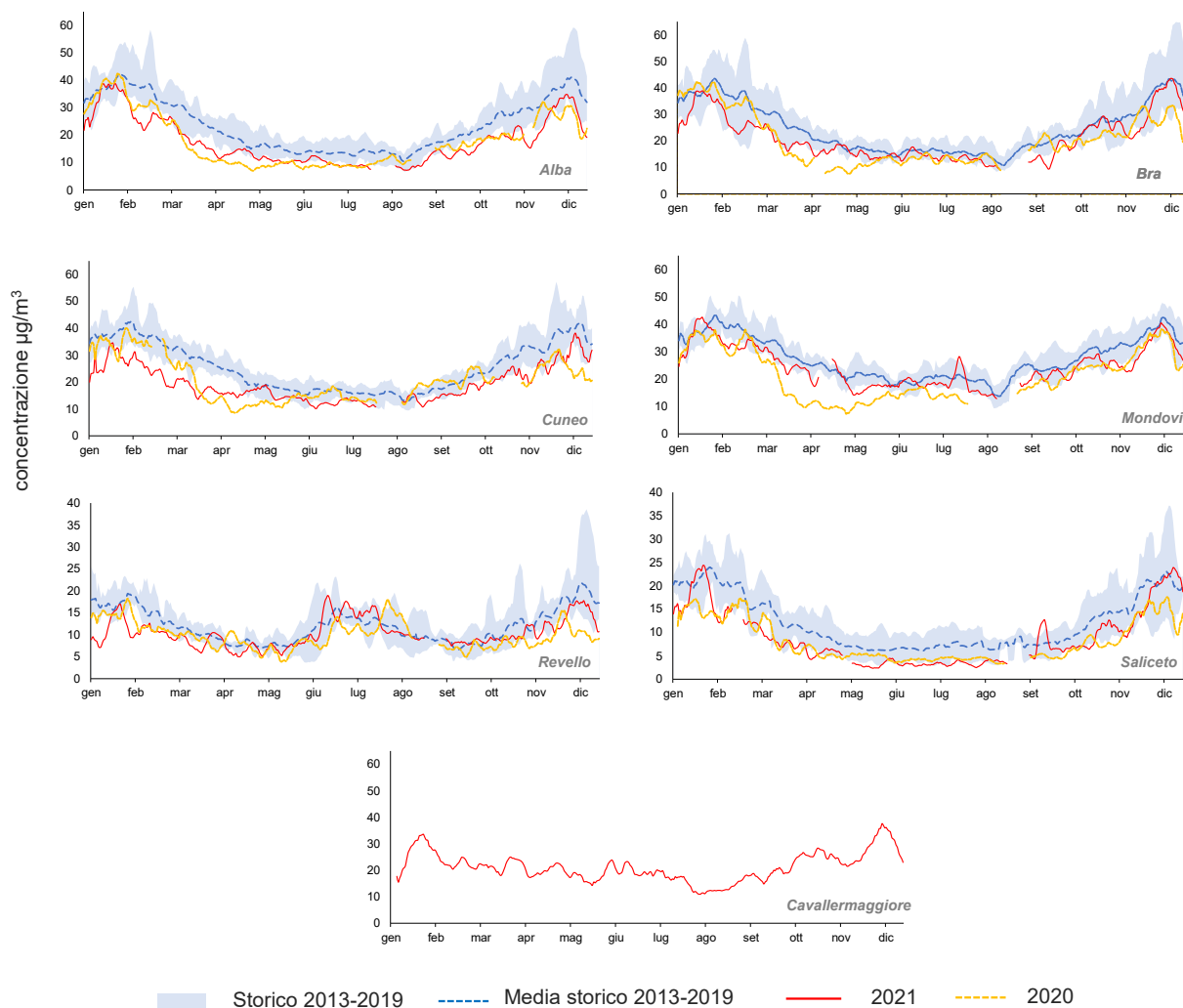


Figura 99: NO₂ Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 2021, 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 100, 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.

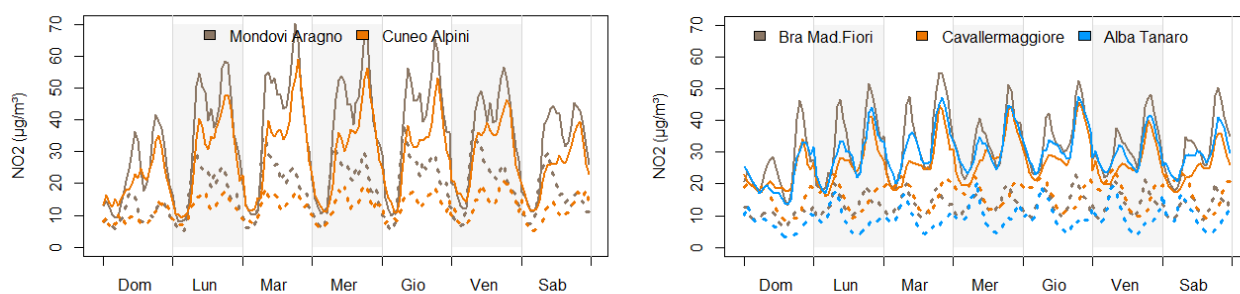


Figura 100: NO₂ Provincia di Cuneo: settimane medie delle stazioni dei centri abitati della zona sud (a sinistra) e della zona nord (a destra). Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.5.5 Ozono

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 101 per gli anni dal 2005 al 2021 (il dato attribuito al 2021 è relativo al triennio 2019-2021). Il numero medio dei giorni di superamento dell'ultimo triennio permane al di sopra della soglia prevista nelle due stazioni urbane della provincia. Anche per questo inquinante è evidente come, per le stazioni dove la misura è iniziata nel 2003, si sia verificato un miglioramento nel tempo (quantificato nel corrispondente paragrafo della sezione regionale), è altresì evidente come la situazione si sia pressoché stabilizzata negli ultimi anni, mantenendo una variabilità interannuale dovuta alle condizioni meteorologiche.

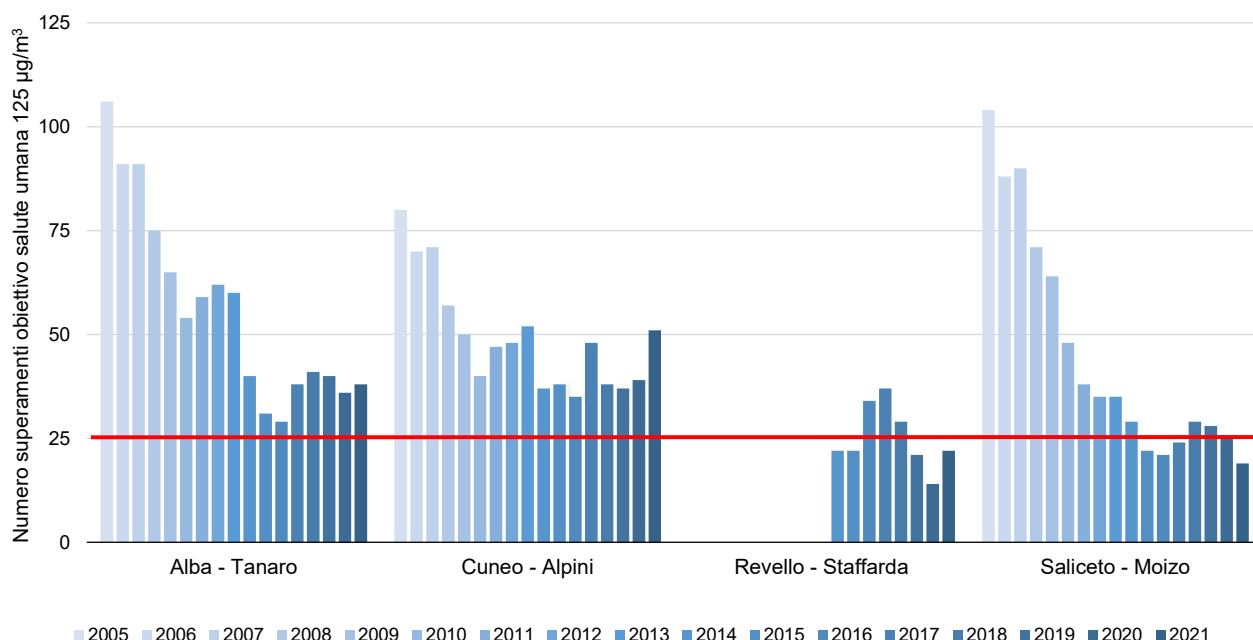


Figura 101: O₃ Provincia di Cuneo: numero superamenti obiettivo salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni giornaliere dell'inquinante del 2021, nei grafici di Figura 102 si evidenziano in tutte le stazioni alcuni periodi con concentrazioni elevate rispetto agli anni di riferimento, uno di questi, particolarmente lungo, è quello compreso tra la seconda decade di agosto e metà settembre.

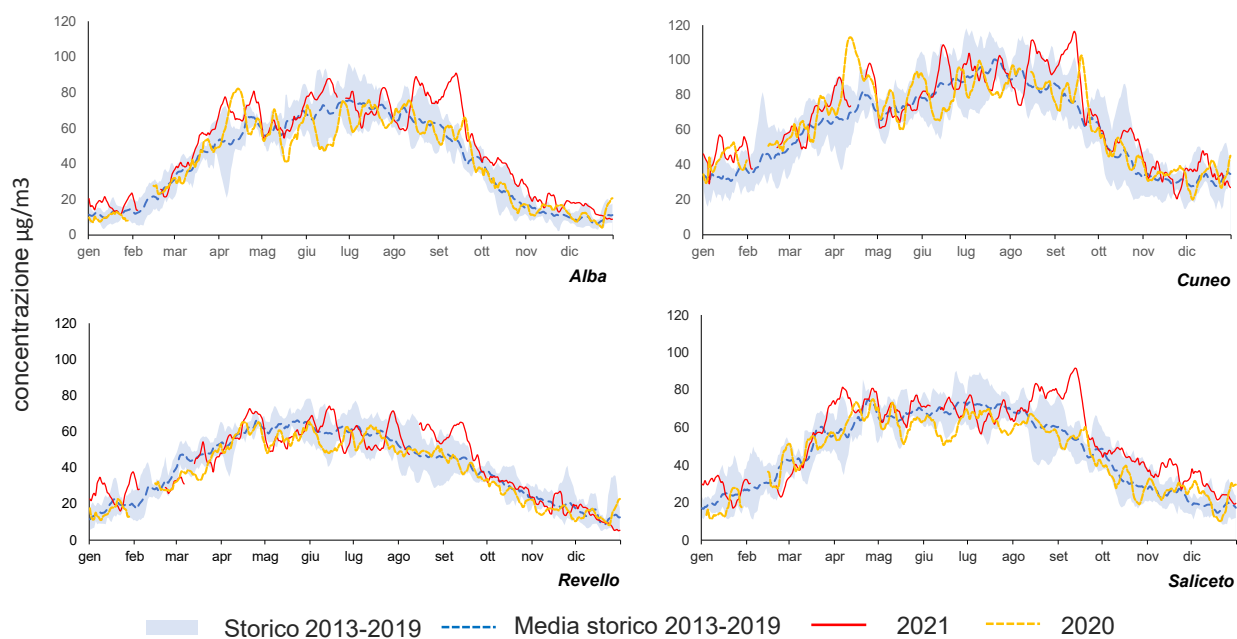


Figura 102: O₃ Provincia di Cuneo: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 103.

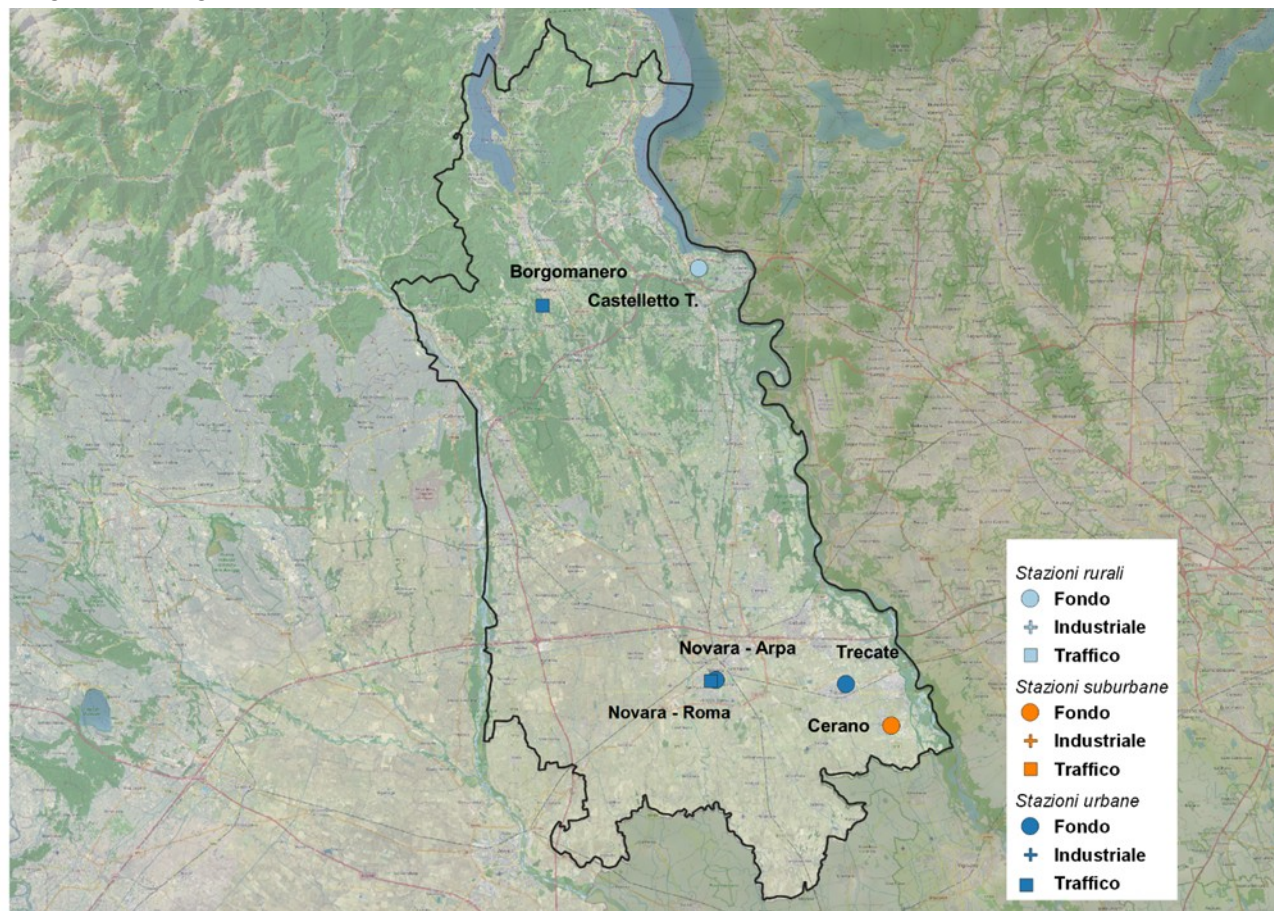


Figura 103: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Novara.

6.6.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici delle Figura 104 e Figura 105, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2021 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 ancora superiore al limite di legge solo per la stazione di Cerano. In generale per il parametro PM10 si registra una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni, con differenze imputabili principalmente alla variabilità meteorologica.

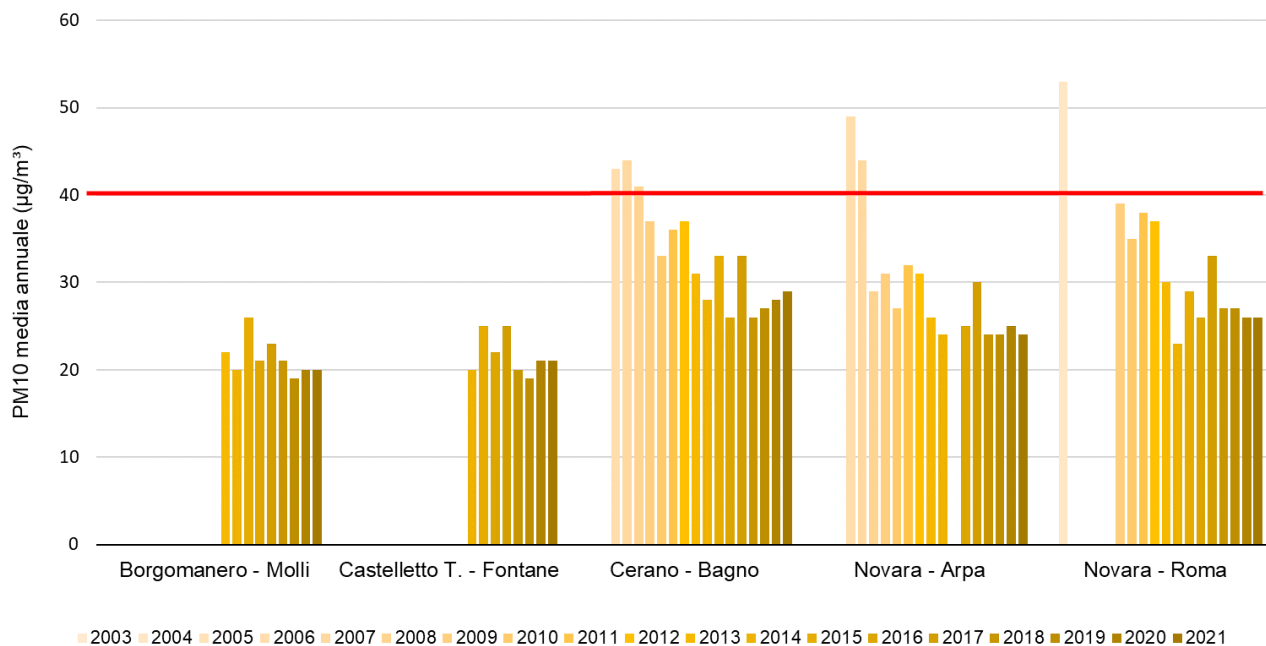


Figura 104: PM10 Provincia di Novara: confronto medie annue.

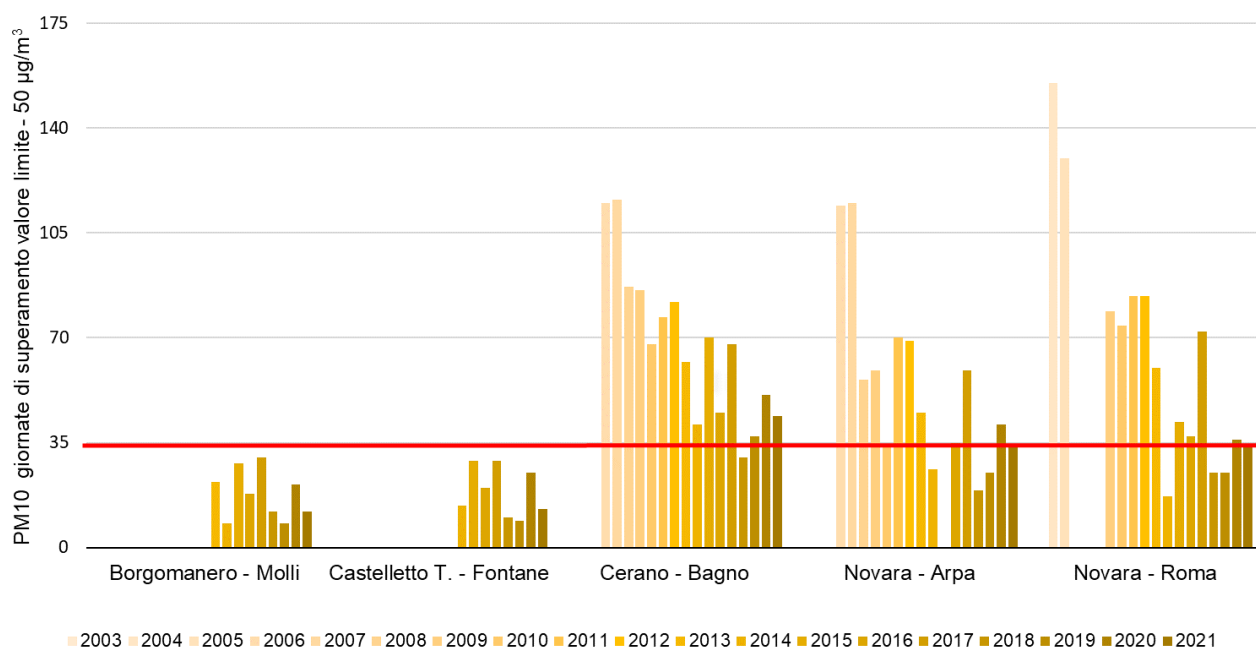


Figura 105: PM10 Provincia di Novara: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2020 e 2021 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2019, sono riportate nella Figura 106. 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 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiato) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2019 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.

In primo luogo, 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).

Dal confronto delle serie di concentrazioni misurate negli ultimi due anni (linea rossa e linea tratteggiata gialla) non si evincono scostamenti significativi rispetto agli anni precedenti (area grigia), nemmeno durante le restrizioni alle attività e alla mobilità, introdotte al fine del contenimento dell'emergenza epidemiologica da COVID-19.

Una situazione particolare si evidenzia per tutte le stazioni nel periodo compreso tra metà ottobre e fine novembre 2020, con concentrazioni elevate, sia rispetto alle settimane precedenti che a quelle successive, 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 il picco di concentrazioni rilevato da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 23-25 febbraio 2021, ben visibile nei grafici, sia dovuto ad un fenomeno di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che ha interessato anche il Piemonte.

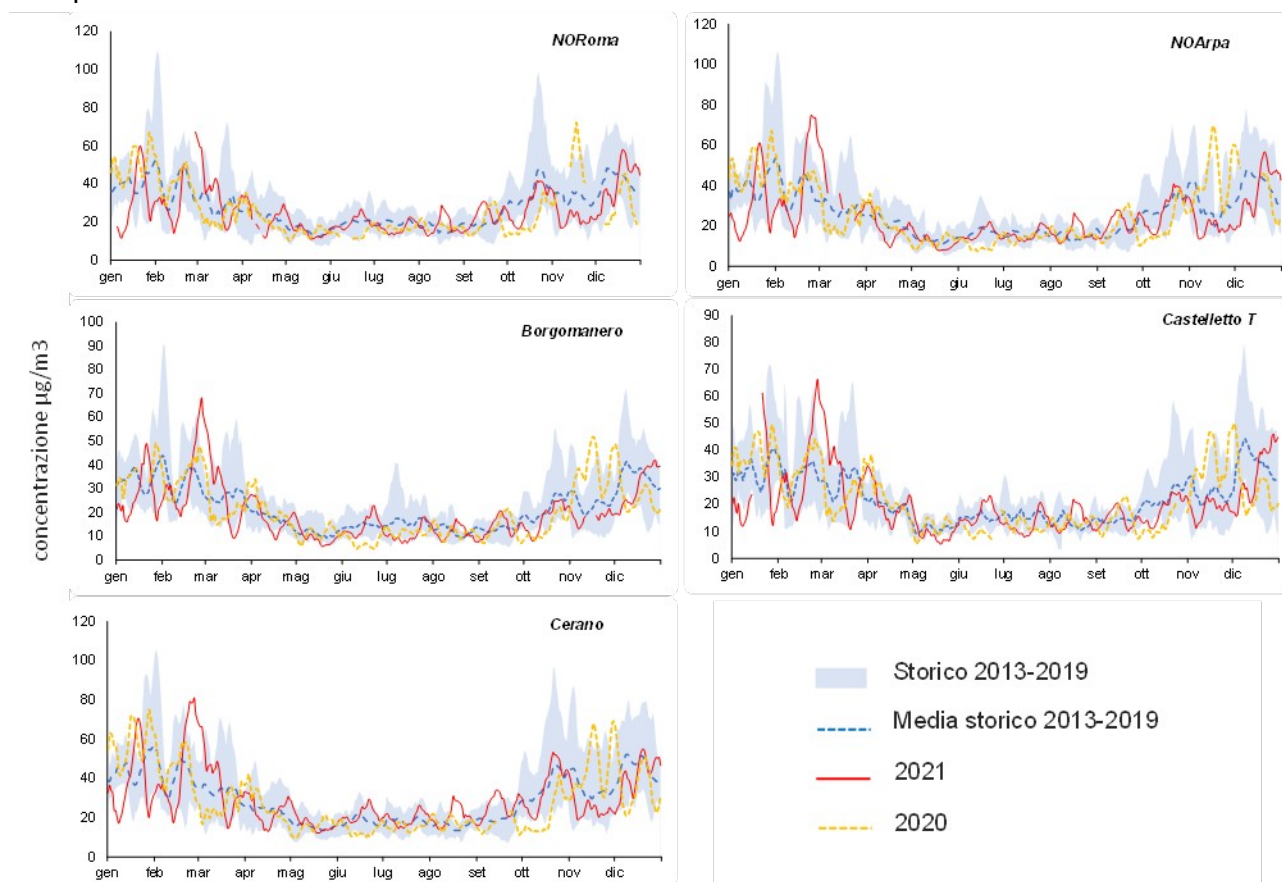


Figura 106: PM10 Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

6.6.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 107 sono rappresentate le concentrazioni medie mensili di benzo(a)pirene, registrate nelle stazioni della provincia ove è determinato, ed i valori della percentuale in cui è presente nel PM10 su base mensile.

Analogamente agli inquinanti Polveri sottili ed ossidi di azoto, anche i valori medi mensili di benzo(a)pirene nel particolato presentano una variazione stagionale notevole: concentrazioni bas-

se, 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 107, si può notare come in tutti i punti di misura della provincia (Cerano, Novara Arpa, Novara Roma e Borgomanero) nell'anno 2021, analogamente agli anni precedenti, le concentrazioni di media annua di benzo(a)pirene nel PM10 risultino ampiamente inferiori al valore obiettivo fissato dalla normativa (1.0 ng/m^3), attestandosi a valori compresi tra $0.2 - 0.4 \text{ ng/m}^3$.

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

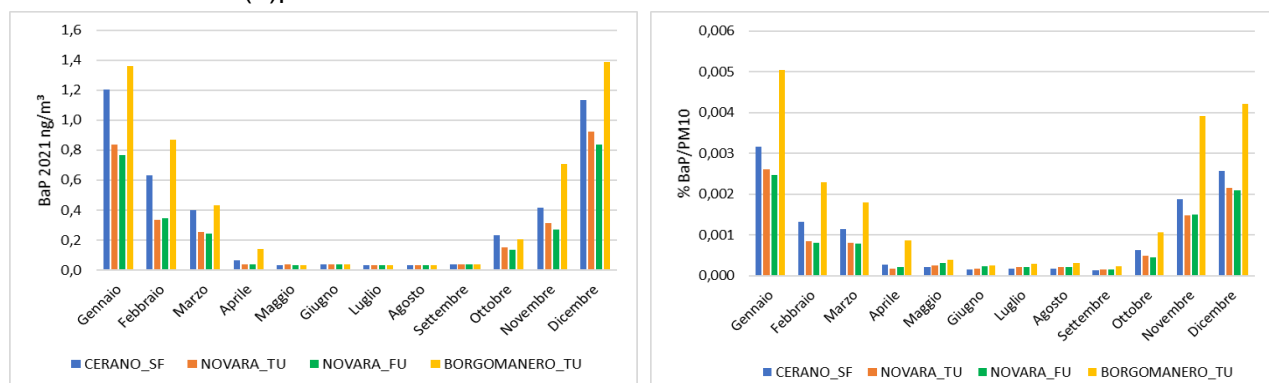


Figura 107: Benzo(a)pirene Provincia di Novara: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2021.

6.6.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 108 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 NO - Arpa, classificata di fondo urbano, presenta un valore superiore al limite normativo, mentre la stazione di Borgomanero presenta valori sempre inferiori al valore limite.

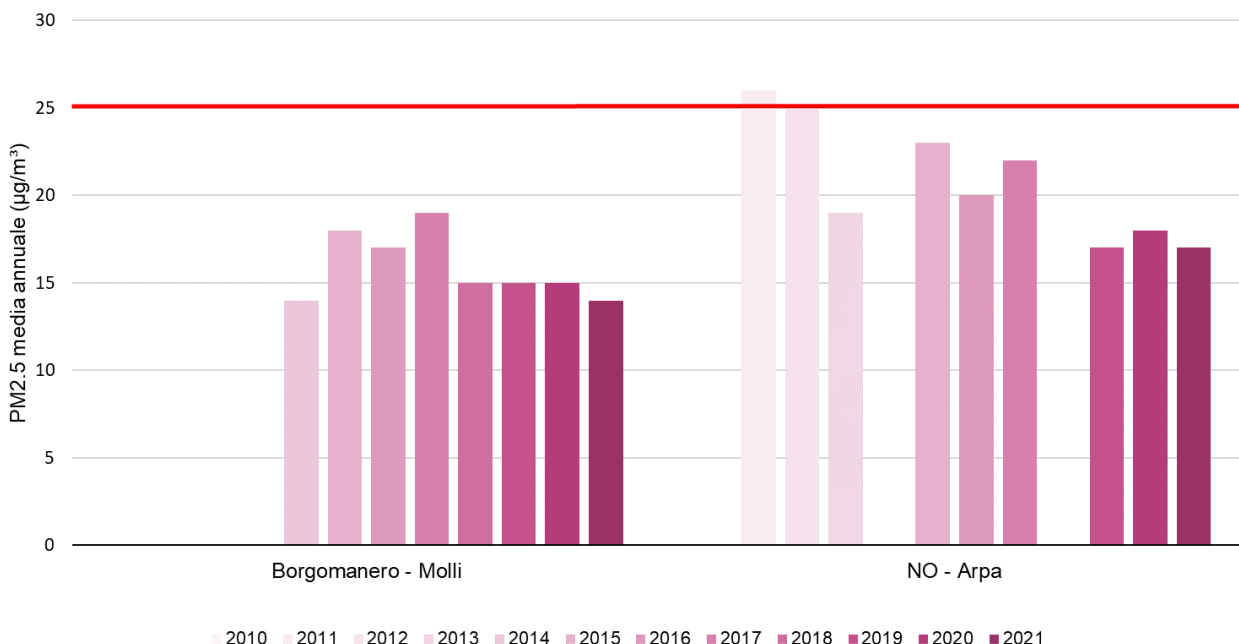


Figura 108: PM2.5 Provincia di Novara: confronto medie annue.

6.6.4 Biossido di azoto

Nella Figura 109 sono confrontate le concentrazioni medie di NO₂ rilevate presso le stazioni della rete provinciale, ove disponibili, a partire dall'anno 2003 ed attive nel 2021 da cui si evince che nel 2021 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 2021 la concentrazione media è stata pari a 32 µg/m³ e Borgomanero pari a 26 µg/m³.

Anche nelle restanti stazioni di fondo (Novara - Arpa, Cerano e Trecate) le medie rilevate si sono attestate intorno a 23-26 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.

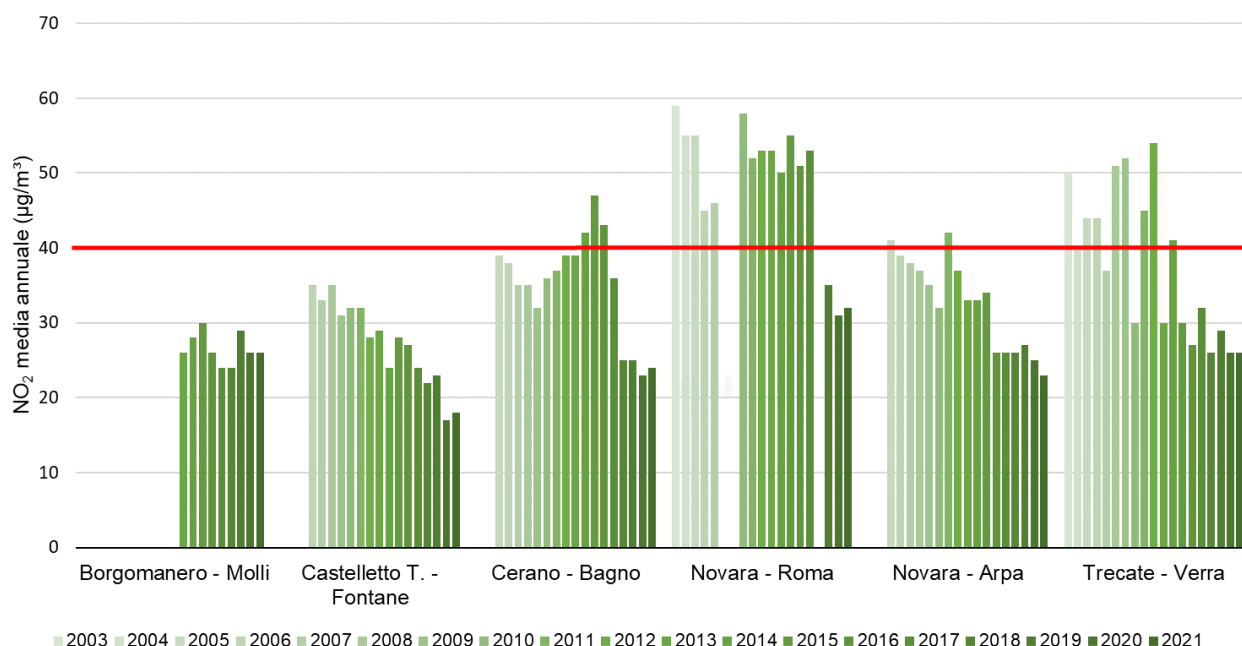


Figura 109: NO₂ Provincia di Novara: confronto medie annue.

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 110 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Dall'osservazione attenta dei grafici si evidenzia il caratteristico comportamento stagionale.

In quasi tutte le stazioni i dati relativi all'anno 2021 mostrano livelli prossimi o inferiori ai minimi del periodo di riferimento 2013-2019 (banda azzurra) e sono confrontabili con quelli relativi all'anno 2020, ad eccezione del periodo di "lockdown" in cui si osserva una lieve diminuzione.

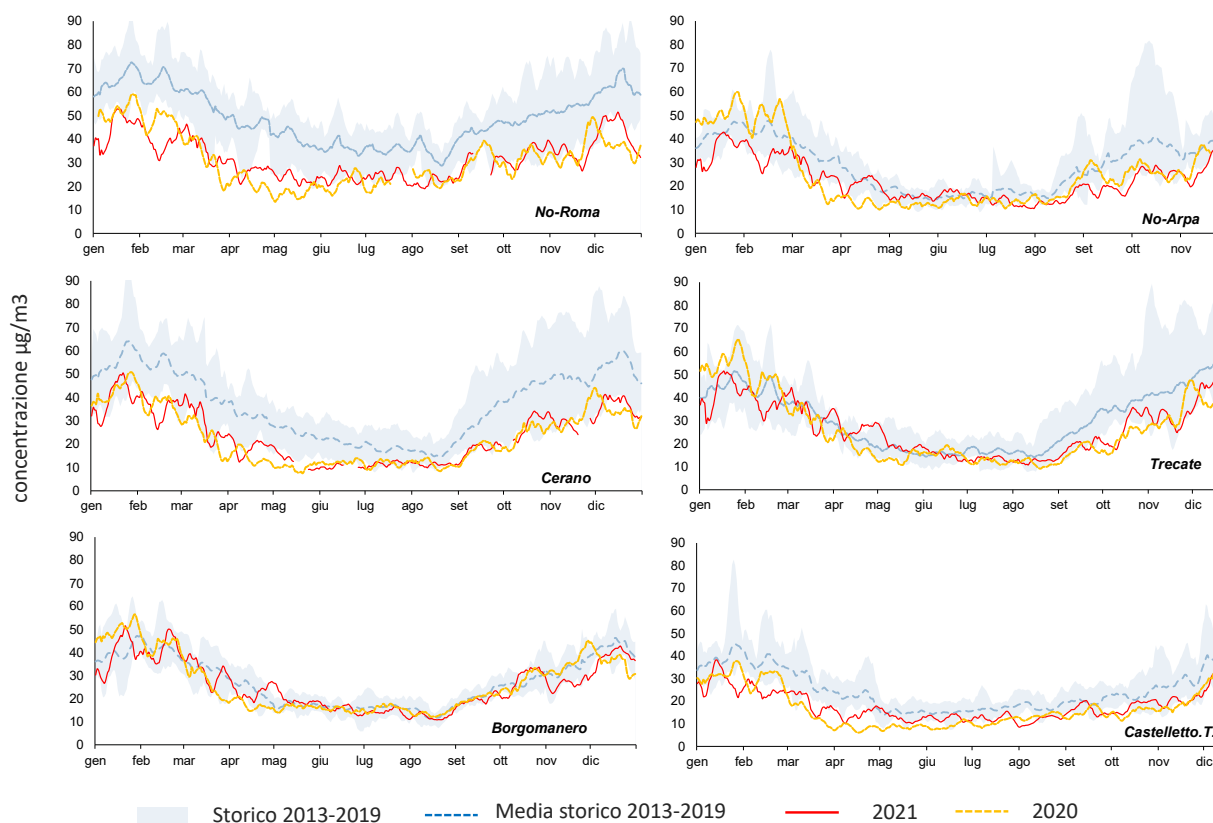


Figura 110: NO₂ Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 2021, 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 111), rilevati nella stazione di fondo rurale di Castelletto Ticino (linea arancione) e nella stazione da traffico di Novara Roma (linea grigia) evidenziano entrambe riduzione di concentrazioni la domenica, sia nel periodo invernale che in quello estivo.

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.

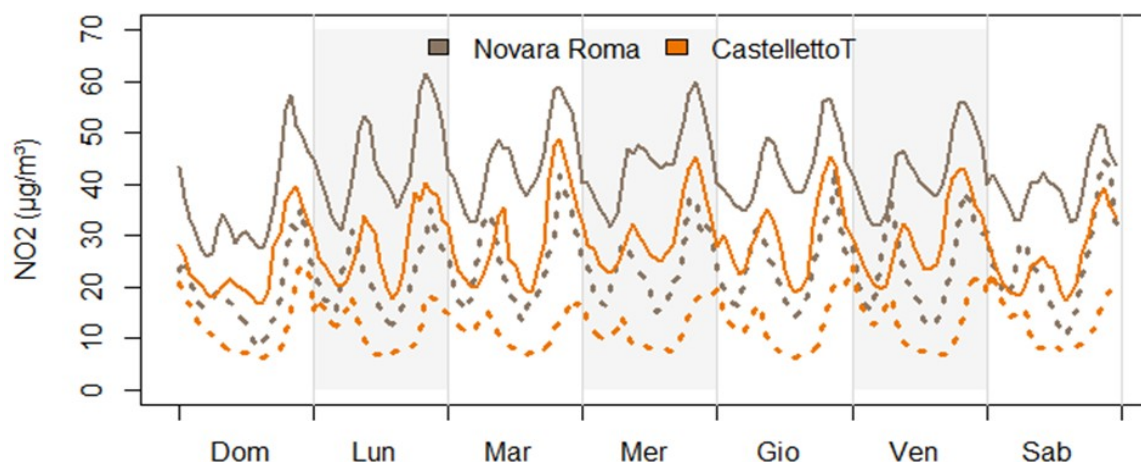


Figura 111: NO₂ Provincia di Novara: settimane tipo stazioni di Novara Roma e Castelletto Ticino. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.6.5 Ozono

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 112 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 2021.

Tale valore obiettivo viene ampiamente disatteso nella stazione di Castelletto Ticino, mentre nella stazione di Novara - Arpa l'anno 2021 delinea un miglioramento risultando pari al valore obiettivo stesso.

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.

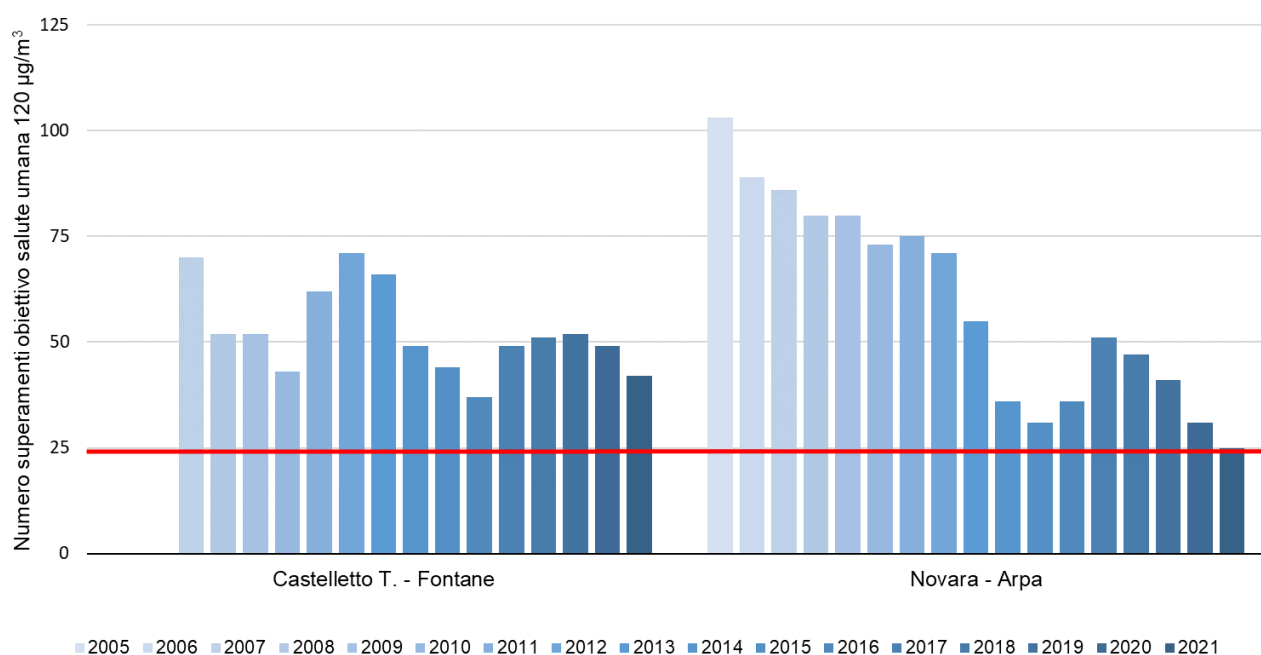


Figura 112: O₃ Provincia di Novara: numero superamenti obiettivo salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 113 si evidenziano alcuni periodi di scostamento rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2019, per en-

trambe le stazioni della rete, sia nell'anno 2021 (linea rossa) che nell'anno 2020 (linea gialla tratteggiata).

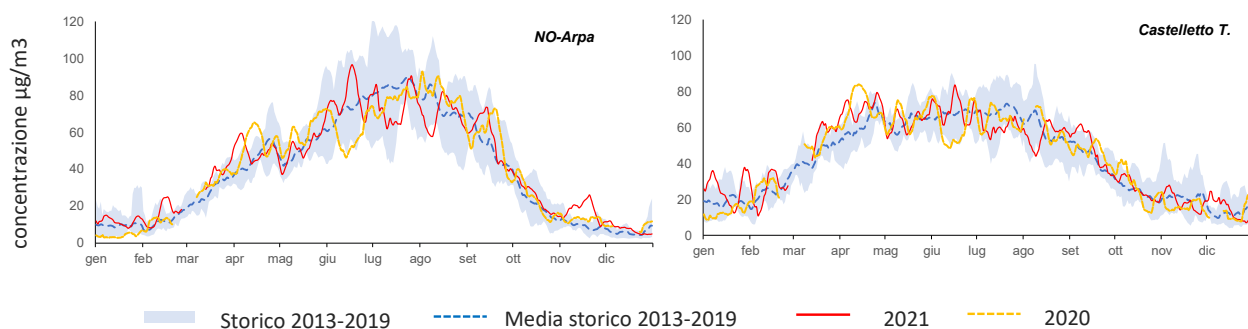


Figura 113: O₃ Provincia di Novara: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 114.

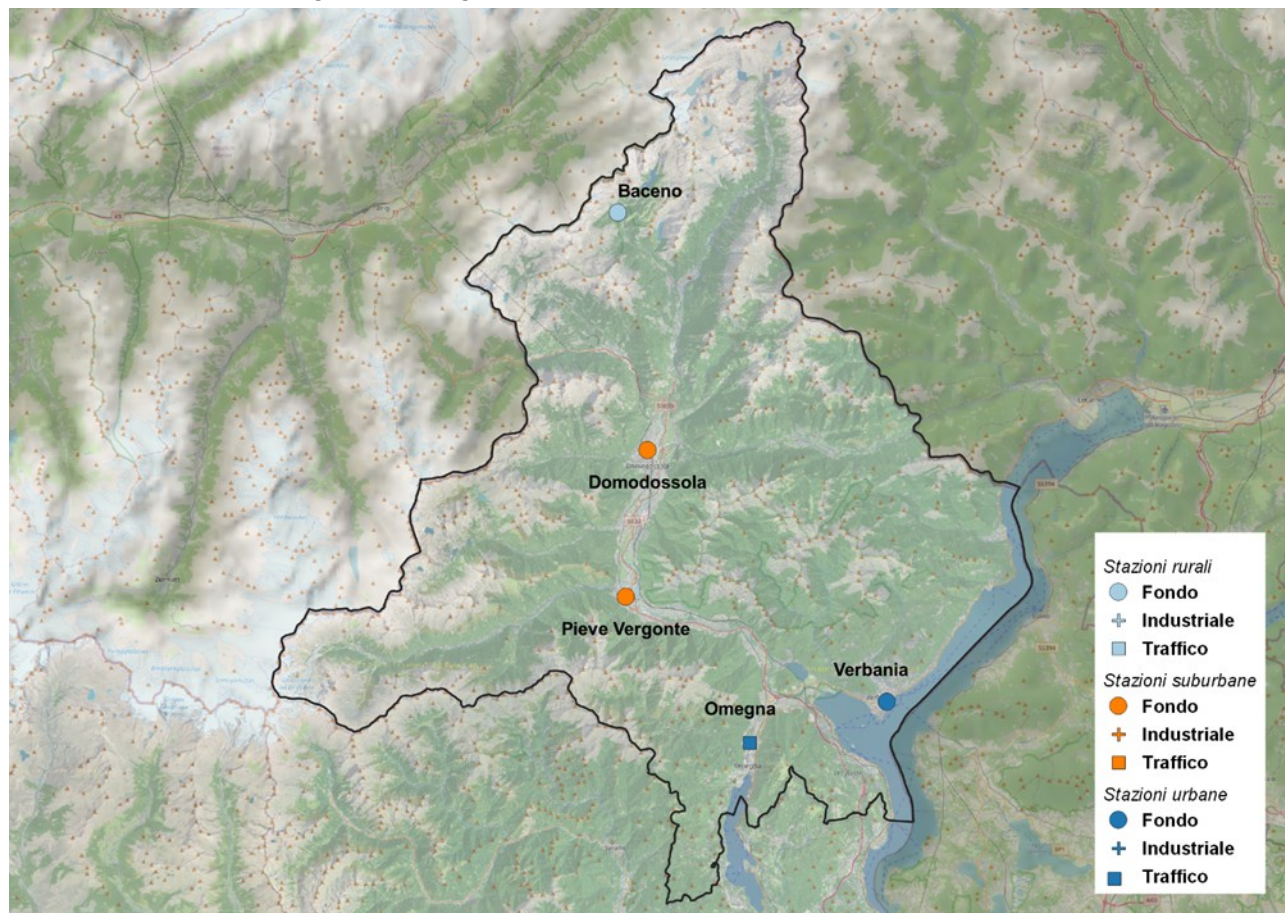


Figura 114: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Verbania.

6.7.1 Particolato sospeso: PM10

La situazione riscontrata anno per anno da ogni stazione della rete provinciale è rappresentata nei grafici delle Figura 115 e Figura 116, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero di PM10 registrati presso le stazioni attive nel 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003.

I dati del 2021 evidenziano valori medi annuali al di sotto del valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tutte le stazioni della provincia ed un numero di superamenti del valore limite giornaliero rispettato. In generale per il parametro PM10 si registra una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni, con differenze imputabili principalmente alla variabilità meteorologica.

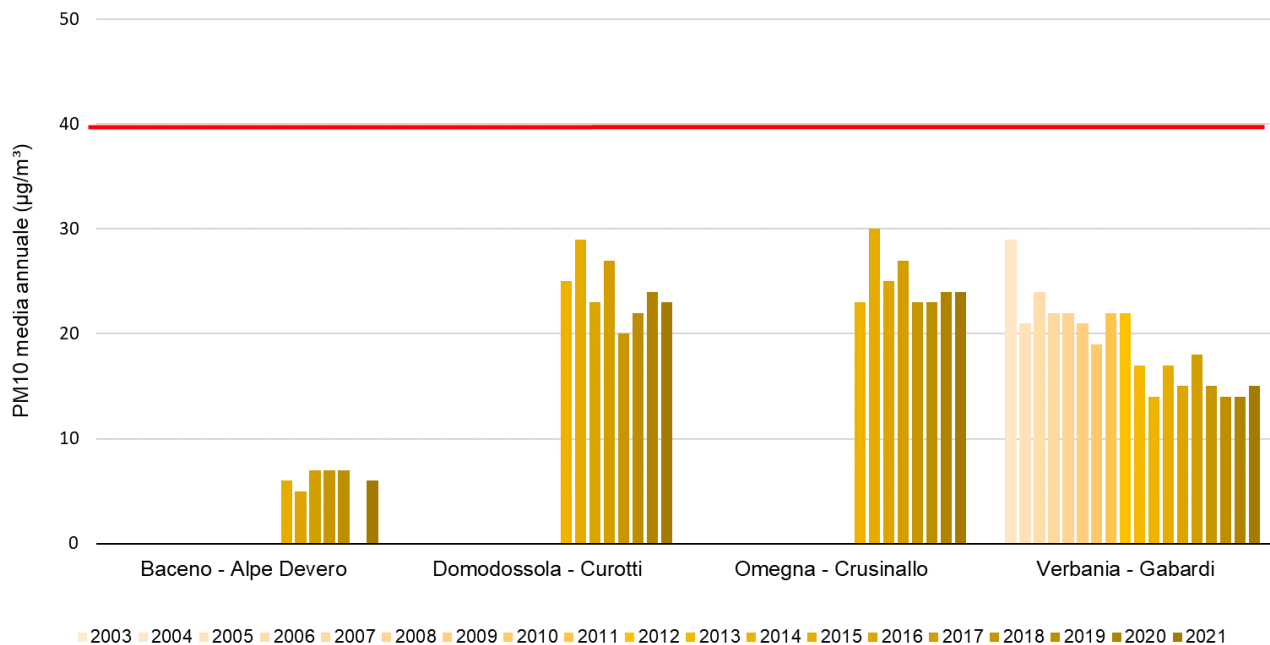


Figura 115: PM10 Provincia di Verbania: confronto medie annue.

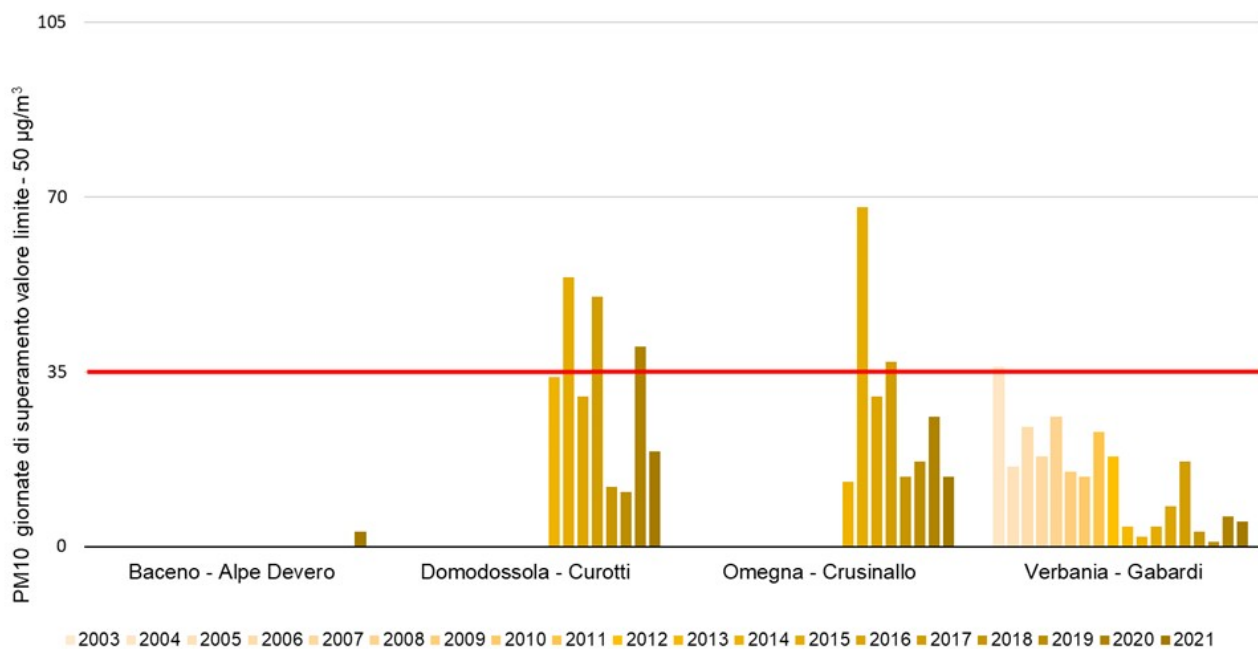


Figura 116: PM10 Provincia di Verbania: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2020 e 2021 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2019, sono riportate nella Figura 117. 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 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiato) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013 - 2019 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.

In primo luogo, 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).

Dal confronto delle serie di concentrazioni misurate negli ultimi due anni (linea rossa e linea tratteggiata gialla) non si evincono scostamenti significativi rispetto agli anni precedenti (area azzurra), nemmeno durante le restrizioni alle attività e alla mobilità, introdotte al fine del contenimento dell'emergenza epidemiologica da COVID-19.

Una situazione particolare si evidenzia per tutte le stazioni nel periodo compreso tra metà ottobre e fine novembre 2020, con concentrazioni elevate, sia rispetto alle settimane precedenti che a quelle successive, 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 il picco di concentrazioni rilevato da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 23 - 25 febbraio 2021, ben visibile nei grafici, sia dovuto ad un fenomeno di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che ha interessato anche il Piemonte, 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 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del 22/02/2021 a un valore di 92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del 24/02/2021. In quei giorni si sono verificati gli unici tre superamenti del limite giornaliero della stazione, che generalmente presenta concentrazioni basse e in controtendenza rispetto all'andamento stagionale tipico del particolato atmosferico, con concentrazioni maggiori da aprile ad ottobre, rispetto al periodo invernale.

Tale situazione si riscontra nelle stazioni in quota per l'aumento dello strato di rimescolamento nel periodo estivo che permette agli inquinanti emessi in alte zone di raggiungere il sito.

Per la stazione di Baceno, inoltre, non si possono escludere possibili apporti dovuti all'allestimento sporadico di falò e barbecue nel campeggio situato in prossimità della stazione.

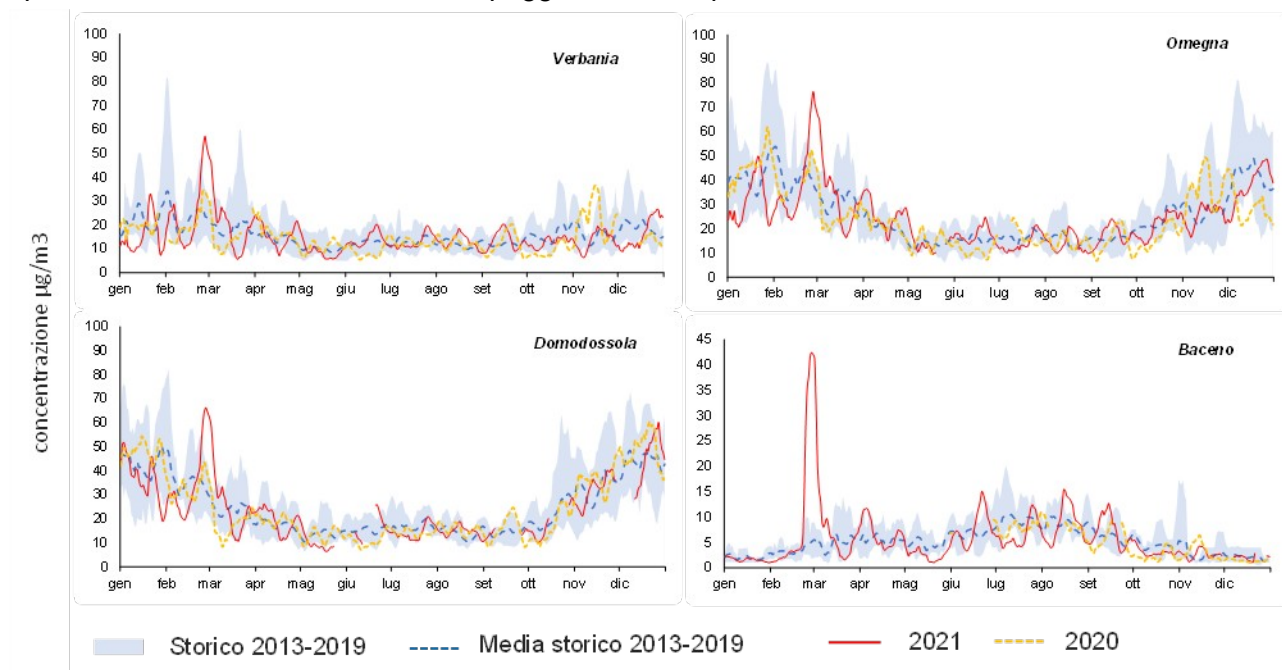


Figura 117 - PM10 Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

6.7.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 107 sono rappresentate le concentrazioni medie mensili di benzo(a)pirene, registrate nelle stazioni della provincia ove è determinato, ed i valori della percentuale in cui è presente nel PM10 su base mensile.

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

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

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 107, 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 2021, si rilevano a Domodossola (media annuale 0.9 ng/m^3), ma con un valore inferiore al valore obiettivo fissato dalla normativa (1.0 ng/m^3), situazione che non si verificava dal 2014, mentre non si evidenziano differenze significative e criticità per la stazione di Verbania (media annuale 0.2 ng/m^3).

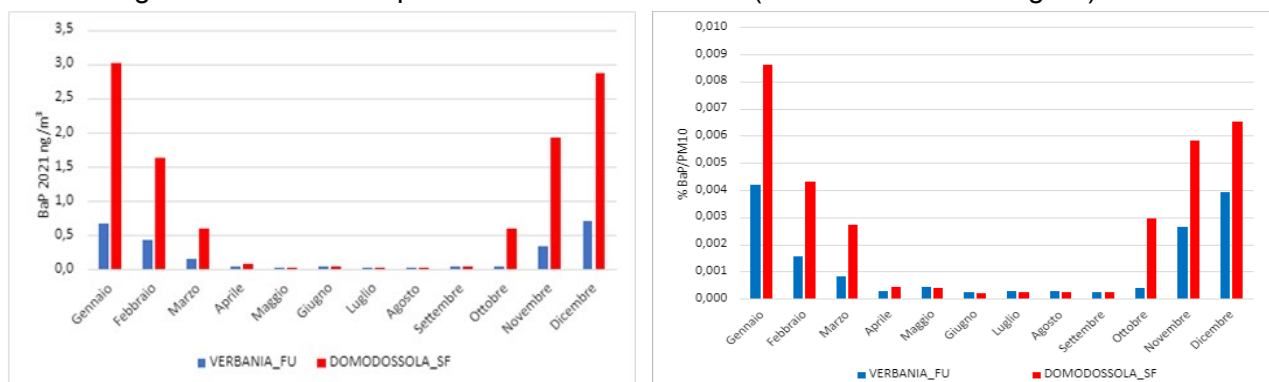


Figura 118: Benzo(a)pirene Provincia di Verbania: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2021.

6.7.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 108 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, soprattutto nella stazione di quota di Baceno.

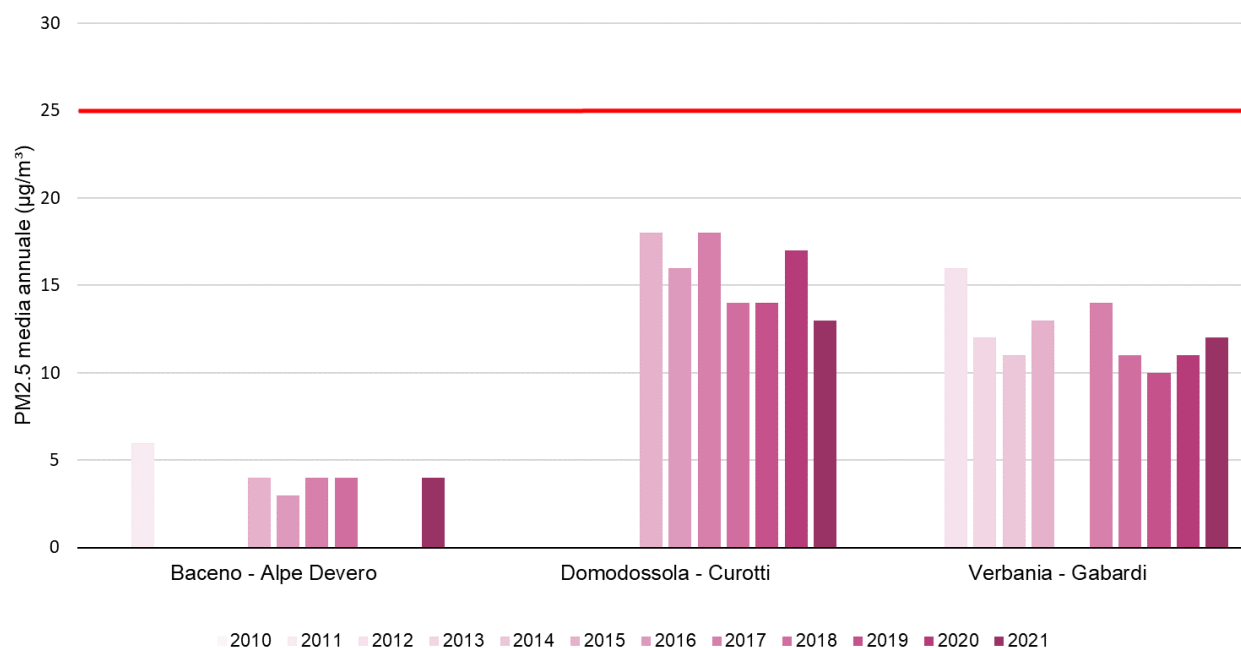


Figura 119: PM2.5 Provincia di Verbania: confronto medie annue.

6.7.4 Biossido di azoto

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 2021 a partire, ove disponibili, dai dati del 2003. Nel 2021 il valore limite annuale è rispettato in tutte le stazioni della provincia (Figura 120).

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 2021 ha fatto registrare una media pari a 26 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 10 µg/m³, mentre presso la stazione in quota di Baceno permangono basse tutto l'anno.

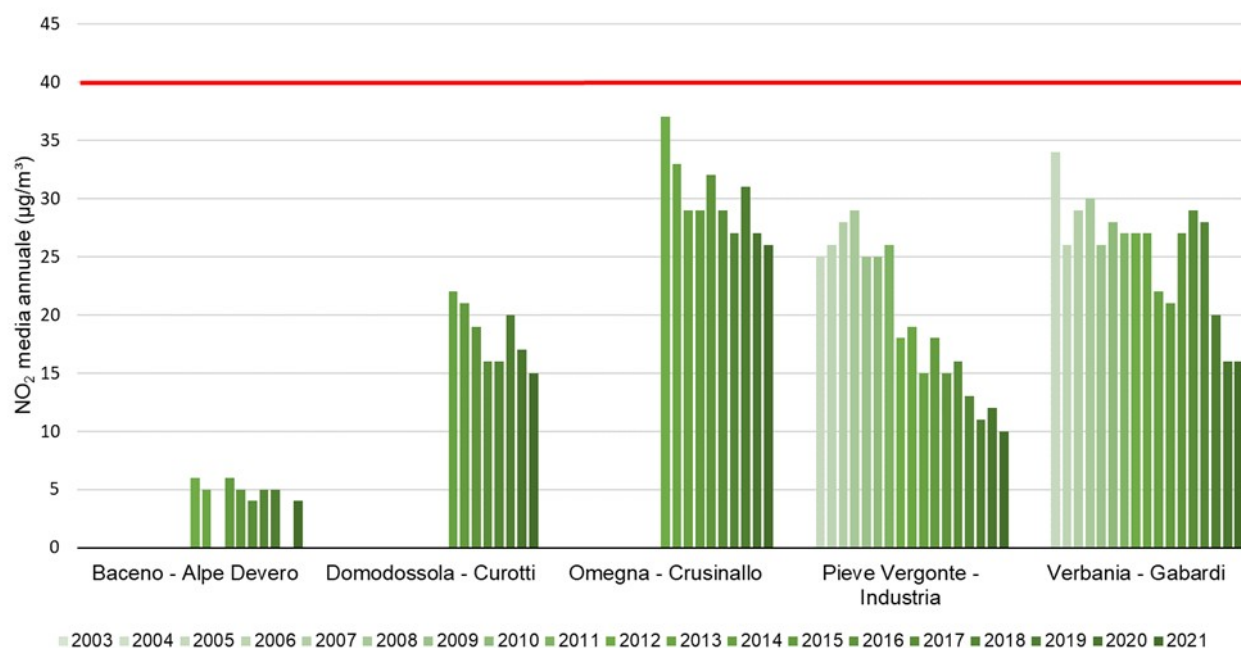


Figura 120: NO₂ Provincia di Verbania: confronto medie annue.

Le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO_2 , misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono rappresentate in Figura 110 come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Dall'osservazione attenta dei grafici si evidenzia il caratteristico comportamento stagionale.

In quasi tutte le stazioni i dati relativi all'anno 2021 mostrano livelli prossimi o inferiori ai minimi del periodo di riferimento 2013-2019 (banda azzurra) e sono confrontabili con quelli relativi all'anno 2020, ad eccezione del periodo di "lockdown" in cui si osserva una lieve diminuzione.

Per la stazione di Baceno Alpe Devero si evidenziano valori mediamente più bassi soprattutto nella seconda parte dell'anno.

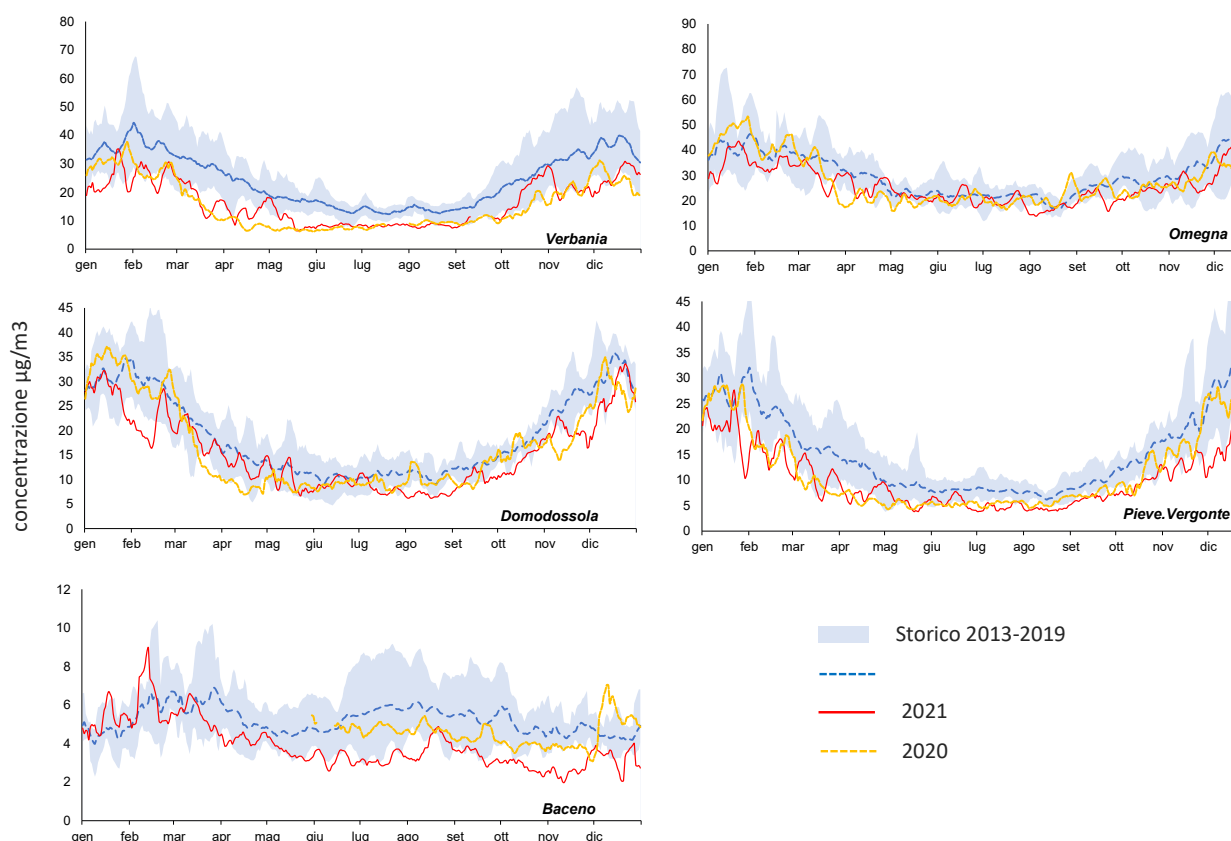


Figura 121: NO_2 Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

Siccome per gli ossidi di azoto si dispone delle concentrazioni medie orarie, per le stazioni riportate in Figura 122 sono state calcolate le "settimane medie" su base oraria dell'anno 2021, 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 NO_2 , nelle ore del giorno nei diversi giorni della settimana, 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 riduzioni di concentrazione per entrambe la domenica. 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.

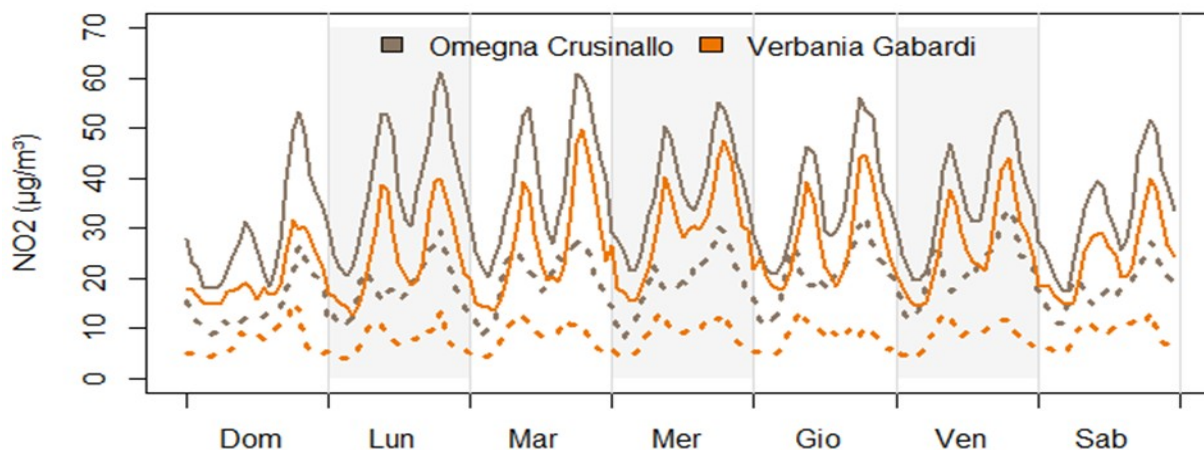


Figura 122: NO₂ Provincia di Verbania: settimane tipo stazioni di Omegna - Crusinallo e Verbania - Gabardi. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.7.5 Ozono

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 123 è illustrato l'andamento dei superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2021, che non deve essere superato per più di 25 volte per anno civile, come media su 3 anni.

Come risulta dal grafico (Figura 123) il valore obiettivo viene disatteso in tutte le stazioni della provincia, ad eccezione della 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.

Si conferma il persistere della criticità legata a questo inquinante, come evidenziato a livello regionale.

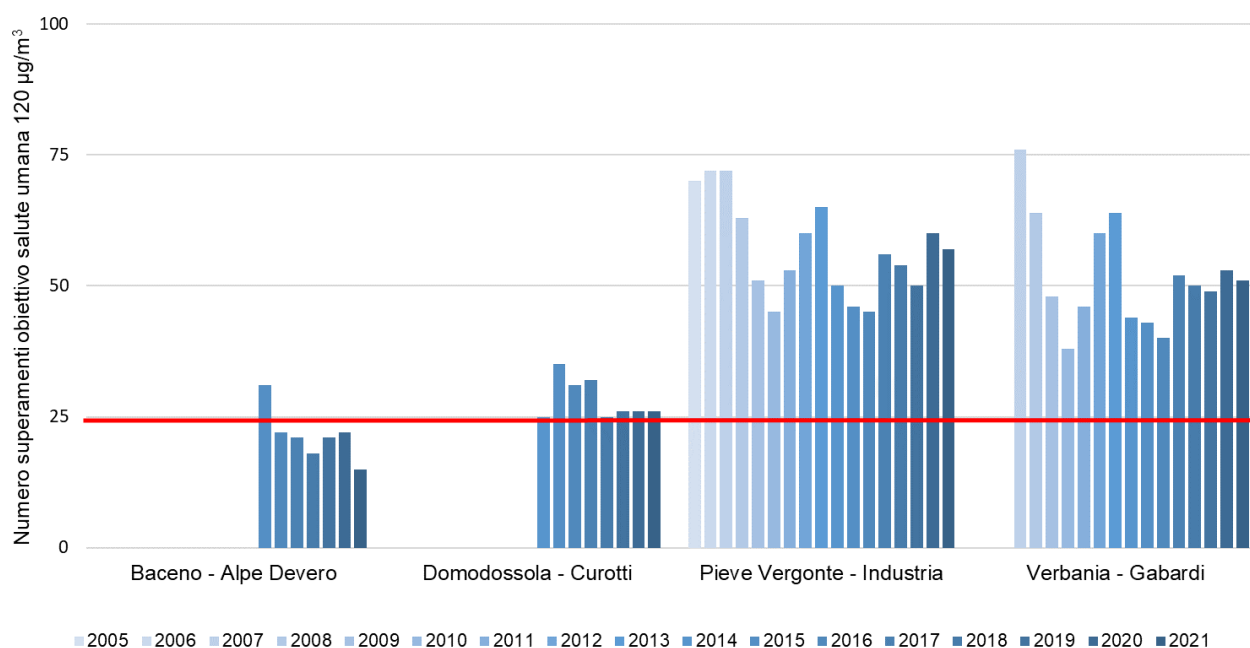


Figura 123: O₃ Provincia di Verbania: numero superamenti obiettivo salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 124 si evidenziano alcuni periodi di scostamento rispetto ai dati del riferimento storico 2013 - 2019, per entrambe le stazioni della rete, sia nell'anno 2021 (linea rossa) che nell'anno 2020 (linea gialla tratteggiata).

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.

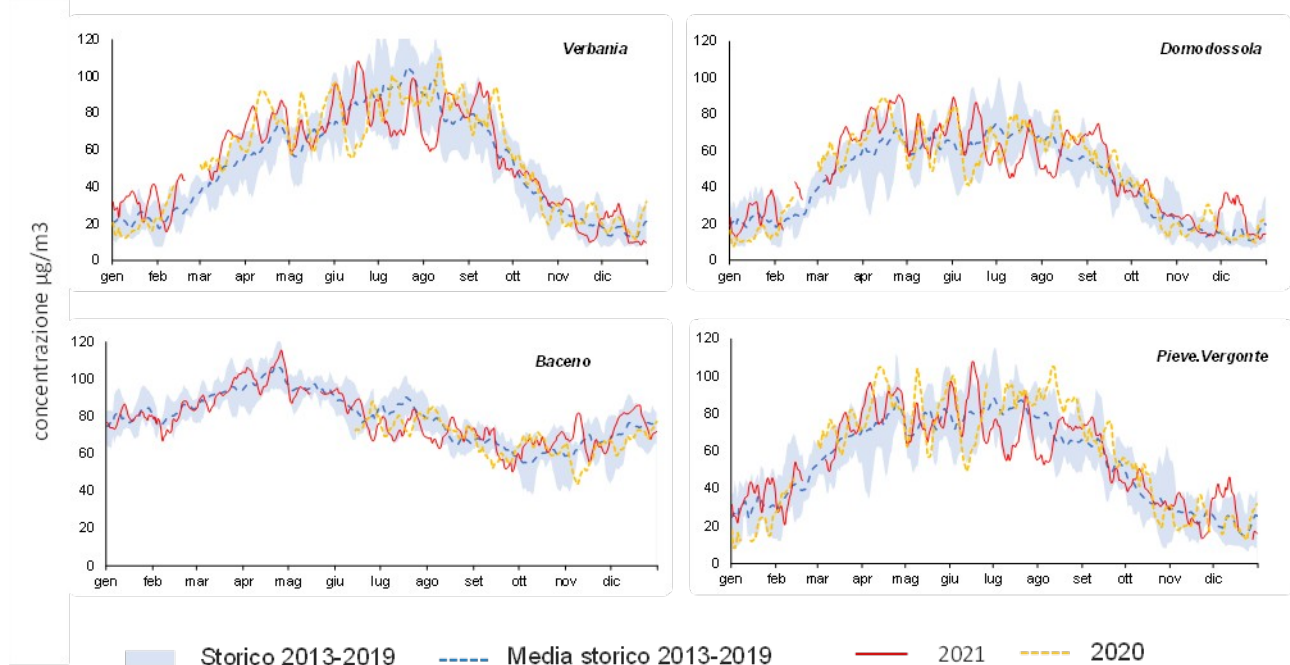


Figura 124: O₃ Provincia di Verbania: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 125.

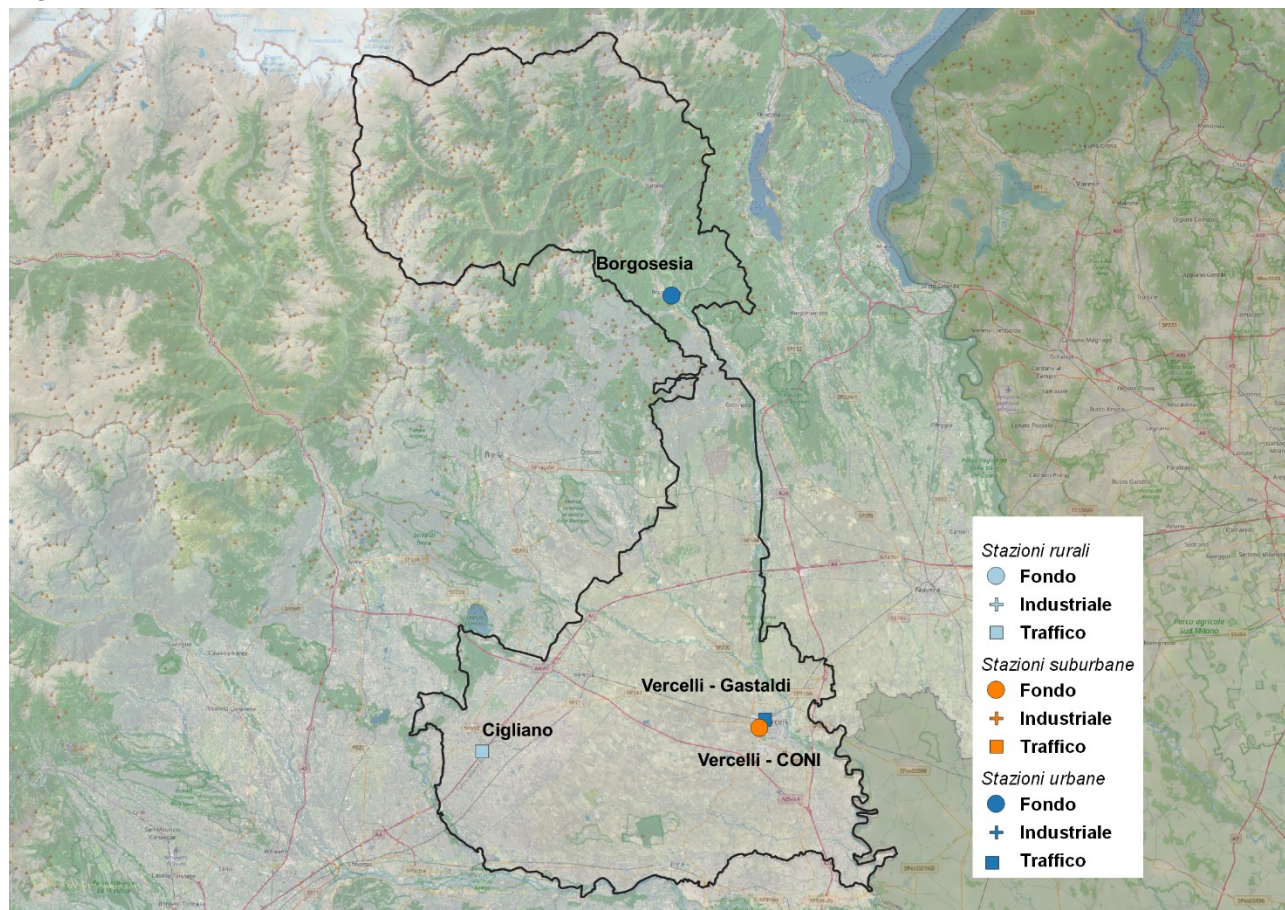


Figura 125: Ubicazione delle stazioni della Rete di rilevamento provincia di Vercelli.

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 delle Figura 126 e Figura 127, dove sono confrontate le concentrazioni medie ed i numeri di superamenti del limite giornaliero, registrati presso le stazioni attive nel 2021 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.

I dati del 2021 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.

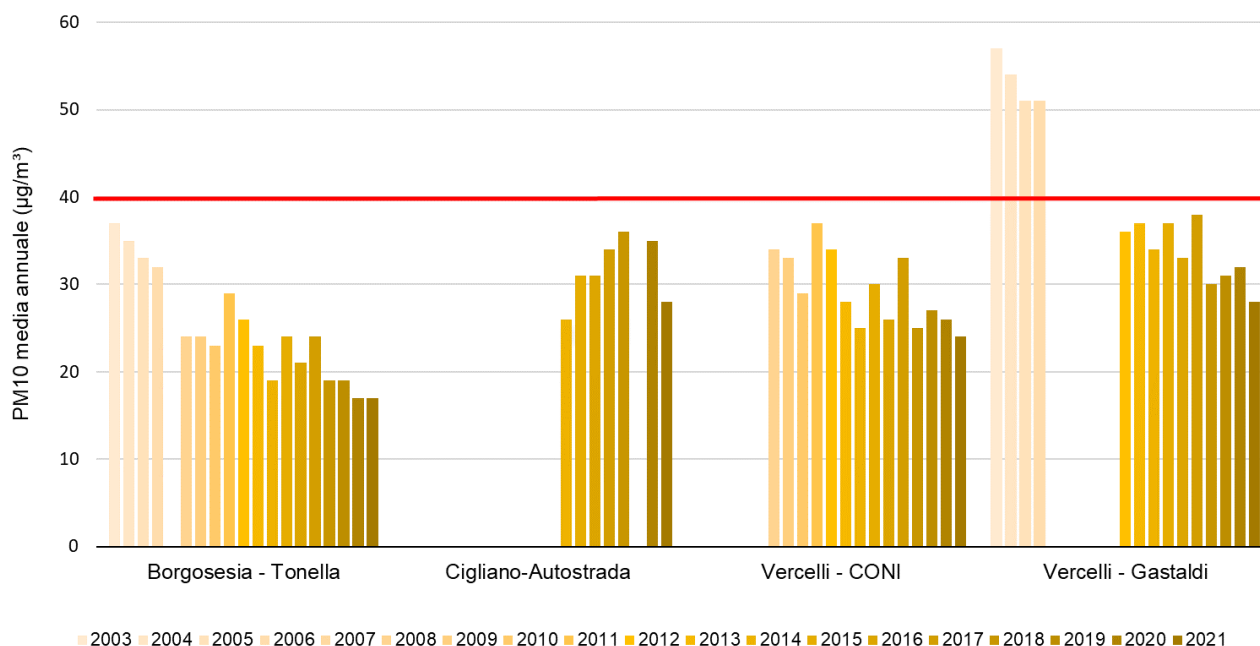


Figura 126: PM10 Provincia di Vercelli: confronto medie annue.

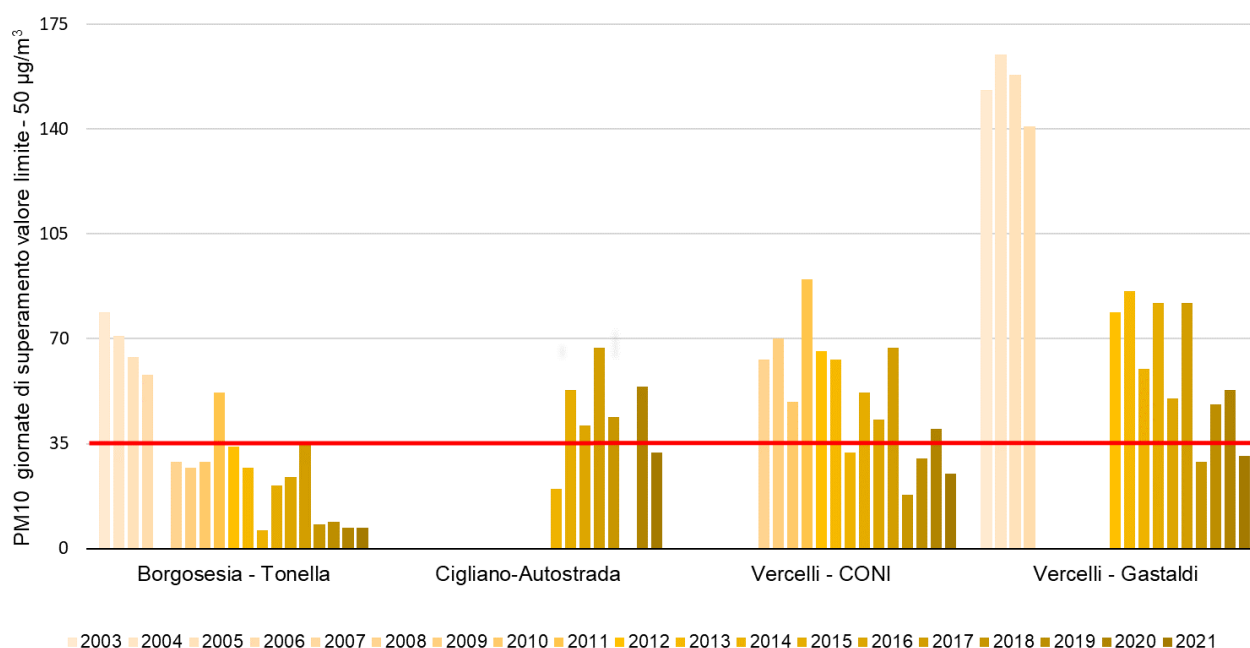


Figura 127: PM10 Provincia di Vercelli: numero di superamenti del limite giornaliero.

Le serie temporali delle concentrazioni di polveri sottili (PM10), misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre 2020 e 2021 da ciascuna stazione della provincia rispetto al periodo di riferimento 2013-2019, sono riportate nella Figura 128. 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 2021 (in rosso) e del 2020 (in arancione tratteggiato) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra) e medi (linea blu scuro tratteggiata) misurati dalla medesima stazione nel periodo 2013-2019 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.

In primo luogo, 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).

Dal confronto delle serie di concentrazioni misurate negli ultimi due anni (linea rossa e linea tratteggiata gialla) non si evincono scostamenti significativi rispetto agli anni precedenti (area grigia), nemmeno durante le restrizioni alle attività e alla mobilità, introdotte al fine del contenimento dell'emergenza epidemiologica da COVID-19.

Una situazione particolare si evidenzia per tutte le stazioni nel periodo compreso tra metà ottobre e fine novembre 2020, con concentrazioni elevate, sia rispetto alle settimane precedenti che a quelle successive, 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 il picco di concentrazioni rilevato da tutte le stazioni della provincia nei giorni intorno al 23 - 25 febbraio 2021, ben visibile nei grafici, sia dovuto ad un fenomeno di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che ha interessato anche il Piemonte.

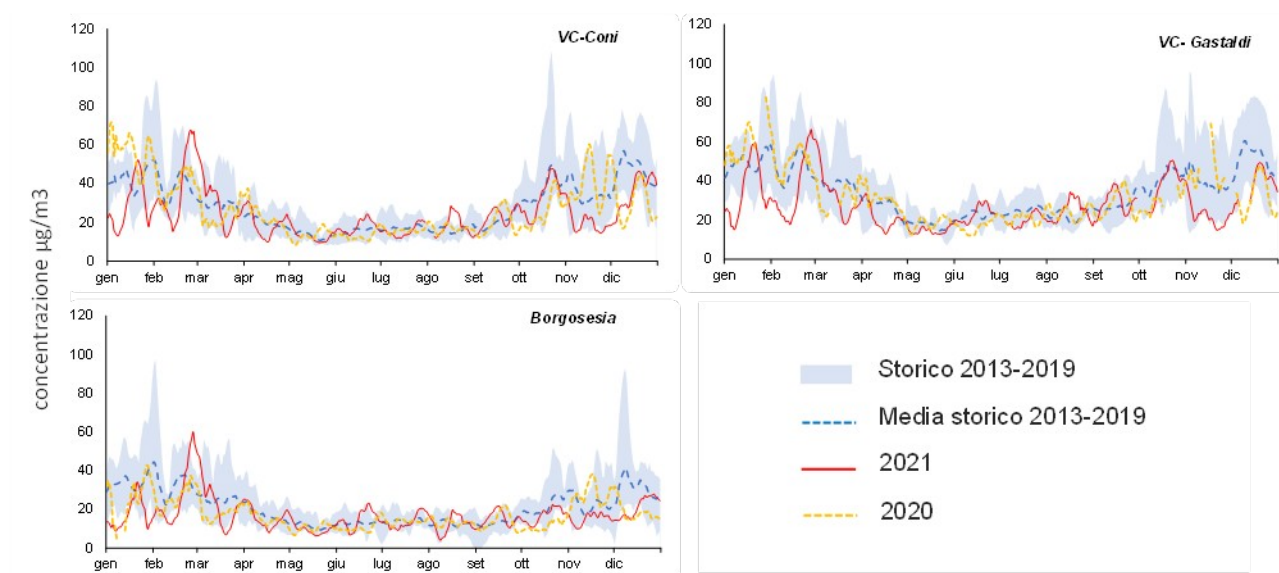


Figura 128 - PM10 Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

6.8.2 Benzo(a)pirene nel PM10

In Figura 129 sono rappresentate le concentrazioni medie mensili di benzo(a)pirene, registrate nelle stazioni della provincia ove è determinato, ed i valori della percentuale in cui è presente nel PM10 su base mensile.

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

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

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 129, si può notare come in tutti i punti di misura della provincia (Vercelli - CONI e Borgosesia) nell'anno 2021, analogamente agli anni precedenti, le concentrazioni di media

annua di Benzo(a)pirene nel PM10 risultino ampiamente inferiori al valore obiettivo fissato dalla normativa (1.0 ng/m^3), attestandosi a valori compresi tra $0.3 - 0.4 \text{ ng/m}^3$.

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

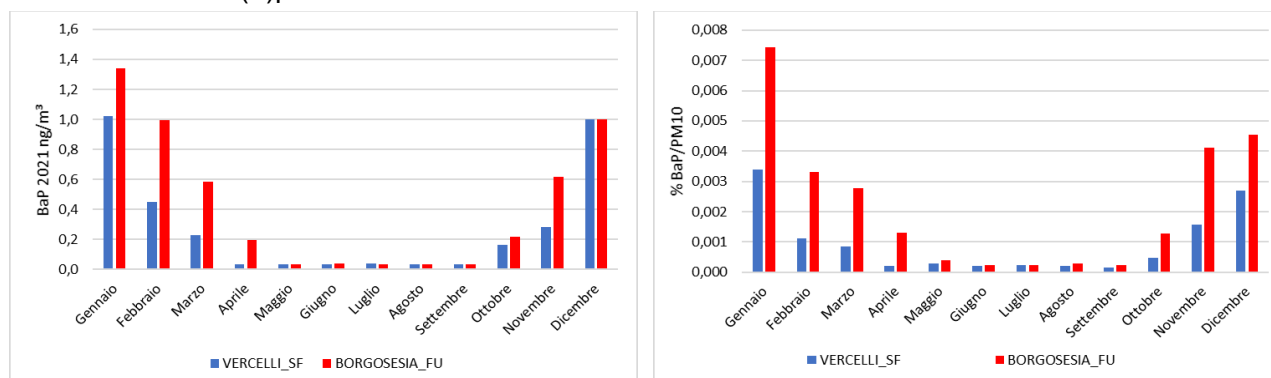


Figura 129: Benzo(a)pirene Provincia di Vercelli: concentrazioni medie mensili e percentuali medie mensili nel PM10 anno 2021.

6.8.3 Particolato sospeso: PM2.5

Nella Figura 130, 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.

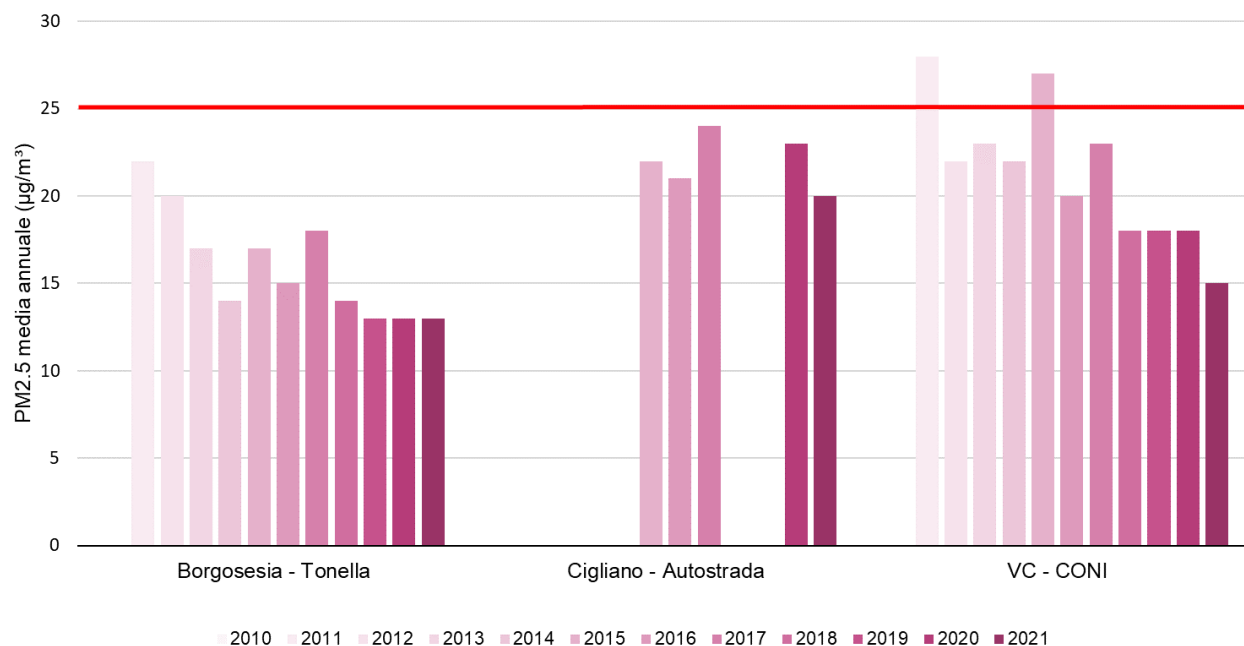


Figura 130: PM2.5 Provincia di Vercelli: confronto medie annue.

6.8.4 Biossido di azoto

Nella Figura 131 sono confrontate, le concentrazioni medie di NO_2 rilevate presso le stazioni della rete provinciale, ove disponibili, a partire dall'anno 2003 ed attive nel 2021 da cui si evince che nel 2021 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 2021 concentrazione media è stata intorno a $23 - 24 \text{ µg/m}^3$.

Nelle restanti stazioni di fondo di Vercelli - CONI e Borgosesia le medie rilevate si sono attestate intorno a 13-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

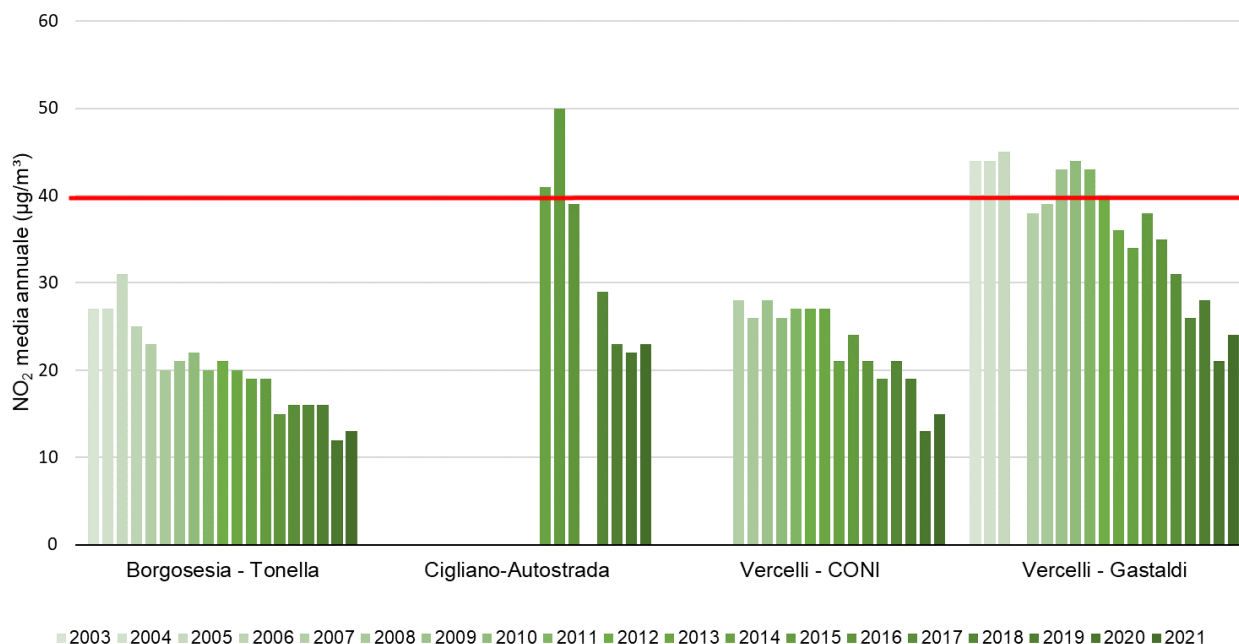


Figura 131: NO_2 Provincia di Vercelli: confronto medie annue.

Le serie temporali delle concentrazioni del biossido di azoto NO_2 , misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre da ciascuna stazione della provincia sono rappresentate in

Errore: sorgente del riferimento non trovata come medie mobili calcolate su sette giorni a partire dalle concentrazioni medie giornaliere. Dall'osservazione attenta dei grafici si evidenzia il caratteristico comportamento stagionale.

Relativamente agli ossidi di azoto, i dati del 2021 delle stazioni della provincia mostrano livelli prossimi o inferiori ai minimi del periodo di riferimento (banda azzurra) e confrontabili con quanto rilevato nel 2020, ad eccezione del periodo di "lockdown" in cui si osserva una lieve diminuzione. Nella stazione di Cigliano la marcata riduzione delle concentrazioni in corrispondenza del primo periodo dell'anno è dovuta ad un malfunzionamento strumentale.

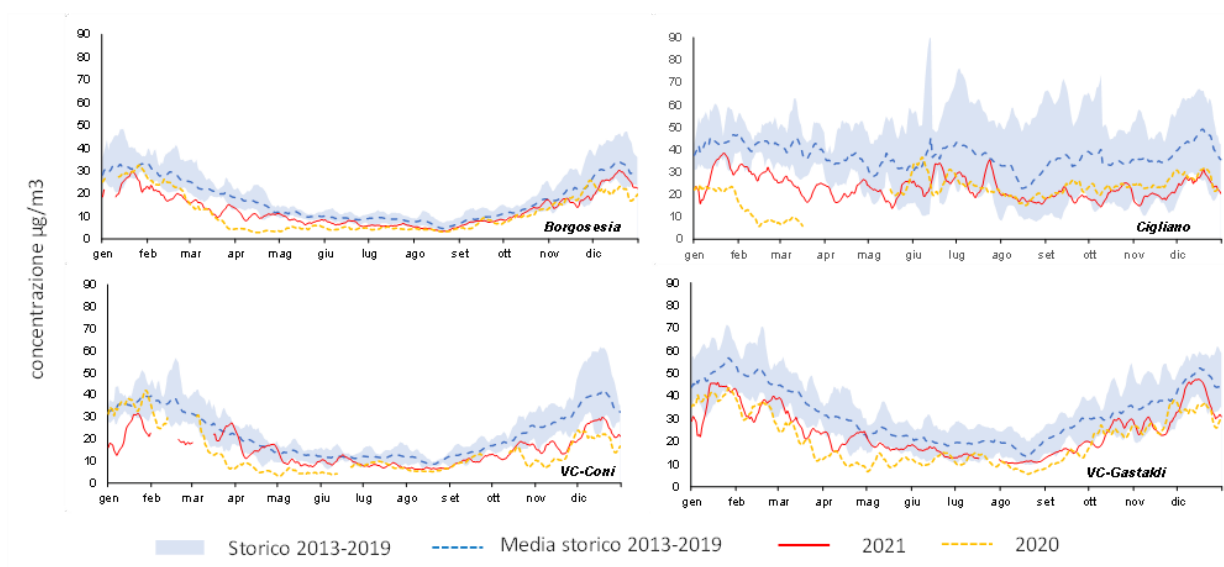


Figura 132: NO_2 Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 2021, 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 133), rilevati nella stazione di Cigliano - Autostrada (linea arancione), classificata traffico rurale e nella stazione di Vercelli - Gastaldi (linea grigia), classificata traffico urbana, evidenziano riduzione delle concentrazioni il sabato e la domenica, sia nel periodo invernale che in quello estivo.

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.

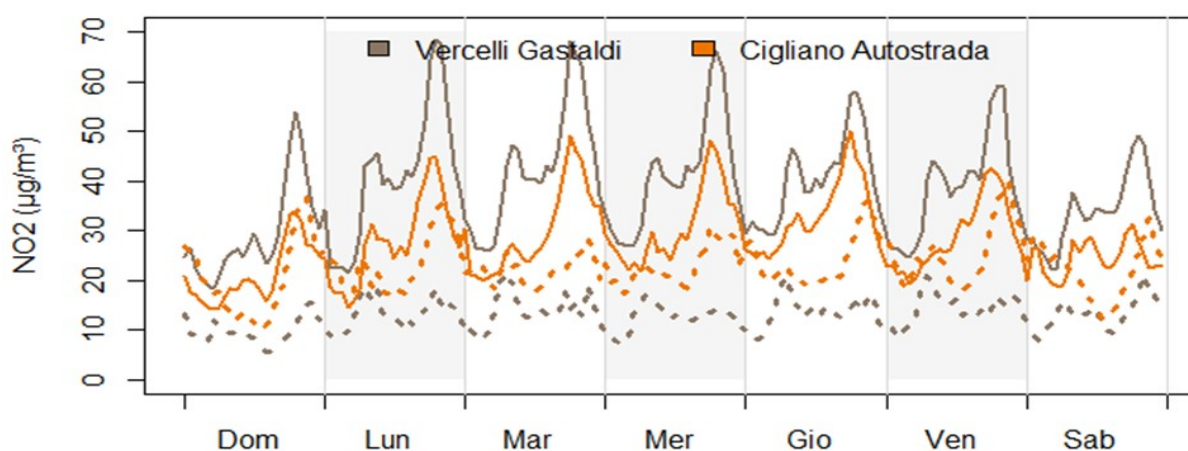


Figura 133: NO₂ Provincia di Vercelli: settimane tipo stazioni di Vercelli Gastaldi e Cigliano Autostrada. Le linee continue si riferiscono al trimestre invernale, le linee tratteggiate al trimestre estivo.

6.8.5 Ozono

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

In Figura 134 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 2021 (il dato attribuito al 2021 è relativo al triennio 2019-2021).

Tale valore obiettivo viene ampiamente disatteso nella due stazioni considerate sebbene, negli ultimi anni sembri delinearsi una diminuzione. Tuttavia, resta confermata la sua criticità, come già evidenziato a livello regionale poiché, le complesse dinamiche di formazione e trasformazione di questo inquinante sono strettamente correlata alla presenza di inquinanti precursori, ma soprattutto alle condizioni meteorologiche.

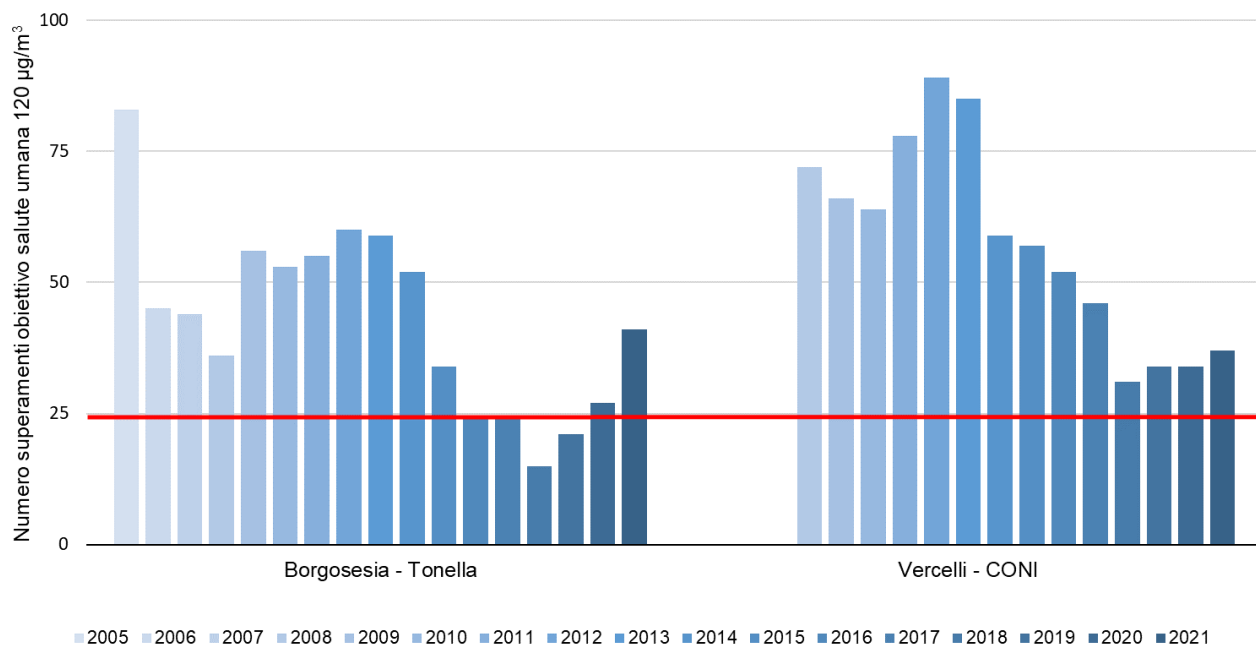


Figura 134: O₃ Provincia di Vercelli: numero superamenti obiettivo salute umana.

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni medie mobili di 7 giorni, in Figura 135 si evidenziano alcuni periodi di scostamento, rispetto ai dati del riferimento storico 2013-2019, per entrambe le stazioni della rete, sia nell'anno 2020 (linea gialla tratteggiata) che nell'anno 2021 (linea rossa) in particolare nel periodo compreso tra la seconda decade di agosto e metà settembre.

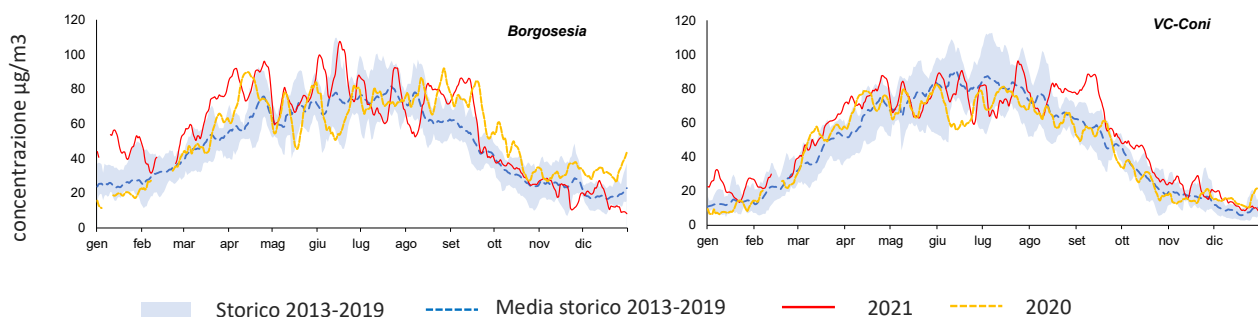


Figura 135 – O₃ Provincia di Vercelli: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento

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 raggio³⁷.

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 climatici³⁸.

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

³⁷ Janssen N. et al., (2012) Health Effects Of Black Carbon, World Health Organization

³⁸ <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>

inquinanti che vengono effettuate presso le due stazioni. Torino - Lingotto presenta dei valori più critici di biossido di azoto e di PM10 rispetto a Domodossola (vedi Tabella 22 e Figura 136), ma quest'ultima è caratterizzata da livelli di benzo(a)pirene generalmente superiori o uguali 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 2021 i valori di benzo(a)pirene a Domodossola sono risultati inferiori al valore obiettivo, situazione che non si verificava dal 2014, ma comunque più del doppio rispetto al Lingotto (0.9 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 137.

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	8653	8479	8654	8479	8712	8432
Percentuale ore valide	99%	97%	99%	97%	99%	96%
Media delle medie mensili dei massimi giornalieri	31	49	34	50	5.39	3.85
Media dei massimi giornalieri	31	49	34	50	5.39	3.84
Media dei valori orari	15	31	9	20	2.30	1.99

Tabella 22: dati statistici anno 2021 per le stazioni To-Lingotto e Domodossola-Curotti.

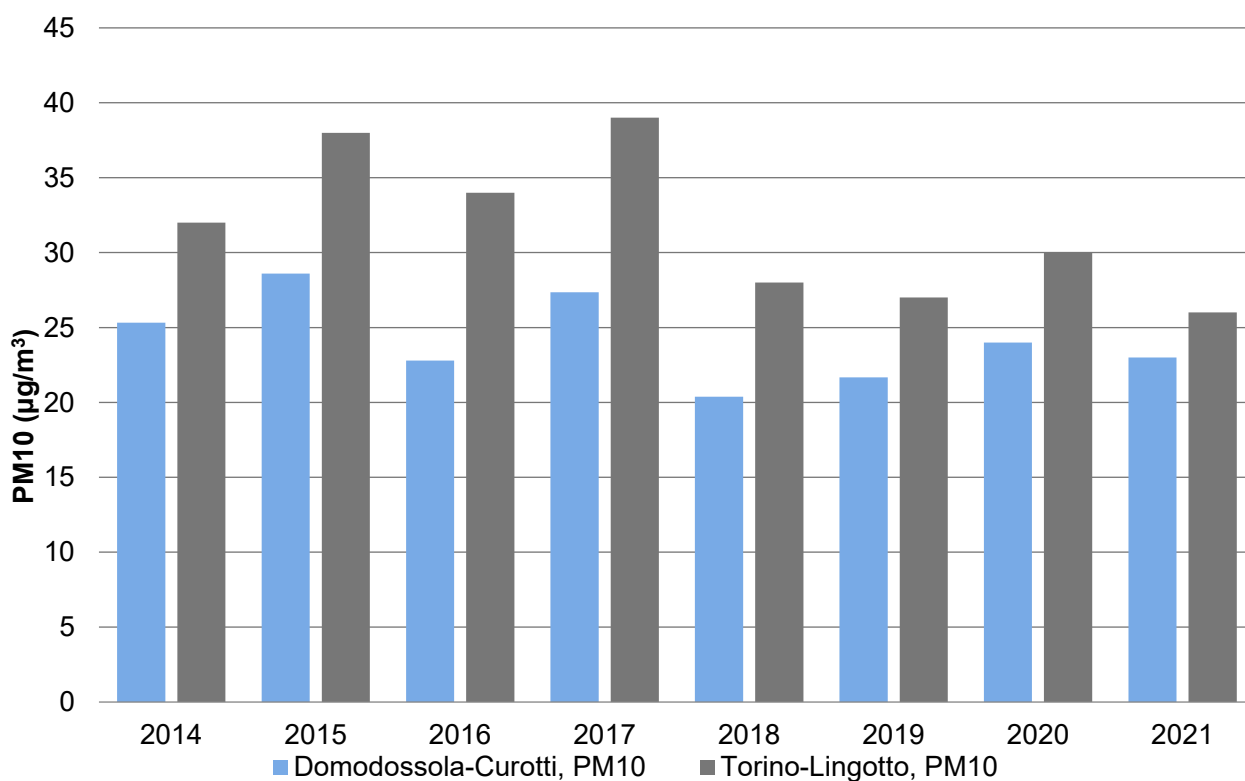


Figura 136: medie annuali di PM10 a Torino-Lingotto e Domodossola-Curotti.

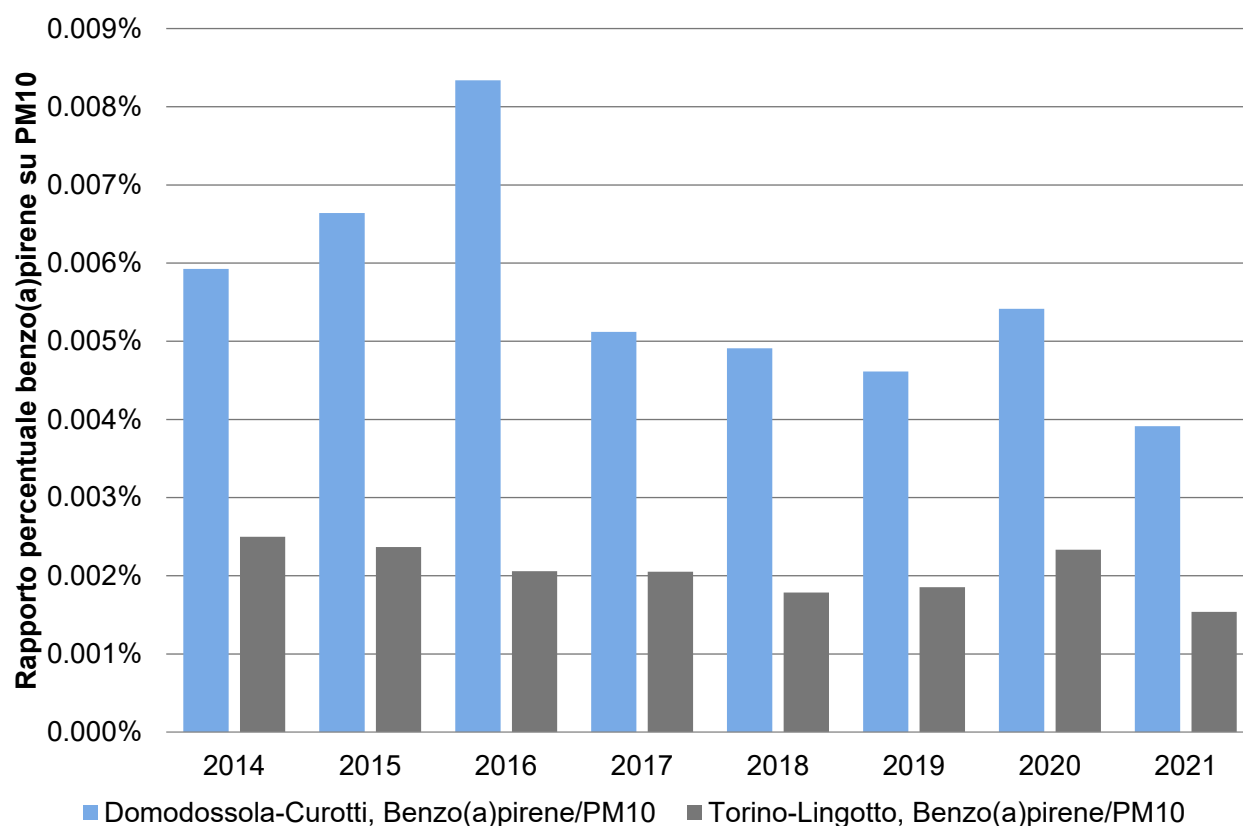


Figura 137: percentuale di benzo(a)pirene nel PM10 – anni 2014-2021.

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 Domodossola³⁹.

Come si può vedere in Tabella 22 ed in Figura 138, nel 2021, come avvenuto nel 2020, la media annua di BC a Domodossola è superiore a quella di Torino, mentre per il PM10 vale il contrario; pertanto il BC ha un contributo maggiore nel PM10 a Domodossola rispetto a Torino (10% contro 7.7%), più alto rispetto agli anni precedenti. I valori giornalieri presentano un andamento tipico annuale con massimi invernali e minimi estivi, correlato a quello del PM10.

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

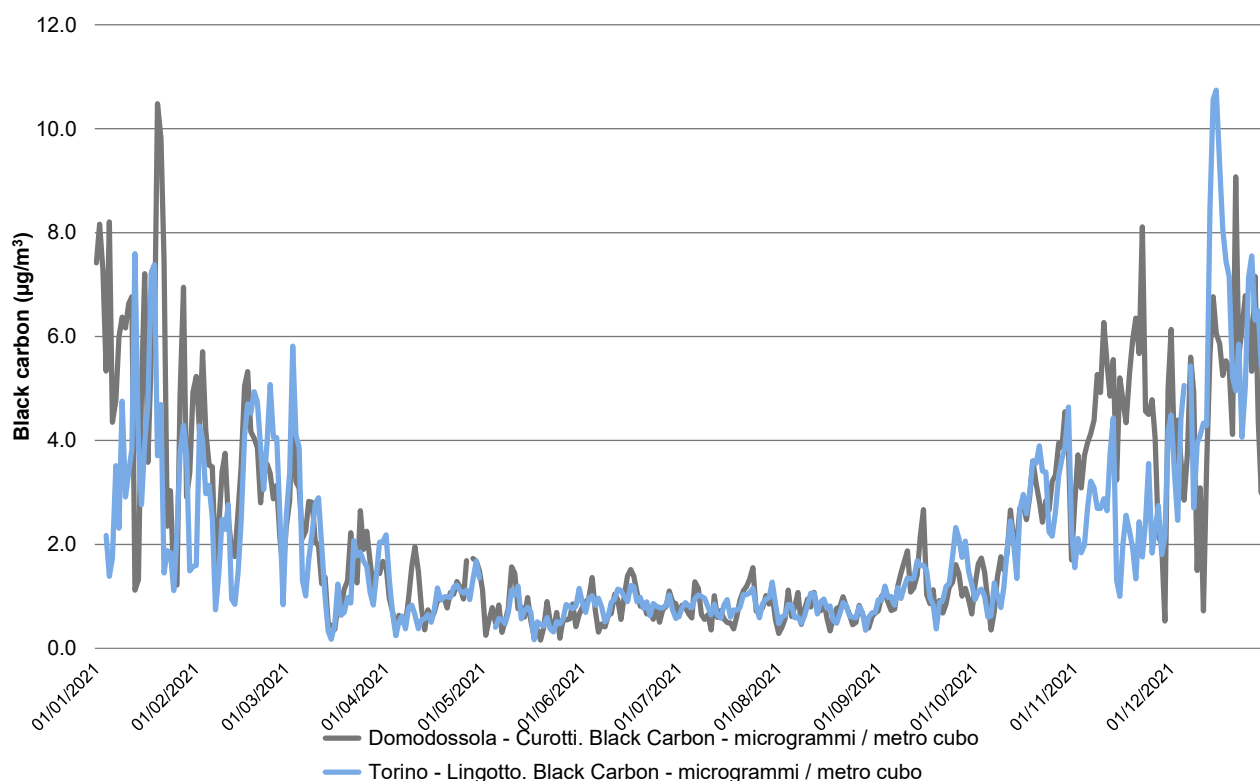


Figura 138: Andamento giornaliero del BC a Torino e Domodossola nel 2021.

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 tre inverni a Torino-Lingotto 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
To-Lingotto - NO ₂	0,63	0,68	0,75	0,79	0,65	0,71	0,71	0,54
To-Lingotto - NO	0,90	0,93	0,90	0,95	0,90	0,88	0,88	0,90
To-Lingotto - PM ₁₀	0,80	0,88	0,78	0,88	0,82	0,83	0,82	0,92

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
Domodossola Curotti - NO ₂	0,61	0,70	0,60	0,74	0,65	0,66	0,71	0,78
Domodossola Curotti - NO	0,65	0,39	0,65	0,61	0,57	0,47	0,62	0,53
Domodossola Curotti - PM ₁₀	0,82	0,83	0,85	0,88	0,83	0,61	0,94	0,80

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 ap-

plicando il metodo elaborato da Sandradewi, J. et al.⁴⁰. La verifica della correttezza di questo tipo di stima è stata approfondita in uno studio di Arpa Piemonte nel sito di Torino - Lingotto⁴¹. Nel 2019 il BC attribuibile alla combustione di biomasse è stato pari al 31% a Domodossola e al 14% a Torino - Lingotto, aumenta nel 2020 (38% e 20% rispettivamente), nel 2021 diminuisce a Domodossola (26%), mentre aumenta a Torino (26%). Considerando solo il periodo freddo ottobre – marzo i valori a Domodossola nel 2018 - 2019 sono il doppio di Torino (46% contro 23%, 3.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di BC contro 2.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), nel 2019 - 2020 a Domodossola aumenta la percentuale attribuibile alla combustione delle biomasse fino al 51%, mentre a Torino scende al 21%, nel 2020-21 a Domodossola rimane pressoché invariata (48%), mentre a Torino sale al 35%. Nell'ultimo inverno 2021 - 2022 la percentuale attribuibile alla combustione delle biomasse a Domodossola è pari al 43%, a Torino-Lingotto è il 33%. Anche l'analisi del profilo medio giornaliero degli ultimi quattro inverni (dal 2018 - 2019 al 2021 - 2022) 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 139, Figura 140 e Figura 141.

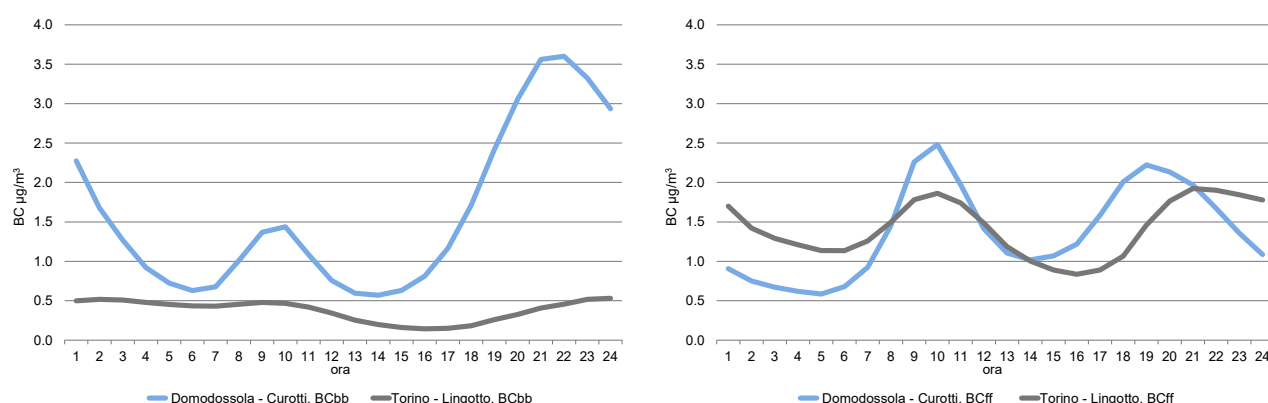


Figura 139: andamento del giorno medio per il BC da combustione di biomasse (sinistra) e per il BC da combustione di combustibili fossili (destra) nel periodo ottobre 2019 – marzo 2020.

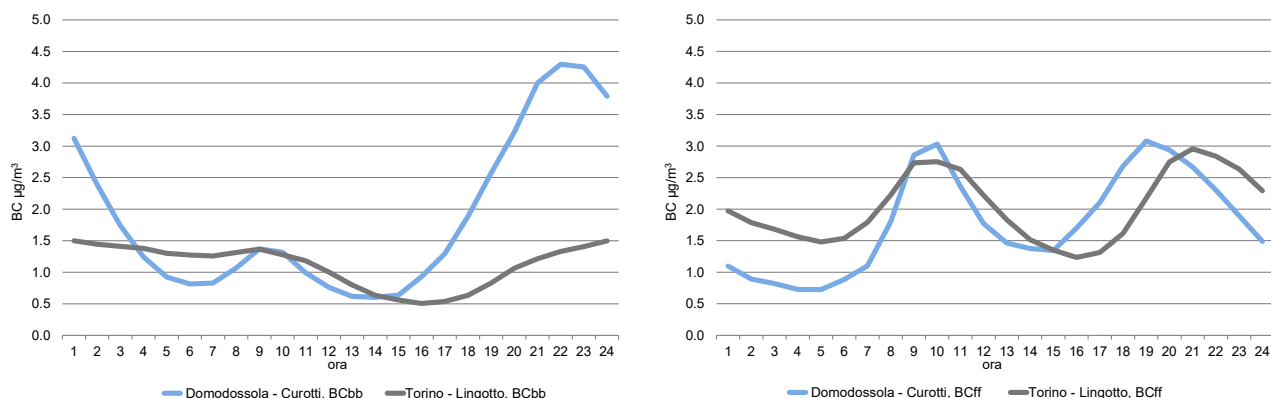


Figura 140: andamento del giorno medio per il BC da combustione di biomasse (sinistra) e per il BC da combustione di combustibili fossili (destra) nel periodo ottobre 2020 – marzo 2021.

- 40 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
- 41 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)

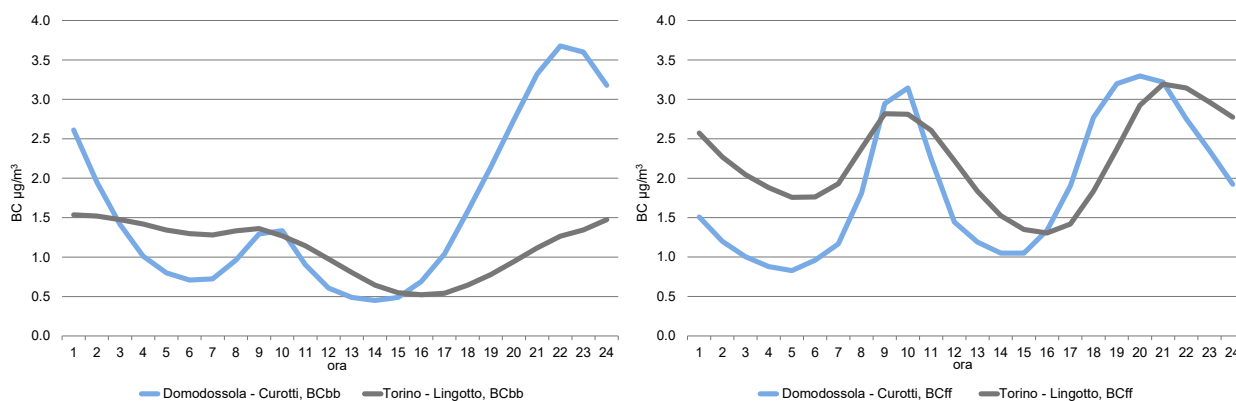


Figura 141: andamento del giorno medio per il BC da combustione di biomasse (sinistra) e per il BC da combustione di combustibili fossili (destra) nel periodo ottobre 2021 – marzo 2022.

E' interessante il confronto nella variazione dei parametri misurati nei quattro inverni (Tabella 25), infatti, se nel caso di Torino - Lingotto il PM10 varia poco, nel caso di Domodossola questo è in crescita; il BC dell'inverno 2021 - 2022 cala lievemente a Domodossola, mentre è in crescita a Torino. La componente da combustibili fossili è in crescita in entrambi i siti, mentre la componente da combustione di biomassa aumenta solo a Torino, a Domodossola torna ai livelli del 2018 - 2019. Si può quindi ipotizzare una lieve flessione nell'utilizzo di biomasse combustibili a Domodossola, mentre a Torino un suo aumento.

Per poter ipotizzare se il maggiore o minore utilizzo possa dipendere da una variazione meteorologica nel seguito si analizzano i principali indicatori meteorologici.

In generale in Piemonte la stagione invernale 2021 - 2022 è risultata piuttosto anomala, in quanto è risultata contemporaneamente molto secca e molto calda. In particolare, l'inverno 2021 - 2022 di Domodossola ha registrato temperature medie uguali a quelle dell'inverno 2020-21 (6.2°C), con una media dei massimi giornalieri superiore (13.3°C contro 12.2°C). Anche a Torino le temperature medie sono state pressoché analoghe nel 2021 - 2022 rispetto al 2020 - 2021 (8.4°C contro 8.5°C), però con una media dei massimi giornalieri superiore (12.5°C contro 12.0°C). Per entrambe le stazioni la piovosità è stata inferiore rispetto all'inverno precedente, con un deficit pluviometrico decisamente più marcato a Domodossola (circa - 350mm), rispetto a Torino (circa - 55 mm). Anche le precipitazioni nevose sono state scarse, in particolare rispetto a quanto generalmente si misura nelle Valli Ossolane, infatti 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, nel periodo invernale, 241 cm di neve fresca contro i 506 cm dell'inverno precedente. In generale dal 10 dicembre a fine marzo non si sono osservate precipitazioni significative, determinando un lungo periodo di stabilità atmosferica che ha facilitato l'accumulo di PM10 (salvo alcuni eventi di favonio) e fatto registrare numerosi superamenti del limite giornaliero, soprattutto a Torino.

Il maggiore utilizzo delle biomasse a Torino, quindi, non è giustificato da una diminuzione della temperatura rispetto all'inverno precedente.

	media inverno 2018-2019	media inverno 2019-2020	media inverno 2020-2021	media inverno 2021-2022
To-Lingotto, PM10	40	39	40	39
To-Lingotto, Stima % BC da combustione di biomassa	23	21	35	33
To-Lingotto, BC	2,63	1,79	3,12	3,33
To-Lingotto, BCbb	0,71	0,44	1,11	1,18
To- Lingotto, BCff	1,92	1,34	1,97	2,15
Domodossola - Curotti, PM10	24	30	33	34
Domodossola - Curotti, Stima % BC da combustione di biomassa	46	51	48	43
Domodossola - Curotti, BC	3,28	2,96	3,63	3,46
Domodossola - Curotti, BCbb	1,69	1,71	1,97	1,68
Domodossola - Curotti, BCff	1,52	1,25	1,65	1,79

Tabella 25: medie e variazioni percentuali degli inquinanti inverno 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021 e 2021-2022.

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.

Dal confronto dei grafici polar plot delle due stazioni, relativi al periodo invernale 01/10/2021-31/03/2022, in Figura 142 e Figura 143, emerge 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 emissive riferibili a una scala spaziale a carattere locale. Per la stazione di Torino - Lingotto, invece, si rilevano concentrazioni significative con vento di provenienza Sud-SudOvest, in particolare nelle ore notturne, denotando un possibile apporto dovuto a sorgenti di emissione esterne all'area di monitoraggio, genericamente identificabili in alcuni Comuni della prima cintura della conurbazione, caratterizzati da una tipologia di edilizia residenziale maggiormente predisposta all'uso della biomassa per il riscaldamento domestico, rispetto alla Città di Torino.

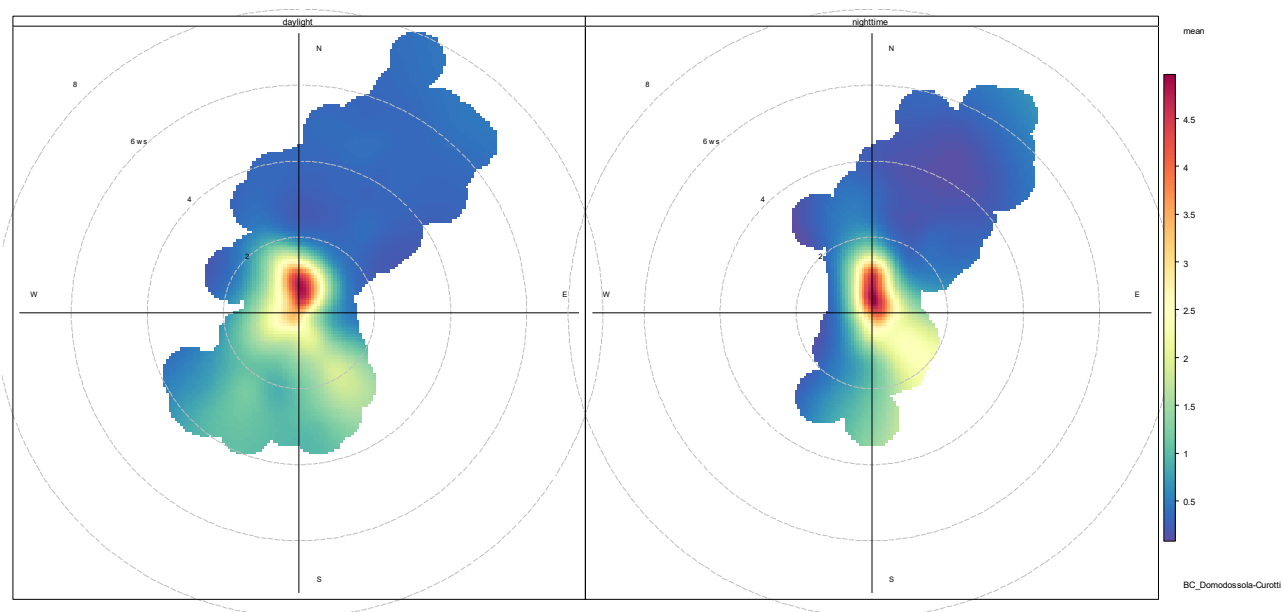


Figura 142: Domodossola-Curotti, Polar plot delle concentrazioni di BC in funzione di direzione e velocità del vento.

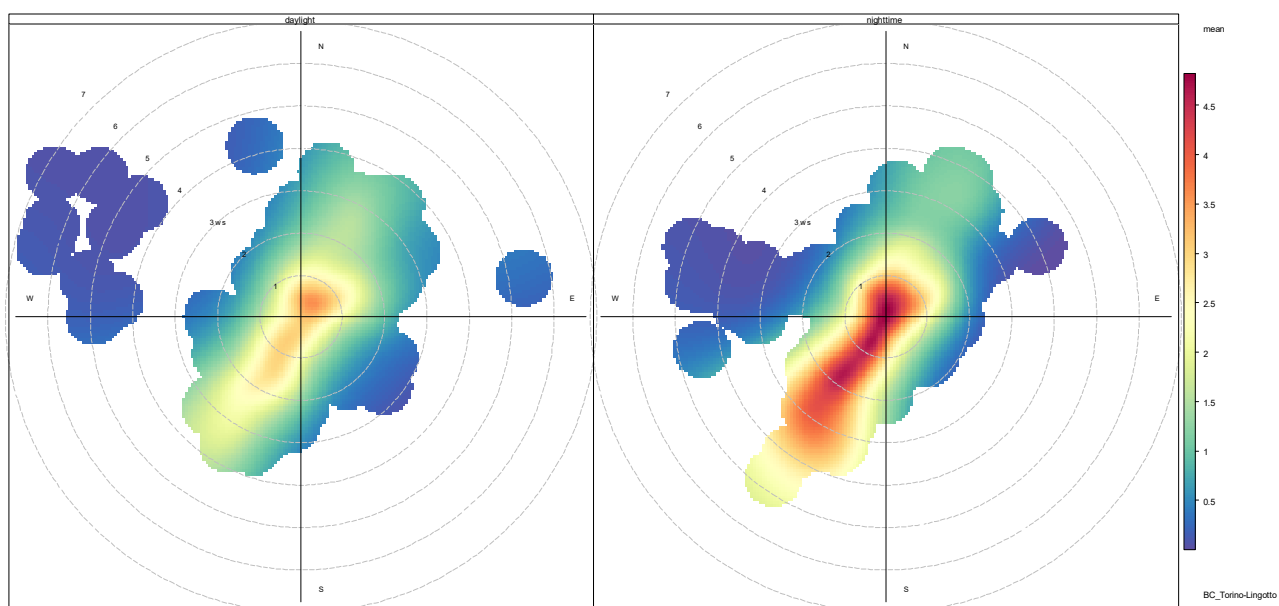


Figura 143: Torino-Lingotto, Polar plot delle concentrazioni di BC in funzione di direzione e velocità del vento.

7.2 Il protocollo operativo antismog della Regione Piemonte

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

7.2.1 Applicazione nell'inverno 2021/2022

Negli ultimi anni, a partire dalla stagione invernale 2016/2017, la Regione Piemonte ha adottato un protocollo (protocollo antismog) atto a mettere in campo una serie di misure, sia strutturali che temporanee/emergenziali, volte a contrastare le perduranti situazioni di inquinamento atmosferico che interessano la nostra regione. Sotto l'impulso dell'“Accordo per la qualità dell'aria nel bacino padano”, sottoscritto il 9 giugno 2017 da Emilia Romagna, Lombardia, Piemonte, Veneto e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM, oggi MITE, Ministero della transizione ecologica), il protocollo antismog si è consolidato e strutturato nel corso degli anni come una misura non solo regionale, ma condivisa a livello di bacino padano.

Il protocollo antismog legato alle misure temporanee ed emergenziali attualmente in vigore è quello identificato dalla Deliberazione della Giunta Regionale (D.G.R) n. 9-2916 del 26 febbraio 2021, ed è stato attivo dal 15 settembre 2021 al 15 aprile 2022.

Il protocollo antismog ha interessato tutti i comuni localizzati in tre delle cinque zone in cui è ripartito il territorio regionale ai fini della qualità dell'aria⁴²: Agglomerato - IT0118, Zona di Pianura - IT0119, Zona di Collina – IT0120. Per il settore trasporti le limitazioni sono state applicate a tutti i comuni localizzati nella zona Agglomerato – IT0118 e ai comuni con popolazione superiore a 10.000 abitanti localizzati nelle zone Pianure e Collina, per un totale di 76 comuni coinvolti (Figura 144).

I criteri per l'attivazione del semaforo antismog sono dettagliati nell'allegato 1⁴³ della Determina Dirigenziale 96/A1602B/2021 del 26 febbraio 2021 del Settore Emissioni e Rischi Ambientali della Regione Piemonte: oltre al livello verde di nessuna criticità, sono previsti due livelli di criticità la cui attivazione avviene in base ai valori di concentrazione media giornaliera previsti su ciascuna delle tre zone interessate dai provvedimenti:

- un primo livello arancione, nel caso di previsione per la media giornaliera del superamento del valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tre giorni consecutivi a partire dal giorno di controllo;
- un secondo livello rosso, nel caso di previsione del superamento del valore di $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pari ad 1.5 volte il valore limite giornaliero) per tre giorni consecutivi a partire dal giorno di controllo.

Il rientro da una situazione di allerta avviene nel caso in cui, nel giorno di controllo, si hanno due giorni, anche non consecutivi, di previsione per la media giornaliera su valori inferiori ai $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La valutazione dell'attivazione dei livelli del semaforo è effettuata da Arpa Piemonte, nei giorni stabiliti di controllo settimanale (lunedì, mercoledì e venerdì), mediante un algoritmo che analizza i dati di concentrazione media giornaliera di PM10 previsti, per il giorno di controllo ed i due giorni successivi, dal proprio sistema modellistico regionale di valutazione e previsione della qualità dell'aria (si veda per dettagli il Capitolo 2 del presente rapporto) ed opportunamente validati dagli esperti dell'Agenzia.

⁴² Deliberazione della Giunta regionale 30 dicembre 2019, n. 24-903

⁴³ <https://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/aria/aria/allegato1-protocollo-operativo-1-marzo-2021>

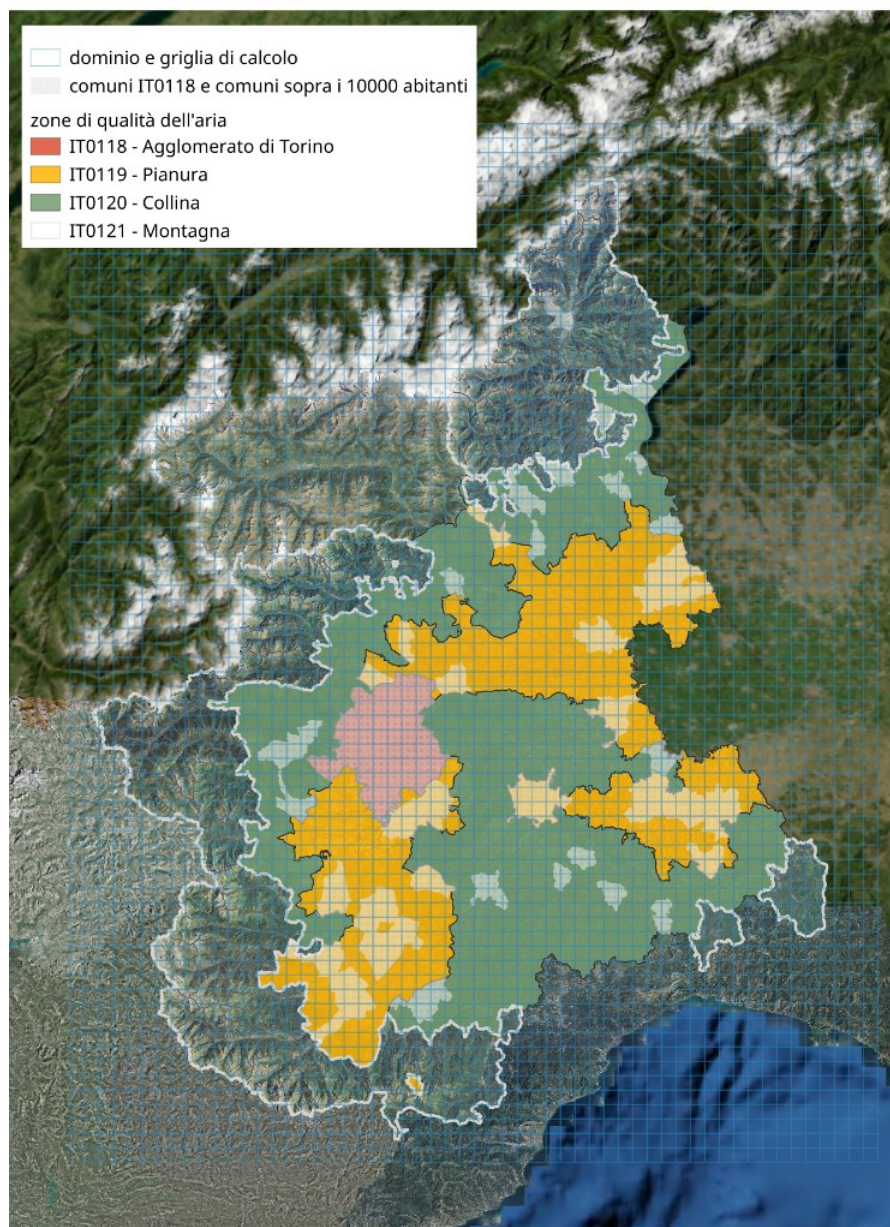


Figura 144: zone interessate dall'applicazione del protocollo antismog, con indicazione dei comuni interessati dalle misure di limitazione sul settore trasporti.

L'attivazione dei diversi livelli di allerta è stata valutata sull'intero periodo 15 settembre 2021 – 15 aprile 2022, per un totale di complessivo di 212 giorni. Le tabelle sottostanti riassumono quanto successo nell'inverno appena trascorso riportando le occorrenze dei livelli del protocollo antismog (in valore assoluto ed in percentuale) a livello complessivo annuale (Tabella 26) e con il dettaglio mensile (Tabella 27).

Per quanto riguarda la zona Agglomerato di Torino - IT0118 i giorni con livello del protocollo diversi dal verde sono stati circa il 18%, con frequenza di accadimento del livello arancione di poco superiore al 11% e del livello rosso di poco inferiore al 7%. I mesi più critici sono stati dicembre 2021, con una maggioranza di giorni con livello rosso (il 45% del totale) e gennaio 2022, con il 55% dei giorni con livello pari al livello arancione. Il livello arancione è stato attivato per 5 giorni anche a febbraio 2022, mentre per il resto del periodo invernale il semaforo del protocollo antismog è sempre rimasto al livello verde.

Comune/Area	Livello 0		Livello 1		Livello 2	
	n° giorni	%	n° giorni	%	n° giorni	%
IT0118 Agglomerato di Torino	174	82,1	24	11,3	14	6,6
IT0119 Pianura	196	92,5	16	7,5	0	0,0
IT0120 Collina	202	95,3	10	4,7	0	0,0

Tabella 26: Tabella riassuntiva dei risultati dell'applicazione del protocollo antismog per l'inverno 2021/2022, dal 15 settembre 2021 al 15 aprile 2022.

Nella zona Pianura - IT0119 non ci sono state attivazioni del livello rosso. Il livello arancione è stato attivo per il 7,5% del periodo, con una percentuale di attivazione del 45% nel mese di dicembre 2021 e del 6.5 % nel mese di gennaio 2022. Negli altri mesi il semaforo del protocollo antismog è sempre rimasto al livello verde.

Infine, per quanto riguarda la zona Collina-IT0120 il semaforo è stato attivo al livello arancione solo per 10 giorni (il 5% circa del totale) nel mese di dicembre 2021.

IT0118 Agglomerato di Torino	Livello 0		Livello 1		Livello 2	
	n° giorni	%	n° giorni	%	n° giorni	%
settembre 2021	15	100,0	0	0,0	0	0,0
ottobre 2021	31	100,0	0	0,0	0	0,0
novembre 2021	30	100,0	0	0,0	7	23,3
dicembre 2021	15	48,4	2	6,5	14	45,2
gennaio 2022	14	45,2	17	54,8	0	0,0
febbraio 2022	23	82,1	5	17,9	0	0,0
marzo 2022	31	100,0	0	0,0	0	0,0
aprile 2022	15	100,0	0	0,0	0	0,0

IT0119 Pianura	Livello 0		Livello 1		Livello 2	
	n° giorni	%	n° giorni	%	n° giorni	%
settembre 2021	15	100,0	0	0,0	0	0,0
ottobre 2021	31	100,0	0	0,0	0	0,0
novembre 2021	30	100,0	0	0,0	0	0,0
dicembre 2021	17	54,8	14	45,2	0	0,0
gennaio 2022	29	93,5	2	6,5	0	0,0
febbraio 2022	28	100,0	0	0,0	0	0,0
marzo 2022	31	100,0	0	0,0	0	0,0
aprile 2022	15	100,0	0	0,0	0	0,0

IT0120 Collina	Livello 0		Livello 1		Livello 2	
	n° giorni	%	n° giorni	%	n° giorni	%
settembre 2021	15	100,0	0	0,0	0	0,0
ottobre 2021	31	100,0	0	0,0	0	0,0
novembre 2021	30	100,0	0	0,0	0	0,0
dicembre 2021	21	67,7	10	32,3	0	0,0
gennaio 2022	31	100,0	0	0,0	0	0,0
febbraio 2022	28	100,0	0	0,0	0	0,0
marzo 2022	31	100,0	0	0,0	0	0,0
aprile 2022	15	100,0	0	0,0	0	0,0

Tabella 27: Tabella riassuntiva a livello mensile dei risultati dell'applicazione del protocollo antismog per l'inverno 2021/2022, dal 15 settembre 2021 al 15 aprile 2022.

7.3 Gli inquinanti non più critici nell'aria, le buone notizie

Testo a cura di Milena Sacco (Dipartimento Territoriale Piemonte Nord - Ovest)

7.3.1 Andamenti storici

Gli inquinanti ai quali attualmente si presta più attenzione sono quelli che tutt'ora registrano superamenti dei valori limite ed obiettivo, come visto nei capitoli precedenti, ma all'inizio degli anni '70-'80 del secolo scorso la fama era riservata ad altre sostanze, che ora sono dimenticate nei titoli dei mass-media.

Torino è la città con le serie storiche più lunghe relativamente a questi inquinanti, la si prende pertanto a titolo di esempio, in quanto nelle altre stazioni piemontesi la tendenza negli anni è la medesima.

La serie storica più lunga è quella relativa al biossido di zolfo, come si può vedere in Figura 145 dove è rappresentata la massima media giornaliera su base annuale dal 1972 al 2021, per Torino-Consolata, stazione di traffico, situata nella zona centrale della Città.

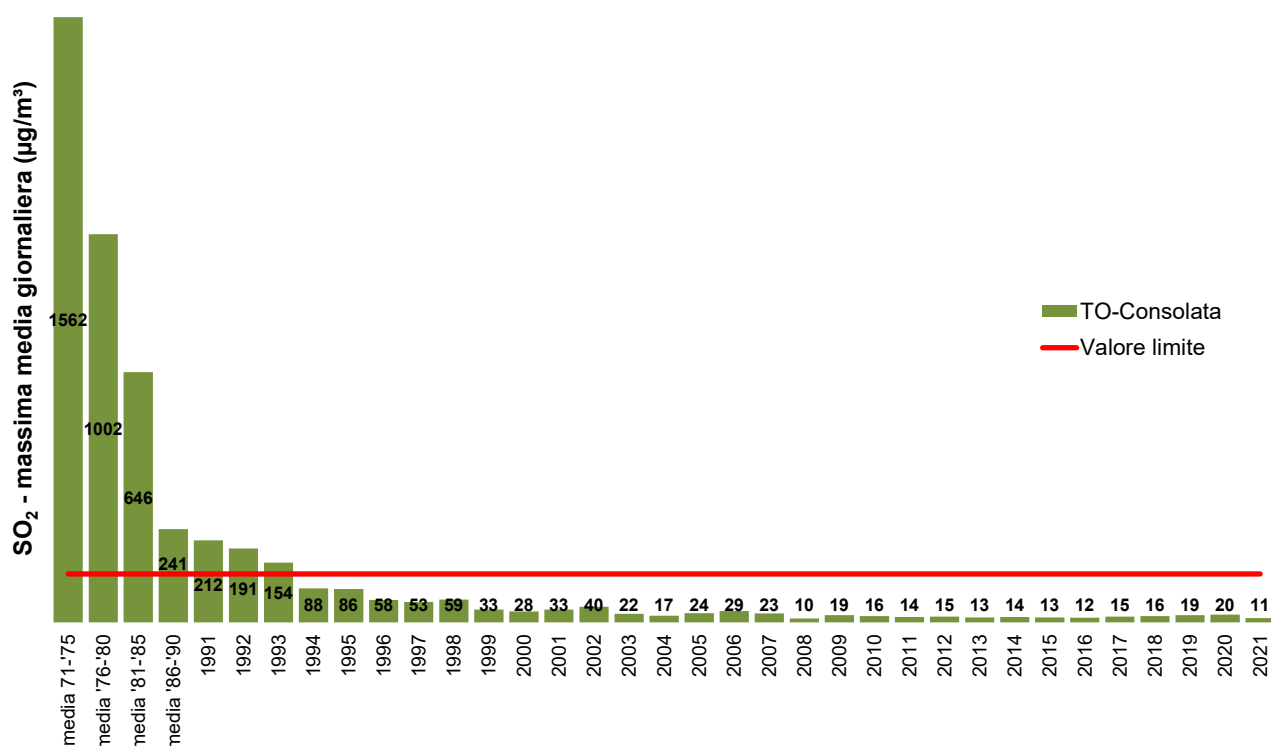


Figura 145: Biossido di zolfo SO₂: massima media giornaliera su base annuale, rilevata presso la stazione di Torino-Consolata

Le maggiori fonti antropiche di biossido di zolfo sono alcune attività industriali, in particolare gli impianti di combustione che utilizzano combustibili fossili solidi o liquidi (carbone, olio combustibile, gasolio), i processi metallurgici, gli impianti di produzione di acido solforico, la lavorazione delle materie plastiche. In passato il contributo del riscaldamento domestico e del traffico veicolare era molto superiore rispetto ad oggi. Le concentrazioni in aria ambiente sono notevolmente diminuite negli anni grazie alla normativa che ha limitato il tenore di zolfo contenuto nei combustibili ed all'aumento nell'utilizzo del metano nella produzione di energia e nel riscaldamento domestico.

A livello nazionale il trend decrescente delle emissioni di biossido di zolfo è determinato principalmente dalla riduzione delle emissioni da combustione nel settore energia (-99%) e nell'industria (-92%), che rappresentano nel 2019 rispettivamente il 13% e il 24% circa del totale. Anche le emissioni derivanti da impianti di combustione non industriali e autotrasporti registrano un forte decremento (-88% e -100%, rispettivamente), ma queste emissioni rappresentano solo il 10% e lo 0,3% circa del totale nel 2019. I processi produttivi e altre fonti mobili e macchinari presentano un trend

decescente significativo, mostrando un un'influenza sul totale del 25% e del 25% e in calo rispettivamente di circa -84% e -74%. (Fonte: [Italian Emission Inventory 1990-2019](#)).

Un altro inquinante tristemente famoso in passato è il piombo. Rilevato sul particolato atmosferico, la sua fonte principale era la benzina super nella quale era presente come additivo sotto forma di composto metallo-organico; progressivamente, a partire dal 1992, la concentrazione di questo metallo nella benzina venne ridotta e dalla fine del 2001 la benzina additivata con il piombo uscì dal mercato. Questo ha determinato una notevole diminuzione delle concentrazioni in aria ambiente; attualmente i livelli di piombo sono due ordini di grandezza inferiori rispetto ai rilevamenti degli anni '70, come si può osservare in Figura 146. Nel 2019 le maggiori fonti a livello italiano sono la combustione nell'industria e le industrie siderurgiche (Fonte: Italian Emission Inventory 1990-2019⁴⁴).

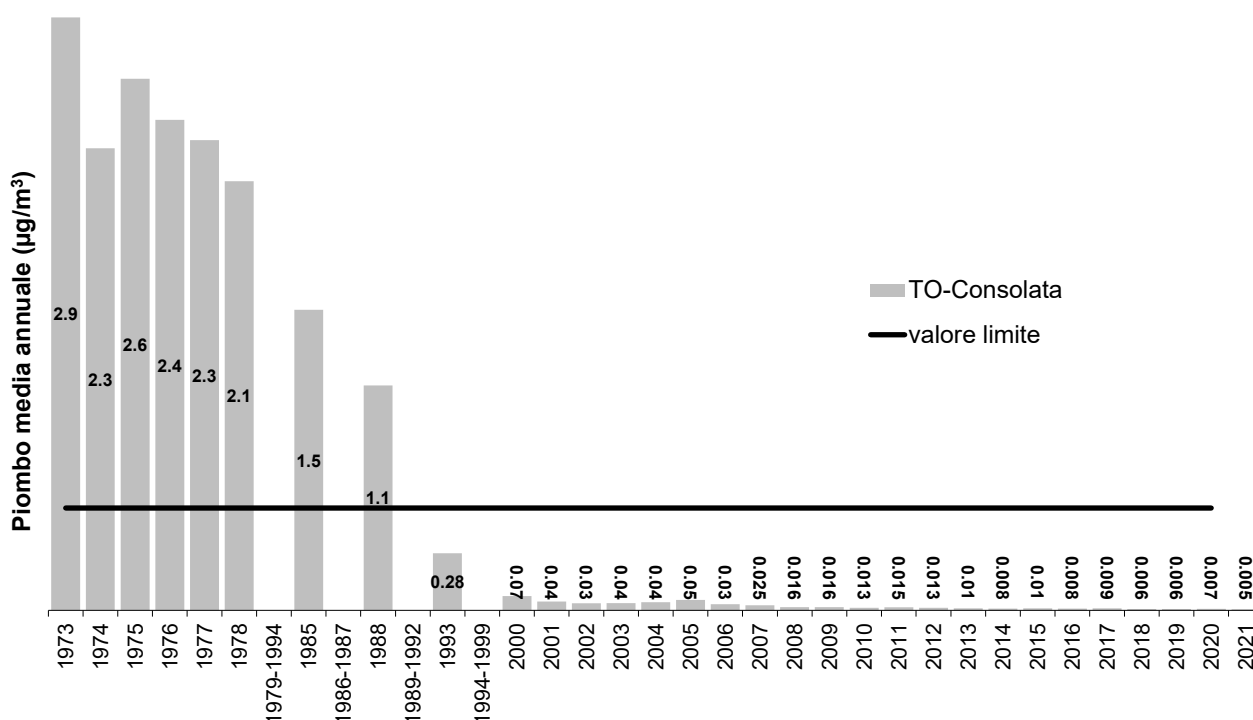


Figura 146: Piombo: massima media giornaliera su base annuale, rilevata presso la stazione di Torino - Consolata.

Legato al destino del piombo è il benzene, in quanto è stato aggiunto nella benzina come antidetonante al posto del piombo, quando questo è stato vietato, ma è anch'esso una sostanza tossica, classificata come cancerogeno certo⁴⁵ dalla IARC (International Agency for Research on Cancer) ed in grado di provocare leucemia con esposizioni croniche⁴⁶.

L'andamento dei valori medi annui presso la stazione di Torino-Consolata è visualizzabile in Figura 147. Il valore limite, pari 5 µg/m³ come media annuale, è stato rispettato a partire dal 2004, anche grazie alla normativa italiana che ha fissato il tenore massimo consentito di benzene nell'1 per cento in volume (da luglio 1998) ed al progressivo aumento del numero di auto con catalizzatore ossidante sul totale degli autoveicoli circolanti.

44 <https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/rapp-342-2021.pdf>

45 <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100F-24.pdf>

46 <https://www.issalute.it/index.php/la-salute-dalla-a-alla-z-menu/b/benzene#bibliografia>

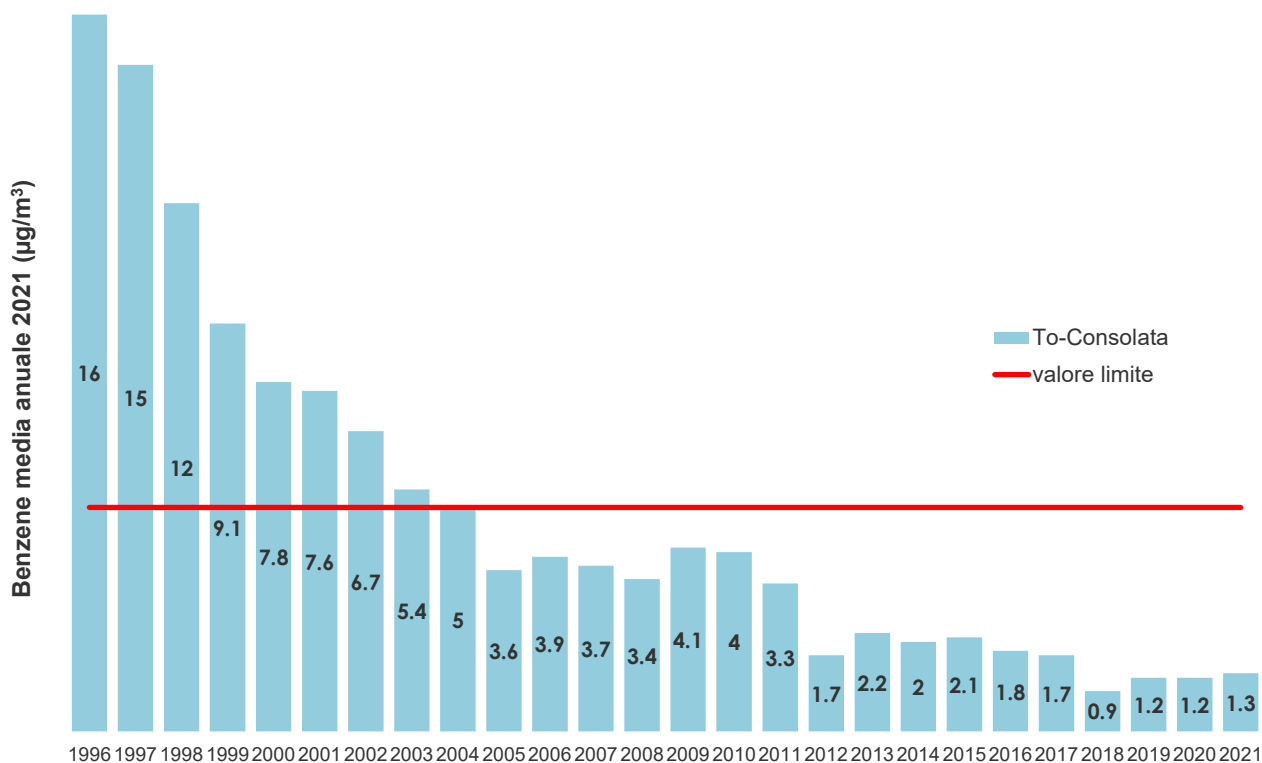


Figura 147: Benzene: concentrazioni medie annuali rilevate negli anni 1996-2021, presso la stazione di Torino-Consolata.

Per evidenziare il calo delle concentrazioni di monossido di carbonio, si mostra la stazione di Torino-Rebaudengo, la più critica a livello regionale, in quanto hot spot di inquinamento da traffico veicolare (Figura 148). Il monossido di carbonio deriva principalmente dalla combustione incompleta dei combustibili organici (carbone, olio, legno, carburanti). Nell'ambito dei trasporti, la principale sorgente di CO è rappresentata dai gas di scarico dei veicoli a benzina funzionanti a regimi di motore al minimo ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato.

La riduzione nelle concentrazioni misurate è dovuta soprattutto al calo delle emissioni nel settore dei trasporti, grazie al miglioramento dell'efficienza dei motori per autotrazione ad accensione comandata ed all'utilizzo dei convertitori catalitici per il trattamento dei gas di scarico.

Secondo i dati disponibili⁴⁷ (2019) a livello italiano, le emissioni da trasporto su strada e da altre fonti mobili e macchinari, rappresentano rispettivamente il 19% ed il 6% del totale delle emissioni di CO, mostrando una diminuzione dal 1990 al 2019 di circa il 92% e il 73% rispettivamente. Le emissioni da impianti di combustione non industriali, invece, costituiscono circa il 61% del totale nel 2019, registrando un forte incremento tra il 1990 e il 2019, pari al 59%, dovuto all'incremento dell'utilizzo del legno per il riscaldamento domestico.

Il fattore comune di questi inquinanti, il cui calo è stato così netto nel corso degli anni, è che sono tutti primari, vale a dire emessi direttamente dalle sorgenti. Per questi la diminuzione delle emissioni ha significato conseguentemente una riduzione nelle concentrazioni osservate in aria ambiente. Per gli inquinanti con prevalente natura secondaria (PM10, PM2.5, ossidi di azoto), il trend in decrescita non è così deciso, soprattutto negli ultimi anni. Ancor peggio per l'ozono, di totale origine secondaria con precursori di origine antropica e naturale, per il quale non si evidenzia una tendenza in generale.

47 <https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/rapp-342-2021.pdf>

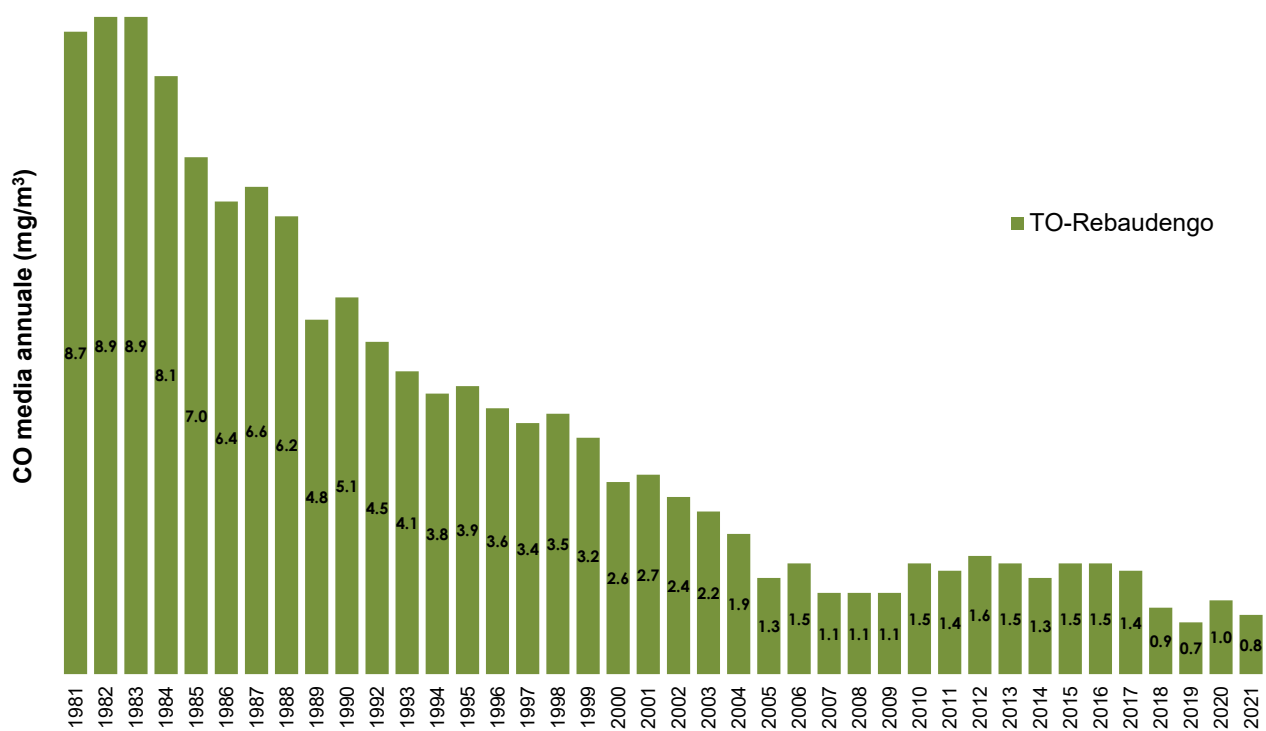


Figura 148: concentrazioni medie annuali di monossido di carbonio rilevate negli anni 1981-2021, presso la stazione di Torino-Rebaudengo.

7.4 Qualità dell'aria e meteorologia

Testo a cura di Luisella Bardi (Dipartimento Territoriale Piemonte Sud - Ovest)

L'influenza della meteorologia sui livelli di concentrazione degli inquinanti è particolarmente importante per l'ozono ed il materiale particolato, inquinanti totalmente (l'ozono) o parzialmente (il materiale particolato) di carattere secondario. Essi sono contraddistinti da lunghi tempi di permanenza in atmosfera e, proprio per questo motivo, si distribuiscono su scale spaziali molto ampie. Analizzando il range delle concentrazioni giornaliere (banda azzurra in Figura 149 e banda grigia in Figura 150) registrate dalle stazioni di misura di tutta la regione nell'anno 2021, è infatti possibile innanzitutto osservare come i livelli delle concentrazioni di questi inquinanti varino in modo piuttosto omogeneo sul territorio regionale ed in secondo luogo come tali variazioni siano condizionate dalla meteorologia.

Per l'ozono, anche nel 2021 la temperatura è stata uno dei parametri meteorologici che hanno condizionato la formazione, e pertanto le concentrazioni, di questo inquinante tipicamente estivo; picchi di temperatura e di concentrazione sono infatti generalmente concomitanti.

Per le polveri sottili la figura evidenzia come le precipitazioni siano state un importante fenomeno di rimozione di questo inquinante, mentre i periodi con condizioni meteorologiche di accumulo corrispondano ai periodi con le concentrazioni più elevate.

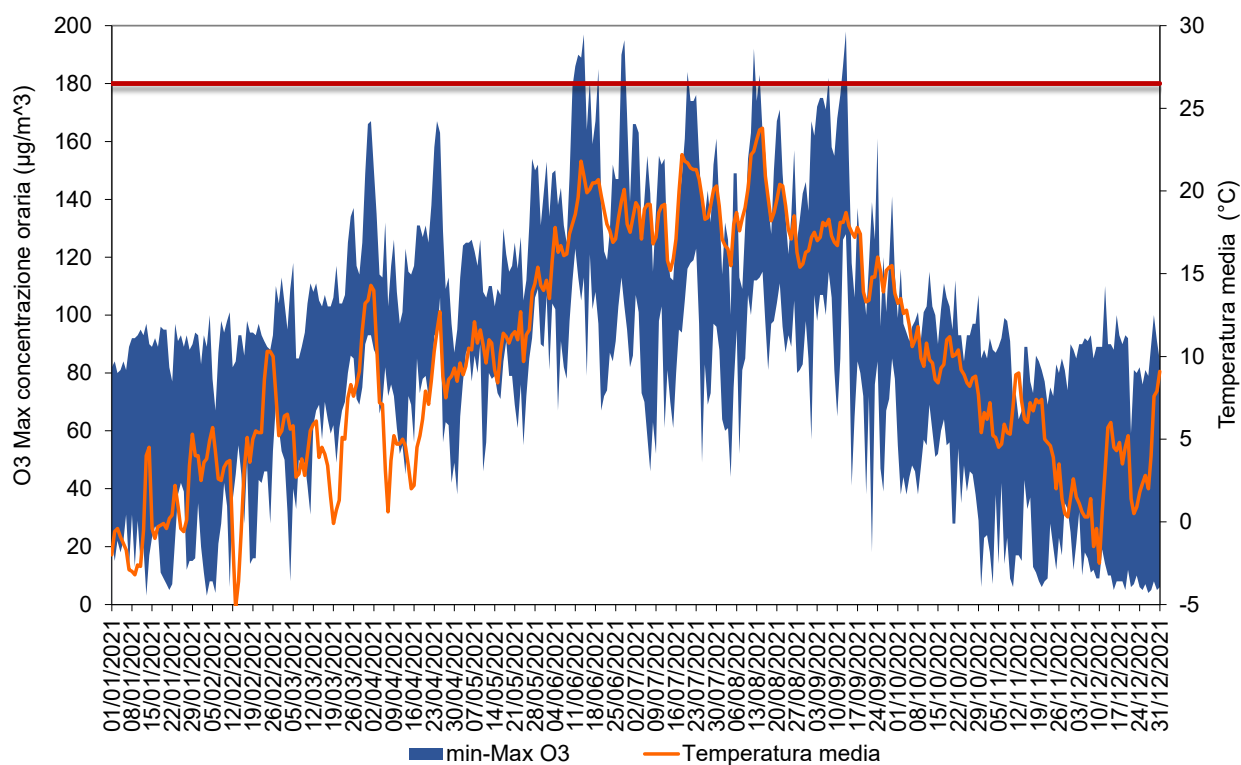


Figura 149: O₃: Range delle concentrazioni massime orarie di tutte le stazioni della rete regionale in ciascun giorno del 2021 e temperatura media giornaliera delle stazioni regionali; in rosso la soglia di informazione.

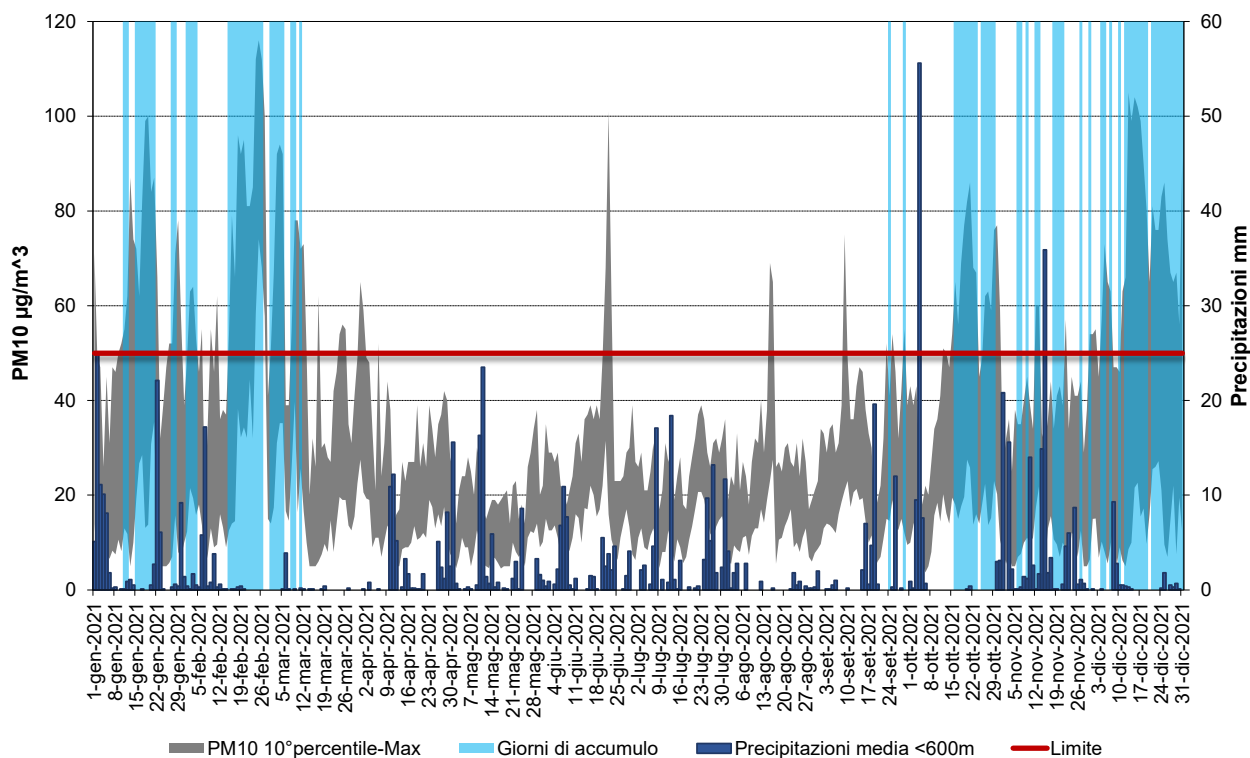


Figura 150: PM10: Range delle concentrazioni medie giornaliere di tutte le stazioni della rete regionale in ciascun giorno del 2021; precipitazioni cumulate giornaliere (media delle stazioni con quota <600m), indicatore di accumulo regionale.

Approfondendo il discorso sul materiale particolato, i grafici a box plot rappresentati in Figura 151 consentono di valutare l'entità delle concentrazioni di PM10, PM2.5 e del rapporto PM2.5/PM10 nelle giornate caratterizzate da condizioni di accumulo sul territorio regionale⁴⁸ ed in quelle senza condizioni di accumulo. L'analisi dei dati conferma come l'indice utilizzato sia un buon indicatore delle giornate di accumulo a livello regionale, evidenzia infatti differenze statisticamente significative tra i due gruppi di dati per le due frazioni di materiale particolato (PM10 e PM2.5); la differenza significativa per il rapporto PM2.5/PM10 indica come, nelle giornate di accumulo, il particolato, oltre a crescere in concentrazione, si arricchisca della frazione fine delle polveri.

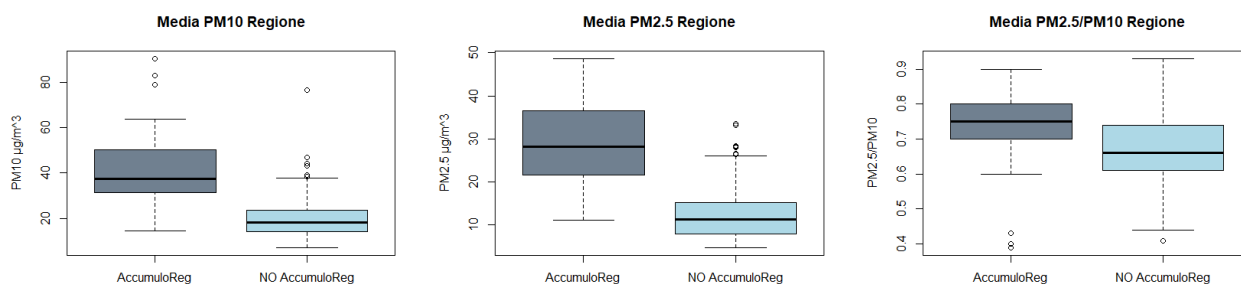


Figura 151: Box plots delle concentrazioni giornaliere di PM10, PM2.5, e del rapporto PM2.5/PM10 delle stazioni della regione nel 2021 suddivise tra giornate con situazione di accumulo regionale e giornate di non accumulo.

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

I grafici a box plot rappresentati in Figura 152 consentono invece di valutare, per le concentrazioni delle due frazioni del particolato e per il loro rapporto, le differenze tra le giornate in cui le precipitazioni sono assenti e in quelle con precipitazioni⁴⁹.

I due gruppi di dati evidenziano come, a livello regionale, le precipitazioni introducano differenze statisticamente significative per entrambe le frazioni del particolato, ne dimostrano pertanto l'efficacia nell'abbattimento. L'aumento del rapporto PM2.5/PM10 nei giorni con precipitazioni indica tuttavia come l'efficacia delle precipitazioni sia maggiore per la frazione grossolana delle polveri.

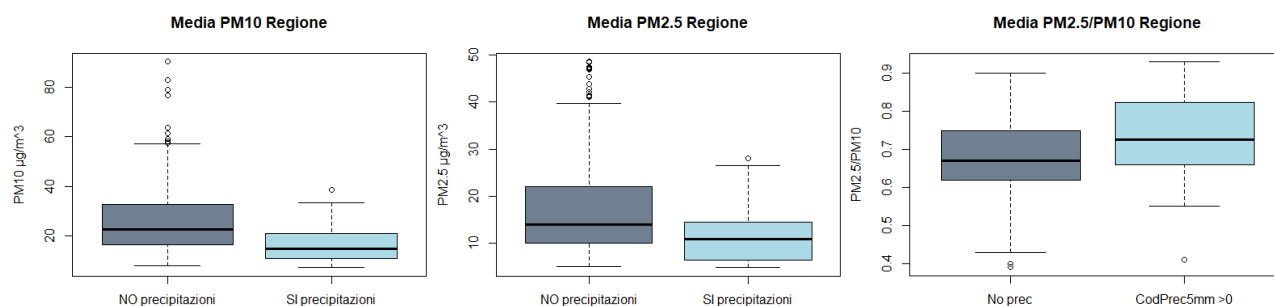


Figura 152: Box plots delle concentrazioni giornaliere di PM10, PM2.5, e del rapporto PM2.5/PM10 delle stazioni della regione nel 2021 suddivise tra giornate con precipitazioni e giornate senza precipitazioni.

Tale analisi, finora illustrata per i dati del 2021, è stata estesa per il PM10 a tutti gli anni compresi tra il 2004 ed il 2021⁵⁰. Al fine di concentrare l'analisi ai periodi tipicamente caratterizzati dai livelli più elevati di polveri sottili, sono stati considerati per ciascun anno solamente i dati dei mesi freddi (gen, feb, mar, ott, nov, dic). Il grafico di Figura 153 illustra come le precipitazioni determinino differenze significative sui livelli di concentrazione di ciascun anno.

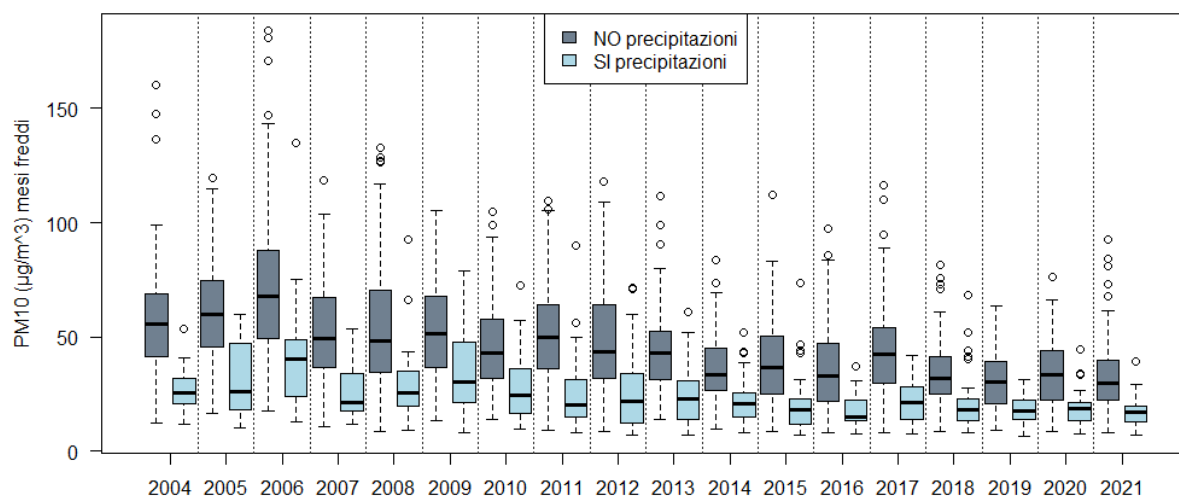


Figura 153: Box plots delle concentrazioni giornaliere di PM10 delle stazioni della regione dei mesi freddi degli anni compresi dal 2004 al 2021 suddivise tra giornate con precipitazioni e giornate senza precipitazioni.

Continuando a considerare i dati del semestre freddo di ciascun anno sono stati inoltre calcolati i trend delle medie giornaliere sul periodo 2004-2021 separatamente per i giorni con precipitazioni e quelli senza precipitazioni, i risultati sono rappresentati nei grafici di Figura 154. In tal modo, ovvero scorporando i dati delle giornate in cui le concentrazioni sono abbattute dalle precipitazioni, è

49 A partire dalla media delle precipitazioni cumulate giornaliere di tutte le stazioni meteo della regione con quota <600 m, sono stati considerati "giorni con precipitazioni" i giorni con precipitazione cumulata media ≥ 5 mm in almeno uno degli ultimi tre giorni. Tale soglia è stata determinata mediante analisi statistica dei valori di PM10

50 Sono stati considerati i dati delle 12 stazioni che nei 18 anni dal 2004 al 2021 hanno almeno 16 anni di dati disponibili: Alba - Tanaro, Asti - D'Acquisto, Biella - Sturzo, Borgaro T. - Caduti, Borgosesia - Tonella, Bra - Madonna Fiori, Carmagnola - I Maggio, Cuneo - Alpini, Druento - La Mandria, Susa - Repubblica, Torino - Consolata, Verbania - Gabardi

possibile meglio stimare l'entità della riduzione delle concentrazioni del PM10 a livello regionale dovuta alle azioni intraprese per la riduzione delle emissioni (figura di sinistra).

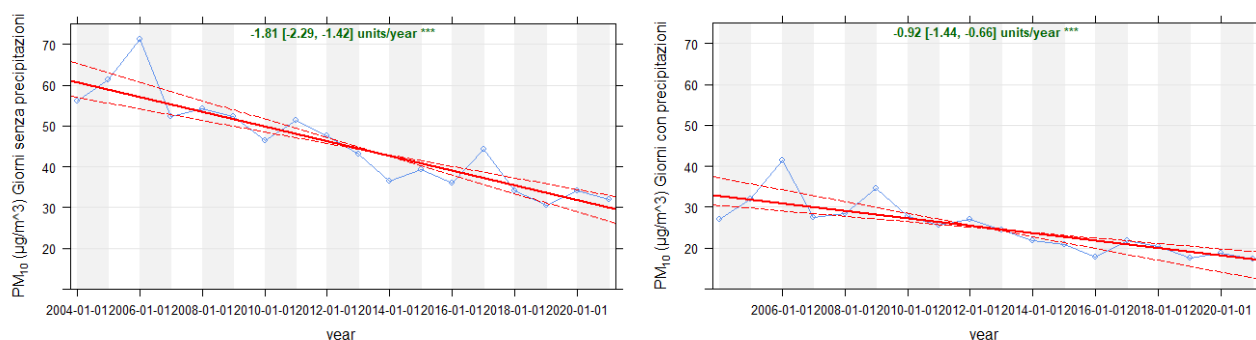


Figura 154: Stima dei trend delle concentrazioni del semestre freddo di PM10 negli anni 2004 ÷ 2021 per i giorni senza precipitazioni (a sinistra) e per i giorni con precipitazioni (significatività statistica $p < 0.001$).

Una valutazione di quanto le precipitazioni abbiano influito in ciascun anno sui valori dei due indicatori considerati dalla normativa per il PM10 (media annua e numero di superamenti del limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si ottiene con i due grafici di Figura 155, dove per ciascun anno di misura sono rappresentati i valori dei due indicatori in funzione del numero di giorni con precipitazioni del semestre freddo.

I grafici dimostrano come all'aumentare del numero di giorni con precipitazioni, diminuiscano in modo lineare sia la concentrazione media annua del PM10 che il numero di giorni di superamento del limite giornaliero.

Dall'analisi emerge un'ulteriore e importante informazione: per entrambi gli indicatori, vengono a definirsi due gruppi di dati con differenti pendenze delle rette di correlazione. Ciò dimostra come, negli anni più recenti, mediamente su tutto il territorio regionale si riescano a mantenere valori più contenuti di superamenti e di concentrazioni medie anche nelle annate in cui il numero di giorni di pioggia è limitato. Tale situazione è indice di un cambiamento del quadro emissivo, ovvero di una sostanziale riduzione dei quantitativi di inquinanti emessi in atmosfera che si è verificata nel tempo.

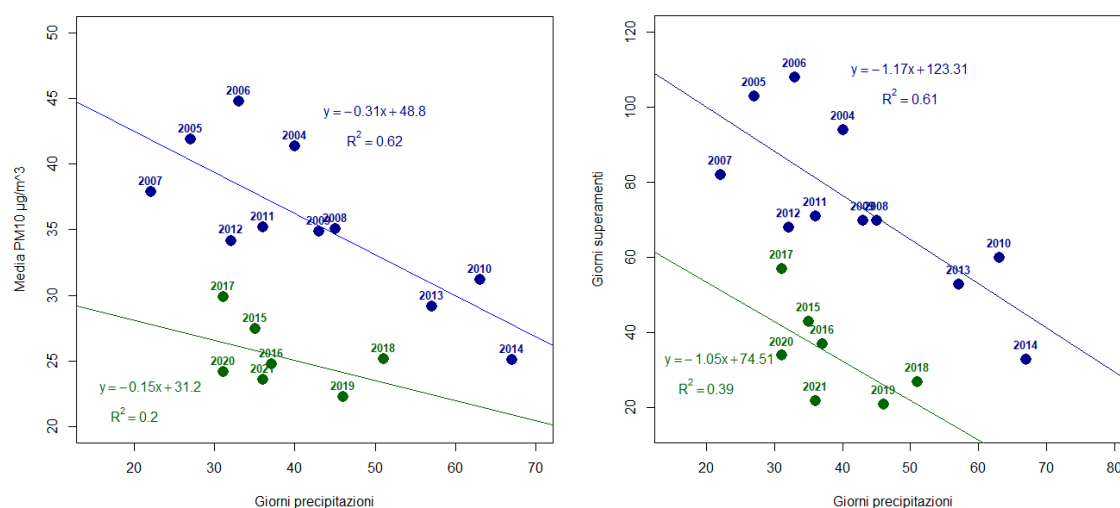


Figura 155: Concentrazioni medie annue (a sinistra) e numero di giorni di superamento del limite giornaliero (a destra) del PM10 in funzione del numero di giorni con precipitazioni⁵¹ superiori a 5 mm.

⁵¹ A partire dalla media delle precipitazioni cumulate giornaliere di tutte le stazioni meteo della regione con quota <600 m, sono stati considerati "giorni con precipitazioni" i giorni con precipitazione cumulata media ≥ 5 mm.

7.5 Studio modellistico di dispersione degli inquinanti immessi in atmosfera dal termovalorizzatore di Torino – Anno 2019

Testo a cura di Roberta De Maria (Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali)

7.5.1 Introduzione

Il programma SPoTT (Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino) ha preso avvio nel 2013 con l'obiettivo di valutare gli effetti avversi sulla salute dell'inquinamento ambientale nelle aree circostanti il termovalorizzatore di Torino. Attraverso studi epidemiologici e di biomonitoraggio, SPoTT permette di studiare le possibili relazioni tra fattori di rischio ambientali e patologie specifiche, valutando un possibile assorbimento di eventuali sostanze contaminanti.

A gennaio 2020 è stato avviato SPoTT-2, la seconda fase del Programma SPoTT, finalizzata al mantenimento dell'attività di monitoraggio sui cittadini residenti nei pressi dell'impianto; le attività previste si svolgono nel periodo 2020 – 2023 e si articolano in 10 linee progettuali, dal biomonitoraggio (su residenti, allevatori, lavoratori dell'impianto), agli studi epidemiologici sulla popolazione e sui lavoratori, al monitoraggio sulle matrici alimentari e vedono il coinvolgimento di un gruppo di lavoro multidisciplinare che include personale specializzato di ASL, ARPA, Istituto Zooprofilattico Sperimentale e Istituto Superiore di Sanità.

Nell'ambito di SPoTT-2 è stato previsto l'inserimento di una linea di attività per la realizzazione di uno studio modellistico di dispersione degli inquinanti in atmosfera finalizzato ad aggiornare, utilizzando i dati emissivi e di funzionamento reali dell'impianto, l'indagine modellistica redatta da Arpa nell'ambito dello studio di caratterizzazione del bianco ambientale (condotto sull'anno 2005 antecedentemente alla costruzione dell'impianto). L'obiettivo è quello di descrivere adeguatamente le emissioni dei diversi inquinanti prodotti dall'inceneritore e valutare il loro contributo rispetto ai livelli di qualità dell'aria e di deposizione al suolo, permettendo una maggiore comprensione degli impatti e un supporto agli studi epidemiologici.

Lo studio prevede la modellizzazione, su tre differenti anni meteorologici, della dispersione degli inquinanti prodotti dal termovalorizzatore, utilizzando modelli di dispersione con caratteristiche diverse al fine di fornire informazioni fra loro complementari sugli impatti associati al funzionamento dell'impianto:

- un modello lagrangiano a particelle (SPRAY⁵², ARIANET S.r.l.) in grado di rappresentare dettagliatamente la dispersione delle sostanze immesse in atmosfera anche nei pressi della sorgente, idoneo a lavorare – con risoluzione orizzontale elevata – su scale spaziali prevalentemente di tipo locale. Questa modellizzazione permetterà di fornire, per ognuno dei tre anni di simulazione e con risoluzione temporale oraria, una stima delle ricadute degli inquinanti e dei microinquinanti (fra cui IPA, PCB e PCDD/DF) emessi dal termovalorizzatore e non soggetti a trasformazione chimica (assimilandoli quindi ad inerti), nonché la stima delle loro deposizioni al suolo;
- un modello *Chemical Transport Model* CTM (FARM⁵³, ARIANET S.r.l.) con il quale realizzare, su un unico anno di simulazione, l'aggiornamento dello studio condotto per il bianco ambientale ottenendo la quantificazione del contributo del termovalorizzatore anche sulla componente secondaria degli inquinanti atmosferici.

Durante il 2021 è stato condotto il primo degli studi modellistici di dispersione realizzati con il modello SPRAY sull'anno 2019. Per ulteriori approfondimenti si rimanda al Report 12 disponibile sul sito di progetto (<https://www.spott.dors.it/>).

52 Tinarelli G., SPRAY 3.1 – *General Description and User's guide* – Code versions 3.1.15 and 3.2.0 – Arianet R2013.27 – January 2021

53 G. Calori, C. Silibello, G.F. Marras, 2018. FARM (*Flexible Air quality Regional Model*) Model formulation and user's manual – Arianet R2018.22

7.5.2 Metodologia

Scopo della modellizzazione è quello di ricostruire, su un dominio centrato sul termovalorizzatore e avente dimensioni pari a 45 chilometri x 48 chilometri, le variabili meteorologiche e chimiche ad una risoluzione spaziale e temporale dettagliata. A tal fine è stata utilizzata una catena modellistica di tipo tridimensionale, in cui la descrizione del moto degli inquinanti in atmosfera è stata realizzata, su 4 domini innestati a risoluzione crescente, attraverso simulazioni meteorologiche condotte con il modello totalmente compressibile e non-idrostatico *Weather Research and Forecasting Model* WRF⁵⁴; tale modello può lavorare su una vasta gamma di applicazioni a diversa scala, da quella sinottica (su uno spazio di migliaia di chilometri) fino a quella locale (su uno spazio di pochi chilometri o poche centinaia di metri). I dati di input al modello WRF sono rappresentati dalle analisi sui livelli di pressione del modello IFS (*Integrated Forecasting System*) di ECMWF (*European Centre for Medium Range Weather Forecast*). In un successivo passaggio è stata quindi realizzata una ulteriore discesa di scala, attraverso l'applicazione di un modello mass-consistent e di un pre-processore per la turbolenza.

Parallelamente è stata condotta sul dominio dispersivo la modellizzazione delle emissioni del termovalorizzatore, utilizzando i dati acquisiti dal Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni (SME) dell'impianto e, per i parametri non monitorati in continuo (microinquinanti e metalli), i risultati delle analisi periodiche che vengono effettuate sulle tre linee sia da TRM sia da Arpa Piemonte.

I dati meteorologici ed emissivi rappresentano i dati di ingresso necessari alla realizzazione della simulazione di dispersione e trasporto degli inquinanti condotta ad una risoluzione spaziale di 500 metri sul dominio illustrato in Figura 156.

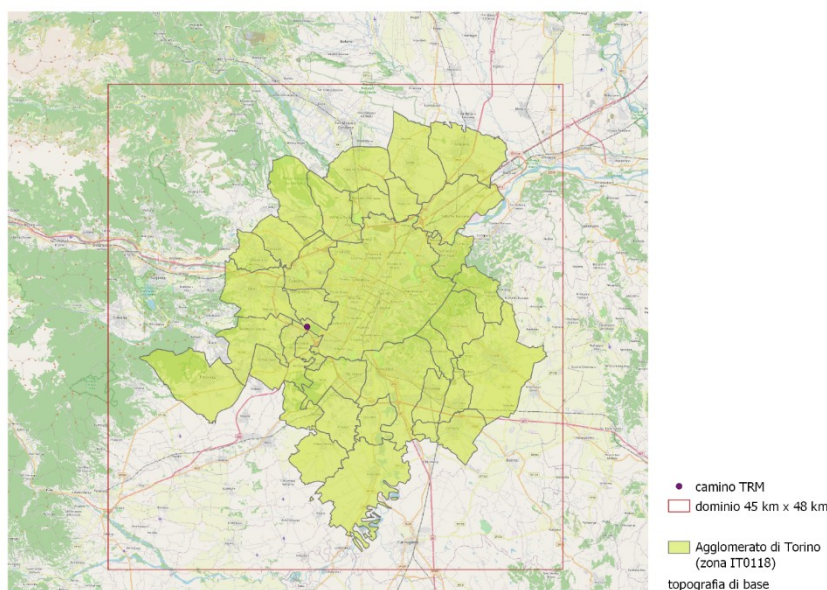


Figura 156: Dominio utilizzato per le simulazioni dispersive.

Il modello SPRAY permette di calcolare - oltre ai i campi di concentrazione tridimensionale orari per tutti gli inquinanti gassosi considerati come inerti - anche le deposizioni atmosferiche (sia secche che umide), che rappresentano un importante meccanismo di rimozione delle sostanze presenti in atmosfera. Nello studio sono state calcolate le deposizioni totali (secche e umide) per:

- particolato atmosferico PM10 e PM2.5;
- microinquinanti e metalli, ipotizzando che vengano veicolati dal particolato PM10 primario e, conseguentemente, una parte delle emissioni di queste sostanze depositi come questa frazione granulometrica.

Con i risultati della modellizzazione sono state prodotte mappe di concentrazione e deposizione per i vari inquinanti che descrivono le aree maggiormente interessate dalle ricadute; è stato inoltre

54 NCAR – National Center for Atmospheric Research, UCAR – Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory

effettuato il confronto fra le concentrazioni stimate dal modello e quelle misurate presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nella zona.

7.5.3 Dati emissivi

L'impianto di termovalorizzazione è dotato di un camino di 120 m di altezza, all'interno del quale sono presenti tre canne, corrispondenti alle diverse linee di lavorazione.

Il Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni permette il controllo delle emissioni delle tre linee attraverso l'analisi costante dei fumi dell'impianto, in modo da tale da fornire un riscontro in tempo reale dell'andamento delle emissioni in atmosfera e degli eventuali superamenti di valori limite, mettendo in opera tempestive azioni correttive. Gli inquinanti monitorati in continuo presso il termovalorizzatore sono: polveri totali, sostanze organiche totali (esprese come carbonio organico totale, COT), acido cloridrico (HCl), acido fluoridrico (HF), ammoniaca (NH₃), ossidi di azoto (NO_x espressi come NO₂), biossido di zolfo (SO₂), monossido di carbonio (CO) e mercurio (Hg). I dati acquisiti dallo SME nel corso del 2019 sono stati sottoposti ad una procedura di verifica ed elaborati al fine di produrre i dati necessari alla simulazione modellistica.

Per quanto riguarda gli inquinanti non monitorati dallo SME, ovvero microinquinanti (IPA, PCB, PCDD/DF) e metalli⁵⁵, per disporre di un dato sufficientemente rappresentativo delle emissioni del termovalorizzatore, sono stati elaborati i risultati dei campionamenti realizzati sulle tre linee negli anni dal 2013 al 2020; in Tabella 28 è riportato il numero di campioni considerati, suddiviso fra quelli realizzati da Arpa e dal gestore, ai fini della caratterizzazione delle emissioni di microinquinanti e metalli.

	Numero campioni					
	Cd+Tl	Zn	Metalli	IPA	PCDD	PCB
ARPA	21	21	21	63	63	63
TRM	69	69	69	68	68	45
Totale	90	90	90	131	131	108

Tabella 28: Numero campioni considerati per la caratterizzazione delle emissioni del termovalorizzatore

7.5.4 Risultati

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, espressi come biossido di azoto NO₂⁵⁶, la Figura 157 descrive le concentrazioni medie annue attribuite all'impianto mentre la Figura 158 mostra la distribuzione del 99.79° percentile⁵⁷ delle concentrazioni medie orarie. La massima concentrazione media annua stimata dal modello è pari a 0.32 µg/m³, a fronte di un valore limite annuo previsto dal D.Lgs. 155/2010 pari a 40 µg/m³. La massima concentrazione per il 99.79° percentile è di 15.9 µg/m³, mentre il massimo delle medie orarie è pari a 56.6 µg/m³. Il valore limite per il 99.79° percentile delle medie orarie previsto dalla normativa è pari a 200 µg/m³.

Il contributo dell'impianto calcolato in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nell'area è illustrato in Tabella 29, dove le concentrazioni stimate dalla modellizzazione vengono confrontate con i dati misurati dalle centraline: la concentrazione massima oraria è stimata in corrispondenza della stazione di Beinasco – la più prossima all'impianto - con un valore di 12.4 µg/m³, mentre il 99.79° percentile più elevato pari a 4.6 µg/m³ si colloca a Collegno. Le concentrazioni medie annue sono molto ridotte, con valori più elevati ad Orbassano (0.18 µg/m³) e Collegno (0.11 µg/m³).

⁵⁵ I metalli monitorati, secondo quanto prescritto dall'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), sono: cadmio (Cd) e tallio (Tl) (espressi come sommatoria), zinco (Zn), antimonio (Sb), arsenico (As), piombo (Pb), cromo (Cr), cobalto (Co), rame (Cu), manganese (Mn), nichel (Ni), vanadio (V), stagno (Sn) (espressi come sommatoria)

⁵⁶ Cautelativamente, non è stato considerato il rateo di trasformazione che avviene normalmente in atmosfera da monossido a biossido di azoto, confrontando quindi direttamente le concentrazioni di NO_x risultanti dalla modellizzazione con l'NO₂ previsto dalla normativa

⁵⁷ Il 99.79° percentile coincide con il valore che viene al più superato per 18 ore l'anno

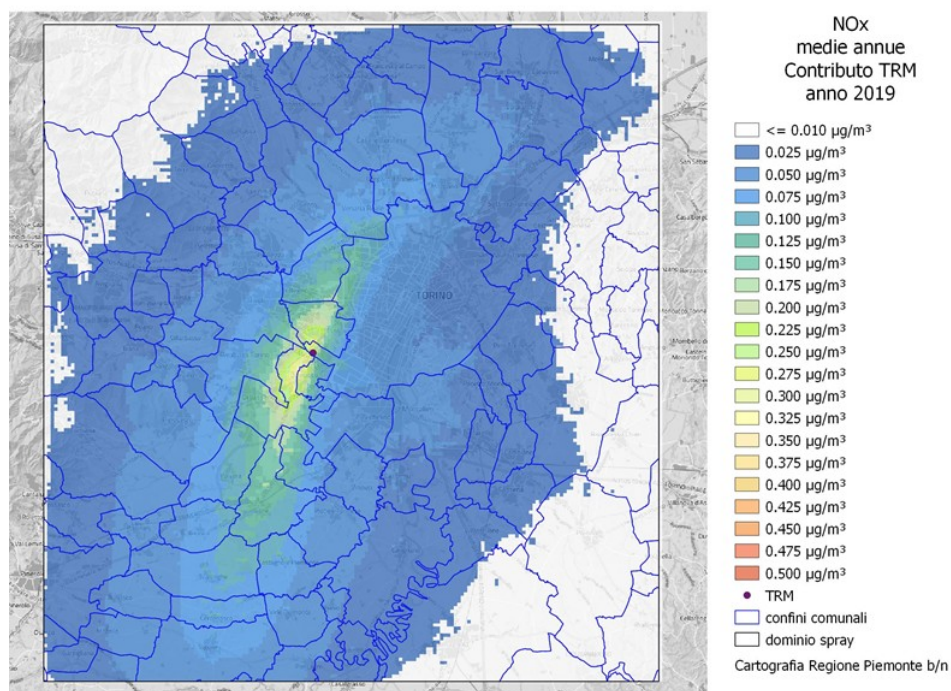


Figura 157: Ossidi di azoto (espressi come NO₂) – concentrazione media annua – 2019.

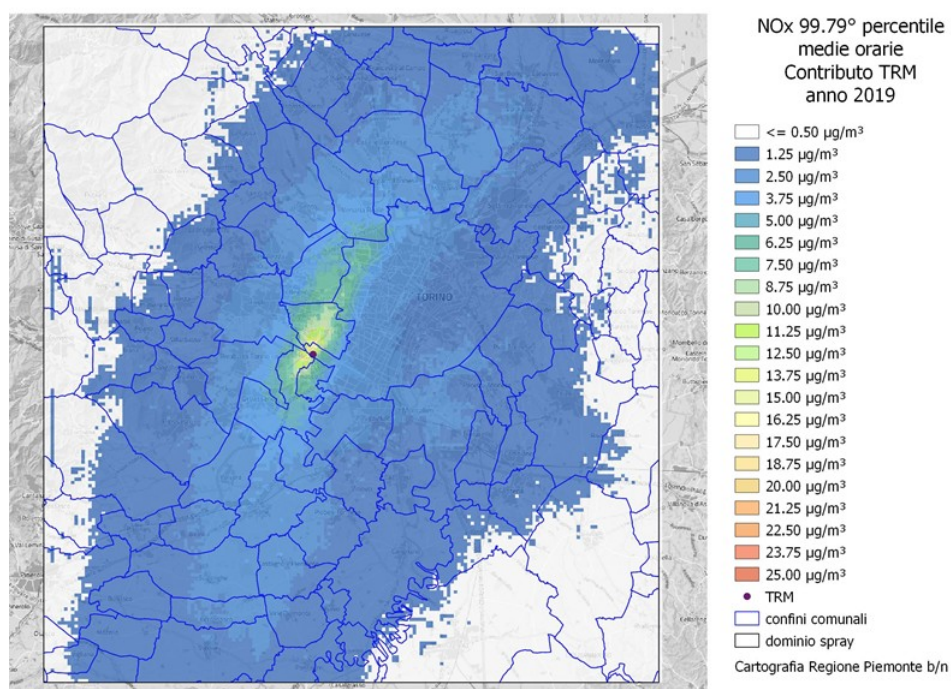


Figura 158: Ossidi di azoto (espressi come NO₂) – 99.79° percentile concentrazioni orarie – 2019.

BIOSSIDO DI AZOTO	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Massimo orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		99.79°percentile medie orarie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
Baldissero	15.2	0.01	100	1.8	70	0.6
Beinasco	30.8	0.09	205	12.4	122	4.0
Borgaro	24.9	0.05	129	4.0	100	2.3
Carmagnola	34.1	0.01	134	0.8	107	0.4
Chieri	21	0.01	108	1.2	92	0.6
Collegno	45.8	0.11	189	9.4	159	4.6
Druento	11.3	0.02	90	2.0	65	0.7
Leini	22.8	0.04	118	3.3	90	2.2
Orbassano	31.1	0.18	140	10.8	114	4.0
Settimo Torinese	36.3	0.02	163	1.8	143	0.9
Torino - Consolata	53.3	0.03	195	3.0	147	1.4
Torino - Lingotto	37.3	0.05	136	3.6	110	1.7
Torino - Rebaudengo	59.9 (*)	0.03	269 (*)	4.6	195 (*)	1.3
Torino - Rubino	33	0.05	135	4.3	118	2.2
Vinovo	27.5	0.03	140	2.4	109	1.1

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 29: Biossido di azoto: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA.

Fra i microinquinanti, l'unico idrocarburo policiclico aromatico normato ai sensi del D. Lgs. 155/2010 è il benzo(a)pirene (B(a)P), determinato sul particolato PM10, per il quale è previsto un valore obiettivo annuale di $1 \text{ ng}/\text{m}^3$. Dal punto di vista delle emissioni, l'Autorizzazione Integrata Ambientale fa riferimento alla classe degli IPA, pertanto i risultati vengono espressi come totale dei contributi delle diverse molecole.

La concentrazione media annua di IPA in aria stimata dal modello ha massimo pari a $0.06 \text{ pg}/\text{m}^3$, ovvero $0.00006 \text{ ng}/\text{m}^3$, ampiamente inferiore al valore obiettivo previsto per il solo benzo(a)pirene. La distribuzione delle deposizioni medie annue mostra un valore massimo delle deposizioni totali pari a $0.54 \text{ ng}/\text{m}^2\text{d}$, localizzata nei pressi dell'impianto.

La Tabella 30 riporta il confronto fra le concentrazioni misurate e simulate - sia in atmosfera sia nelle deposizioni, in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria - di IPA⁵⁸ e di B(a)P; come si può osservare, il contributo del termovalorizzatore è molto modesto rispetto ai valori misurati, sia nel caso delle concentrazioni in aria sia in quello delle deposizioni, con concentrazioni simulate aventi diversi ordini di grandezza inferiori rispetto a quelle misurate, anche considerando il solo benzo(a)pirene.

58 La concentrazione degli IPA viene determinata sul particolato PM10 sommando i contributi di benzo(a)antracene, benzo(b+j+k)fluorantene, benzo(a)pirene e indeno(1,2,3-cd)pirene

IPA e B(a)P	Media annuale (ng/m ³)		
	osservato		simulato
	IPA	B(a)P	
Stazione			
Beinasco	2.82	0.5	0.000016
Borgaro	3.03 (*)	0.6 (*)	0.000009
Carmagnola	3.04	0.6	0.000001
Druento	1.38	0.2	0.000003
Settimo Torinese	4.18	0.8	0.000003
Torino - Consolata	2.33	0.4	0.000005
Torino - Grassi	3.65	0.7	0.000010
Torino - Lingotto	2.86	0.5	0.000007
Torino - Rebaudengo	4.43	0.9	0.000005
Torino - Rubino	2.28 (*)	0.4 (*)	0.000009

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

IPA e B(a)P Deposizioni	Media annuale (ng/m ² d)		
	osservato		simulato
	IPA	B(a)P	
Stazione			
Beinasco	38.7	6.6	0.02
Grugliasco	31.7	3.8	0.01
Orbassano	48.5	6.6	0.03
Rivalta	29.8	4.0	0.01

Tabella 30: Idrocarburi policiclici aromatici: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA per le concentrazioni (tabella a sinistra) e le deposizioni (tabella a destra).

Per quanto riguarda policlorodibenzodiossine/policlorodibenzofurani (PCDD/DF), per le concentrazioni in aria non sono previste indicazioni normative⁵⁹. Per le deposizioni sono disponibili valori guida proposti da alcune organizzazioni a partire dai valori di “dose tollerabile per l'organismo umano” (TDI – *Tolerable daily intake*⁶⁰) stabiliti dall'Unione Europea e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità; in particolare si farà riferimento al valore di deposizione media annua di PCDD/DF di 14 pg I-TEQ/m²d correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ/kg di peso corporeo⁶¹.

Le deposizioni medie annue totali stimate dal modello hanno un valore massimo di 0.12 pg/m²d, ampiamente inferiore al valore di riferimento di 14 pg I-TEQ/m²d. Il confronto fra le deposizioni simulate e misurate presso la stazione di Beinasco è riportato in Tabella 31, con concentrazioni stimate come contributo del termovalorizzatore di tre ordini di grandezza inferiori a quelle misurate.

PCDD/DF Deposizioni	Media annuale (pg/m ² d)	
	osservato	simulato
Beinasco	4.13	0.0045

Tabella 31: Idrocarburi policiclici aromatici, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri.

Anche per quanto riguarda il mercurio⁶², non sono previsti valori limite per le concentrazioni in atmosfera o per le deposizioni. Partendo dalle misure dello SME relative al mercurio totale, sono state effettuate due diverse valutazioni: la prima, i cui risultati sono riportati in Tabella 32, ipotizza che tutto il mercurio emesso dall'impianto rimanga in fase gassosa in aria, la seconda, con risultati illustrati in Tabella 33, che il mercurio (come nel caso dei microinquinanti) sia veicolato dal

59 Un valore di 150 fg I-TEQ/m³ in aria ambiente è stato proposto nel 1994 dal LAI (Commissione degli Stati Federali per la protezione dalle Immissioni); in un successivo aggiornamento (2004) il LAI ha proposto un limite per la concentrazione totale in aria di miscele di PCDD, PCDF e PCB-DL pari a 150 fg WHO-TEQ/m³. <https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheit/pdf/LAI2004.pdf>

60 Quantità cumulativa di PCDD/DF e PCB “diossina-simili” che può essere giornalmente assunta, per la durata di vita media, senza che si abbiano effetti tossici apprezzabili

61 L. Van Lieshout et al Deposition of dioxin in Flanders (Belgium) and a proposition for guide values. Atm. Env. 35 suppl. n. 1 2001 S83-S90

62 In aria ambiente il mercurio è presente in diverse forme, principalmente mercurio elementare allo stato gassoso Hg⁰ (dal 90% al 99%) e, in percentuale molto inferiore, come mercurio sul particolato Hg(p) e mercurio gassoso bivalente Hg(II).

particolato PM10 e, quindi, che una frazione di quanto emesso in atmosfera venga rimosso per deposizione.

Il confronto fra le concentrazioni simulate di mercurio in fase gassosa e quelle osservate presso la stazione di monitoraggio di Beinasco mostra come i valori stimati dalla modellizzazione siano, per media annua, massima media giornaliera e massima media oraria, ampiamente inferiori a quanto misurato.

Il confronto fra le deposizioni medie annuali in corrispondenza del sito di Beinasco mostra valori simulati che, sebbene inferiori alle misure, hanno lo stesso ordine di grandezza, evidenziando un contributo significativo dell'impianto alle concentrazioni misurate.

Mercurio	Media annuale (ng/m³)		Massimo media giornaliera (ng/m³)		Massimo orario (ng/m³)	
	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
Stazione						
Beinasco	3	0.019	9	0.377	42	1.63

Tabella 32: Mercurio: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA.

Hg Deposizioni	Media annuale (ng/m²d)	
	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
Stazione		
Beinasco	30	18.5

Tabella 33: Mercurio, deposizioni totali: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA.

7.5.5 Conclusioni

Per tutti gli inquinanti, sia a livello di concentrazioni in atmosfera sia di deposizioni, i risultati delle simulazioni modellistiche mostrano un contributo del termovalorizzatore alle concentrazioni misurate decisamente modesto, spesso inferiore di uno o più ordini di grandezza rispetto ai valori misurati.

L'unico inquinante per il quale la simulazione restituisce concentrazioni medie annue per le deposizioni totali inferiori alle misure ottenute presso la stazione di Beinasco, ma dello stesso ordine di grandezza, è il mercurio. I risultati delle attività previste nel prosieguo del programma SPoTT-2 (ulteriori simulazioni modellistiche meteorodispersive e i dati derivanti dal monitoraggio delle deposizioni di mercurio avviato presso la sede Arpa di Torino) permetteranno di approfondire lo studio del contributo del termovalorizzatore alle ricadute di questo inquinante nell'area di studio.

8 Appendice A1

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	37	50	42	32		30	23	22	15		43	36
		Beinasco (TRM) - Aldo Mei	FS				68	58	73	60	76	53	55	61	54
		Borgaro T. - Caduti	FS	74	90	84	67	55	70	62	75	53	50	60	58
		Chieri-Bersezio	FS											57	53
		Collegno - Francia	TU				72	60	78	65	80	58	60	70	63
		Druento - La Mandria	FR	52	65	58	47	38	45	43	55	38	36	40	36
		Leini* (ACEA) - Grande Torino	FS		82	69	61	51	77	66	71		54	64	57
		Settimo T. - Vivaldi	TU			94	85	74	91	75		63	74	72	62
		Torino - Consolata	TU	85	109	99	85	67	85	74	85	60	59	74	
		Torino - Grassi	TU	95	120		100			81	87	69	73	83	66
		Torino - Lingotto	FU	78	100	91	81	65	84	72	84	55	58	69	55
Torino - Rebaudengo	TU					82	84	80	94	67	68	75	64		
Torino - Rubino	FU	84	108	89	74	63	82	70	79	55	59	68	62		
Collina	AL	Arquata S. - Minzoni	IS	70	61	53	47	41		57	64	50	45	48	52
		Dernice - Costa	FR	27	37	35	25	26	27	27	29	26	23	23	24
	AT	Vinchio - San Michele	RF	57	66	60	55	53	57	53	58	45	44	51	47
	BI	Cossato - Pace	FU	58	70	58	50	39	49	46	56	41		43	41
		Alba - Tanaro	FU	62	72	71	58	52	58	52	59	50	46	53	46
	CN	Mondovi* - Aragno	TU					47	50	50	54	44	39	43	46
		Saliceto - Moizo	FR	55	59	51	44	43	42	40	46	38	38	42	38
	NO	Borgomanero - Molli	TU				45	38	48	41	46	38	34	40	37
		Castelletto T. - Fontane	FR					39	49	45	50	39	37	42	40
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	60	78	78	64	47	61	54	68	49	51	56	49
		Pinerolo - Alpini	FU	50	63	61	50		38	43	55	37	35	36	30
	VB	Susa - Repubblica	FS	40	42	42	32	29	33	30	40	31	27	27	29
		Omegna - Crusinallo	TU					42	62	47	54	42	42	45	44
VC	Verbania - Gabardi	FU	32	39	42	32	25	31	28	35	25	24	23	25	
VC	Borgosesia - Tonella	FU	46	60	50	48	35	45	43	51	37	34	30	28	
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			33	29	27	28	29	38	28	25	22	27
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	13	17	16	13	12	15	18	23	20	20		19
		Oulx - Roma	TS	34	35	30	31	31		28	31	31	27	26	26
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR						11	10	13	12	14		11
		Domodossola - Curotti	FS					49	60	49	57	40	39	51	45
Pianura	AL	Alessandria - D'Annunzio	TU	64	94	89	75	71	71	66	82	57	63	71	64
		Alessandria - Volta	FU	73	81	82	70	59	65	53	75	53	56	64	56
		Casale M.to - Castello	FU				52	54	65	53	69	49			48
		Novi Ligure - Gobetti	TU						61	56	65	52	50	54	48
		Tortona - Carbone	TU	73	83	86	69	64		56	65	50			52
	AT	Asti - Baussano	TU	91	88	79	72	61	77	66	81	59	61	64	60
		Asti - D'Acquisto	FU	62	78	61	67	52	53	49	57	51	57	58	55
	BI	Biella - Lamarmora	TU	55	69	57	53	44	56	48		45	40	47	42
		Biella - Sturzo	FU	50	57	45	38	33	42	41	48	32	29	34	29
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	74	82	79	68	64	64	54	65	49	45	54	53
		Cuneo - Alpini	FU	48	52	55	44	37	38	45	48	37	30	35	39
		Cavallermaggiore-Galilei	FS												53
	NO	Cerano - Bagno	FS	64	71	73	63	52	68	55	72	49	52	59	54
		Novara - Roma	TU	67	80	69	58	42	57	52	67	47	49	53	50
		Novara - Arpa	FU	53	66	62	56	47		52	61	44	47	52	50
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU	87	87	97	84	69	83	70	83	60	65	68	56
		Cigliano-Autostrada	TR					47	59	55	70	57		66	49
	VC	Vercelli - CONI	FS	59	74	69	60	50	62	55	70	46	49	54	48
		Vercelli - Gastaldi	TU			80	70	59	72	56	73	49	58	58	48

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 34: PM10, 90.41° percentile delle concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2021.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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
		Borgaro T. - Caduti	FS	112	137	151	125	114	143	145	117	93	100	86	91
		Chieri - Bersezio	FS			149	111	109	115	93	96	83	92	65	73
		Collegno Francia	TU			144	179	144		162	182	131	159	124	142
		Druento - La Mandria	FR	84	89	118	63	68	81	71	68	59	65	61	52
		Leini ¹ (ACEA) - Grande Torino	FS	115	106	133	115	93	132	93	122	82	90	87	87
		Orbassano - Gozzano	FS	126	134	132	119	106	164	108	128	98	114	108	106
		Settimo T. - Vivaldi	TU	159	166	196	166	112	134	144	145	95	143	95	106
		Torino - Consolata	TU	179	173	171	176	165	165	157	160	129	147	131	120
		Torino - Lingotto	FU	133	174	158	147	131	118	171	128	103	110	79	93
		Torino - Rebaudengo	TU	197	190	195	208	175	204	213	208	153		137	144
Torino - Rubino	FU	140	148	154	134	130	127	116	111	91	118	85	85		
	Vinovo - Volontari	FS	109	122	134	93	102	120	88	121	92	109	83	81	
Collina	AL	Dernice - Costa	FR	65	63	55	65	53	56	68	64	55	52	58	48
	AT	Vinchio - San Michele	FR	93	74	72	65	52	65	58	66	49	56	53	54
	BI	Cossato - Pace	FU	84	96	99	85	65	83	70	77	57	68	64	68
	CN	Alba - Tanaro	FU	104	101	125	98	73	83	84	89	67	68	69	63
		Mondovì ¹ - Aragno	TU					92	94	95	87	86	91	75	86
		Saliceto - Moizo	FR	71	66	54	56	42	49	49	55	42	51	34	42
	NO	Borgomanero - Molli	TU				111	117	125	107	117	90	112	96	94
		Castelletto T. - Fontane	FR	116	105	113	105	98	109	121	82	75	79	66	65
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	95	103	117	106	87	99	98	96	80	94	80	75
		Susa - Repubblica	FS	102	78	83	70	70	94	69	75	67	63	56	71
	VB	Omegna - Crusinallo	TU			112	111	112	91	91	93	79	86	84	78
		Verbania - Gabardi	FU	95	92	89	82	65	68	79	91	80	76	65	67
VC	Borgosesia - Tonella	FU	80	79	83	92	89	96	68	70	75	87	62	62	
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			73		66	79	65	54		52	44	
	TO	Ceresole Reale - Diga	FR	29	30	32	19	33	20	18	21	25	25	28	26
		Oulx - Roma	TS	99	84	81	86	85	89	80	79	73	79	63	
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR			21	18		29	19	25	19	15		18
		Domodossola - Curotti	FS					69	72	62	57	52	71	60	58
	Pieve Vergonte - Industria	FS	78	78	77	69	57	66	59	66	46	50	48	46	
Pianura	AL	Alessandra - D'Annunzio	TU	162	166	182	110	117	146	147	137	114	134	114	115
		Alessandria - Volta	FU	86	109	166	78	64	54	86	119	83	90	68	74
		Casale M.to - Castello	FU	96	119	151	109	111	127	115	113	93	100	82	89
		Novi Ligure - Gobetti	TU	160	142	122	134	94	100	85	178	201	94	81	72
		Tortona - Carbone	TU	115	160	132	124	93	96	101	123	101	117	85	91
	AT	Asti - Baussano	TU	139	137	149	119	96	99	112	117	90	114	88	82
		Asti - d'Acquisto	FU	113	114	136	108	100	102	103	123	118	90	73	73
	BI	Biella - Lamarmora	TU	117	124	124	113	75	100	107	83	77	87	90	85
		Biella - Sturzo	FU	104	116	117	89	69	80	73	66	65	71	69	66
	CN	Bra - Madonna Fiori	TU	123	96	127	100	75	85	81	102	73	82	69	70
		Cavallermaggiore - Galilei	FS												66
		Cuneo - Alpini	FU	119	99	108	103	81	97	86	103	80	86	85	77
		Revello - Staffarda	FR					61	48	43	58	42	43	36	42
	NO	Cerano - Bagno	FS	101	119	135	115	104	115	113	110	73	82	71	69
		Novara-Roma	TU	164	172	167	163	151	157	142	156	129	119	102	94
		Novara - Arpa	FU	107	138	114	108	102	108	78	87	97	92	94	66
		Trecate - Verra	FU	98	139	157	95	135	96	88	103	85	90	90	78
	TO	Carmagnola - I Maggio	TU					119	127	136	136	111	107	118	92
		Cigliano-Autostrada	TR					143		112		90	90	63	68
VC	Vercelli - CONI	FS	87	106	116	108	86	91	83	84	72	64	69	57	
	Vercelli - Gastaldi	TU	140	165	164	137	112	131	138	143	98	140	91	106	

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

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 35: Biossido di azoto, 99.79° percentile delle concentrazioni medie orarie misurate presso le stazioni della rete regionale nel periodo dal 2010 al 2021.

ZONA UE	PROVINCIA	STAZIONE	TIPO STAZIONE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Agglomerato	TO	Baldissero T. (ACEA) - parco	FR	133	130	130	133	121	130	123	126	126	124	119	126
		Borgaro T. - Caduti	FS	112	114	112	105	99	124	116	107	108	105		118
		Chieri - Bersezio	FS				109	116	124	115	120	121	115	96	107
		Druento - La Mandria	FR	117	128	131	122	106	119	115	115	111	106		117
		Leini' (ACEA) - Grande Torino	FS	119	122	105	107	91	107	111	107	104	112	107	113
		Orbassano - Gozzano	FS	107	119	120	120	112	130	130	132	127	120	120	128
		Torino - Lingotto	FU	107	105	114		114	117	111	110	116	117	113	126
		Torino - Rubino	FU					105	114	111	111	115	116	116	115
Collina	AL	Dernice - Costa	FR	127	122	127	122	112	122	117	127	120	123	125	115
		Vinchio - San Michele	FR	123	128	130	125	111	119	129	121	118	115	122	116
	BI	Cossato - Pace	FU	123	128	106	116	115	120	109	116	110	110	113	112
		Alba - Tanaro	FU	115	122	119	111	105	110	109	113	109	110	107	113
	CN	Saliceto - Moizo	FR	109	107	116	105	100	107	103	107	113	102	100	106
		Castelletto T. - Fontane	FR	111	124	118	114	104	113	106	117	116	111	113	108
	TO	Ivrea - Liberazione	FS	116	114	110	107	103	117	100	113	114	106	112	114
		Susa - Repubblica	FS	107	110	110	107	97	100	113	116	109	106	106	114
	VB	Verbania - Gabardi	FU	113	127	118	115	100	123	110	115	116	115	117	110
		Borgosesia - Tonella	FU	113	112	133	113	106	102	98	103	98	102	112	117
Montagna	BI	Trivero - Ronco	FS			120	102	91	114	103	106	102	111	103	101
		Ceresole Reale - Diga	FR	129	124	125	119	112	119	117	115	106	112	109	109
	VB	Baceno - Alpe Devero	FR	97	99	101	113		111	109	110	112			109
		Domodossola - Curotti	FS					107	108	98	104	103	102	109	106
		Pieve Vergonte - Industria	FS	104	122	119	113	109	118	112	117	113	109	130	111
Pianura	AL	Alessandria - Volta	FU	122	111	117	101	98	118	129	116	125	118	115	118
		Asti - D'Acquisto	FU	116	118	121	119	104	120	114	120	114	112	118	109
	BI	Biella - Sturzo	FU	103	121	129	113	99	92	106	111	112	117	113	97
		Cuneo - Alpini	FU	110	119	116	114	100	115	114	116	105	112	117	119
	CN	Revello - Staffarda	FR					105	119	111	110	99	101	101	110
		Novara - Arpa	FU	125	125	119	101	87	118	109	116	111	104	101	99
	VC	Vercelli - CONI	FS	118	133	130	113	113	129	111	99	110	111	106	116

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 36: 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 2021.

9 Appendice A2

PARTICOLATO ATMOSFERICO – PM₁₀ - PM_{2.5}

Caratteristiche	Il particolato atmosferico è formato da particelle, solide o aerosol, sospese in aria. Con il termine PM₁₀ si intende il particolato formato da particelle con diametro aerodinamico medio inferiore a 10 µm (micrometri), mentre il termine PM_{2.5} comprende la frazione di particolato costituito da particelle aventi diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm.
Sorgenti	Naturali: azione del vento sulla polvere e sul terreno, incendi boschivi, eruzioni vulcaniche, aerosol marino, ecc. Antropiche: rappresentano l'apporto principale alle concentrazioni di PM. Le fonti più significative sono le emissioni industriali, il traffico veicolare (gas di scarico, l'usura di pneumatici e freni, il risollevarimento delle polveri depositate sulle strade), gli impianti di riscaldamento e la zootecnia.
Tipologia	Primario: immesso direttamente in atmosfera Secondario: prodotto da trasformazioni chimico-fisiche che coinvolgono diverse sostanze quali SO₂, NO_x, COVs, NH₃.
Permanenza spazio temporale	Il particolato risulta ubiquitario su vasta scala a causa del <i>lungo tempo di permanenza nell'aria</i> (da giorni a settimane) che ne consente <i>il trasporto su grandi distanze</i>. Questo fa sì che le variazioni nel tempo delle concentrazioni siano principalmente condizionate da fattori meteorologici. In particolare, invernali con lunghi periodi di situazioni anticicloniche persistenti e precipitazioni limitate, sono caratterizzati da concentrazioni di polveri atmosferiche elevate.
Effetti	Il rischio sanitario legato al particolato sospeso nell'aria dipende, oltre che dalla concentrazione, anche dalla dimensione delle particelle. Le particelle con dimensioni inferiori costituiscono un pericolo maggiore per la salute umana, in quanto possono penetrare in profondità nell'apparato respiratorio. Infatti: - il PM₁₀, polvere inalabile, è in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore (laringe e faringe) e le particelle con diametro compreso fra circa 5 e 2.5 µm giungono sino a livello dei bronchi principali. - Il PM_{2.5}, polvere respirabile, è in grado di penetrare profondamente nei polmoni giungendo sino ai bronchi secondari; le frazioni con diametro inferiore possono giungere sino a livello alveolare. Salute: gli studi epidemiologici mostrano relazioni tra le concentrazioni di materiale particolato in aria e l'insorgenza di malattie dell'apparato respiratorio, quali asma, bronchiti ed enfisemi nonché danni al sistema cardiocircolatorio. Il PM inoltre agisce da veicolo per sostanze ad elevata tossicità, quali ad esempio gli idrocarburi policiclici aromatici. Nel 2013 il particolato atmosferico è stato classificato dallo IARC come cancerogeno per l'uomo (Gruppo 1). Ambiente: la deposizione del materiale particolato può causare effetti negativi sulla vegetazione inibendo il processo di fotosintesi e lo sviluppo delle piante; inoltre, il danneggiamento per abrasione meccanica può rendere le foglie più esposte agli attacchi degli insetti. Materiali: i materiali subiscono danni diretti legati a fenomeni di imbrattamento e fenomeni di corrosione in relazione alla composizione chimica del particolato.

BIOSSIDO DI AZOTO – NO₂

Caratteristiche	Gli ossidi di azoto (NO, NO₂, N₂O ed altri) vengono generati in tutti i processi di combustione che utilizzano l'aria come comburente. L'NO₂ è un gas tossico, di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente, con grande potere irritante ed è un energico ossidante, molto reattivo. Gli ossidi di azoto sono da ritenersi fra gli inquinanti atmosferici maggiormente pericolosi, perché, oltre ad essere tossici, svolgono un ruolo fondamentale nella formazione dello "smog fotochimico": sono infatti importanti precursori dell'ozono in estate e del PM₁₀ in inverno.
Sorgenti	Naturali: gli ossidi di azoto sono prodotti dall'attività batterica sui composti dell'azoto, dall'attività vulcanica e dai fulmini: ciò produce un apporto minimo ai livelli di fondo. Antropiche: costituiscono le principali fonti dell'NO₂, legate ai processi di combustione in condizioni di elevata temperatura e pressione: ne consegue che, in contesto urbano, le emissioni dei motori a scoppio e quindi il traffico veicolare ne rappresentano la fonte più significativa.
Tipologia	Primario: il biossido di azoto rappresenta, in genere, al massimo il 5% degli ossidi di azoto emessi direttamente dalle combustioni in aria. Secondario: la maggior parte dell'NO₂ presente in atmosfera deriva dall'ossidazione del monossido di azoto ed è quindi di natura secondaria.
Permanenza spazio temporale	Il tempo medio di permanenza in atmosfera degli ossidi di azoto è breve: circa tre giorni per NO₂ e quattro giorni per l'NO.
Effetti	Salute: gli effetti sulla salute prodotti dall'NO₂ sono dovuti alla sua azione irritante sugli occhi e sulle le mucose dell'apparato respiratorio. Gli effetti acuti sull'apparato respiratorio comprendono riacutizzazioni di malattie infiammatorie croniche delle vie respiratorie, quali bronchite cronica e asma, e riduzione della funzionalità polmonare. Ambiente: Gli ossidi di azoto contribuiscono, per circa il 30%, al fenomeno delle "piogge acide", con conseguenti danni alla vegetazione e alterazioni degli equilibri degli ecosistemi coinvolti. Materiali: le piogge acide producono fenomeni corrosivi sui metalli e scolorimento e perdita di resistenza dei tessuti e delle fibre tessili. L'azione sulle superfici degli edifici e dei monumenti comporta un invecchiamento più rapido delle strutture.

OZONO – O₃

Caratteristiche	L'Ozono è un gas molto reattivo, fortemente ossidante, di odore pungente caratteristico, la cui molecola è costituita da tre atomi di ossigeno.
Sorgenti	È un gas presente nell'atmosfera la cui origine e concentrazione dipendono dalla porzione di atmosfera a cui le osservazioni si riferiscono. Negli strati alti dell'atmosfera, la stratosfera, esso è presente naturalmente e svolge un'importante azione protettiva per la salute umana e per l'ambiente, assorbendo un'elevata percentuale delle radiazioni UV provenienti direttamente dal sole. A questo livello l'ozono si produce a partire dalla reazione dell'ossigeno con l'ossigeno nascente (O), prodotto dalla scissione della molecola di ossigeno ad opera delle radiazioni ultraviolette. Negli strati di atmosfera più prossimi alla superficie terrestre, la troposfera, l'ozono si può originare dalla presenza di precursori sia naturali che antropici. Naturali: composti organici volatili biogenici prodotti dalle piante Antropiche: ossidi di azoto e sostanze organiche volatili emessi da attività umane.
Tipologia	A livello troposferico l'ozono è un inquinante cosiddetto secondario , cioè non viene emesso direttamente da una sorgente, ma è prodotto dalle complesse trasformazioni chimico-fisiche che avvengono in atmosfera fra i precursori (principalmente ossidi di azoto e composti organici volatili) in presenza di elevate temperature e forte irraggiamento solare. L'insieme dei prodotti di queste reazioni costituiscono il cosiddetto inquinamento fotochimico.
Permanenza spazio temporale	L'inquinamento secondario trae generalmente origine da contesti fortemente antropizzati, dove può essere elevata l'emissione di precursori, durante episodi estivi caratterizzati da condizioni meteorologiche stagnanti, quando persistono forte insolazione ed elevate temperature. Gli inquinanti secondari prodotti in queste condizioni possono dar luogo a grandi concentrazioni e <i>fenomeni di accumulo anche a notevoli distanze</i> dalle zone di immissione. Per tale motivo l'inquinamento da ozono rappresenta un fenomeno su scala regionale e/o transfrontaliero.
Effetti	Salute: i principali effetti sulla salute si riscontrano a carico delle vie respiratorie dove, all'aumentare della concentrazione, possono essere indotti effetti infiammatori di gravità crescente, sino ad una riduzione della funzionalità polmonare. Ambiente: sugli ecosistemi vegetali gli effetti ossidanti della molecola interferiscono con la funzione clorofilliana e con la crescita delle piante. Materiali: i materiali, come la gomma e le fibre tessili, subiscono alterazioni chimiche che ne compromettono le caratteristiche e la resistenza.

IPA - Benzo(a)pirene

Caratteristiche	Il benzo(a)pirene - B(a)P - è stato scelto come marker dell'esposizione agli IPA nell'aria ambiente. Il termine IPA è l'acronimo di Idrocarburi Policiclici Aromatici, una classe numerosa di composti organici tutti caratterizzati strutturalmente dalla presenza di due o più anelli aromatici condensati fra loro. Gli IPA costituiti da tre a cinque anelli possono essere presenti sia come gas che come particolato, mentre quelli caratterizzati da cinque o più anelli tendono a presentarsi per lo più in forma solida. Gli IPA sono generalmente composti persistenti, caratterizzati da un basso grado di idrosolubilità e da una elevata capacità di aderire al materiale organico.
Sorgenti	Queste sostanze si trovano in atmosfera come prodotto di processi di pirolisi e di combustioni incomplete, con formazione di particelle carboniose che li adsorbono e li veicolano. Naturali: eruzioni vulcaniche ed incendi boschivi. Antropiche: processi di combustione incompleta di materiale organico e uso di olio combustibile, gas, carbone e legno nella produzione di energia e riscaldamento. Anche l'utilizzo dei vari carburanti produce una notevole quantità di queste sostanze: le emissioni dovute al traffico stradale sono infatti una componente dominante nella emissione di IPA e di B(a)P nelle aree urbane, mentre nelle aree rurali un importante contributo deriva dalla combustione della legna.
Tipologia	È un inquinante primario .
Permanenza spazio temporale	In genere gli idrocarburi policiclici aromatici presenti nell'aria possono degradarsi reagendo con la luce del sole e con altri composti chimici nel giro di qualche giorno o settimana; quelli di massa maggiore aderiscono al particolato aerodisperso. Per questa loro relativa stabilità gli IPA si possono riscontrare anche a grandi distanze in località remote e molto lontane dalle zone di produzione.
Effetti	Salute: gli studi condotti sulla pericolosità degli IPA sembrano dimostrare che l'esposizione a concentrazioni significative di queste sostanze comporti vari danni a livello ematico, immunosoppressione e problemi al sistema polmonare. In particolare, il benzo(a)pirene produce tumori a livello di diversi tessuti sugli animali da laboratorio ed è inoltre l'unico idrocarburo policiclico aromatico per il quale sono disponibili studi approfonditi di tossicità per inalazione, dai quali risulta che questo composto induce il tumore polmonare in alcune specie. L'organo legislativo ha pertanto stabilito un valore obiettivo per tale composto.

BENZENE - C₆H₆

Caratteristiche	Il benzene è un idrocarburo aromatico, che si presenta a temperatura ambiente come un liquido incolore, dal tipico odore aromatico, in grado di evaporare velocemente. Ottenuto prevalentemente come prodotto della distillazione del petrolio, viene impiegato come materia prima per numerosi composti secondari, a loro volta impiegati per produrre plastiche, resine, detergenti, pesticidi, intermedi per l'industria farmaceutica, vernici, collanti, inchiostri, adesivi e prodotti per la pulizia. È utilizzato per conferire proprietà antidetonanti nelle benzine "verdi".
Sorgenti	Naturali: incendi boschivi ed eruzioni vulcaniche, ma le conseguenti concentrazioni in atmosfera sono quantitativamente irrilevanti. Antropiche: costituiscono le sorgenti principali. La maggior fonte di esposizione per la popolazione deriva dai gas di scarico degli autoveicoli, in particolare dei veicoli alimentati a benzina: stime effettuate a livello di Unione Europea attribuiscono a questa categoria di veicoli più del 70% del totale delle emissioni di benzene. Una fonte importante, in ambienti indoor, è rappresentata dal fumo di tabacco.
Tipologia	È un inquinante primario .
Permanenza spazio temporale	Il benzene rilasciato in atmosfera si trova prevalentemente in fase vapore, non è soggetto direttamente a fotolisi, ma reagisce con gli idrossi-radicali prodotti fotochimicamente. Il tempo teorico di dimezzamento della concentrazione è di circa 13 giorni, ma in atmosfera inquinata, in presenza di ossidi di azoto o zolfo, l'emivita si riduce a 4 – 6 ore.
Effetti	Salute: il benzene è tossico, molto irritante per pelle, occhi e mucose ed è inserito dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) tra le sostanze con accertato potere cancerogeno per l'uomo. La principale via di esposizione per l'uomo è l'inalazione, a causa della sua notevole volatilità.

MONOSSIDO DI CARBONIO – CO

Caratteristiche	Il monossido di carbonio è un gas incolore, inodore e insapore, infiammabile, e molto tossico. Viene generato durante la combustione di materiali organici, come intermedio di reazione, quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente. Il monossido di carbonio è l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera.
Sorgenti	Naturali: incendi boschivi, eruzioni vulcaniche, emissioni da oceani e da paludi. Antropiche: la fonte antropica più significativa è rappresentata dal traffico veicolare, in particolare dalle emissioni prodotte dagli autoveicoli a benzina in condizioni tipiche di traffico urbano rallentato (motore al minimo e fasi di decelerazione): per questi motivi viene identificato come tracciante di inquinamento veicolare. Altre fonti, aventi contributo emissivo minore in quanto la combustione avviene in condizioni più controllate, sono gli impianti di riscaldamento domestico, le centrali termoelettriche, gli inceneritori di rifiuti.
Tipologia	Il monossido di carbonio viene emesso come tale in atmosfera ed è quindi un inquinante primario.
Permanenza spazio temporale	Nonostante il tempo di permanenza in atmosfera sia elevato (anni), meccanismi di rimozione naturali (assorbimento da parte di terreno, delle piante, ossidazione in atmosfera) limitano l'azione inquinante del monossido di carbonio prevalentemente a scala locale, urbana.
Effetti	Salute: il monossido di carbonio ha effetti particolarmente pericolosi in quanto forma con l'emoglobina del sangue la carbossiemoglobina, un composto fisiologicamente inattivo, che impedisce l'ossigenazione dei tessuti, ed è in grado di produrre, ad elevate concentrazioni, esiti letali. A basse concentrazioni provoca emicranie, vertigini, e sonnolenza. Essendo inodore e incolore, è un inquinante insidioso soprattutto nei luoghi chiusi dove si può accumulare in concentrazioni elevate. Sull'ambiente ha effetti trascurabili.

BIOSSIDO DI ZOLFO – SO₂

Caratteristiche	Il biossido di zolfo, o anidride solforosa, è un gas incolore, di odore pungente, prodotto dell'ossidazione dello zolfo.
Sorgenti	Antropiche: processi di combustione che utilizzano combustibili fossili (gasolio, olio combustibile, carbone), in cui lo zolfo è presente come impurità, e processi metallurgici. Una percentuale molto bassa di SO ₂ proviene dal traffico veicolare, in particolare dai veicoli con motore diesel. La concentrazione di SO ₂ presenta una variazione stagionale molto evidente, con i valori massimi nella stagione invernale, laddove sono in funzione impianti di riscaldamento domestici, alimentati con combustibili solidi o liquidi.
Tipologia	L'ossido di zolfo è un inquinante primario .
Permanenza spazio temporale	Il tempo medio di permanenza in atmosfera del biossido di zolfo varia da alcuni giorni a settimane e l'estensione dei fenomeni interessa la scala locale e regionale
Effetti	Salute: il biossido di zolfo è un forte irritante delle vie respiratorie. Un'esposizione prolungata a concentrazioni basse può causare patologie all'apparato respiratorio (asma, tracheiti, bronchiti) mentre esposizioni di breve durata a concentrazioni elevate possono provocare aumento della frequenza respiratoria e del ritmo cardiaco oltre a irritazione agli occhi, gola e naso. Ambiente: gli ossidi di zolfo sono stati i principali responsabili dell'acidificazione delle precipitazioni meteorologiche (<i>piogge acide</i>). Sulle piante l'aumento delle concentrazioni di SO₂ provoca danni via via crescenti agli apparati fogliari sino alla necrosi tessutale. Materiali: l'azione sui materiali interessa maggiormente i metalli, nei quali viene accelerato il fenomeno di corrosione, ed i materiali da costruzione (in particolare di natura calcarea) sui quali l'azione acida, comportando una trasformazione dei carbonati in solfati solubili, diminuisce la resistenza meccanica dei materiali, da cui i conseguenti danneggiamenti dei monumenti e delle facciate degli edifici.

METALLI PESANTI: Piombo, Arsenico, Cadmio e Nichel

Caratteristiche	I metalli pesanti sono costituenti naturali della crosta terrestre e molti di essi, in determinate forme e a concentrazioni opportune, sono essenziali alla vita. Non venendo però degradati dai processi naturali, tendono ad accumularsi negli organismi biologici (bioaccumulo) e possono causare effetti negativi, anche gravi, sulla salute umana e sull'ambiente in generale. La scelta normativa di monitorare Piombo, Arsenico, Cadmio e Nichel discende dalla rilevanza che essi manifestano sotto il profilo tossicologico. In atmosfera sono rintracciabili prevalentemente nel particolato aereo-disperso.
Sorgenti	Naturali: eruzioni vulcaniche, fenomeni di erosione. Antropiche: le principali sorgenti sono le combustioni, i processi industriali (industrie minerarie, metallurgiche e siderurgiche) e le abrasioni dei materiali.
Tipologia	I metalli pesanti sono inquinanti primari .
Permanenza spazio temporale	Essendo rintracciabili prevalentemente nel particolato aereo-disperso, l'inquinamento da metalli pesanti presenta distribuzione spazio-temporale analoga a quella dei PM ₁₀ .
Effetti	Salute: i metalli pesanti entrano nell'organismo umano principalmente con l'assunzione di cibo e acqua, ma l'apporto dovuto ad inalazione, in determinate realtà, può risultare estremamente significativo. All'esposizione ai metalli pesanti sono associati molteplici effetti sulla salute, con diversi gradi di gravità e condizioni: problemi ai reni ed alle ossa, disordini neuro-comportamentali e dello sviluppo, elevata pressione sanguigna e, potenzialmente, anche cancro al polmone. Ambiente: nell'ambiente, il fenomeno dell'accumulo sui terreni può danneggiare la fertilità del suolo e favorire l'ingresso dei metalli nella catena alimentare.

10 Appendice A3

Valutazione delle prestazioni del sistema modellistico

La Direttiva 2008/50/CE ed il D.Lgs 155/2010 che la recepisce a livello nazionale indicano chiaramente che le tecniche di modellizzazione utilizzate nella valutazione della qualità dell'aria devono rispettare specifici obiettivi di qualità del dato, in particolare per quanto riguarda la loro incertezza. La valutazione delle prestazioni di un modello numerico (in qualsiasi ambito di applicazione), d'altro canto, ha sempre proceduto di pari passo con l'evoluzione della modellistica stessa, producendo un'ampia letteratura scientifica sull'argomento. Negli ultimi anni le attività in seno al FAIRMODE⁶³ hanno permesso di collegare le richieste del legislatore ed i risultati dell'attività scientifica sull'argomento, tramite la pubblicazione di report e linee di indirizzo sulla valutazione della qualità delle simulazioni modellistiche di qualità dell'aria.

La valutazione dei risultati ottenuti nell'ambito della valutazione modellistica sullo stato di qualità dell'aria per l'anno 2021, ovvero delle prestazioni del sistema modellistico regionale in relazione al particolato PM10, PM2.5, biossido di azoto ed ozono, è quindi stata effettuata seguendo le raccomandazioni del report tecnico *FAIRMODE Guidance Document on Modelling Quality Objectives and Benchmarking*⁶⁴, tramite:

- un'analisi statistica, espressa in termini di indici di prestazione, volta a descrivere “la capacità del modello di avvicinarsi alle misure”;
- un'analisi dell'incertezza delle tecniche di modellazione in riferimento agli obiettivi di qualità descritti nell'Allegato I del d.lgs. 155/2010.

Sia la valutazione mediante indici di prestazione, sia la valutazione in termini di incertezza delle tecniche di modellazione è stata condotta mediante confronto tra i dati di qualità dell'aria misurati nelle stazioni del SRRQA (la base dati di valutazione) ed i corrispondenti valori simulati, estratti dai campi prodotti dal sistema modellistico interpolando sulle coordinate della corrispondente stazione i valori di concentrazione assegnati ai quattro punti griglia più vicini (la base dati simulata). Poiché i campi di concentrazione della valutazione modellistica sullo stato di qualità dell'aria per l'anno 2021 sono prodotti a valle del processo di data fusion (si veda il capitolo Gli Strumenti di Valutazione), la base dati simulata è stata costruita mediante la tecnica di validazione incrociata *leave-one-out*⁶⁵, in modo da ottenere un insieme indipendente dalla base dati di valutazione.

Gli indici di prestazione sono stati scelti tra quelli indicati nel report tecnico FAIRMODE e sono dettagliati in Tabella 37. Per quanto riguarda l'incertezza sulla modellizzazione è stato utilizzato, sia per i dati a livello annuale, sia per i dati a livello orario che giornaliero, l'indicatore MQO (*Modelling Quality Objective*) basato sull'indicatore MQI (*Modelling Quality Indicator*): quando MQI è inferiore al valore critico (pari a uno) nel 90% delle stazioni, MQO è rispettato quindi anche gli obiettivi di qualità dei dati sulla modellizzazione lo sono.

63 Forum for Air quality Modeling, <https://fairmode.jrc.ec.europa.eu/home/index>

64 https://fairmode.jrc.ec.europa.eu/document/fairmode/WG1/Guidance_MQO_Bench_vs3.3_20220519.pdf

65 L'idea del metodo di cross-validazione *leave-one-out* è quella di eliminare dall'insieme delle osservazioni una stazione alla volta, effettuare la procedura di data fusion sull'insieme ridotto di osservazioni, ripetendo il procedimento per tutte le suddivisioni possibili dell'insieme di partenza in modo da ottenere una base dati simulata indipendente dalla base dati di valutazione.

Indice	Descrizione	Unità di misura e intervallo di variazione
NMB Normalised Mean Bias	Differenza media tra osservato e simulato normalizzata rispetto alla media dell'osservato	Adimensionale, con valore ottimale pari a zero
R Correlation coefficient	Esprime il grado di correlazione lineare (diretta se positivo, inversa se negativo) tra le due variabili simulate e osservate.	Adimensionale, compreso tra [-1,1] con valore ottimale pari a uno.
RMSE Root mean square error	Fornisce una misura della dimensione degli errori commessi dal modello	Adimensionale, con valore ottimale pari a zero
MPI_BIAS Model performance indicator (in relazione al bias)	Fornisce informazioni sulla discrepanza tra osservato e simulato	Valore ottimale <=1
MPI_PERC Model performance indicator (in relazione al percentile)	Informa sulla capacità del modello di riprodurre i superamenti	Valore ottimale <=1
MQI Modelling Quality Indicator	Rapporto tra RMSE dei valori misurati e simulati e un valore proporzionale all'incertezza di misura	Valore ottimale <=1

Tabella 37: Indici utilizzati nella valutazione delle prestazioni del sistema modellistico. MPI_PERC viene applicato al percentile di legge per i diversi inquinanti (90.41 per le serie giornaliere del PM10, 93.15 per le serie giornaliere della massima media mobile su otto ore per l'ozono). I primi cinque sono indici di performance, l'indice MQI invece è in relazione agli obiettivi di qualità per la modellizzazione.

Nella successiva Tabella 38 sono riportati i risultati della valutazione delle prestazioni del sistema modellistico per quanto riguarda il particolato PM10, per il quale sono stati calcolati gli indici in precedenza descritti sulla media giornaliera e sulla media annuale. L'accordo tra le simulazioni e le misure è molto buono, tutti gli indici di prestazione sono prossimi al loro valore ottimale nella quasi totalità delle stazioni. MQI è ampiamente inferiore ad uno, sia per le serie delle medie giornaliere, sia per le medie annuali, mostrando un totale rispetto degli obiettivi di qualità dei dati sulla modellizzazione.

Nella Tabella 39 vengono presentati i valori di MQI, unitamente ai valori osservati e simulati, per la media annuale del particolato PM2.5. Anche per questo parametro l'accordo tra le simulazioni e le misure è molto buono ed i valori di MQI sono ampiamente inferiori al valore critico su tutte le stazioni.

I risultati dell'analisi per il biossido di azoto sono illustrati in Tabella 40, con gli indici di prestazione calcolati per la media oraria e MQI calcolato per la media annuale. I valori degli indici sono buoni, anche se non ai livelli del particolato, ma l'accordo osservato simulato è comunque soddisfacente. Il sistema modellistico mostra una tendenza alla sottostima in tutte le stazioni di traffico, dove si osservano caratteristiche più locali non riproducibili alla risoluzione adottata nella simulazione. I valori di MQI sono ovunque inferiori alla soglia critica per la media oraria, mentre per la media annuale sono inferiori ad uno nella quasi totalità delle stazioni, tranne che nella stazione di traffico di Borgomanero – Molli, dove il modello sottostima, e nella stazione rurale di Druento-La Mandria, dove il modello sovrastima. Dal momento che MQI va calcolato nel 90% delle stazioni utilizzate nell'analisi, gli obiettivi di qualità sono comunque rispettati anche per la media annuale.

Per l'ozono, le prestazioni del sistema modellistico sono state valutate per il massimo giornaliero della media mobile su otto ore. I risultati sono presentati in Tabella 41 e mostrano un'ottima riproduzione dei livelli di ozono osservato da parte della simulazione modellistica: in particolare il coefficiente di correlazione ha quasi ovunque valori superiori a 0.9 ed MQI è ampiamente inferiore ad uno in tutte le stazioni.

PM10		media giornaliera						media annua		
NOME STAZIONE	CODICE	NMB	R	RMSE	MPI BIAS	MPI PERC	MQI	OSS	SIM	MQI
Alba - Tanaro	IT1524A	0,06	0,93	5,53	0,10	0,22	0,34	26	26	0,20
Alessandria - Volta	IT1830A	-0,03	0,96	5,09	-0,04	-0,06	0,27	30	27	0,09
Arquata S. - Minzoni	IT0646A	-0,16	0,92	7,61	-0,24	-0,30	0,42	28	23	0,56
Asti - D'Acquisto	IT1523A	0,03	0,97	4,53	0,05	-0,02	0,25	29	28	0,11
Baceno - Alpe Devero	IT1961A	0,09	0,93	5,13	0,10	0,06	0,50	6	11	0,13
Beinasco (TRM) - Aldo Mei	IT2120A	0,08	0,91	7,06	0,12	-0,06	0,42	27	26	0,26
Biella - Sturzo	IT1247A	0,31	0,93	7,54	0,44	0,64	0,62	17	23	0,71
Borgaro T. - Caduti	IT1128A	-0,08	0,97	4,18	-0,12	-0,06	0,23	28	25	0,27
<i>Borgomanero - Molli</i>	<i>IT2121A</i>	0,02	0,97	3,86	0,03	-0,06	0,26	20	22	0,05
Borgosesia - Tonella	IT1532A	0,06	0,95	3,48	0,09	0,21	0,29	17	19	0,14
<i>Bra - Madonna Fiori</i>	<i>IT2001A</i>	-0,01	0,96	4,57	-0,01	-0,02	0,24	29	29	0,03
Castelletto T. - Fontane	IT1770A	0,01	0,89	6,27	0,01	-0,11	0,43	21	22	0,01
Cavallermaggiore - Galilei	IT2294A	-0,03	0,93	6,17	-0,04	-0,05	0,33	30	28	0,11
Cerano - Bagno	IT1509A	-0,10	0,94	6,50	-0,15	-0,21	0,34	29	26	0,36
Ceresole Reale - Diga	IT1963A	-0,18	0,87	5,17	-0,21	-0,40	0,58	10	9	0,26
Chieri - Bersezio	IT2101A	-0,07	0,95	5,91	-0,11	-0,12	0,32	28	26	0,25
Cossato - Pace	IT1246A	-0,05	0,95	4,37	-0,07	-0,17	0,30	22	21	0,13
Cuneo - Alpini	IT1529A	-0,07	0,86	7,58	-0,11	-0,21	0,47	23	23	0,24
Demice - Costa	IT1904A	0,10	0,87	6,46	0,14	-0,09	0,52	14	19	0,23
Domodossola - Curotti	IT2128A	-0,15	0,87	8,01	-0,22	-0,33	0,50	23	20	0,47
Druento - La Mandria	IT1121A	0,11	0,79	8,83	0,16	0,40	0,62	21	24	0,30
Irea - Liberazione	IT1788A	-0,09	0,95	6,23	-0,12	-0,31	0,38	23	21	0,26
Leini' (ACEA) - Grande Torino	IT2117A	0,01	0,97	4,88	0,01	-0,23	0,27	26	26	0,03
<i>Mondovi' - Aragno</i>	<i>IT2118A</i>	-0,10	0,95	5,50	-0,15	-0,20	0,32	27	24	0,34
Novara - Arpa	IT2282A	0,03	0,89	7,50	0,04	0,10	0,44	24	26	0,09
<i>Novi Ligure - Gobetti</i>	<i>IT1844A</i>	-0,04	0,96	4,31	-0,06	-0,09	0,24	27	26	0,15
<i>Omegna - Crusinallo</i>	<i>IT2102A</i>	-0,28	0,88	10,07	-0,43	-0,63	0,61	24	18	0,91
Pinerolo - Alpini	IT1115A	0,30	0,89	8,01	0,42	0,51	0,61	17	24	0,73
Saliceto - Moizo	IT1519A	-0,06	0,91	6,60	-0,08	-0,29	0,41	22	22	0,18
Susa - Repubblica	IT1114A	-0,14	0,85	6,86	-0,20	-0,40	0,55	17	15	0,33
Torino - Lingotto	IT2168A	0,06	0,97	4,75	0,09	-0,10	0,26	26	27	0,21
<i>Tortona - Carbone</i>	<i>IT0622A</i>	-0,05	0,95	4,98	-0,08	-0,12	0,29	28	25	0,17
Trivero - Ronco	IT2104A	-0,01	0,91	4,16	-0,02	-0,20	0,38	15	15	0,03
Verbania - Gabardi	IT1510A	0,32	0,88	9,19	0,45	0,68	0,75	15	23	0,74
Vercelli - CONI	IT1878A	0,07	0,97	3,94	0,11	0,00	0,25	24	26	0,22
Vinchio - San Michele	IT1948A	0,03	0,95	5,30	0,05	-0,11	0,30	25	27	0,10

Tabella 38: Valori degli indici per la media giornaliera e per la media annuale del PM10. In corsivo sono evidenziate le stazioni da traffico (le rimanenti sono tutte stazioni di fondo). I valori di MQI sono evidenziati in verde quando inferiori alla soglia critica, in arancione quando sono superiori.

PM2.5		media annua		
NOME STAZIONE	CODICE	OSS	SIM	MQI
Alessandria - Volta	IT1830A	19	18	0,11
Asti - D'Acquisto	IT1523A	20	20	0,00
Baceno - Alpe Devero	IT1961A	4	5	0,09
Beinasco (TRM) - Aldo Mei	IT2120A	18	21	0,23
Biella - Sturzo	IT1247A	12	18	0,51
Borgaro T. - Caduti	IT1128A	20	19	0,13
<i>Borgomanero - Molli</i>	<i>IT2121A</i>	14	14	0,01
Borgosesia - Tonella	IT1532A	13	11	0,15
<i>Bra - Madonna Fiori</i>	<i>IT2001A</i>	19	19	0,01
Cavallermaggiore - Galilei	IT2294A	22	21	0,07
Ceresole Reale - Diga	IT1963A	7	5	0,16
Chieri - Bersezio	IT2101A	21	21	0,02
Cuneo - Alpini	IT1529A	15	17	0,15
Dernice - Costa	IT1904A	9	10	0,12
Domodossola - Curotti	IT2128A	13	11	0,15
Ivrea - Liberazione	IT1788A	17	15	0,19
Leini' (ACEA) - Grande Torino	IT2117A	16	20	0,33
<i>Mondovi' - Aragno</i>	<i>IT2118A</i>	17	16	0,13
Novara - Arpa	IT2282A	17	17	0,01
Torino - Lingotto	IT2168A	20	20	0,02
<i>Torino - Rebaudengo</i>	<i>IT0470A</i>	23	22	0,12
Trivero - Ronco	IT2104A	10	11	0,06
Verbania - Gabardi	IT1510A	12	14	0,18
Vercelli - CONI	IT1878A	15	17	0,17
Vinchio - San Michele	IT1948A	17	17	0,03

Tabella 39: Media annuale osservata e simulata e valori di MQI per il PM2.5. In corsivo sono evidenziate le stazioni da traffico (le rimanenti sono tutte stazioni di fondo). I valori di MQI sono evidenziati in verde quando inferiori alla soglia critica, in arancione quando sono superiori.

NO2		media oraria						media annua		
NOME STAZIONE	CODICE	NMB	R	RMSE	MPI BIAS	MPI PERC	MQI	OSS	SIM	MQI
Alba - Tanaro	IT1524A	-0,02	0,88	5,66	-0,01	-0,26	0,26	18	18	0,04
Alessandria - Volta	IT1830A	0,07	0,91	5,48	0,06	-0,15	0,25	20	21	0,10
Asti - D'Acquisto	IT1523A	0,07	0,88	5,88	0,06	-0,08	0,27	19	17	0,17
Baceno - Alpe Devero	IT1961A	-0,80	0,14	11,61	-0,30	-1,49	0,58	4	2	0,26
Baldissero T. (ACEA) - parco	IT2124A	0,08	0,58	10,49	0,06	-0,59	0,50	10	15	0,56
Beinasco (TRM) - Aldo Mei	IT2120A	0,28	0,81	12,61	0,30	0,16	0,53	27	37	0,97
Biella - Sturzo	IT1247A	0,06	0,93	4,57	0,05	-0,12	0,21	17	18	0,08
Borgaro T. - Caduti	IT1128A	0,02	0,95	5,19	0,02	-0,14	0,22	24	23	0,06
Borgomanero - Molli	IT2121A	-0,37	0,78	16,22	-0,43	-0,73	0,64	26	15	1,10
Borgosesia - Tonella	IT1532A	-0,18	0,91	5,70	-0,12	-0,43	0,27	13	15	0,27
Bra - Madonna Fiori	IT2001A	-0,08	0,88	6,41	-0,07	-0,23	0,28	21	20	0,10
Casale M.to - Castello	IT1582A	0,08	0,83	7,59	0,06	-0,35	0,35	19	16	0,31
Castelletto T. - Fontane	IT1770A	0,01	0,79	7,96	0,01	-0,17	0,36	18	23	0,51
Cavallermaggiore - Galilei	IT2294A	0,04	0,77	7,10	0,04	-0,19	0,33	21	19	0,24
Cerano - Bagno	IT1509A	0,12	0,87	7,45	0,12	-0,06	0,33	24	23	0,07
Ceresole Reale - Diga	IT1963A	-0,80	0,09	9,76	-0,28	-1,45	0,49	4	4	0,05
Chieri - Bersezio	IT2101A	0,12	0,86	7,10	0,08	-0,34	0,33	17	16	0,10
Cossato - Pace	IT1246A	0,04	0,90	5,58	0,03	-0,17	0,26	17	17	0,01
Cuneo - Alpini	IT1529A	0,07	0,85	6,58	0,06	-0,17	0,30	19	19	0,02
Dernice - Costa	IT1904A	-0,18	0,63	6,69	-0,10	-0,45	0,33	9	8	0,12
Domodossola - Curotti	IT2128A	-0,50	0,82	11,41	-0,39	-0,81	0,53	15	15	0,01
Druento - La Mandria	IT1121A	0,21	0,64	8,49	0,11	-0,41	0,41	9	18	1,05
Irea - Liberazione	IT1788A	-0,12	0,89	7,20	-0,12	-0,30	0,31	22	18	0,42
Leini' (ACEA) - Grande Torino	IT2117A	-0,08	0,89	7,79	-0,08	-0,10	0,33	24	20	0,44
Mondovì - Aragno	IT2118A	-0,25	0,84	10,58	-0,26	-0,37	0,44	25	16	0,92
Novara - Arpa	IT2282A	0,19	0,87	7,80	0,18	0,24	0,35	23	27	0,39
Orbassano - Gozzano	IT1120A	-0,03	0,83	11,35	-0,03	-0,47	0,46	29	24	0,51
Pieve Vergonte - Industria	IT1515A	-0,53	0,57	12,21	-0,35	-1,05	0,58	10	16	0,70
Saliceto - Moizo	IT1519A	-0,19	0,77	6,41	-0,10	-0,79	0,31	9	13	0,45
Susa - Repubblica	IT1114A	-0,69	0,60	16,80	-0,56	-1,19	0,77	15	8	0,81
Torino - Consolata	IT0469A	-0,12	0,79	14,04	-0,16	-0,24	0,50	43	40	0,22
Torino - Lingotto	IT2168A	0,13	0,88	9,37	0,16	0,30	0,38	31	36	0,50
Tortona - Carbone	IT0622A	-0,17	0,82	10,70	-0,19	-0,43	0,44	23	20	0,28
Trecale - Verra	IT1513A	0,09	0,80	9,87	0,09	-0,21	0,42	26	25	0,14
Trivero - Ronco	IT2104A	-0,09	0,75	4,88	-0,05	-0,34	0,24	10	10	0,01
Verbania - Gabardi	IT1510A	-0,09	0,90	5,30	-0,07	-0,30	0,25	16	17	0,15
Vercelli - CONI	IT1878A	0,39	0,77	8,50	0,24	0,12	0,41	15	21	0,71
Vinchio - San Michele	IT1948A	0,11	0,77	6,51	0,07	-0,42	0,32	10	14	0,49
Vinovo - Volontari	IT1125A	0,08	0,83	8,29	0,08	0,06	0,36	25	24	0,09

Tabella 40: Valori degli indici per la media oraria e per la media annuale del biossido di azoto. In corsivo sono evidenziate le stazioni da traffico (le rimanenti sono tutte stazioni di fondo). I valori di MQI sono evidenziati in verde quando inferiori alla soglia critica, in arancione quando sono superiori.

O3		massimo giornaliero della media mobile su otto ore					
NOME STAZIONE	CODICE	NMB	R	RMSE	MPI BIAS	MPI PERC	MQI
Alba - Tanaro	IT1524A	-0,02	0,98	8,58	-0,04	-0,22	0,22
Alessandria - Volta	IT1830A	-0,05	0,98	10,18	-0,11	-0,35	0,26
Arquata S. - Minzoni	IT0646A	0,06	0,99	7,97	0,11	0,02	0,21
Asti - D'Acquisto	IT1523A	-0,17	0,79	18,65	-0,39	-0,32	0,47
Baceno - Alpe Devero	IT1961A	-0,15	0,94	19,82	-0,36	-0,10	0,49
Baldissero T. (ACEA) - parco	IT2124A	0,14	0,97	12,33	0,25	0,24	0,33
Biella - Sturzo	IT1247A	0,02	0,99	6,27	0,03	-0,10	0,16
Borgaro T. - Caduti	IT1128A	-0,06	0,96	13,03	-0,14	-0,35	0,33
Borgosesia - Tonella	IT1532A	-0,01	0,97	9,09	-0,02	0,12	0,23
Castelletto T. - Fontane	IT1770A	-0,10	0,88	13,17	-0,24	-0,18	0,33
Ceresole Reale - Diga	IT1963A	0,14	0,97	13,12	0,27	0,25	0,34
Chieri - Bersezio	IT2101A	-0,03	0,96	9,64	-0,06	-0,09	0,25
Cossato - Pace	IT1246A	-0,07	0,92	13,85	-0,15	-0,18	0,35
Cuneo - Alpini	IT1529A	-0,07	0,94	11,01	-0,15	-0,09	0,28
Demice - Costa	IT1904A	0,06	0,94	12,40	0,11	-0,08	0,32
Domodossola - Curotti	IT2128A	0,02	0,98	8,80	0,05	-0,13	0,22
Druento - La Mandria	IT1121A	-0,06	0,97	10,28	-0,12	-0,17	0,26
Irea - Liberazione	IT1788A	0,06	0,99	8,02	0,12	0,16	0,21
Leini' (ACEA) - Grande Torino	IT2117A	0,17	0,97	14,06	0,28	0,35	0,37
Novara - Arpa	IT2282A	-0,12	0,98	12,71	-0,25	-0,31	0,32
Orbassano - Gozzano	IT1120A	-0,04	0,95	12,65	-0,08	-0,35	0,32
Pieve Vergonte - Industria	IT1515A	0,03	0,94	9,94	0,06	0,05	0,25
Saliceto - Moizo	IT1519A	-0,02	0,90	14,17	-0,05	-0,25	0,36
Susa - Repubblica	IT1114A	-0,13	0,98	14,40	-0,27	-0,43	0,36
Torino - Lingotto	IT2168A	0,03	0,95	9,22	0,06	0,09	0,24
Trivero - Ronco	IT2104A	0,00	0,98	7,50	0,00	-0,04	0,19
Verbania - Gabardi	IT1510A	-0,11	0,98	11,75	-0,22	-0,19	0,30
Vercelli - CONI	IT1878A	-0,06	0,97	10,43	-0,13	-0,03	0,26
Vinchio - San Michele	IT1948A	0,15	0,97	14,48	0,28	0,29	0,38

Tabella 41: Valori degli indici per il massimo giornaliero della media mobile di otto ore per l'ozono. In corsivo sono evidenziate le stazioni da traffico (le rimanenti sono tutte stazioni di fondo). I valori di MQI sono evidenziati in verde quando inferiori alla soglia critica, in arancione quando sono superiori.