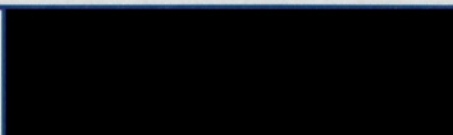


DIPARTIMENTO TERRITORIALE PIEMONTE NORD OVEST
Struttura semplice "Attività di Produzione"

**OGGETTO: CAMPAGNA DI RILEVAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA CON UTILIZZO DEL
 LABORATORIO MOBILE NEL COMUNE DI RIVOLI
 RELAZIONE 1^a e 2^a CAMPAGNA
 (5 luglio – 2 agosto e 11 novembre – 13 dicembre 2021)**



CODICE DOCUMENTO: F06_2020_03761_008

Redazione	Funzione: Tecnico Struttura Attività di Produzione	Data:	
	Nome: Roberto Sergi	26/04/2021	
Verifica	Incarico di Funzione: Monitoraggio qualità dell'aria e Olfattometria	Data:	
	Nome: Milena Sacco	26/04/2021	
Approvazione	Funzione: Responsabile Struttura Complessa		
	Nome: Alberto Maffiotti		

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento territoriale Piemonte Nord Ovest - Struttura Semplice Attività di Produzione

Via Pio VII n. 9 – 10135 Torino Tel. 011-19680111 – fax 011-19681441

P.E.C.: dip.torino@pec.arpa.piemonte.it

Redazione dei testi e delle elaborazioni a cura di:

Roberto Sergi, Struttura Semplice Attività di Produzione del Dipartimento territoriale Arpa Piemonte Nord Ovest

Per la gestione tecnica della rete di monitoraggio hanno collaborato:

Annalisa Bruno, Elisa Calderaro, Laura Milizia, Francesco Romeo, Milena Sacco, Roberto Sergi, Struttura Semplice Attività di Produzione del Dipartimento territoriale Arpa Piemonte Nord Ovest

Le determinazioni analitiche sono state realizzate da:

Laboratorio del Dipartimento territoriale Arpa Piemonte Nord Ovest - Sede di Grugliasco

Si ringrazia il personale degli Uffici Tecnici del Comune di Rivoli per la collaborazione prestata.

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Regione Piemonte

ARPA PIEMONTE

Sede centrale di via Pio VII, 9

10135 Torino

INDICE

1	CONSIDERAZIONI GENERALI SUL FENOMENO INQUINAMENTO ATMOSFERICO	3
2	IL LABORATORIO MOBILE	4
3	IL QUADRO NORMATIVO	4
4	LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO	7
4.1	Obiettivi della campagna di monitoraggio	7
4.2	Analisi del contesto territoriale	10
4.2.1	Emissioni sul territorio	10
4.2.2	Valutazione modellistica annuale dello stato di Qualità dell'Aria	13
4.3	Traffico veicolare	15
4.4	Elaborazione dei dati meteorologici	22
4.5	Elaborazione statistiche e grafiche relative al monitoraggio nel comune di Rivoli	26
4.5.1	Andamento orario e giornaliero - Confronto con i limiti di legge	26
4.5.2	Ossidi di Azoto	27
4.5.3	Monossido di Carbonio	34
4.5.4	Benzene e Toluene	37
4.5.5	Particolato Sospeso (PM ₁₀) e (PM _{2.5})	40
4.5.6	Ozono	47
4.5.7	IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	53
4.5.8	METALLI	57
5	CONCLUSIONI	62
6	APPENDICE - SPECIFICHE TECNICHE DEGLI ANALIZZATORI	64

1 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL FENOMENO INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Per inquinamento dell'aria si intende qualsiasi variazione nella sua composizione - determinata da fattori naturali e/o artificiali - dovuta all'immissione di sostanze la cui natura e concentrazione sono tali da costituire pericolo, o quantomeno pregiudizio, per la salute umana o per l'ambiente in generale.

Oggigiorno è analiticamente possibile identificare nell'atmosfera numerosissimi composti di varia origine, presenti in concentrazioni che variano dal nanogrammo per metro cubo (ng/m³) al microgrammo per metro cubo (µg/m³).

Le principali sorgenti di inquinanti sono:

- emissioni veicolari;
- emissioni industriali;
- combustione da impianti termoelettrici;
- combustione da riscaldamento domestico;
- smaltimento rifiuti (inceneritori e discariche).

Le emissioni indicate generano innumerevoli sostanze che si disperdono nell'atmosfera. Si possono dividere tali sostanze in due grandi gruppi: al primo appartengono gli inquinanti emessi direttamente da sorgenti specifiche (inquinanti primari), al secondo gruppo quelli che si producono a causa dell'interazione di due o più inquinanti primari per reazione con i normali costituenti dell'atmosfera, con o senza fotoattivazione (inquinanti secondari).

Nella **Tabella 1** sono indicate le fonti principali e secondarie dei più comuni inquinanti atmosferici.

La dispersione degli inquinanti nell'atmosfera è strettamente legata alla situazione meteorologica dei siti presi in esame; pertanto, per una completa caratterizzazione della qualità dell'aria in un determinato sito, occorre conoscere l'andamento dei principali parametri meteorologici (velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, irraggiamento solare).

Per una descrizione completa dei singoli inquinanti, dei danni causati e dei metodi di misura si rimanda alla pubblicazione "Uno sguardo all'aria - Relazione annuale 2020", elaborata congiuntamente dalla Città Metropolitana di Torino e da Arpa Piemonte, e disponibile sui rispettivi siti internet.

Alla medesima pubblicazione si rimanda per una descrizione approfondita dei fenomeni meteorologici e del significato delle grandezze misurate.

Tabella 1: **Fonti principali e meno rilevanti dei più comuni inquinanti atmosferici.**

INQUINANTE	Traffico autoveicolare veicoli a benzina	Traffico autoveicolare veicoli diesel	Emissioni industriali	Combustioni fisse alimentate con combustibili liquidi o solidi	Combustioni fisse alimentate con combustibili gassosi
BIOSSIDO DI AZOTO					
BENZENE					
MONOSSIDO DI CARBONIO					
PARTICOLATO SOSPESO					
PIOMBO					
BENZO(a)PIRENE					

	= fonti principali
	= fonti meno rilevanti

2 IL LABORATORIO MOBILE

Il controllo dell'inquinamento atmosferico nel territorio della Città Metropolitana di Torino viene realizzato attraverso le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria gestita da Arpa Piemonte.

Le informazioni acquisite da tale rete sono integrate, laddove non siano presenti postazioni della rete fissa e si renda comunque necessaria una stima della qualità dell'aria, attraverso l'utilizzo di stazioni mobili gestite dai Dipartimenti territoriali di Arpa Piemonte.

Il laboratorio mobile è dotato di una stazione meteorologica e di analizzatori per la misura in continuo di inquinanti chimici quali: ossidi di azoto, monossido di carbonio, ozono, benzene, toluene e di campionatore di particolato atmosferico PM₁₀ e PM_{2.5}, la cui concentrazione è determinata in laboratorio per via gravimetrica.

3 IL QUADRO NORMATIVO

La normativa italiana in materia di qualità dell'aria impone dei limiti per quegli inquinanti che risultano essere quantitativamente più rilevanti dal punto di vista sanitario e ambientale.

La normativa quadro è rappresentata dal D.Lgs. 155/2010 che ha abrogato e sostituito le normative precedenti senza però modificare i valori numerici dei limiti di riferimento degli inquinanti già normati.

I limiti di legge possono essere classificati in tre tipologie:

- **valore limite annuale** per gli inquinanti ossidi di azoto (NO_x), materiale particolato PM₁₀ e PM_{2.5}, piombo (Pb) e benzene per la protezione della salute umana e degli ecosistemi, finalizzati alla prevenzione dell'inquinamento su lungo periodo;
- **valori limite giornalieri o orari** per ossidi di azoto, PM₁₀, e monossido di carbonio (CO), volti al contenimento di episodi acuti d'inquinamento;
- **soglie di allarme** per il biossido di azoto e l'ozono, superate le quali può insorgere rischio per la salute umana, per cui le autorità competenti sono tenute ad adottare immediatamente misure atte a ridurre le concentrazioni degli inquinanti al di sotto della soglia d'allarme o comunque assumere tutti i provvedimenti del caso che devono comprendere sempre l'informazione ai cittadini.

Nei limiti riferiti alla prevenzione a breve termine sono previste soglie di informazione e di allarme come medie orarie. A lungo termine sono previsti obiettivi per la protezione della salute umana e della vegetazione calcolati sulla base di più anni di monitoraggio.

Il **D.Lgs. 155/2010** ha inoltre inserito nuovi indicatori relativi al PM_{2.5} e in particolare un **valore limite, espresso come media annuale**, pari 25 µg/m³ da raggiungere entro il 1° gennaio 2015.

Nelle **Tabelle 2, 3 e 4** sono indicati i valori di riferimento previsti dalla normativa attualmente vigente. Per una descrizione più ampia del quadro normativo si rimanda ancora alla pubblicazione "Uno sguardo all'aria - Relazione annuale 2020".

Tabella 2: Valori limite per alcuni inquinanti atmosferici.

INQUINANTE	LIMITE	PERIODO DI MEDIAZIONE	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE
BIOSSIDO DI AZOTO (NO ₂) e OSSIDI DI AZOTO (NO _x)	Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 µg/m ³ (NO ₂)	18 volte/anno civile	1-gen-2010
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m ³ (NO ₂)	--	1-gen-2010
	Soglia di allarme	3 ore consecutive	400 µg/m ³ (NO ₂)	--	--
	Valore limite annuale per la protezione della vegetazione	anno civile	30 µg/m ³ (NO _x)	--	19-lug-2001
MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)	Valore limite per la protezione della salute umana	media massima giornaliera su 8 ore	10 mg/m ³	---	1-gen-2005
PIOMBO (Pb)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	0.5 µg/m ³	---	1-gen-2005
PARTICELLE (PM10)	Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m ³	35 volte/anno civile	1-gen-2005
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m ³	---	1-gen-2005
BENZENE	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	5 µg/m ³	---	1-gen-2010

Tabella 3: Valori limite per ozono e benzo(a)pirene

INQUINANTE	LIMITE	PARAMETRO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE
OZONO (O ₃) (D.Lgs. 13/08/2010 n.155)	SOGLIA DI INFORMAZIONE	media oraria	180 µg/m ³	-	-
	SOGLIA DI ALLARME	media oraria	240 µg/m ³	-	-
	VALORE BERSAGLIO PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA	media su 8 ore massima giornaliera	120 µg/m ³ ⁽¹⁾	25 giorni per anno civile come media su 3 anni	2010
	VALORE BERSAGLIO PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE	AOT40 calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18000 µg/m ³ *h come media su 5 anni ⁽²⁾		2010
	OBIETTIVO A LUNGO TERMINE PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE	AOT40 calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	6000 µg/m ³ *h ⁽²⁾		
BENZO(a)PIRENE (D.Lgs. 13/08/2010 n.155)	OBIETTIVO DI QUALITÀ	media mobile valori giornalieri ⁽³⁾	1 ng/m ³ ⁽⁴⁾	-	-

(1) La media mobile trascinata è calcolata ogni ora sulla base degli 8 valori relativi agli intervalli h÷(h-8)

(2) Per AOT40 si intende la somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e il valore di $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8.00 e le 20.00.

(3) La frequenza di campionamento è pari a 1 prelievo ogni z giorni, ove $z=3\div 6$; z può essere maggiore di 7 in ambienti rurali; in nessun caso z deve essere pari a 7.

(4) Il periodo di mediazione è l'anno civile (1 gennaio – 31 dicembre)

Tabella 4: Valori obiettivo per arsenico, cadmio e nichel (D.Lgs. 13/08/2010 n.155)

INQUINANTE	VALORI OBIETTIVO ⁽¹⁾
Arsenico	$6.0 \text{ ng}/\text{m}^3$
Cadmio	$5.0 \text{ ng}/\text{m}^3$
Nichel	$20.0 \text{ ng}/\text{m}^3$

(1) Il valore obiettivo è riferito al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM_{10} del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile.

4 LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO

4.1 Obiettivi della campagna di monitoraggio

La campagna di monitoraggio condotta nel Comune di Rivoli dal Dipartimento Arpa di Torino è stata effettuata in seguito alla richiesta dell'Amministrazione Comunale ed è finalizzata ad avere informazioni sulla qualità dell'aria nel territorio monitorato.

Sono state condotte due campagne di monitoraggio con il laboratorio mobile della qualità dell'aria, in momenti diversi dell'anno, in modo da acquisire informazioni ambientali in differenti condizioni meteo-climatiche.

Si precisa che nel corso del 2020 e inizio 2021 la programmazione delle campagne di monitoraggio con il laboratorio mobile è stata sensibilmente condizionata dall'emergenza sanitaria in corso che ha determinato periodi di riduzione delle attività antropiche, con conseguente diminuzione significativa del traffico veicolare ed altre fonti di inquinamento atmosferico. Durante tali periodi si è pertanto stabilito di non effettuare campagne monitoraggio che sarebbero risultate poco significative per la caratterizzazione dei siti relativamente alla qualità dell'aria. Pertanto, le campagne sono state svolte in periodi non condizionati in modo significativo dai predetti fattori.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati della campagna, si ricorda che il monitoraggio effettuato permette di verificare se nell'area di indagine la concentrazione degli inquinanti oggetto di misura è significativamente diversa da quella di altre zone del territorio della Città Metropolitana, ma non di quantificare il contributo di una determinata fonte rispetto alle altre sorgenti di inquinanti atmosferici presenti.

Le strumentazioni di misura in aria ambiente come quelle installate sulla stazione mobile, infatti, rilevano per loro natura la concentrazione complessiva di un determinato inquinante, vale a dire la somma dei contributi delle sorgenti inquinanti (traffico veicolare, impianti di riscaldamento civile, impianti industriali ecc.).

Il sito di posizionamento del mezzo mobile per la campagna di monitoraggio, concordato con l'Amministrazione comunale, è quello già utilizzato nel corso della precedente campagna e precisamente in corso Francia 98. Nelle **Figure 1, 2 e 3** viene meglio rappresentato il sito nel quale è stato posizionato il laboratorio mobile.

Il sito anzidetto è stato scelto in considerazione delle richieste pervenute da codesto Ente e delle esigenze tecniche e di sicurezza legate alla tipologia delle indagini ambientali effettuate.

La prima campagna è stata condotta dal **5 luglio al 2 agosto 2021** (29 giorni), la seconda dall' **11 novembre al 13 dicembre 2021** (33 giorni).

Si rammenta che per ragioni tecniche le elaborazioni sono state effettuate considerando esclusivamente i giorni di campionamento completi e pertanto non vi è corrispondenza con le date di posizionamento e spostamento del laboratorio mobile. I dati utili per l'effettuazione delle elaborazioni vanno pertanto dal 6 luglio al 1° agosto 2021 (27 giorni) per quanto riguarda la prima campagna, e dal 12 novembre al 12 dicembre (31 giorni) per la seconda.

Va sottolineato che i dati acquisiti nel corso della campagna condotta con il Laboratorio Mobile non permettono di effettuare una trattazione in termini statistici, secondo quanto previsto dalla normativa per la qualità dell'aria, ma forniscono un quadro, seppure limitato dal punto di vista temporale, della situazione di inquinamento atmosferico relativa al sito in esame; il confronto con i dati rilevati nello stesso periodo della campagna dalle stazioni fisse della rete della Città Metropolitana di monitoraggio della qualità dell'aria permette, inoltre, di effettuare considerazioni di tipo comparativo. Una trattazione completa, secondo quanto previsto dalla normativa vigente (allegato I del D.Lgs. 155/2010), dovrebbe prevedere, infatti, campagne di monitoraggio caratterizzate da una durata tale da comprendere almeno il 14% annuo di misurazioni (una misurazione in un giorno, scelto a caso,

di ogni settimana in modo che le misure siano uniformemente distribuite durante l'anno, oppure otto settimane di misurazione distribuite in modo regolare nell'arco dell'anno).

In accordo con l'Amministrazione comunale si è deciso, considerando la tipologia del sito in esame, di valutare quantitativamente il flusso veicolare nel corso della campagna. A tal fine è stato posizionato un contatraffico adiacente al sito di campionamento con il laboratorio mobile, come indicato nelle **Figure 2 e 3**.

Figura 1: Ubicazione del Laboratorio Mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria nel comune di Rivoli

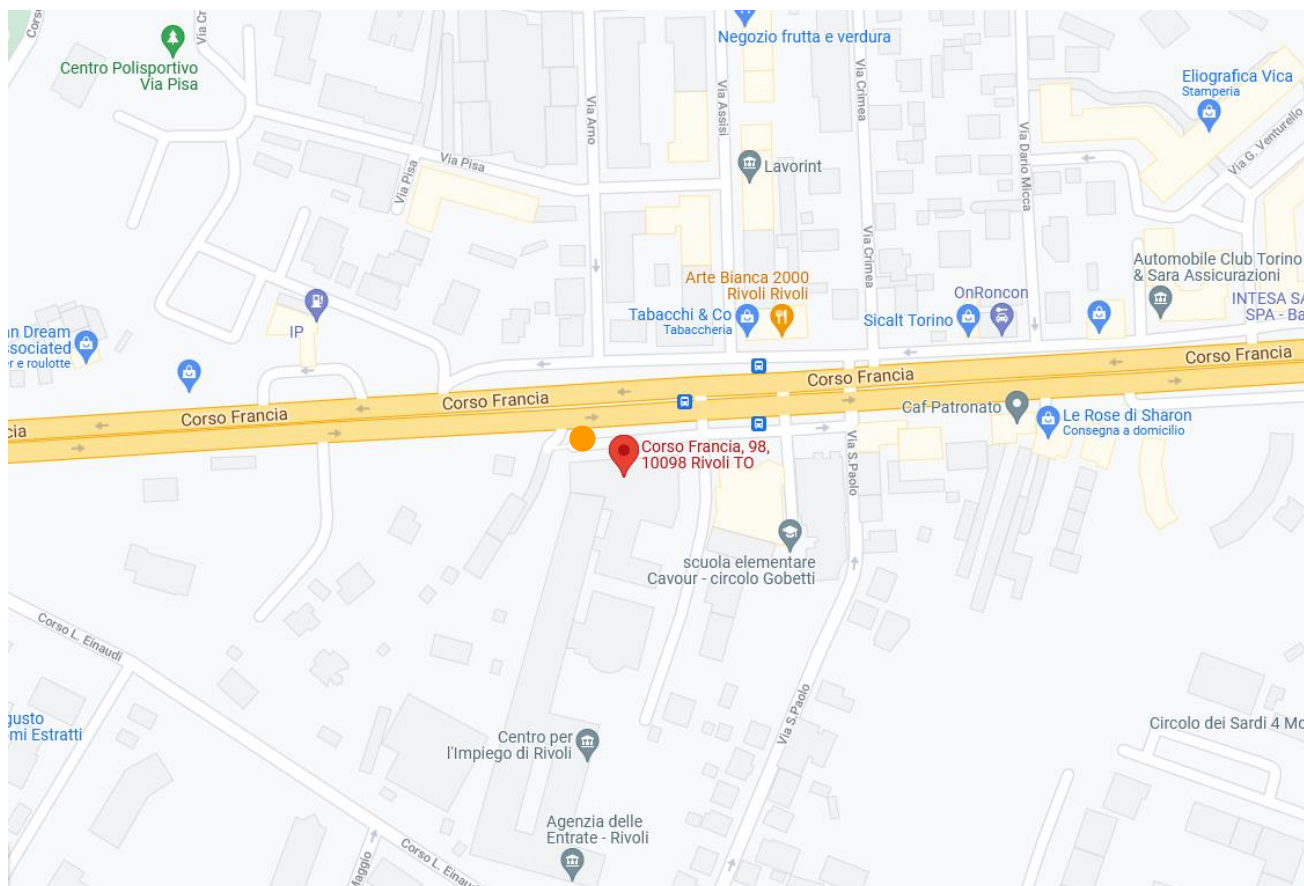
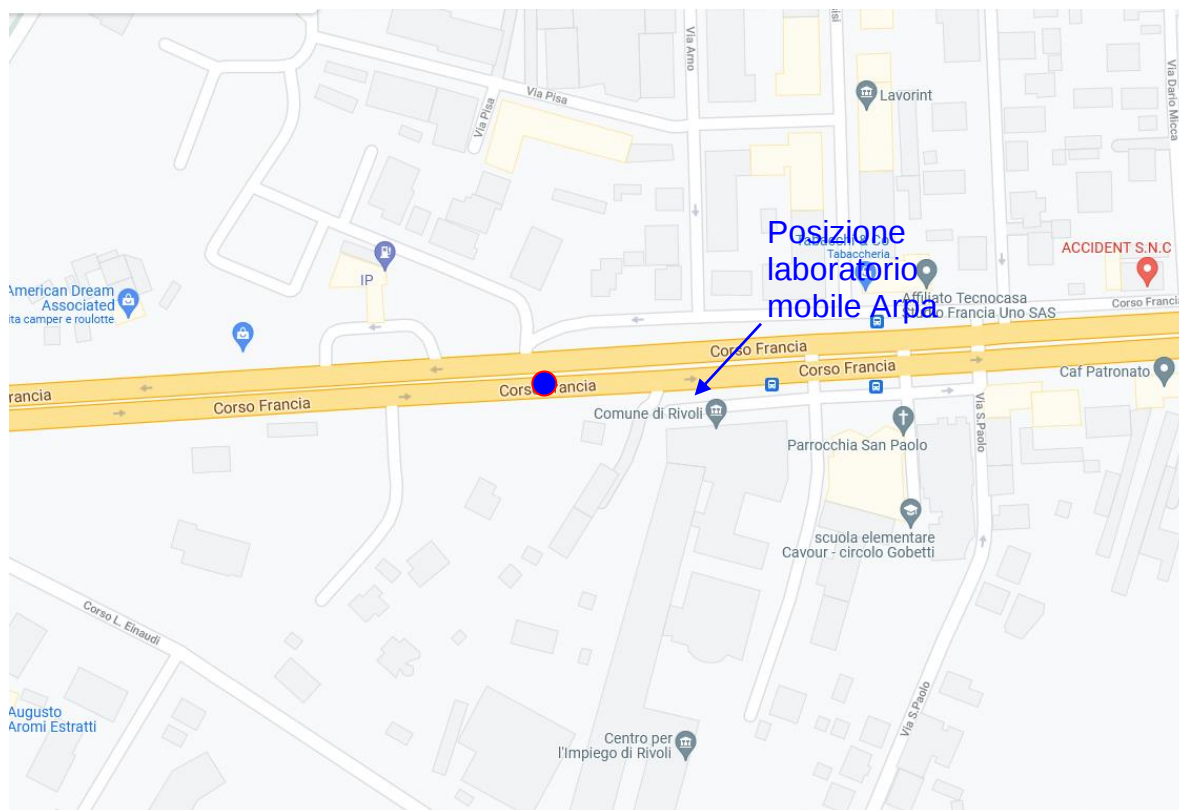


Tabella 5 – Specifiche del sito di misura nel Comune di Rivoli

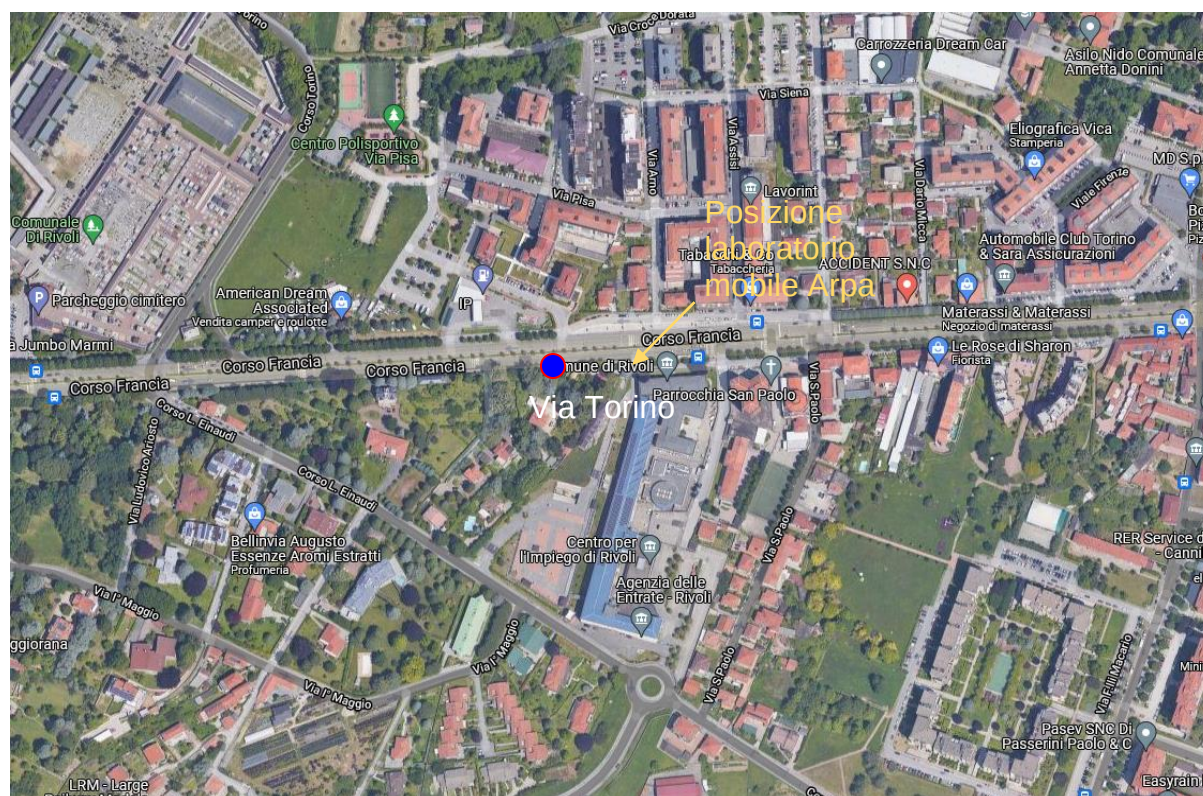
MEZZO DI MISURA	PERIODO	INDIRIZZO	Coordinate UTM (S.R. WGS84)	
Laboratorio mobile della qualità dell'aria di Arpa Piemonte	- I CAMPAGNA 5 luglio – 2 agosto 2021 - II CAMPAGNA 11 novembre – 13 dicembre 2021	Corso Francia 98 RIVOLI (TO)	EST: 384596	NORD: 4991866

Figura 2: Ubicazione del Laboratorio Mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria nel comune di Rivoli



● = sito di rilevamento flussi di traffico veicolare

Figura 3: Ubicazione del Laboratorio Mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria nel comune di Rivoli



● = sito di rilevamento flussi di traffico veicolare

4.2 Analisi del contesto territoriale

Per l'analisi del contesto territoriale vengono di seguito riportate le **stime delle principali sorgenti emissive** ricavate dall'inventario regionale delle Emissioni in atmosfera IREA (<http://www.sistemapiemonte.it/fedwinemar/elenco.jsp>) e la **valutazione modellistica dello stato di Qualita' dell'Aria** elaborata da Arpa Piemonte (https://webgis.arpa.piemonte.it/aria_modellistica_webapp/index.html)

4.2.1 Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emissive sul territorio comunale è stato utilizzato l'inventario aggiornato al 2015, nel quale la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emissive, includendo le attività considerate rilevanti per le emissioni atmosferiche. I macrosettori individuati sono i seguenti:

- Centrali elettriche pubbliche, cogenerazione e teleriscaldamento, produzione di energia (elettrica, cogenerazione e teleriscaldamento) e trasformazione di combustibili;
- Impianti di combustione non industriali (commercio, residenziale, agricoltura);
- Combustione nell'industria;
- Processi produttivi;
- Estrazione e distribuzione di combustibili fossili;
- Uso di solventi;
- Trasporto su strada;
- Altre sorgenti mobili e macchinari;
- Trattamento e smaltimento rifiuti;
- Agricoltura;
- Altre sorgenti e assorbimenti.

Per ciascun macro-settore vengono riportate le quantità assolute di emissioni in atmosfera per alcuni inquinanti di qualità dell'aria, espresse in tonnellate/anno.

La **Tabella 6** riporta i principali contributi emissivi stimati per il Comune di Rivoli espressi in tonnellate/anno e suddivisi per fonti di emissione. Nelle **Figure 4, 5, 6 e 7** vengono rappresentati graficamente i contributi delle emissioni dei principali inquinanti atmosferici.

Tabella 6: contributi emissivi stimati per il comune di Rivoli

INQUINANTE	MACROSETTORE										
	01 (*)	02 (**)	03 (***)	04 Processi produttivi	05 Estraz. e distribuz. combust.	06 Uso di solventi	07 Trasporto su strada	08 Altre sorgenti mobili e macchin.	09 Trattam. Smaltim. rifiuti	10 Agricolt.	11 Altre sorgenti e assorbim enti
CO	14.470	161.3191	25.1774				756.7022	7.9805			2.7767
NH3		0.3283	0.0000				4.0683	0.0025		72.3630	
NMVOC	2.4749	18.4336	4.8418	52.5674	24.5595	292.7682	169.4543	3.4098		52.3361	27.9031
NOx	35.560 0	49.4808	122.0136				471.2897	9.7885		0.6193	0.1310
PM10	0.1980	13.3362	1.7237	1.3452		6.2286	50.1534	0.5497		0.3080	2.2801
PM2.5	0.1980	13.1900	1.7237	1.2417		6.1893	22.6033	0.5497		0.1044	2.2801
SO2	0.4300	2.5710	0.9684				0.6523	0.0316			0.0277

*Produzione energia e trasformazione combustibili ** Combustione non industriale *** Combustione nell'industria

Figura 4: stima contributi emissioni di CO nel comune di Rivoli

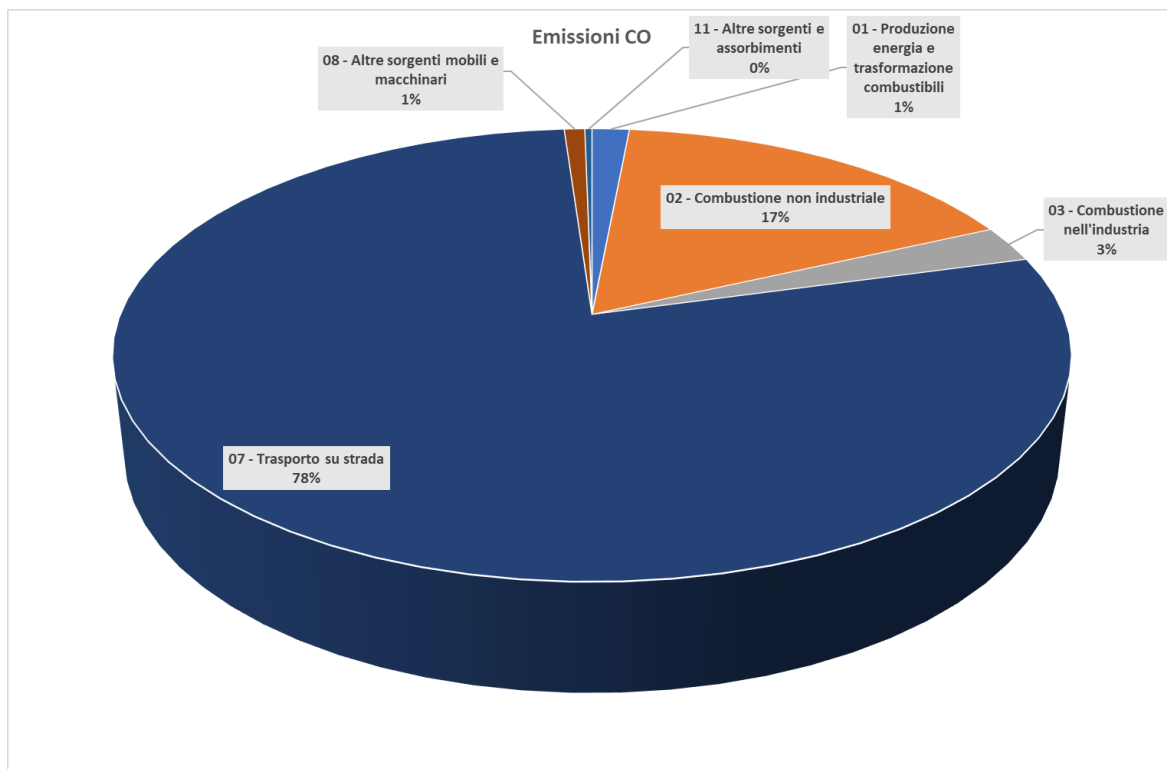


Figura 5: stima contributi emissioni di composti organici volatili nel comune di Rivoli

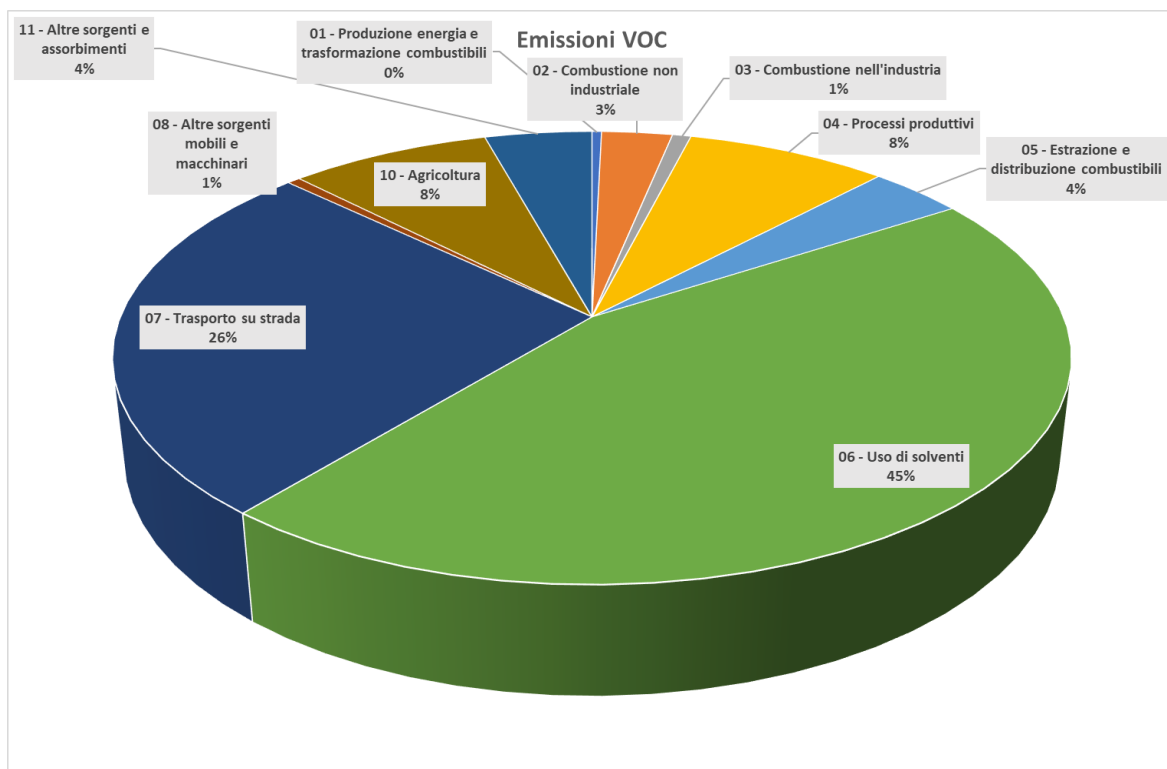


Figura 6: stima contributi emissioni di ossidi di azoto nel comune di Rivoli

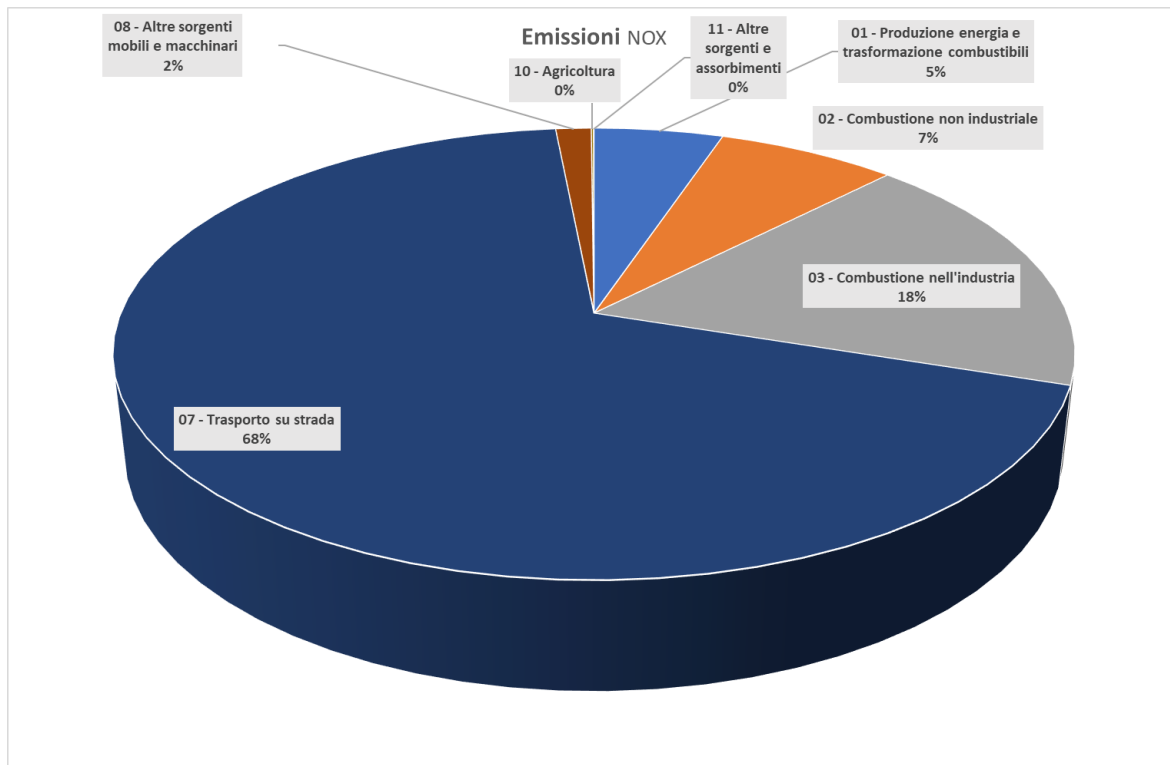
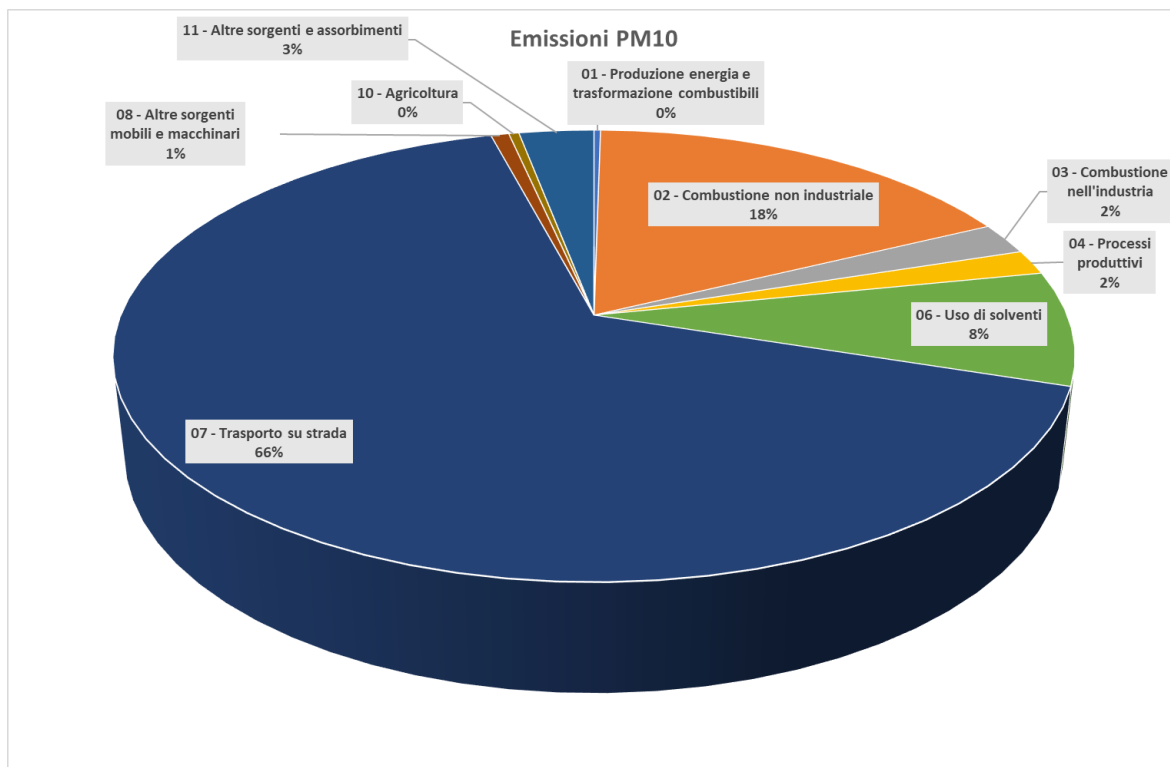


Figura 7: stima contributi emissioni di PM₁₀ nel comune di Rivoli



4.2.2 Valutazione modellistica annuale dello stato di Qualità dell'Aria

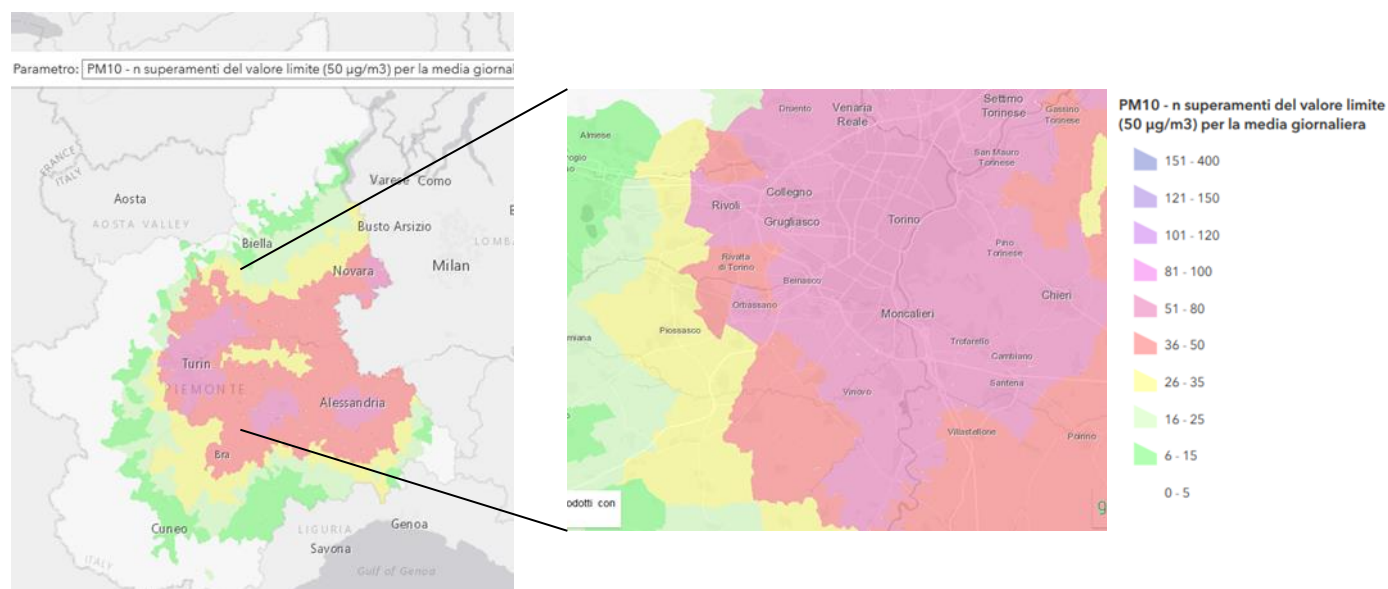
Il quadro normativo nazionale e comunitario (attualmente rappresentato dal D.Lgs. 155/2010, recepimento della direttiva 2008/50/CE) stabilisce che la valutazione della qualità dell'aria deve essere realizzata utilizzando sia misure effettuate in siti fissi, sia tecniche di valutazione modellistica. Coerentemente con tale quadro normativo la Valutazione modellistica Annuale sullo stato della Qualità dell'aria in Piemonte è stata realizzata con un approccio integrato che sfrutta le differenti tipologie informative disponibili in Regione Piemonte: la prima è rappresentata dalle misure del Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA) disponibile solamente per un certo numero di localizzazioni spaziali, la seconda dai campi di concentrazione ad alta risoluzione spaziale prodotti dal sistema modellistico di trasporto, dispersione e trasformazione chimica degli inquinanti in atmosfera messo a punto ed utilizzato operativamente da ARPA Piemonte, dando seguito al mandato ricevuto dal Settore competente della Direzione Ambiente della Regione Piemonte.

La struttura di Arpa che si occupa di modellistica di qualità dell'aria e che svolge anche funzioni di Coordinamento è il **Dipartimento Rischi Naturali e ambientali - Meteorologia, clima e qualità dell'aria**.

Di seguito vengono proposte le elaborazioni grafiche realizzate dalla suddetta struttura e consultabili sul sito ARPA (https://webgis.arpa.piemonte.it/secure_apps/aria_modelistica_webapp/index.html).

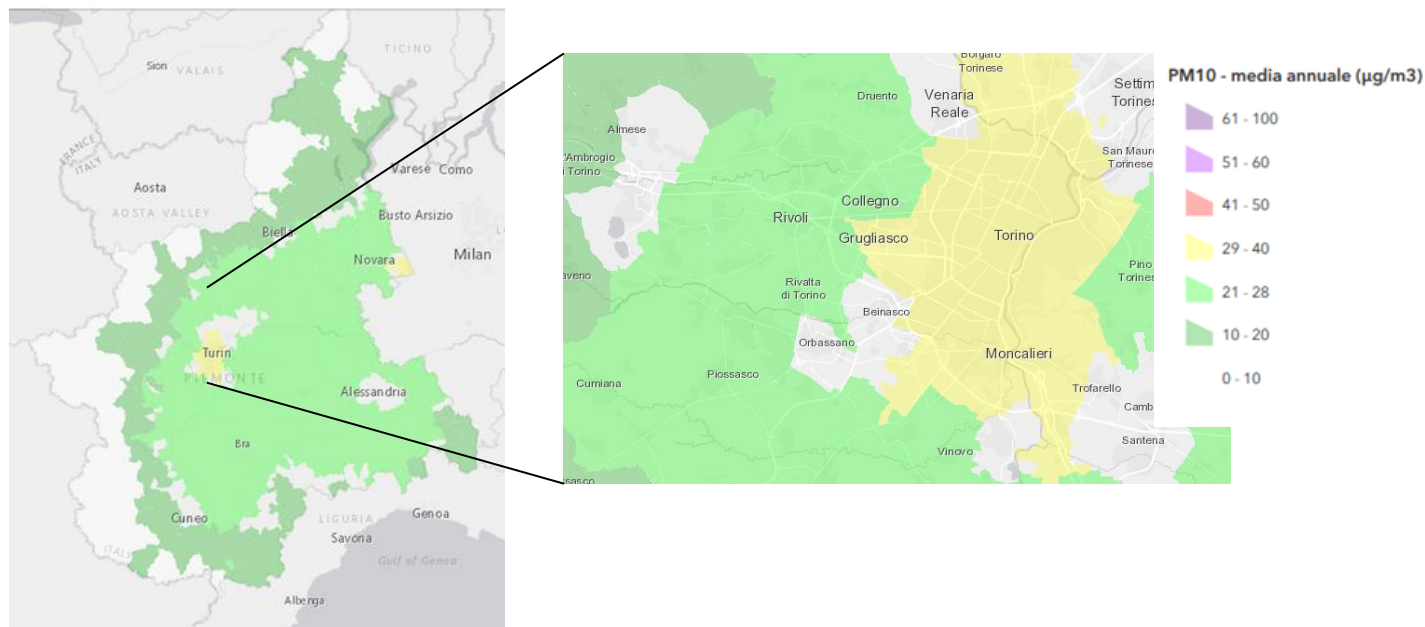
Nella **Figura 8** viene data evidenza del risultato della valutazione modellistica in relazione al numero di superamenti del valore limite della media giornaliera ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) stabilito per il PM_{10} , la cui stima riferita al 2020 per il territorio del comune di Rivoli è compreso tra 51 e 80, superiore ai 35 stabiliti dalla norma.

Figura 8: PM_{10} - n. superamenti del valore limite ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per la media giornaliera



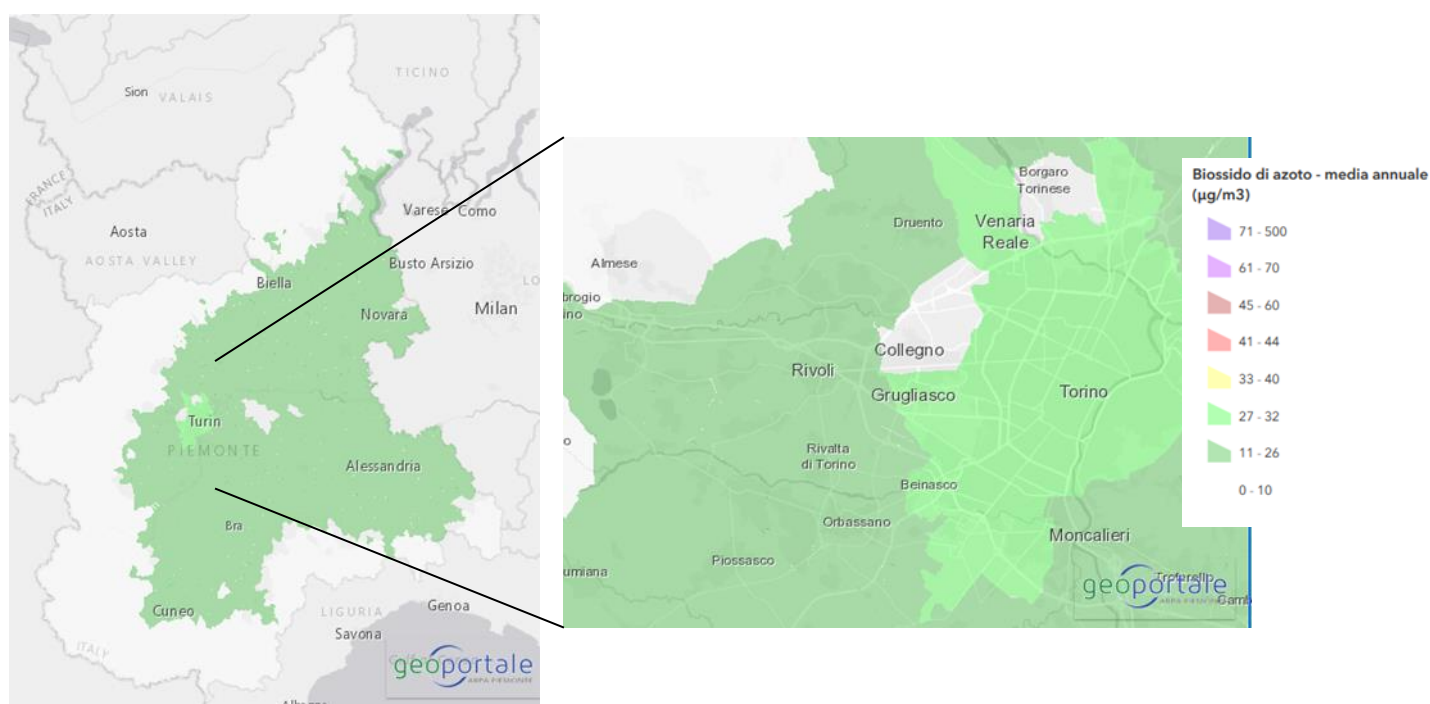
Nella **Figura 9** vengono rappresentati i risultati della modellistica in merito alla media annuale del PM_{10} , da cui emerge che per Rivoli la media annuale stimata per il 2020 è compresa tra 21 e $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiore al limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ previsto dalla normativa.

Figura 9: PM_{10} - media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



La **Figura 10** mostra la stima della media annuale del biossido di azoto per Rivoli nel 2020 che è compresa tra 11 e 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiore al limite di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 10: NO_2 - media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



4.3 Traffico veicolare

Per meglio comprendere la persistenza degli inquinanti da traffico veicolare nel sito di posizionamento del laboratorio mobile si è provveduto a conteggiare i passaggi di veicoli leggeri e pesanti lungo l'asse stradale di corso Francia all'altezza del sito di monitoraggio con il laboratorio mobile. Per le caratteristiche dell'asse viario preso in considerazione e delle caratteristiche tecniche del conta-traffico è stato possibile conteggiare i veicoli per la sola direzione di marcia che va da Rivoli verso Torino, quella più prossima al sito di monitoraggio.

Il conta-traffico utilizzato nei rilevamenti è della ditta GmbH modello Viacount II ed è sostanzialmente un apparecchio per il monitoraggio del traffico composto da un sensore radar "Doppler" da 24.165 GHz con memoria dati integrata e orologio in tempo reale; il sensore radar misura i movimenti dei veicoli di una corsia o direzione di marcia oppure di entrambe le direzioni di marcia. In particolare, lo strumento determina la lunghezza, la velocità, il senso di marcia, l'ora e data dei veicoli che attraversano il fascio radar.

Le classi dei veicoli in funzione della lunghezza sono le seguenti:

Classi	lunghezza
motocicli;	< 2,26 m
automobili;	da 2,27 m a 4,82 m
transporter;	da 4,83 m a 5,84 m
autocarri;	da 5,85 m a 9,01 m
autotreni;	> 9,02 m

Prendendo come riferimento le "Le linee guida per la predisposizione delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria in Italia" dell'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici) si è potuto classificare il sito di Rivoli in funzione dei flussi di traffico e delle caratteristiche stradali.

I rilievi di traffico hanno evidenziato che il numero medio giornaliero di passaggi veicolari lungo via Torino è stato di **5354** veicoli/giorno nel periodo estivo e **5366** nel periodo autunnale; tale conteggio e le elaborazioni che seguono sono riferiti, come specificato in precedenza, alle tre corsie di marcia in direzione di Torino mentre non sono stati conteggiati i passaggi nella direzione opposta. È possibile però ipotizzare, con un buon grado di approssimazione, che i passaggi nella direzione opposta siano molto simili come ordine di grandezza e quindi il numero di veicoli/giorno che transitano in corso Francia all'altezza del civico 98 sia intorno ai 10700. Come termine di confronto in Torino presso corso Vittorio Emanuele II° - arteria stradale con tre corsie per senso di marcia - all'altezza di C.so Inghilterra i passaggi giornalieri medi rilevati nel corso di una campagna invernale sono stati pari a **16.070** veicoli/giorno.

In base alle Linee guida APAT sopracitate (capitolo 4 - tipologia e numero delle stazioni per la valutazione dell'esposizione della popolazione negli agglomerati - nota 1), il valore ipotizzato di **10700** veicoli/giorno indica una condizione di alto volume di traffico, essendo i passaggi giornalieri superiori ai 10.000 veicoli/giorno.

Dall'analisi dei dati di traffico nel corso delle campagne di monitoraggio si possono trarre le seguenti considerazioni:

- 1) si sono rilevati sull'asse viario preso in considerazione flussi veicolari quantitativamente di elevata entità (**Figure 11 e 12**); nell'analisi dei flussi elaborati in base al giorno della settimana non emergono differenze apprezzabili nella distribuzione lungo la settimana con una consistente diminuzione del passaggio dei veicoli durante la domenica, sia nella prima che nella seconda campagna (vedi **Figura 13 e Figura 14**);

Figura 11: andamento orario traffico veicolare

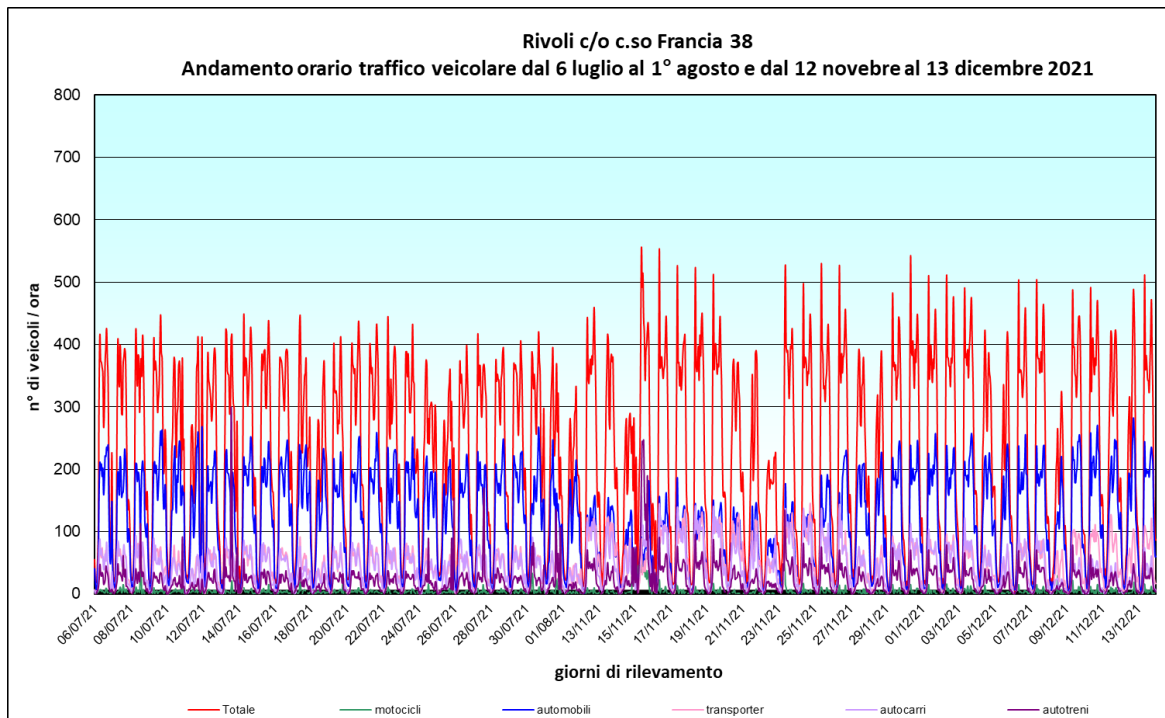


Figura 12: andamento giornaliero (solo giorni completi)

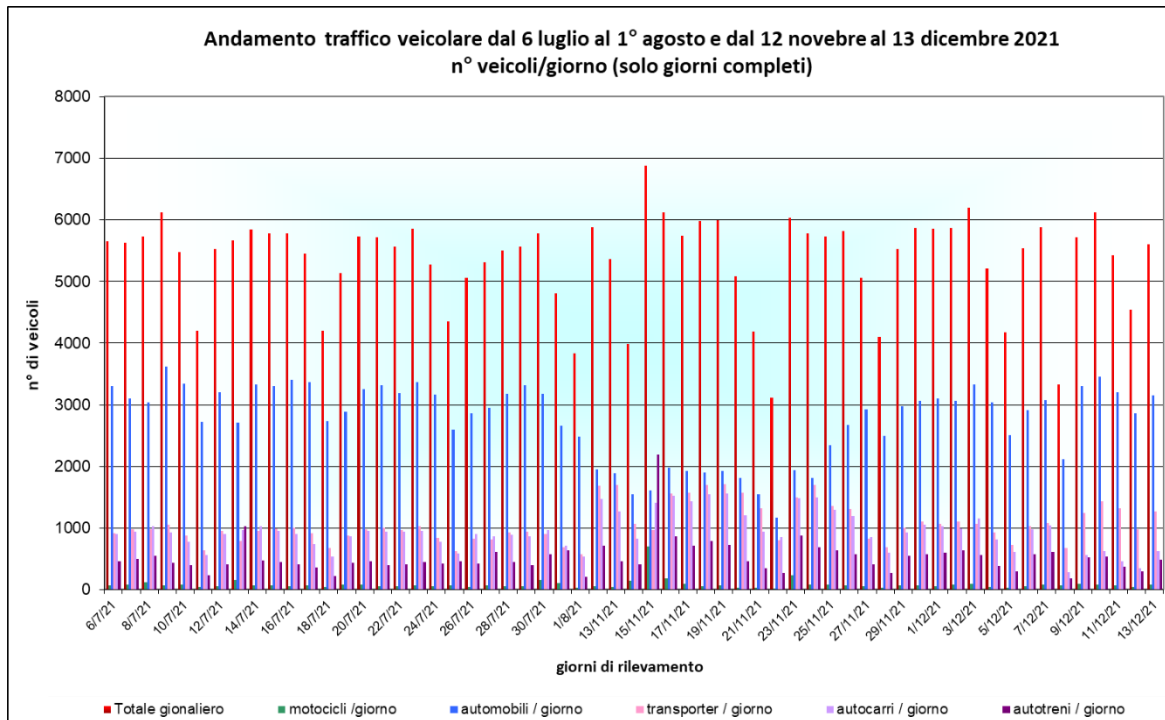


Figura 13: traffico veicolare grafico settimanale – Rivoli c/o corso Francia 98 (solo giorni completi) – prima campagna

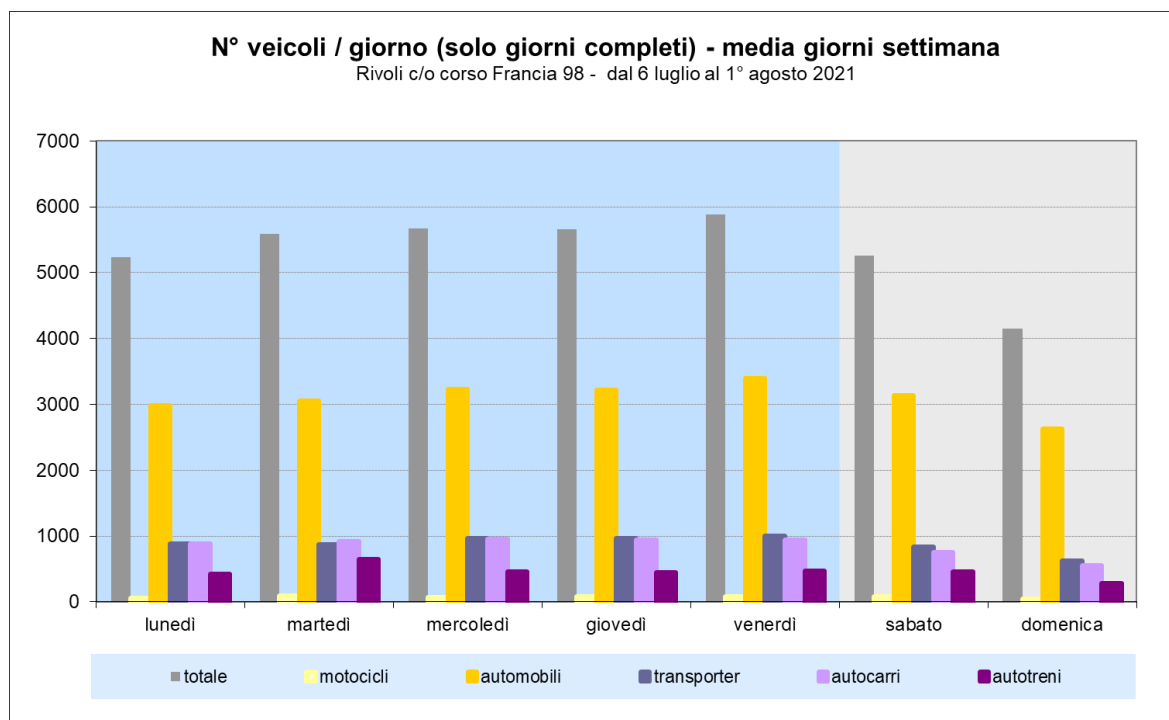
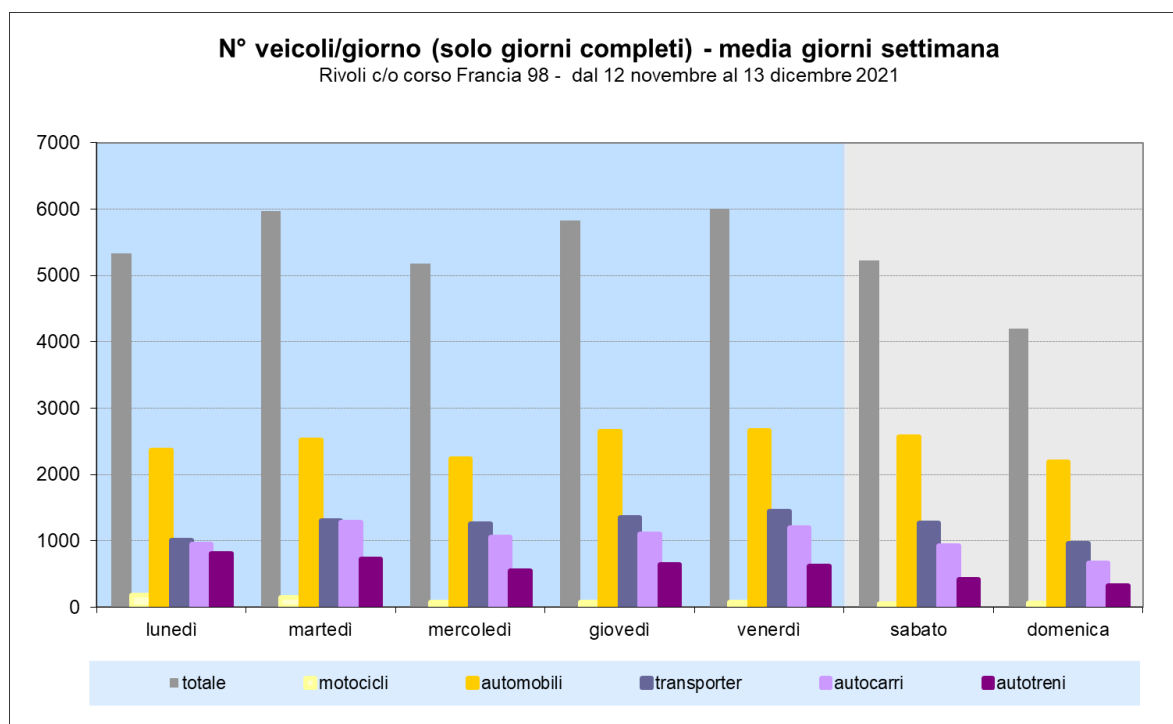


Figura 14: traffico veicolare grafico settimanale – Rivoli c/o corso Francia 98 (solo giorni completi) – seconda campagna



- 2) il traffico veicolare nel tratto monitorato di corso Francia è un traffico con velocità bassa, considerando che il punto di monitoraggio era ubicato in prossimità di un semaforo. La velocità media dei veicoli registrata nei due periodi è stata di 36,4 Km/h;
- 3) le percentuali di veicoli pesanti e di veicoli di trasporto commerciale (transporter, che di norma hanno motori diesel) in transito lungo l'asse viario considerato sono risultate molto significative sia durante la prima campagna (**Figura 15**) sia durante la seconda (**Figura 16**);

Figura 15: traffico veicolare – Rivoli c/o corso Francia 98 - valutazione di frequenza – 1^a campagna

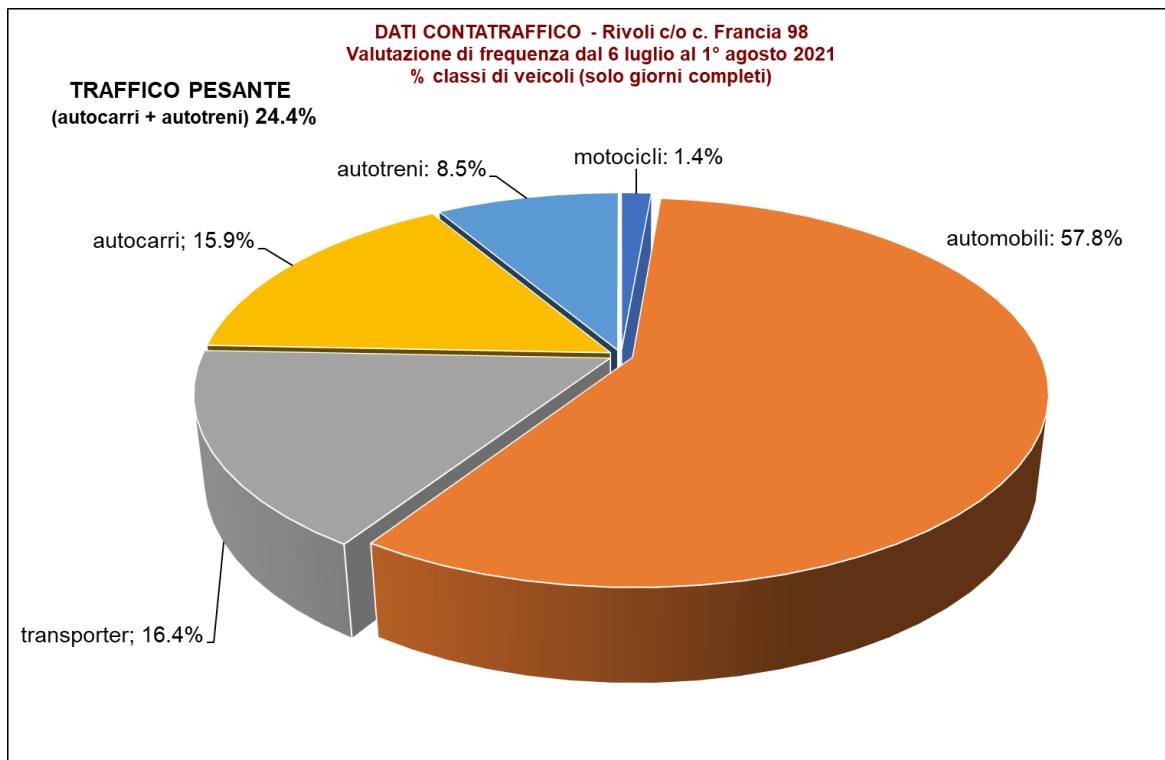
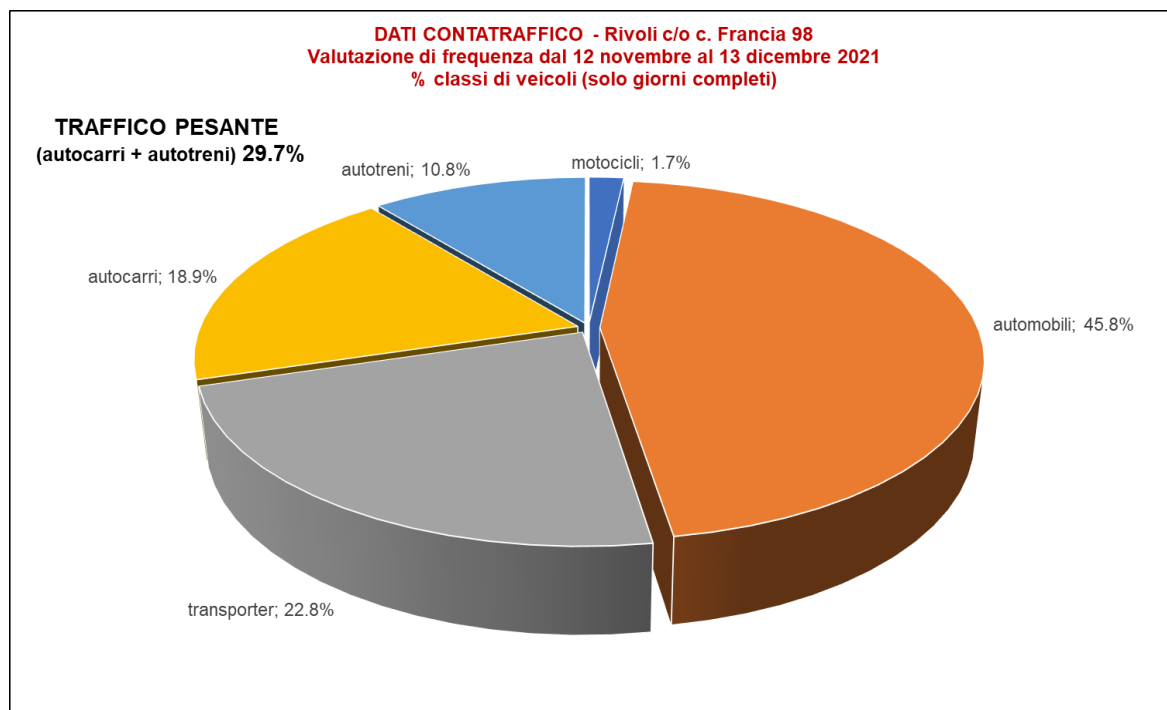


Figura 16: traffico veicolare – Rivoli c/o corso Francia 98 - valutazione di frequenza – 2^a campagna



- 4) il confronto tra i flussi veicolari e gli ossidi di azoto (**Figura 17, Figura 18, Figura 19**) mostra un evidente influsso del traffico rispetto a questi inquinanti. Durante entrambe le campagne l'andamento temporale medio giornaliero dei flussi veicolari totali lungo corso Francia mostra un picco nelle ore del mattino ed un altro nelle ore serali, a cui corrispondono i picchi di massima concentrazione degli ossidi di azoto; durante le ore centrali le concentrazioni di ossidi di azoto diminuiscono in misura molto maggiore della diminuzione dei flussi veicolari in quanto il più elevato irraggiamento solare contribuisce a generare condizioni di instabilità atmosferica con conseguente dispersione e diluizione degli inquinanti atmosferici;

Figura 17: confronto giorno medio veicoli totali con giorno medio ossidi di azoto

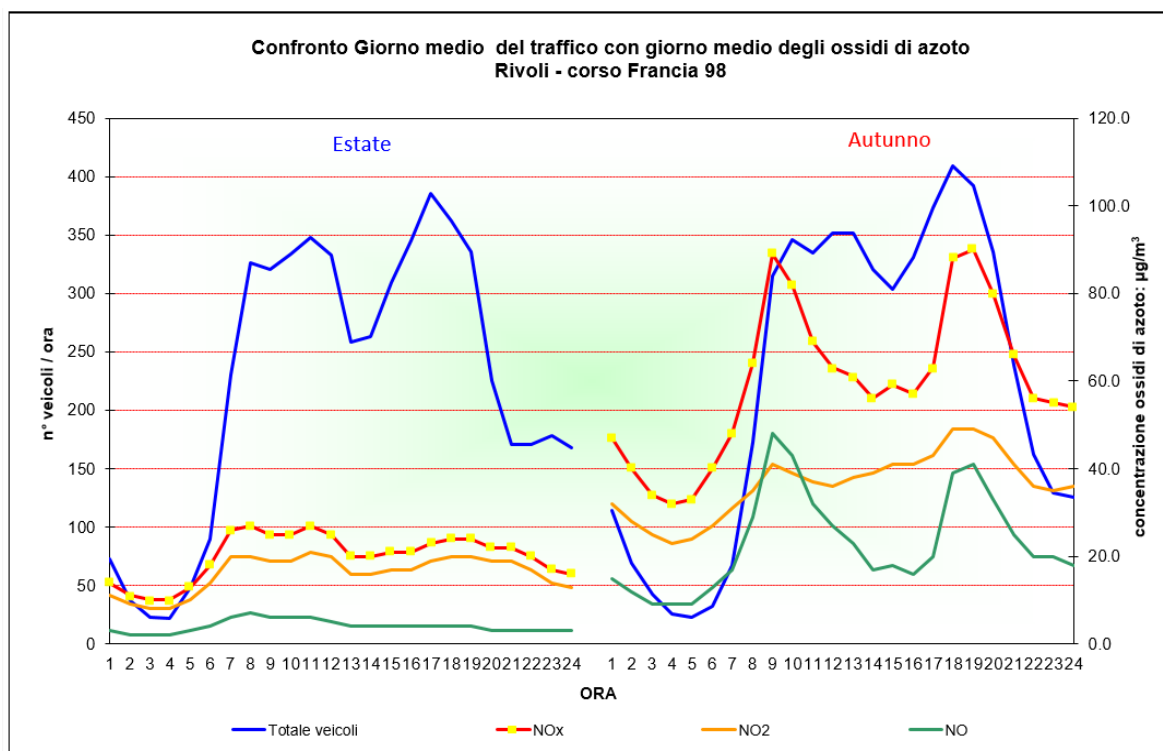


Figura 18: confronto giorno medio veicoli pesanti con giorno medio ossidi di azoto

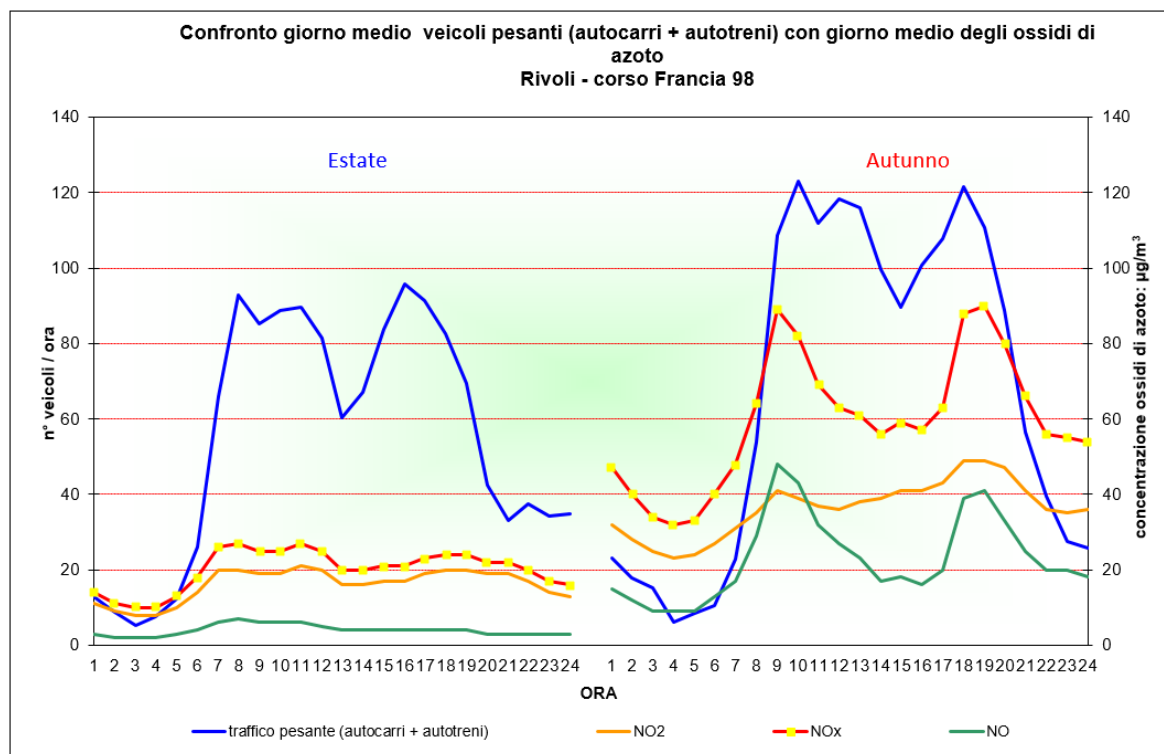
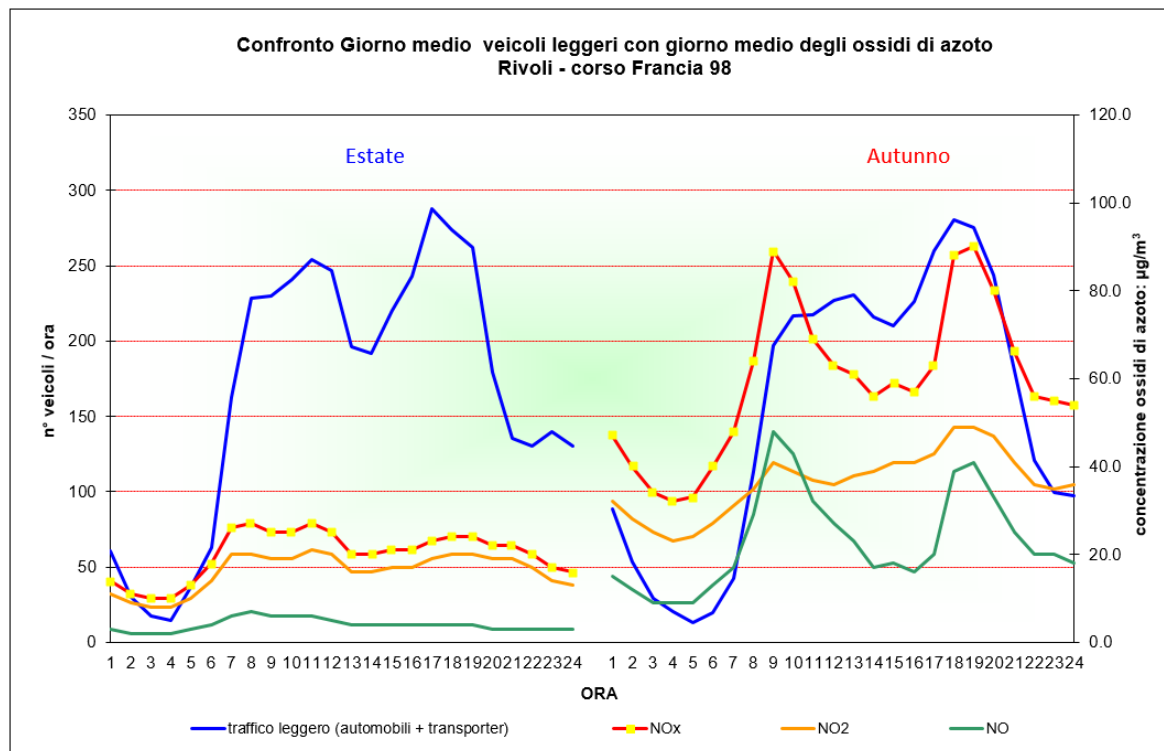


Figura 19: confronto giorno medio veicoli leggeri con giorno medio ossidi di azoto

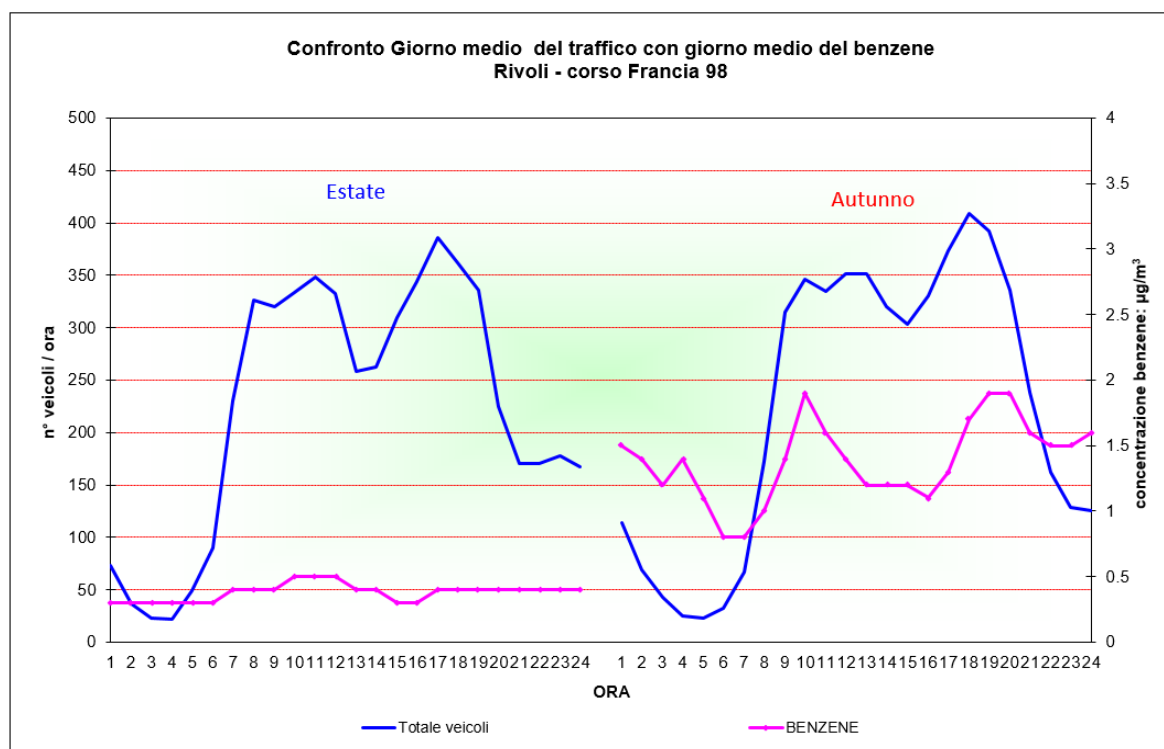


- 5) la combustione dei motori dei veicoli di norma genera percentualmente più monossido di azoto (NO) che biossido di azoto (NO₂), ma va comunque considerato che, una volta immesso in atmosfera, il monossido di azoto si trasforma in parte per ossidazione in biossido di azoto, per cui la quantità di quest'ultimo in aria ambiente è molto maggiore di quella che sarebbe

prevedibile sulla base della sola emissione diretta. L'emissione di ossidi di azoto e particolato è inoltre significativamente più alta per i veicoli diesel, per cui la presenza di una percentuale elevata di veicoli pesanti e da trasporto commerciale, come nel caso in questione, ha un effetto rilevante sull'inquinamento atmosferico. A titolo di esempio, secondo la stima dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, (<https://fettransp.isprambiente.it/#/home>), risulta che nell'anno 2019 il fattore di emissione medio di NO_x su percorso urbano stimato per le autovetture ammonta a 0.4285 g/km, per i veicoli commerciali leggeri è 1.0595 g/km, mentre per i veicoli commerciali pesanti (>3,5 t) il fattore di emissione è pari a 5.9838 g/km e per i bus 6.932 g/km;

- 6) per il benzene si riscontra una correlazione tra i picchi di concentrazione e l'andamento temporale giornaliero dei flussi veicolari, soprattutto nella campagna autunnale (**Figura 20**); in questo caso le escursioni della concentrazione sono meno evidenti rispetto a quelle degli ossidi d'azoto, considerando che le concentrazioni di benzene variano da 0.5 a 3.8 µg/m³ circa nel periodo invernale e da 0.4 a 0.7 µg/m³ nel periodo primaverile. Il benzene è presente nelle benzine come tale e si produce inoltre durante la combustione a partire soprattutto da altri idrocarburi aromatici.

Figura 20: confronto giorno medio veicoli totale con giorno medio benzene



4.4 Elaborazione dei dati meteorologici

Nelle pagine successive vengono presentate le elaborazioni statistiche e grafiche relative ai dati meteorologici registrati durante la campagna di monitoraggio. In particolare, per ognuno dei parametri determinati, si riporta un diagramma che ne illustra l'andamento orario e una tabella riassuntiva che evidenzia i valori minimo, massimo e medio delle medie orarie, oltre alla percentuale dei dati validi.

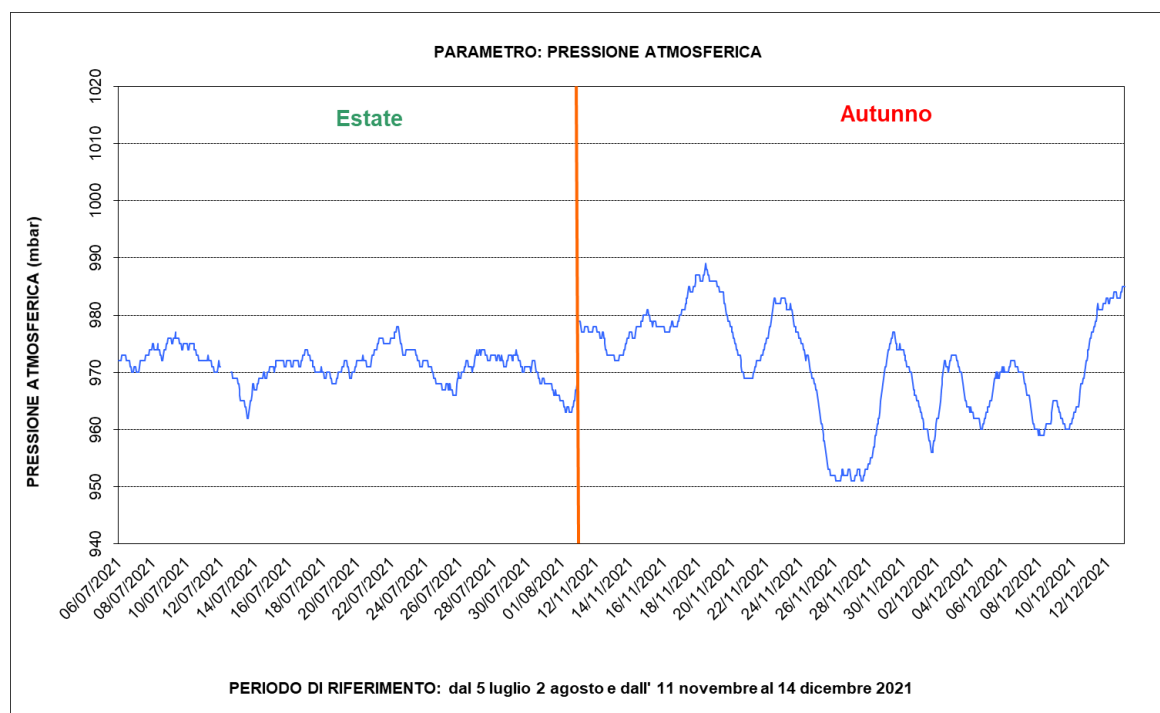
I parametri meteorologici determinati sono elencati di seguito, unitamente alle rispettive abbreviazioni ed unità di misura:

pressione atmosferica	P	hPa
direzione vento	D.V.	gradi sessagesimali
velocità vento	V.V.	m/s
temperatura	T	°C
umidità relativa	U.R.	%
radiazione solare globale	R.S.G.	W/m ²
pioggia	Pioggia	mm/h

Per motivi logistici il laboratorio mobile è stato posizionato in un'area dove la vicinanza degli edifici adiacenti ostacolavano la libera circolazione dell'aria. Di conseguenza le misure di velocità e direzione del vento non sono attendibili e sono state omesse nella presente trattazione.

Durante la prima campagna il campo pressorio si è attestato tra 960 e 980 mbar (**Figura 21**), con picco minimo il 13 luglio con 962 mbar e picco massimo il 22 luglio con 978 mbar. Nei giorni della seconda campagna il campo pressorio ha oscillato tra 950 e 990 mbar, con un picco massimo di 989 mbar raggiunto il 19 novembre un minimo di 951 il 28 novembre.

Figura 21: Pressione Atmosferica



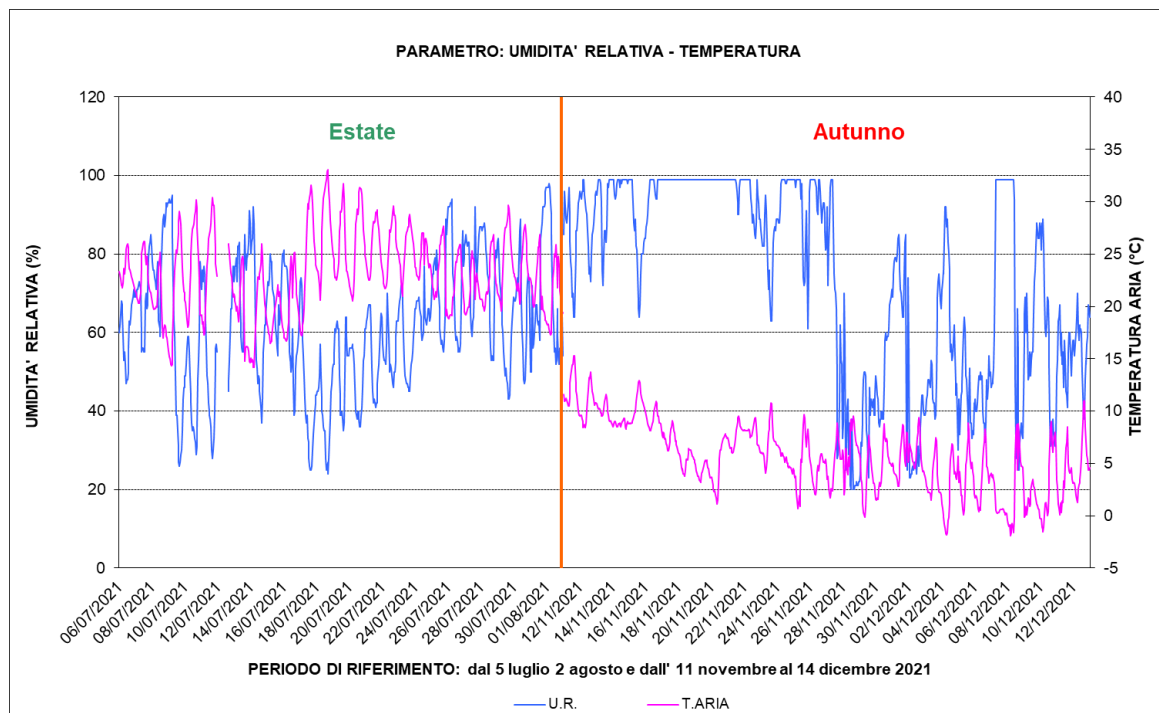
Nel comune di Rivoli, il valore medio della temperatura di tutto il periodo estivo è stato di 23,1°C (**Tabella 7**); il valore massimo orario si è raggiunto il 18 luglio con un valore pari a 33,1°C; nella campagna autunnale la media registrata è stata di 5,7 °C con un massimo di 15,3°C il 12 novembre.

Tabella 7: Dati relativi ai parametri meteorologici nel corso delle campagne di monitoraggio

PARAMETRI METEO	RADIAZIONE SOLARE GLOBALE		TEMPERATURA		UMIDITÀ RELATIVA		PRESSIONE ATMOSFERICA		PIOGGIA		VELOCITA' VENTO	
U.M.	(W/mq)		°C		%		hPa		mm		m/s	
	Estate 2021	Autunno 2021	Estate 2021	Autunno 2021	Estate 2021	Autunno 2021	Estate 2021	Autunno 2021	Estate 2021	Autunno 2021	Estate 2021	Autunno 2021
Minima media giornaliera	111	5	19.0	1.1	39	31	964.7	951.9	0.0	0.0	0.2	0.2
Massima media giornaliera	277	32	27.6	12.0	79	99	975.5	986.7	0.0	2.2	1.4	2.6
Media delle medie giornaliere	177	20	23.1	5.7	62	74	971.1	971.0	0.0	0.1	0.7	0.9
Giorni validi	16	32	26	32	26	32	26	32	26	32	26	30
Percentuale giorni validi	59%	100%	96%	100%	96%	100%	96%	100%	96%	100%	96%	94%
Media dei valori orari	196	20	23.1	5.7	62	74	971.1	971.0	0.0	0.1	0.7	0.9
Massima media oraria	839	142	33.1	15.3	98	99	978.0	989.0	0.4	4.0	4.7	5.9
Ore valide	478	768	633	768	633	768	633	768	634	768	610	711
Percentuale ore valide	74%	100%	98%	100%	98%	100%	98%	100%	98%	100%	94%	93%

In **Figura 22** insieme all'andamento orario della temperatura è riportata anche l'umidità relativa, da cui emerge che tali parametri hanno andamenti speculari: durante il giorno il forte irraggiamento porta ad un abbassamento dei valori di vapore acqueo presente nell'atmosfera, che torna ad aumentare nelle ore notturne; nei giorni in cui si sono verificati gli eventi piovosi più significativi del periodo si sono verificati i picchi di umidità, con un calo significativo della temperatura.

Figura 22: Umidità Relativa - Temperatura aria



La **Figura 23** mostra l'andamento della radiazione solare globale (R.S.G.) e delle precipitazioni. Durante la prima campagna (**Figura 24**) non si sono verificati eventi piovosi significativi. La seconda campagna è stata caratterizzata, soprattutto nel corso della prima metà, da diversi eventi piovosi: tra il 14 e 15 novembre piogge a carattere di un nubifragio; il 25 novembre ed il 9 dicembre pioggia forte; il 16, 17 e 22 novembre e l'8 e 10 dicembre pioggia debole e moderata. Nelle giornate ad elevata piovosità è corrisposto un notevole abbassamento della radiazione solare globale, ad esempio il 15 novembre con valore diurno pari a 23 W/m^2 , a causa della copertura nuvolosa. In assenza di copertura nuvolosa i valori massimi di radiazione solare, che si osservano nelle ore centrali della giornata, variano tra 600 e 840 W/m^2 circa nel periodo estivo e tra 100 e 140 W/m^2 nel periodo autunnale. La radiazione solare è un parametro significativo nel determinare il grado di stabilità atmosferica; in generale ad elevate intensità della radiazione solare corrisponde un'elevata turbolenza convettiva che favorisce il rimescolamento degli inquinanti; quindi, nel periodo estivo si osservano valori generalmente bassi degli inquinanti primari e di polveri. Essa, tuttavia, favorisce le reazioni chimiche che coinvolgono gli inquinanti presenti in atmosfera e di conseguenza lo sviluppo dell'inquinamento secondario di origine fotochimica, come nel caso dell'ozono, che raggiunge le concentrazioni maggiori proprio durante i mesi di massima radiazione solare.

Figura 23: Radiazione Solare Globale e pioggia

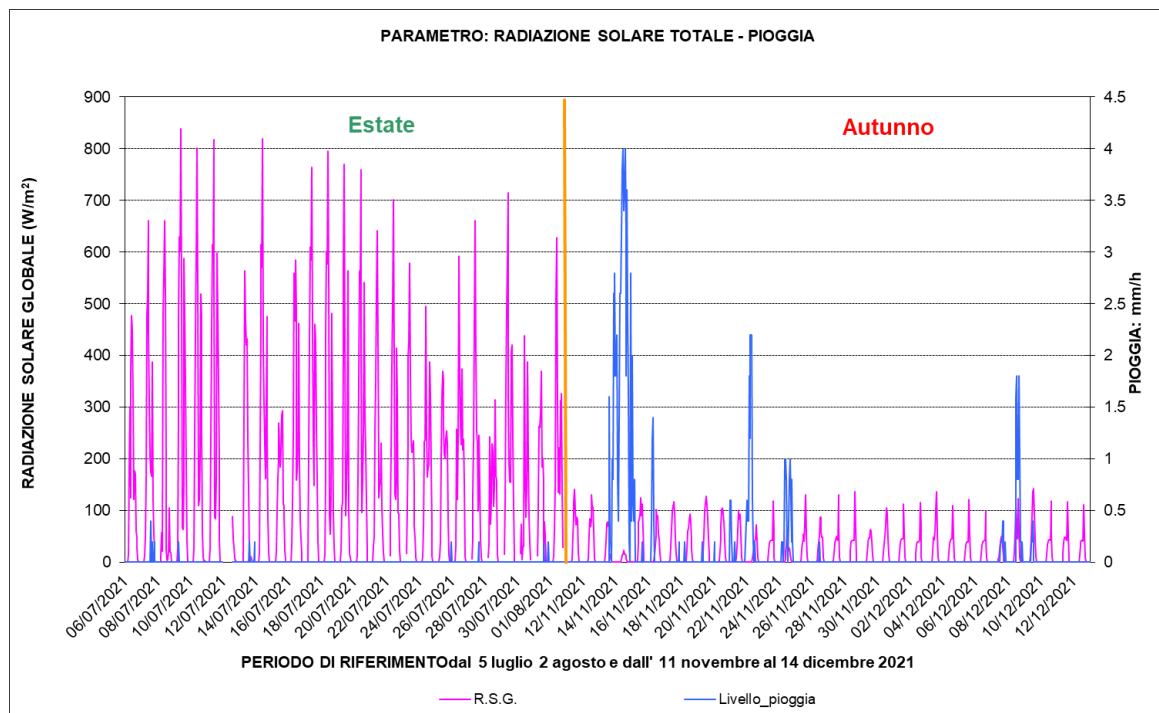
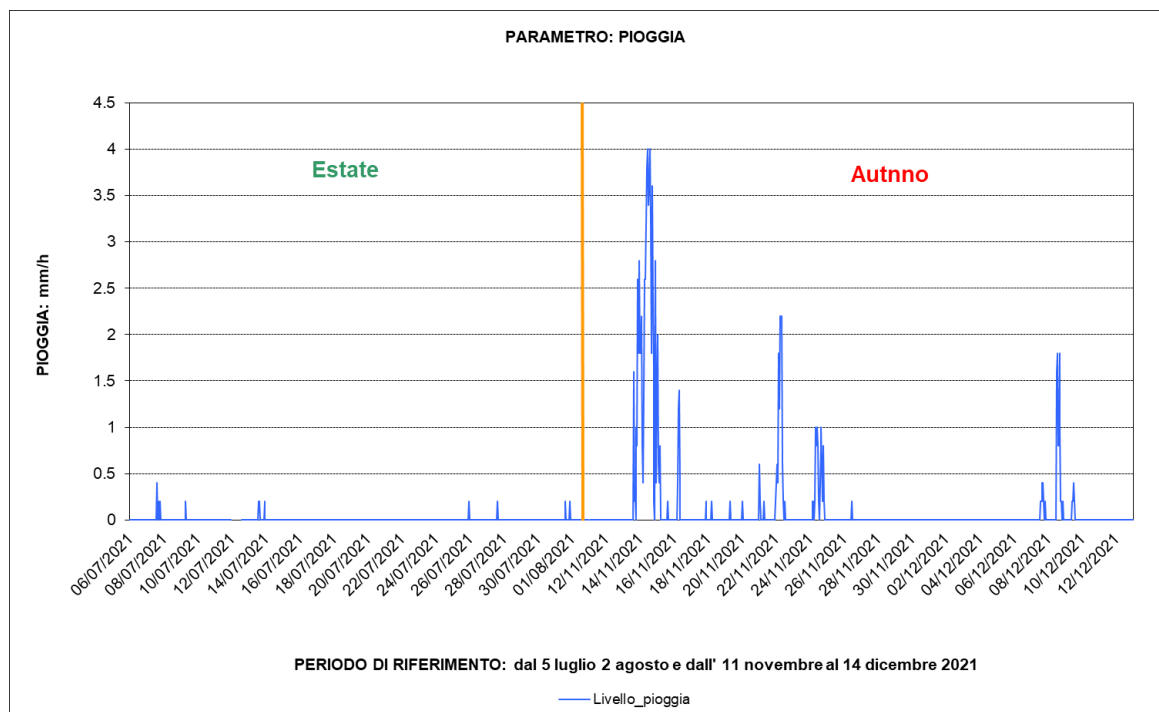


Figura 24: pioggia



4.5 Elaborazione statistiche e grafiche relative al monitoraggio nel comune di Rivoli

Nelle pagine seguenti vengono riportate le elaborazioni statistiche dei dati e i superamenti dei limiti di legge di inquinamento dell'aria registrati dagli analizzatori nel periodo di campionamento. Si riportano di seguito le formule chimiche degli inquinanti, utilizzate come abbreviazioni:

NO ₂	BIOSSIDO DI AZOTO
NO	MONOSSIDO DI AZOTO
O ₃	OZONO
CO	MONOSSIDO DI CARBONIO
C ₆ H ₆	BENZENE
C ₆ H ₅ CH ₃	TOLUENE
PM ₁₀	PARTICOLATO SOSPESO PM ₁₀
PM _{2.5}	PARTICOLATO SOSPESO PM _{2.5}

Copia di tutti i dati acquisiti è conservata su supporto informatico presso il Dipartimento Territoriale Piemonte Nord Ovest (Attività Istituzionali di Produzione) e in rete sul sito "Aria Web" della Regione Piemonte all'indirizzo: <https://secure.regione.piemonte.it/ambiente/ariaweb/> a disposizione per elaborazioni successive e/o per eventuali richieste di trasmissione da parte degli Enti interessati.

4.5.1 Andamento orario e giornaliero - Confronto con i limiti di legge

Per ogni inquinante è stata effettuata una elaborazione grafica che permette di visualizzare, in un diagramma concentrazione-tempo, l'andamento registrato durante il periodo di monitoraggio. La scala adottata per l'asse delle ordinate permette di evidenziare, laddove esistenti, i superamenti dei limiti.

Nel caso in cui i valori assunti dai parametri risultino nettamente inferiori ai limiti di legge, l'espansione dell'asse delle ordinate rende meno chiaro l'andamento orario delle concentrazioni. L'elaborazione oraria dettagliata è comunque disponibile presso quest'Agenzia e può essere inviata su richiesta specifica.

Giorno medio

Per una corretta valutazione dell'andamento degli inquinanti durante le diverse ore del giorno è stato calcolato il giorno medio che si ottiene determinando, per ognuna delle 24 ore che costituiscono la giornata, la media aritmetica dei valori medi orari registrati nel periodo in esame. Ad esempio, il valore dell'ora 1:00 è calcolato mediando i valori di concentrazione rilevati alle ore 1:00 di ciascun giorno del periodo di monitoraggio. In grafico vengono quindi rappresentati gli andamenti medi giornalieri delle concentrazioni per ognuno degli inquinanti.

In questo modo è possibile non solo evidenziare in quali ore generalmente si verifichi un incremento delle concentrazioni dei vari inquinanti, ma anche fornire informazioni sulla persistenza degli stessi durante la giornata.

4.5.2 Ossidi di Azoto

Gli ossidi di azoto vengono generati da tutti i processi di combustione, qualsiasi sia il tipo di combustibile usato.

Monossido d'azoto

Benché la normativa non preveda valori limite di concentrazione nell'aria, il monossido di azoto (NO), viene comunque misurato perché, trasformandosi in biossido di azoto in presenza di ossigeno e ozono, rappresenta uno dei precursori dell'inquinamento fotochimico.

Nel corso della prima campagna di monitoraggio i livelli di NO (**Tabella 8**) hanno registrato un valore massimo orario pari a $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$; la media dei valori orari risulta pari a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nella seconda campagna le concentrazioni hanno registrato una media di $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ed un valore massimo orario di $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabella 8: Dati relativi al monossido di azoto (NO) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Monossido di azoto	Estate 2021	Autunno 2021
<u>Minima media giornaliera</u>	3	3
Massima media giornaliera	9	57
<u>Media delle medie giornaliere (b):</u>	4	24
Giorni validi	26	28
<u>Percentuale giorni validi</u>	96%	88%
Media dei valori orari	4	23
<u>Massima media oraria</u>	46	220
Ore valide	627	692
<u>Percentuale ore valide</u>	97%	90%

Per quanto riguarda il confronto con altre stazioni della rete della CMT (**Figura 25** e **Figura 26**) la campagna svolta durante l'autunno ha evidenziato livelli e andamenti più alti di Druento, stazione di fondo rurale, ed inferiori a quelli di Torino-Lingotto, stazione di fondo urbana e di Torino-Rebaudengo (traffico urbano). Nel corso della campagna estiva le concentrazioni, come tipico del periodo, sono risultate basse in tutte le stazioni, evidenziando valori un po' più elevati a Torino-Rebaudengo.

Nella **Figura 26** si può notare come durante la seconda campagna nel profilo giornaliero sono presenti due picchi, uno al mattino e uno in serata. Ciò rispecchia il ciclo giornaliero delle attività antropiche ed in particolare del traffico veicolare, di cui gli NO_x rappresentano un buon tracciante. In primavera invece nel profilo del giorno medio il picco serale risulta meno evidente in quanto, a seguito del soleggiamento, il monossido di azoto viene convertito in biossido di azoto.

Figura 25: NO - medie orarie confronto con alcune stazioni della rete fissa

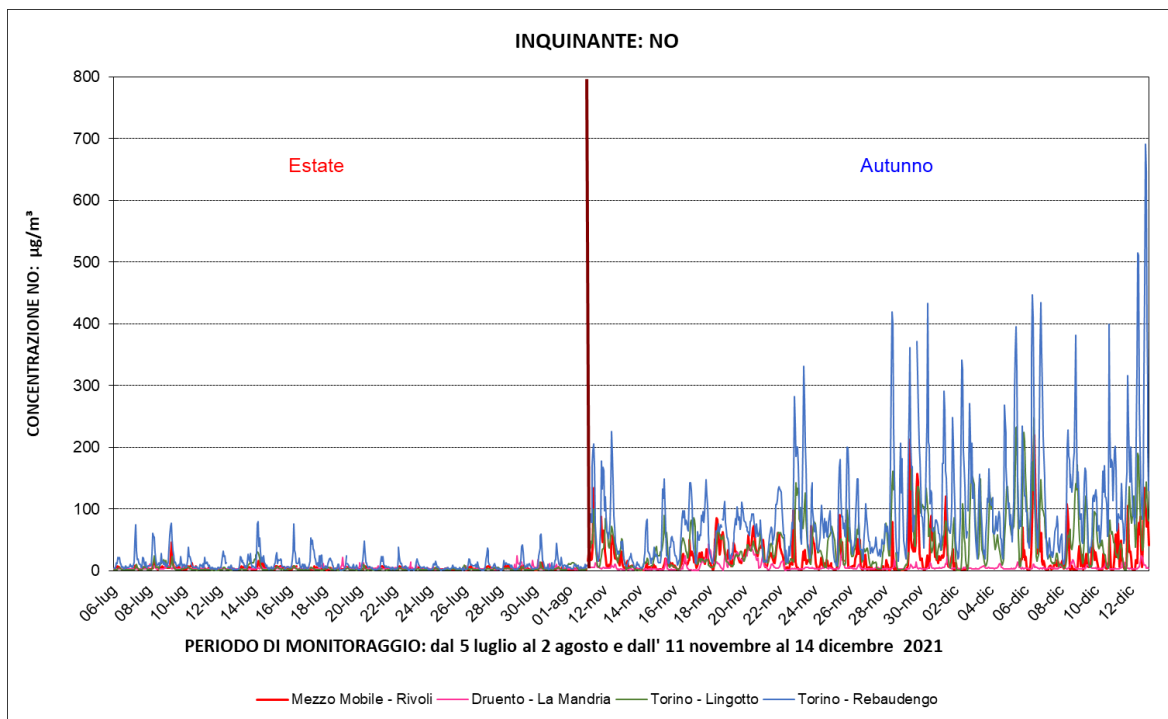
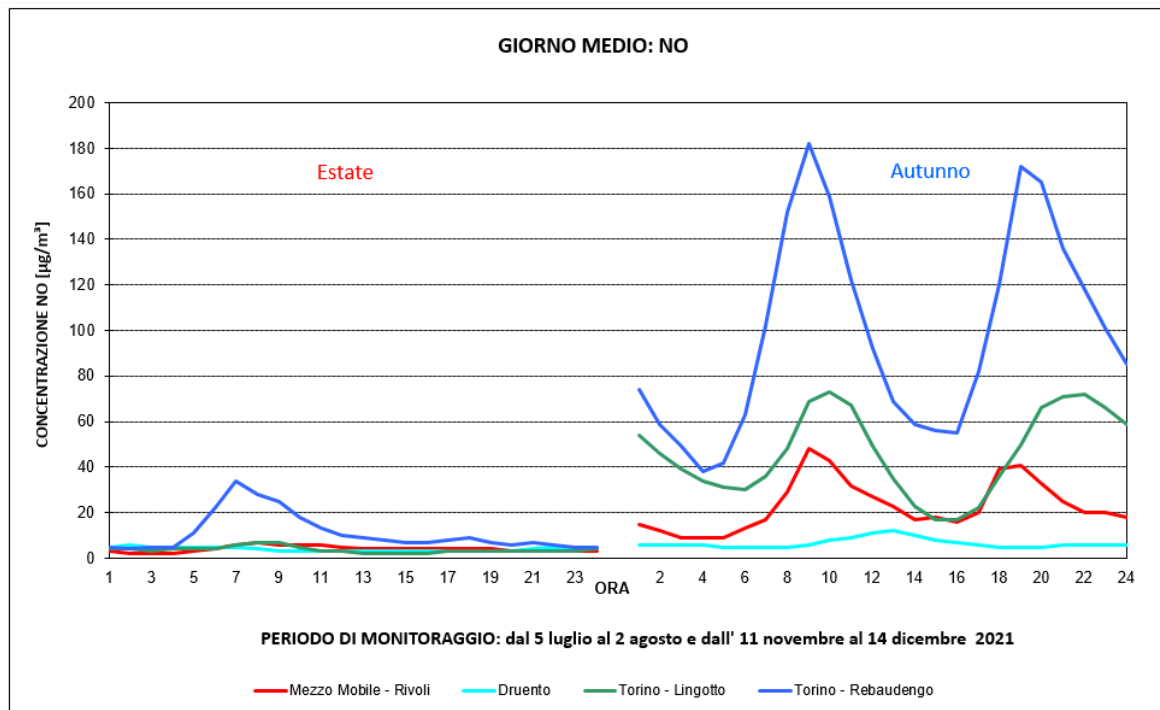


Figura 26: NO - giorno medio confronto con alcune stazioni della rete fissa



Biossido d'azoto

Il biossido di azoto è da ritenersi fra gli inquinanti atmosferici maggiormente pericolosi sia perché è per sua natura irritante, sia perché dà inizio, in presenza di forte irraggiamento solare, ad una serie di reazioni fotochimiche secondarie che portano alla formazione di sostanze inquinanti complessivamente indicate con il termine di “smog fotochimico”.

La formazione di NO₂ è piuttosto complessa, infatti oltre ad essere originato direttamente dal traffico veicolare, soprattutto quando si raggiungono elevate velocità e la combustione nei motori è più completa, tale inquinante ha un'importante origine secondaria, essendo originato anche attraverso complesse reazioni fotochimiche che hanno luogo in aria ambiente.

Il contributo dell'inquinamento veicolare alle emissioni di ossidi di azoto è diverso a seconda del tipo di veicolo. Da una stima dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, (<https://fettransp.isprambiente.it/#/home>), risulta che nell'anno 2019 il fattore di emissione medio di NO_x su percorso urbano stimato per le autovetture ammonta a 0.4285 g/km, per i veicoli commerciali leggeri è 1.0595 g/km, mentre per i veicoli commerciali pesanti (>3,5 t) il fattore di emissione è pari a 5.9838 g/km e per i bus 6.932 g/km.

Per quello che riguarda l'NO₂ (**Tabella 9**), durante le campagne di monitoraggio non si sono registrati superamenti del limite orario di 200 µg/m³, né tantomeno del livello di allarme di 400 µg/m³, essendo la massima media oraria misurata di 40 µg/m³ (prima campagna) e di 96 µg/m³ (seconda campagna).

Tabella 9: Dati relativi al biossido di azoto (NO₂) (µg/ m³)

Biossido di azoto	Estate 2021	Autunno 2021
Minima media giornaliera	9	21
Massima media giornaliera	22	62
Media delle medie giornaliere (b):	16	36
Giorni validi	26	27
Percentuale giorni validi	96%	84%
Media dei valori orari	16	36
Massima media oraria	40	96
Ore valide	627	672
Percentuale ore valide	97%	88%
<u>Numero di superamenti livello orario protezione della salute (200)</u>	0	0
<u>Numero di giorni con almeno un superamento livello orario protezione della salute (200)</u>	0	0
<u>Numero di superamenti livello allarme (400)</u>	0	0
<u>Numero di giorni con almeno un superamento livello allarme (400)</u>	0	0

La **Figura 27** e la **Figura 28** permettono di confrontare i dati delle campagne condotte con il mezzo mobile con quelli provenienti da alcune stazioni della rete fissa di monitoraggio: dal confronto emerge che durante la prima campagna sia le medie orarie che il giorno medio di Rivoli presentano concentrazioni più alte di Druento, cabina classificata di fondo rurale, e nelle ore centrali della giornata rispetto a Torino-Lingotto, cabina di fondo urbano, mentre risultano più basse di quelle di Torino-Rebaudengo, stazione di traffico urbano; nella seconda campagna le concentrazioni risultano più alte di Druento, più basse o in alcune ore uguali a quelle di Torino-Lingotto e più basse di Torino-Rebaudengo.

Figura 27: NO₂ - confronto con i limiti di legge e con i dati delle stazioni fisse di Druento, Torino-Lingotto e Torino-Rebaudengo

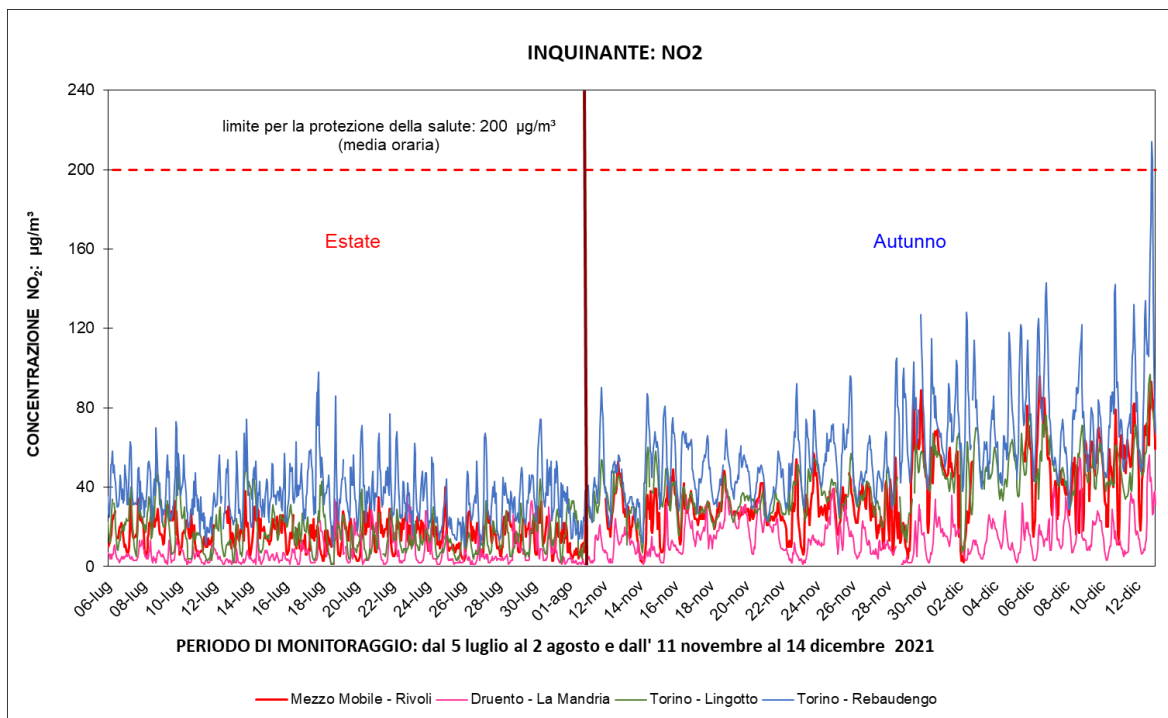
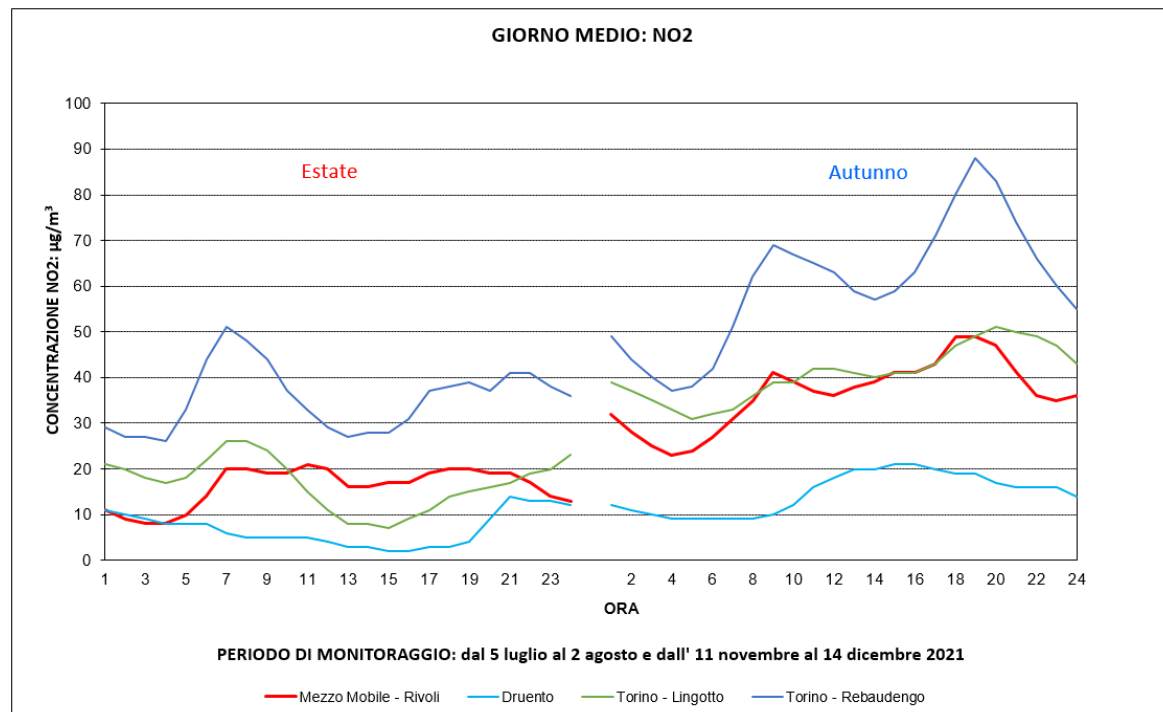


Figura 28: NO₂ - andamento del giorno medio



Nella **Figura 29** e nella **Figura 30** vengono rappresentati, come ulteriore strumento di confronto, i box plot delle concentrazioni orarie registrate con il laboratorio mobile e quelle misurate dalle stazioni fisse del territorio della Città Metropolitana di Torino che nel medesimo periodo e durante il 2020 hanno raggiunto il 90% di dati validi.

Il box plot sintetizza la posizione di tutti i dati orari ottenuti: il rettangolo (la "scatola") è delimitato dal 25° e dal 75° percentile¹ e diviso al suo interno dalla mediana, che evidenzia l'eventuale asimmetria (solo in caso di distribuzione simmetrica, media e mediana coincidono). I segmenti che escono dalla scatola (i "baffi") delimitano la zona al di fuori della quale i valori sono definiti outliers (anomali) ed esprimono l'asimmetria della distribuzione dei dati degli inquinanti.

Nella **Tabella 10** e nella **Tabella 11** sono riportate le concentrazioni medie, mediane e massime registrate durante le due campagne di monitoraggio presso il sito di Rivoli e le stazioni di confronto rappresentate nei box plot. Le tabelle riportano inoltre la tipologia delle stazioni secondo quanto stabilito dal D.Lgs. 155/2010.

I box plot e gli indicatori relativi ai dati del laboratorio mobile mostrano nella prima campagna una situazione compresa tra le due stazioni di fondo suburbano di Orbassano e Vinovo con concentrazioni inferiori alle stazioni di fondo e traffico urbano ed alla stazione di fondo suburbano di Beinasco. Nella seconda campagna le concentrazioni risultano inferiori alle stazioni di fondo e traffico urbano, tranne Carmagnola, e superiori alle altre stazioni di fondo, con l'eccezione di Borgaro.

Tabella 10: confronto tra le concentrazioni medie, mediane e massime rilevate a Rivoli con il laboratorio mobile e presso le stazioni della rete Città Metropolitana durante la 1^a campagna (tra parentesi è indicata la tipologia delle stazioni: FR= fondo-rurale; FS= fondo-suburbano; FU= fondo-urbano; TU= traffico-urbano)

	Media	Mediana	Massimo
Ceresole Reale (FR)	4	3	11
Baldissero T. (FR)	5	4	22
Druento (FR)	7	4	36
Chieri (FS)	7	6	31
Susa (FS)	9	8	23
Borgaro T. (FS)	12	11	46
Ivrea (FS)	13	12	42
Leini' (FS)	14	12	47
Orbassano (FS)	15	13	45
Rivoli - Mezzo Mobile	16	16	40
Vinovo (FS)	16	14	58
Torino – Lingotto (FU)	17	15	54
Settimo T. (TU)	18	17	52
Beinasco (TRM) (FS)	19	17	81
Carmagnola (TU)	21	20	64
Torino – Consolata (TU)	31	28	100
Torino – Rebaudengo (TU)	35	34	98

¹ Percentile di ordine k (P_k) è il numero che suddivide la successione dei valori ordinati in senso crescente in due parti, tali che i valori minori o uguali a P_k siano una percentuale uguale a k%. La mediana corrisponde al 50° percentile.

Figura 29: box plot dati orari NO₂ - 1^a campagna

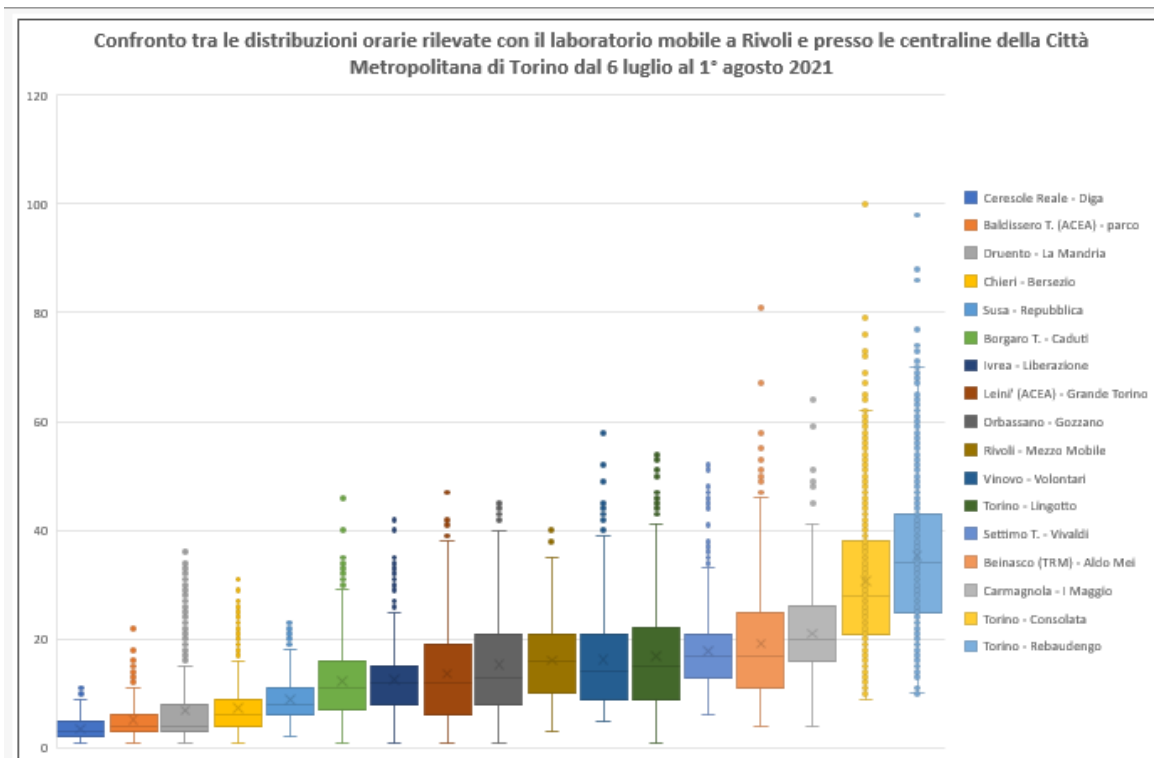
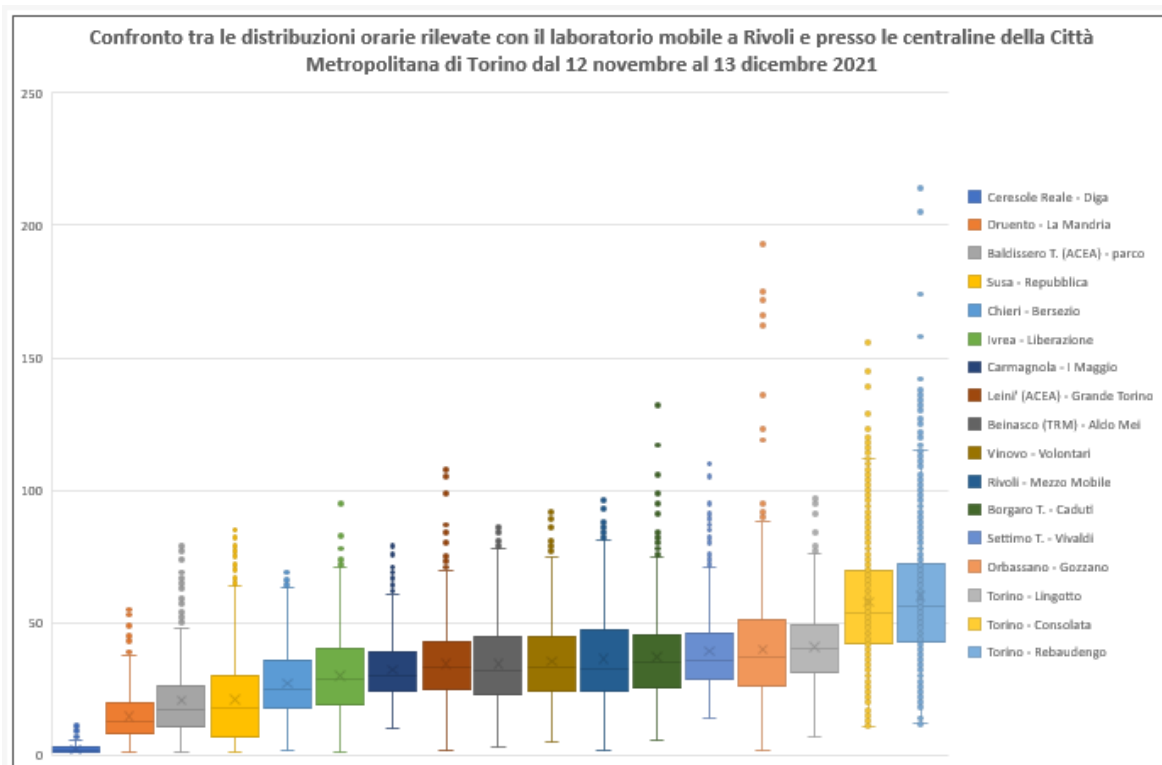


Tabella 11: confronto tra le concentrazioni medie, mediane e massime rilevate a Rivoli con il laboratorio mobile e presso le stazioni della rete Città Metropolitana durante la 2^a campagna (tra parentesi è indicata la tipologia delle stazioni: FR= fondo-rurale; FS= fondo-suburbano; FU= fondo-urbano; TU= traffico-urbano)

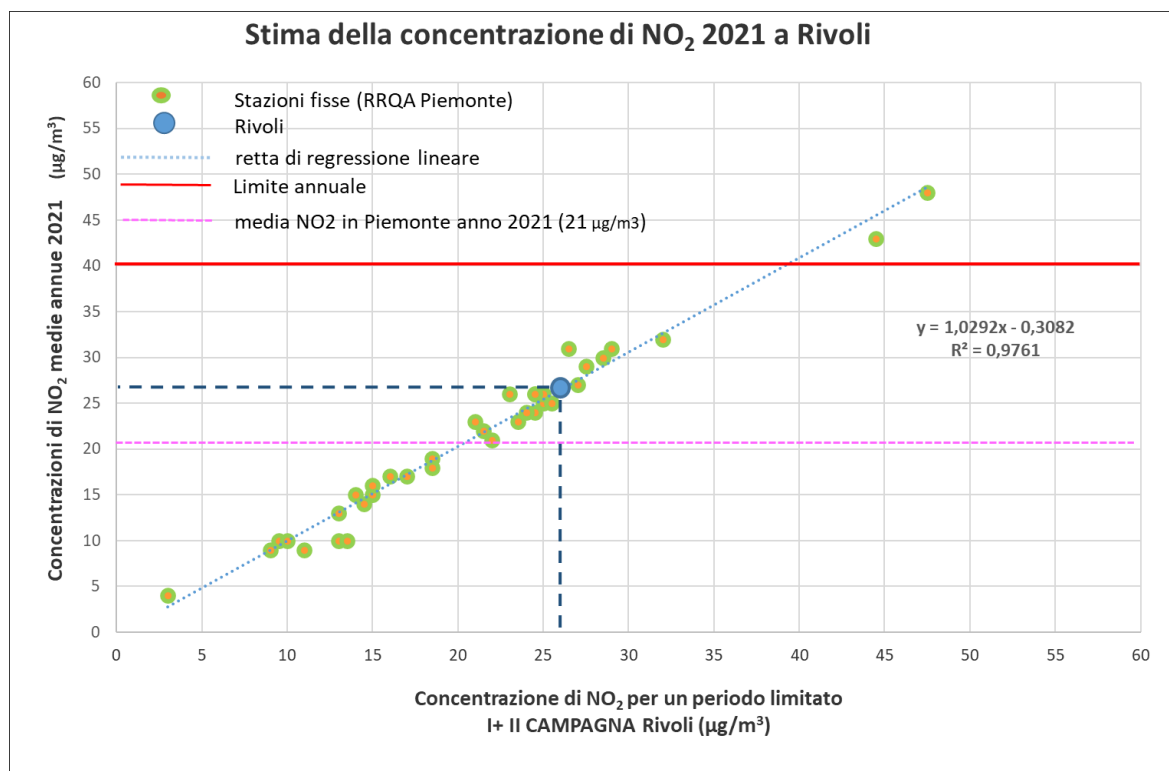
	Media	Mediana	Massimo
Ceresole Reale (FR)	2	2	11
Druento (FR)	15	13	56
Baldissero T. (FR)	21	17	79
Susa (FS)	21	18	85
Chieri (FS)	27	25	69
Ivrea (FS)	30	29	95
Carmagnola (TU)	32	30	79
Leini' (FS)	34	33	108
Beinasco (TRM) (FS)	35	32	86
Vinovo (FS)	35	33	92
Rivoli - Mezzo Mobile	36	33	96
Borgaro T. (FS)	37	35	132
Settimo T. (TU)	39	36	110
Orbassano (FS)	40	37	193
Torino - Lingotto (FU)	41	40	97
Torino - Consolata (TU)	58	54	156
Torino - Rebaudengo (TU)	60	56	214

Figura 30: box plot dati orari NO₂ - 2^a campagna



Il D.Lgs. 155/2010 prevede per il biossido di azoto anche un valore limite annuale per la protezione della salute umana di 40 µg/m³. Visto che la durata della campagna non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo, non è possibile un confronto diretto con le misure effettuate. Si può però considerare un valore stimato di media annuale facendo riferimento alle centraline della rete fissa. Sono state prese in considerazione tutte le stazioni della Rete Regionale di Qualità dell'Aria (RRQA) del Piemonte che nel corso del 2021 e durante i periodi delle due campagne hanno raggiunto il 90% dei dati validi. Rapportando per 36 siti della RRQA il valore della concentrazione media del 2021 di NO₂, alla concentrazione media calcolata nei giorni delle due campagne svolte a Rivoli, è stata costruita la retta di interpolazione di **Figura 31**. Il coefficiente di determinazione R² trovato - pari a 0.98 - evidenzia che la correlazione tra i dati è altamente significativa. Con questo metodo è stato così possibile prevedere una concentrazione media annuale per Rivoli, riferita al 2021, di 27 µg/m³, inferiore al limite annuale di 40 µg/m³. Tale elaborazione risulta molto vicina alla valutazione modellistica annuale, che per il 2020 stima per il territorio del comune di Rivoli una media annuale compresa tra 11 e 26 µg/m³ (**Figura 10**).

Figura 31: NO₂ - stima della concentrazione annuale a Rivoli



4.5.3 Monossido di Carbonio

È un gas inodore ed incolore che viene generato durante la combustione di materiali organici quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente. L'unità di misura con la quale si esprimono le concentrazioni è il milligrammo al metro cubo (mg/m³); infatti, si tratta dell'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera. Il traffico veicolare rappresenta la principale sorgente di CO, in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina. Quando il motore del veicolo funziona al minimo, o si trova in decelerazione si producono le maggiori concentrazioni di CO in emissione, per cui i valori più elevati si raggiungono in zone caratterizzate da intenso traffico rallentato.

Il monossido di carbonio è caratterizzato da un'elevata affinità con l'emoglobina presente nel sangue (circa 220 volte maggiore rispetto all'ossigeno), pertanto la presenza di questo gas comporta un peggioramento del normale trasporto di ossigeno nei diversi distretti corporei. Gli organi più colpiti sono il sistema nervoso centrale e il sistema cardiovascolare. Nei casi peggiori con concentrazioni elevatissime di CO si può arrivare anche alla morte per asfissia. La carbossi-emoglobina, che si può formare in seguito ad inalazione del CO alle concentrazioni abitualmente rilevabili nell'atmosfera delle nostre città, non ha effetti sulla salute di carattere irreversibile e acuto, pur essendo per sua natura, un composto estremamente stabile.

Nell'ultimo trentennio, con l'introduzione delle marmitte catalitiche nei primi anni '90 e l'incremento degli autoveicoli a ciclo Diesel, si è osservata una costante e significativa diminuzione della concentrazione del monossido di carbonio nei gas di combustione prodotti dagli autoveicoli ed i valori registrati attualmente rispettano ampiamente i limiti normativi.

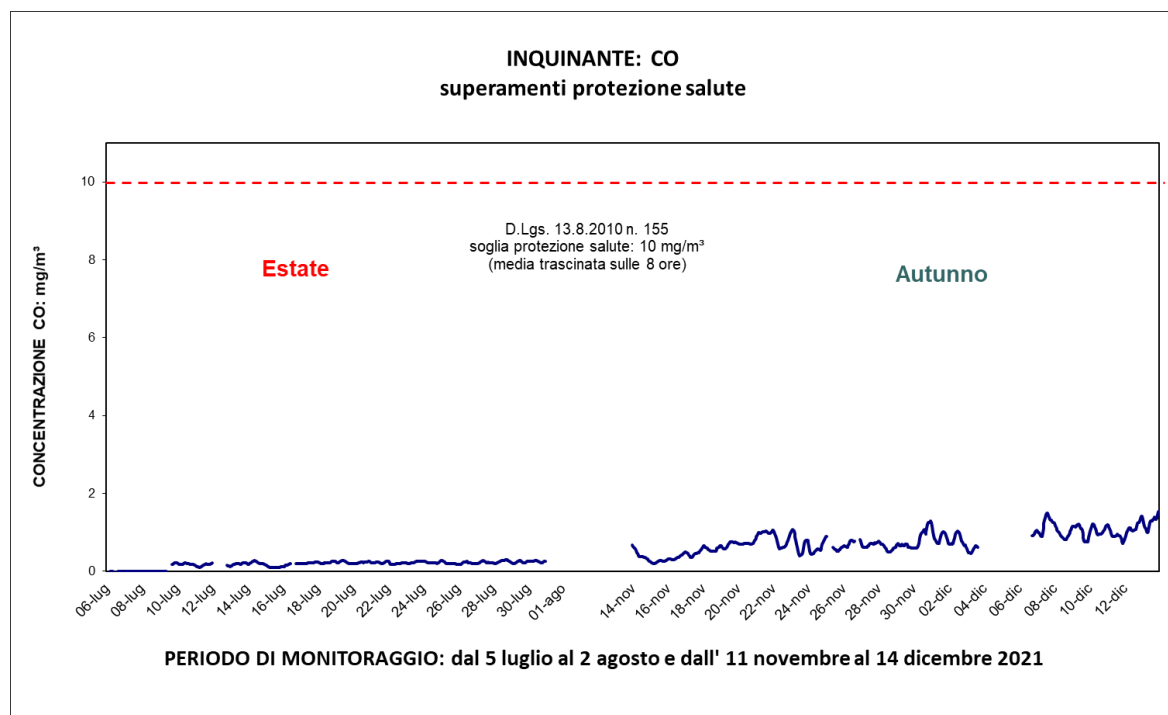
I dati misurati durante le campagne di Rivoli (**Tabella 12**) confermano tale andamento osservato su scala regionale.

Tabella 12: dati relativi al monossido di carbonio (CO) (mg/m³)

Monossido di carbonio (mg/m ³)	Estate 2021	Autunno 2021
Minima media giornaliera	0.1	0.3
Massima media giornaliera	0.3	1.3
Media delle medie giornaliere (b):	0.2	0.8
Giorni validi	20	27
Percentuale giorni validi	74%	84%
Media dei valori orari	0.2	0.8
Massima media oraria	0.6	1.9
Ore valide	505	672
Percentuale ore valide	78%	88%
Minimo medie 8 ore	0.1	0.2
Media delle medie 8 ore	0.2	0.8
Massimo medie 8 ore	0.6	1.5
Percentuale medie 8 ore valide	77%	86%
Numero di superamenti livello protezione della salute su medie 8 ore (10)	0	0
Numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (max media 8h > 10)	0	0

La normativa prevede un limite di 10 mg/m³, calcolato come media su otto ore consecutive, il quale è ampiamente rispettato visto che il valore massimo su otto ore è pari a 0.6 mg/m³, nel periodo estivo, e 1.5 mg/m³ in quello autunnale (**Figura 32**); questo limite non è raggiunto neppure su base oraria (il massimo valore orario è stato di 0.6 e 1.9 mg/m³ nelle due rispettive campagne).

Figura 32: CO - confronto con il limite di legge (media trascinata sulle 8 ore)



La **Figura 34** mostra l'andamento medio delle concentrazioni del CO nel corso della giornata. Il confronto con i dati di alcune stazioni della rete della Città Metropolitana (**Figura 33** e **Figura 34**) indica nella prima campagna concentrazioni inferiori a Leinì, stazione di fondo suburbano, e Torino-Consolata (traffico urbano), e confrontabili con quelle di Oulx (traffico suburbano). Nella seconda campagna le concentrazioni sono risultate generalmente superiori a Oulx e Leinì, e uguali o inferiori Torino-Consolata.

Figura 33: CO - andamento medie orarie

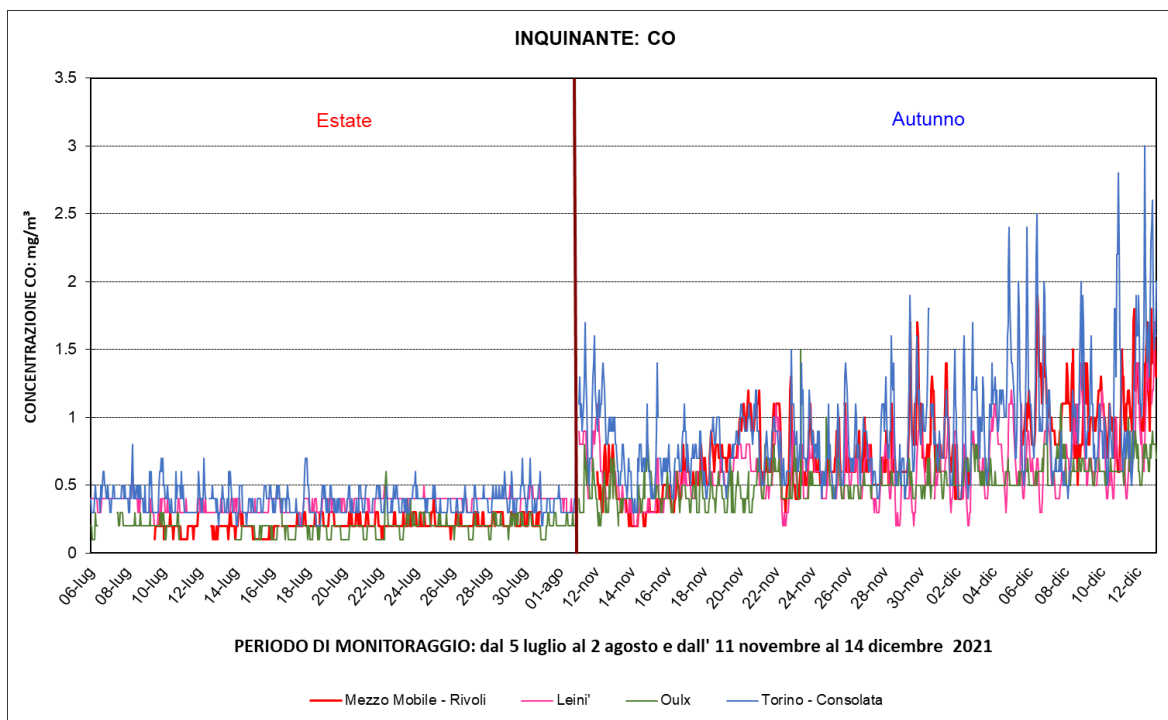
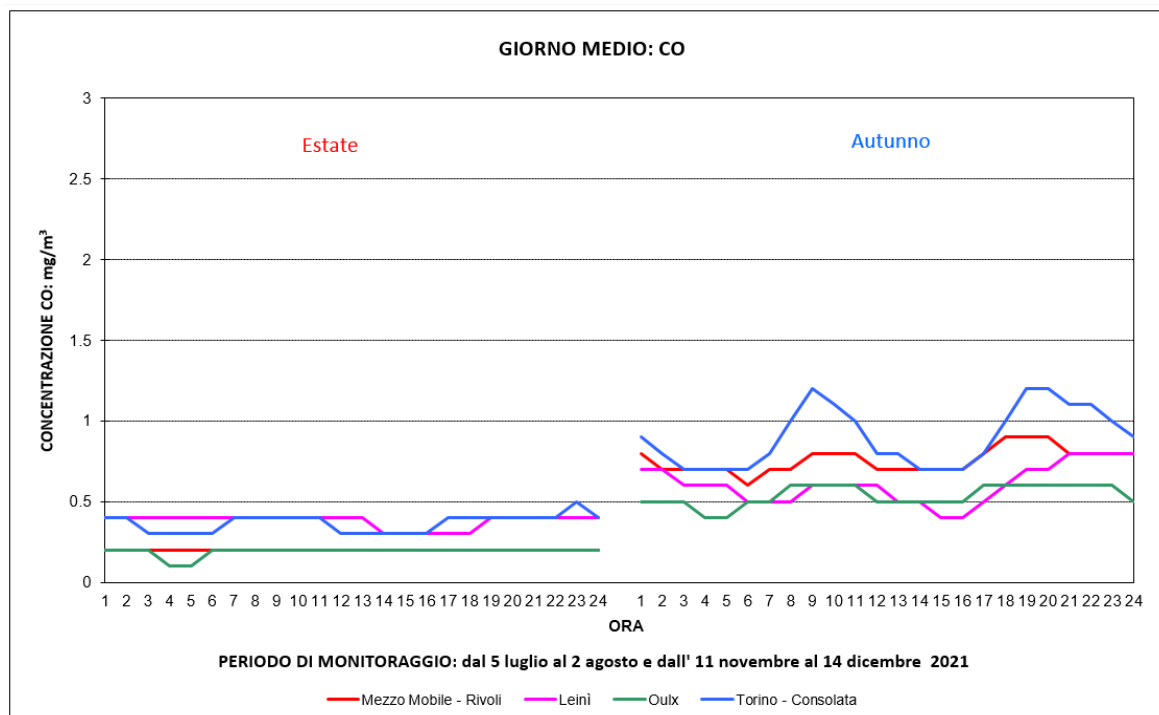


Figura 34: CO - andamento del giorno medio



4.5.4 Benzene e Toluene

Il benzene presente in atmosfera viene prodotto dall'attività umana, in particolare dall'uso del petrolio, degli oli minerali e dei loro derivati.

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.

Il benzene è presente nelle benzine come tale e si produce inoltre durante la combustione a partire soprattutto da altri idrocarburi aromatici. La normativa italiana in vigore fissa, a partire dal 1° luglio 1998, il tenore massimo di benzene nelle benzine all'uno per cento.

L'unità di misura con la quale vengono misurate le concentrazioni di benzene è il microgrammo al metro cubo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il benzene è una sostanza classificata:

- dalla Comunità Europea come cancerogeno di categoria 1, R45;
- dalla I.A.R.C. (International Agency for Research on Cancer) nel gruppo 1 (sostanze per le quali esiste un'accertata evidenza in relazione all'induzione di tumori nell'uomo) ;
- dalla A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) in classe A1 (cancerogeno accertato per l'uomo).

Per quanto riguarda il toluene la normativa italiana non prevede alcun limite, ma le linee guida del 2000 dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) consigliano un valore guida di $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media settimanale.

Durante le campagne di monitoraggio nel Comune di Rivoli per il benzene sono state determinate le concentrazioni medie pari a $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (estate) e $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (autunno), mentre le punte massime sono state rispettivamente di 1.2 e $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come riportato in **Tabella 13**.

Per il toluene la concentrazione media è risultata essere di $4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in estate e $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in autunno (**Tabella 14**), ben al di sotto del valore guida consigliato dall'OMS.

Tabella 13: Dati relativi al benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

BENZENE	Estate 2021	Autunno 2021
Minima media giornaliera	0.2	0.3
Massima media giornaliera	0.8	3.4
Media delle medie giornaliere	0.4	1.4
Giorni validi	23	27
Percentuale giorni validi	85%	84%
Media dei valori orari	0.4	1.4
Massima media oraria	1.2	9.4
Ore valide	542	637
Percentuale ore valide	84%	83%

Tabella 14: Dati relativi al toluene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

TOLUENE	Estate 2021	Autunno 2021
Minima media giornaliera	2.9	0.4
Massima media giornaliera	8.7	12.6
Media delle medie giornaliere	4.6	3.6
Giorni validi	19	27
Percentuale giorni validi	70%	84%
Media dei valori orari	4.6	3.6
Massima media oraria	19.8	36.2
Ore valide	459	639
Percentuale ore valide	71%	83%

Dalla **Figura 35** e dalla **Figura 36** si osserva che i valori orari del benzene presso il sito monitorato nella stagione estiva, quando le concentrazioni risultano inferiori rispetto all'inverno ed i profili delle stazioni messe a confronto sono molto più ravvicinati, risultano mediamente simili rispetto a quelle delle centraline di confronto (Borgaro stazione di fondo suburbano, Torino – Lingotto di fondo urbano e Torino - Rebaudengo di traffico urbano); durante il monitoraggio di autunnale le concentrazioni sono risultate mediamente inferiori di quelle delle stazioni messe a confronto.

Dai dati del giorno medio di traffico veicolare confrontati con i dati del giorno medio del benzene risulta evidente la correlazione tra le concentrazioni di benzene e i flussi di traffico veicolare (vedi **Figura 20**).

Figura 35: Benzene - andamento orario e confronto con i dati delle stazioni di Borgaro T., Torino –Lingotto e Torino – Rebaudengo

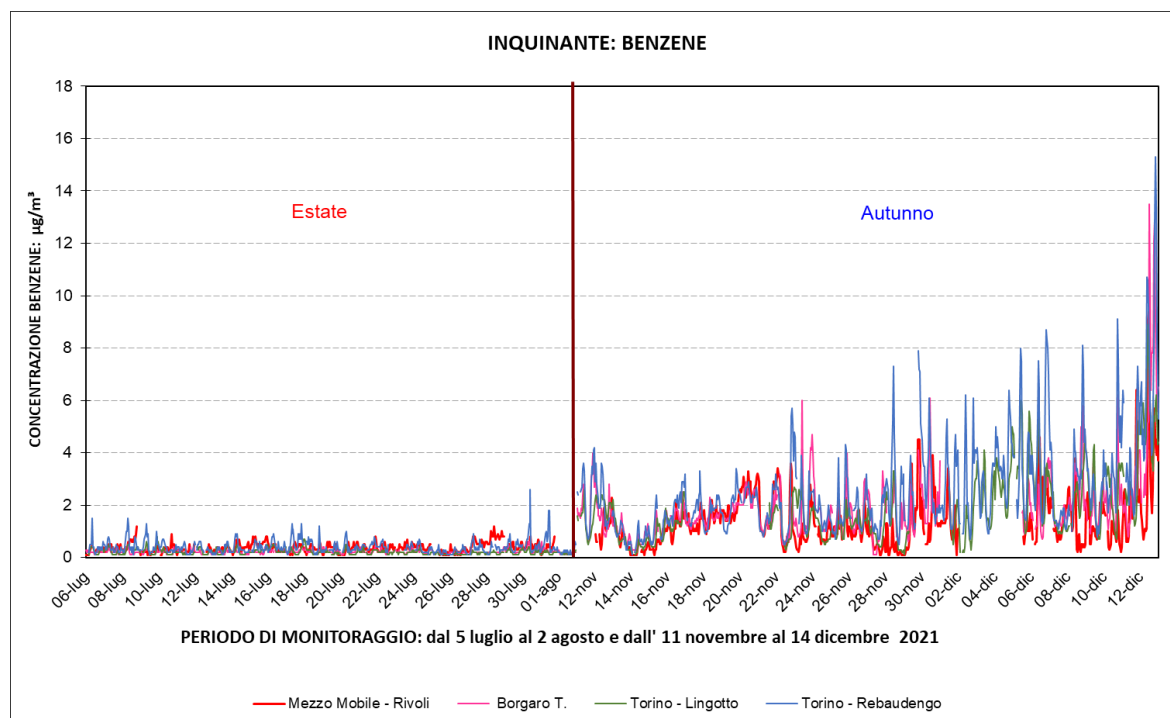
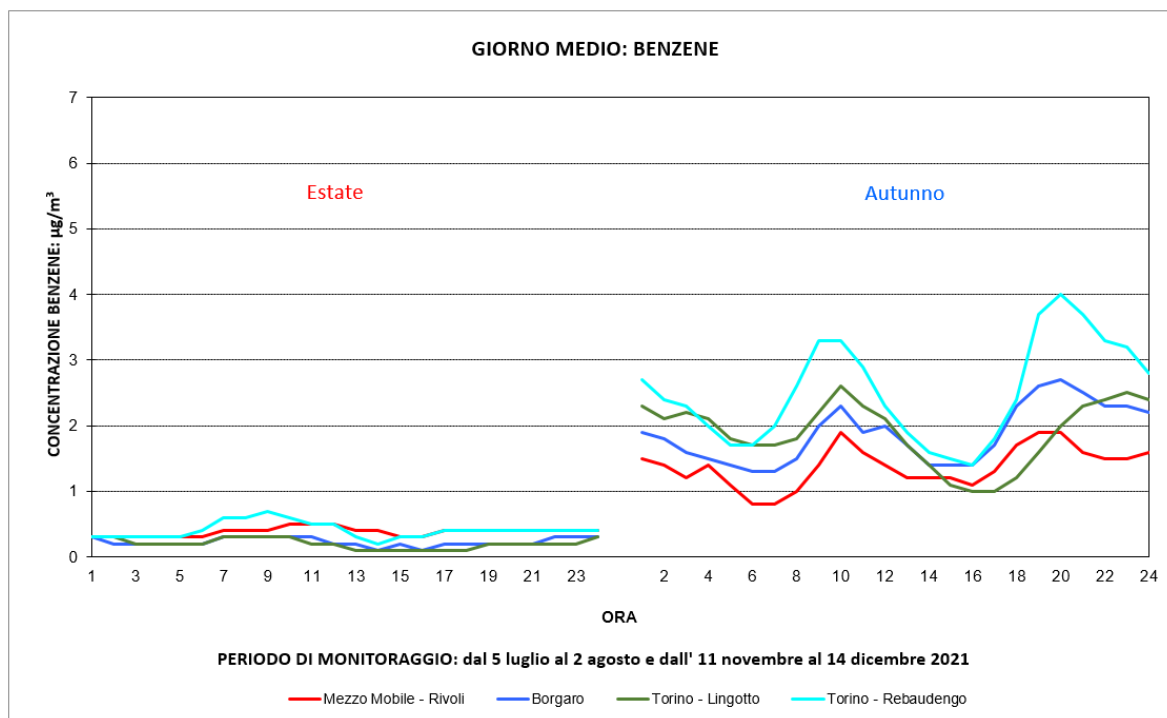
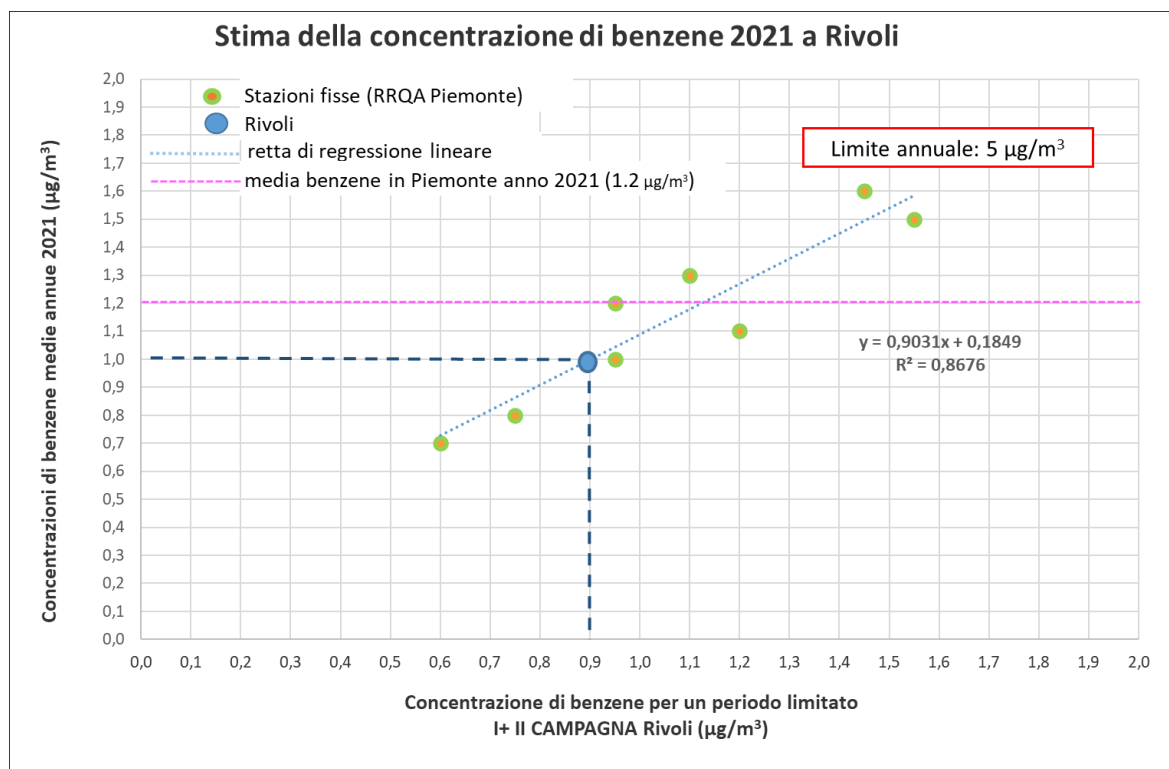


Figura 36: Benzene - giorno medio e confronto con i dati delle stazioni di Borgaro T., Torino –Lingotto e Torino – Rebaudengo



La normativa vigente (D.Lgs. 155/2010) prevede per il benzene un valore limite annuale di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; poiché la durata della campagna non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo, non è possibile un confronto diretto con le misure effettuate. Si può però considerare un valore stimato di media annuale facendo riferimento alle centraline della rete fissa. Utilizzando la stessa metodologia descritta per la stima della media annuale del biossido di azoto, sono state prese in considerazione tutte le stazioni della Rete Regionale di Qualità dell'Aria (RRQA) del Piemonte che nel corso del 2021 e durante i periodi delle due campagne hanno raggiunto il 90% dei dati validi. Rapportando per 8 siti della RRQA il valore della concentrazione media del 2021 di benzene, alla concentrazione media calcolata nei giorni delle due campagne svolte a Rivoli, è stata costruita la retta di interpolazione di **Figura 37**. Applicando tale procedimento, la media annuale stimata per Rivoli è pari a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore inferiore al limite.

Figura 37: Benzene - stima della concentrazione annuale a Rivoli



4.5.5 Particolato Sospeso (PM_{10}) e ($\text{PM}_{2,5}$)

Il particolato sospeso è costituito dall'insieme di tutto il materiale non gassoso in sospensione nell'aria. La natura delle particelle aerodisperse è molto varia: ne fanno parte le polveri sospese, il materiale organico disperso dai vegetali, il materiale inorganico prodotto da agenti naturali, ecc... Nelle aree urbane il materiale può avere origine da lavorazioni industriali, dall'usura dell'asfalto, degli pneumatici, dei freni e dalle emissioni di scarico degli autoveicoli, in particolare quelli con motore diesel. Il particolato è costituito anche da una componente secondaria, che si forma in atmosfera a seguito di complessi fenomeni chimico-fisici a carico di precursori originariamente emessi in forma gassosa.

Il rischio sanitario legato a questo tipo di inquinamento dipende, oltre che dalla concentrazione, anche dalle dimensioni delle particelle stesse; infatti, le particelle con dimensioni inferiori costituiscono un pericolo maggiore per la salute umana in quanto possono penetrare in profondità nell'apparato respiratorio. Diversi studi epidemiologici hanno mostrato una correlazione tra la concentrazione di polveri nell'aria e le manifestazioni di malattie croniche alle vie respiratorie, a causa degli inquinanti che queste particelle veicolano e che possono essere rilasciate negli alveoli polmonari.

La legislazione italiana, recependo quella europea, non ha più posto limiti per il particolato sospeso totale (PTS), ma a partire dal D.M. 60/2002 ha previsto dei limiti esclusivamente per il particolato PM_{10} , cioè la frazione con diametro aerodinamico inferiore a $10 \mu\text{m}$, più pericolosa in quanto può raggiungere facilmente trachea e bronchi e mettere inoltre a contatto l'apparato respiratorio con sostanze ad elevata tossicità adsorbite sul particolato stesso.

Inoltre, il D.Lgs. 155/2010 ha introdotto, come descritto nel capitolo relativo alla normativa, un valore limite e un valore obiettivo annuale anche per il $\text{PM}_{2,5}$ (particolato con diametro aerodinamico inferiore ai $2,5 \mu\text{m}$).

PM₁₀

Durante i monitoraggi eseguiti nel comune di Rivoli non si sono registrati per il particolato PM₁₀ superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ indicato in **Tabella 15**.

Durante la prima campagna il valore medio del periodo rilevato è stato di 17 µg/m³, con un valore massimo giornaliero di 31 µg/m³ registrato il 23 luglio; la concentrazione più bassa (8 µg/m³) si è riscontrata il 17 luglio.

Nel corso della seconda campagna il valore medio è stato di 25 µg/m³, con un valore massimo di 50 µg/m³ registrato il 5 dicembre ed uno minimo di 5 µg/m³ il 15 novembre quando si è verificato un evento piovoso a carattere di nubifragio con 54 mm di pioggia.

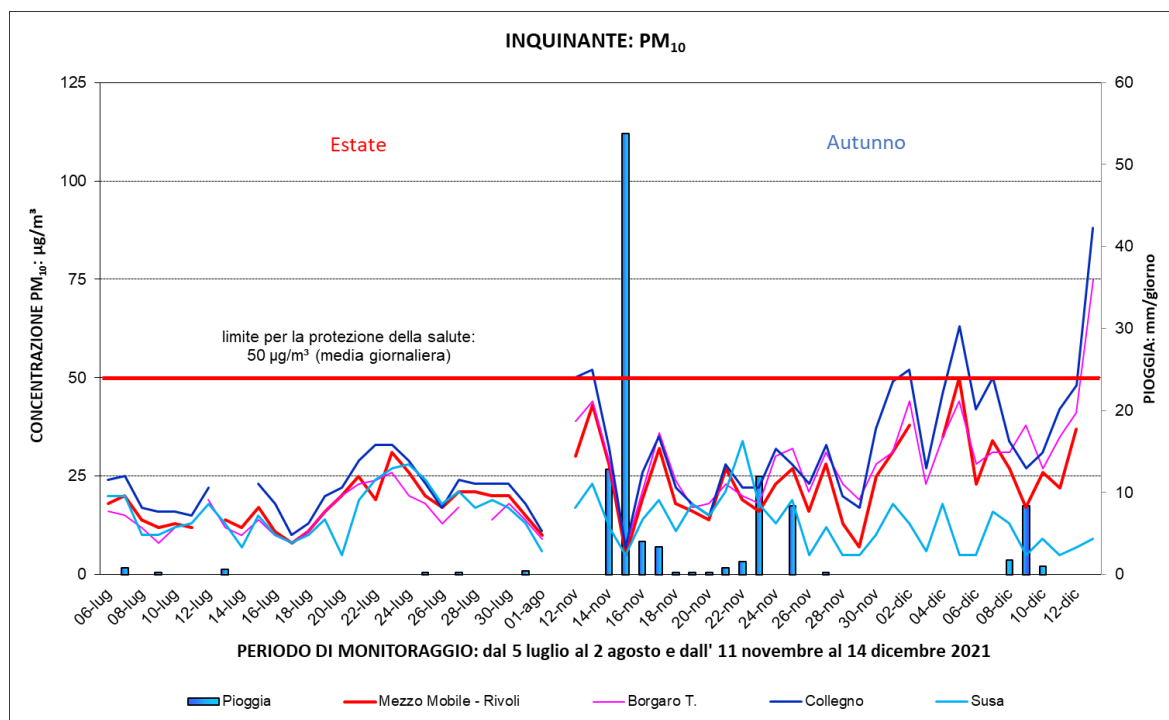
Tabella 15: Dati relativi al particolato sospeso PM₁₀ (µg/m³)

PM ₁₀ (µg/m ³)	Estate 2021	Autunno 2021
Minima media giornaliera	8	5
Massima media giornaliera	31	50
Media delle medie giornaliere	17	25
Giorni validi	26	30
Percentuale giorni validi	96%	94%
Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)	0	0

Durante la campagna autunnale si sono verificati diversi eventi piovosi che, come emerge dalla **Figura 38**, hanno contribuito all'abbattimento del particolato. È interessante notare come durante il giorno di maggiore intensità piovosa (15 novembre), si siano registrati i valori più bassi di PM₁₀ e PM_{2.5} della campagna di monitoraggio.

Dal confronto con le concentrazioni di alcune cabine della rete di monitoraggio della CMT rappresentato nella **Figura 38**, durante le due campagne emergono concentrazioni generalmente superiori a Susa (stazione di fondo suburbano), confrontabili con Borgaro T.se (stazione di fondo suburbano) e inferiori a Collegno (traffico urbano); le differenze risultano più marcate nel corso della seconda campagna trattandosi di un periodo caratterizzato da concentrazioni superiori rispetto a quelle del periodo estivo.

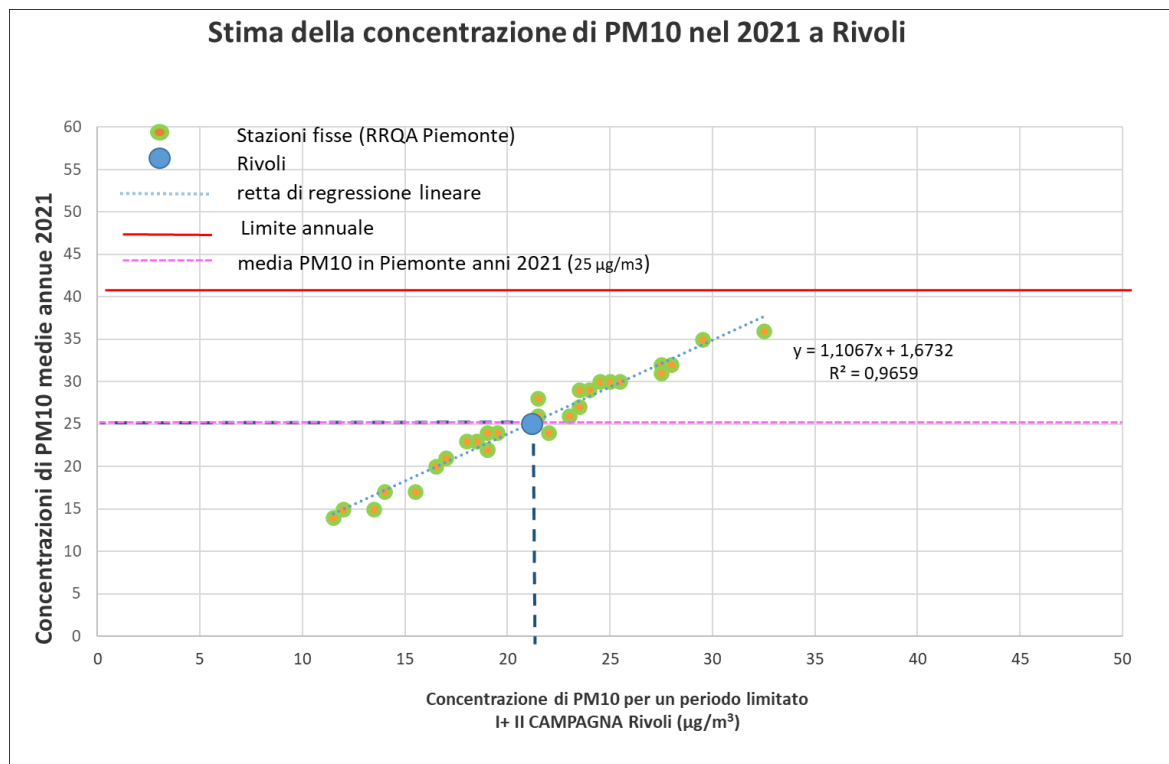
Figura 38: Particolato sospeso PM_{10} - confronto con il limite giornaliero per la protezione della salute e con i dati di alcune stazioni della rete fissa



Il D.Lgs 155/2010 prevede per le polveri PM_{10} un valore limite annuale per la protezione della salute umana di $40 \mu g/m^3$. Anche in questo caso la durata della campagna non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo e non è possibile quindi un confronto diretto con le misure effettuate. Tuttavia, così come è stato fatto per l' NO_2 , per arrivare a stimare un dato di concentrazione annuale di PM_{10} per il sito di Rivoli si può fare riferimento ai dati della rete regionale. Sono state prese in considerazione le stazioni della RRQA presenti sul territorio regionale e sono stati rapportati i valori di concentrazione del PM_{10} , come media del 2021, alla concentrazione media calcolata nei giorni delle due campagne di misura svolte, ed è stata costruita la retta di interpolazione (Figura 39).

Il coefficiente di determinazione R^2 trovato, evidenzia che la correlazione tra i dati è altamente significativa. È stato così possibile prevedere una concentrazione media annuale per Rivoli, riferita al 2021, pari a $25 \mu g/m^3$: valore inferiore al limite normativo ($40 \mu g/m^3$). Questo risultato è coerente con quanto emerso nella **valutazione modellistica annuale** (§ 4.2.2) dove la stima della media annuale del PM_{10} nel comune di Rivoli durante il 2020 è risultata compresa tra i 21 e $28 \mu g/m^3$.

Figura 39: Particolato sospeso PM₁₀ - stima della concentrazione annuale a Rivoli



Nel sito di corso Francia 98 durante le due campagne non si sono registrati superamenti del limite giornaliero.

Nella **Tabella 16** vengono riportati i dati delle cabine della Città Metropolitana relativi alle medie delle concentrazioni ed al numero di superamenti del predetto limite riferiti ai periodi dei monitoraggi ed al 2021.

Rispetto al numero di superamenti nel corso dell'anno non è possibile effettuare stime che abbiano un'approssimazione statistica accettabile, come nel caso dei valori medi; vengono pertanto considerati per analogia le stazioni della rete fissa che, durante il periodo delle campagne, hanno registrato un numero di superamenti uguali o molto vicini. Nel caso in oggetto le stazioni che nei periodi delle campagne non hanno registrato superamenti, come nel sito di Rivoli, non hanno raggiunto nel corso del 2021 i 35 giorni di superamenti stabiliti dalla legge. Se invece si considerano le medie di PM₁₀ del periodo delle campagne e del 2021, le due stazioni che presentano dati più simili a quelli di Rivoli sono state Leinì e Torino-Lingotto che nel corso del 2021 hanno superato il limite normativo considerato.

Un altro metodo per stimare i superamenti nel corso dell'anno consiste nel fare riferimento alle elaborazioni effettuate per valutare la media annuale. La correlazione statistica per il PM₁₀ tra media annuale e numero di giorni di superamento del valore limite giornaliero², infatti, evidenzia che sul territorio piemontese il valore limite giornaliero viene rispettato per valori di media annuale inferiori a 24,7 µg/m³. Nel caso di Rivoli la media annuale stimata di 25 µg/m³ è molto vicina a questo valore. Sulla base di queste considerazioni è possibile affermare che nel sito di Rivoli, se si fosse effettuato un monitoraggio esteso all'intero anno, il numero di superamenti sarebbe stato molto vicino al limite considerato, presumibilmente di poco inferiore o superiore.

Vi è invece difformità rispetto alla **valutazione modellistica annuale** (§ 4.2.2) che stima per il 2020 per il territorio del comune di Rivoli un numero di superamenti del limite giornaliero tra i 51 e 80.

² Bertello et, al Analisi della correlazione fra media annuale e numero di superamenti del valore limite per il PM₁₀ – La situazione del Piemonte nel quadro europeo – Atti del VII Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico, Roma 2016

Tabella 16: PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) confronto numero di superamenti limite giornaliero, concentrazioni medie del periodo e anno 2021

Stazione	periodo I° campagna		periodo II° campagna		periodo I° e II° campagna		anno 2021	
	media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)	media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)	media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)	media anno 2021 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)
Ceresole Reale - Diga	11	0	5	0	8	0	10	3
Oulx - Roma	17	0	10	0	14	0	15	0
Susa - Repubblica	15	0	13	0	14	0	17	5
Pinerolo - Alpini	12	0	14	0	13	0	17	10
Baldissero T. (ACEA) - parco	17	0	14	0	16	0	20	15
Druento - La Mandria	24	0	15	0	20	0	21	7
Ivrea - Liberazione	13	0	23	1	18	1	23	33
Mezzo Mobile – Rivoli (*)	17	0	25	0	21	0	25	
Leini' (ACEA) - Grande Torino	15	0	31	1	23	1	26	38
Torino - Lingotto	17	0	29	2	23	2	26	40
Borgaro T. - Caduti	17	0	30	1	24	1	27	33
Beinasco (TRM) - Aldo Mei	15	0	29	2	22	2	27	39
Torino - Consolata	18	0	—	—	18	0	28	30
Chieri - Bersezio	17	0	31	2	24	2	28	40
Torino - Rubino	17	0	34	5	25,5	5	30	57
Settimo T. - Vivaldi	17	0	38	7	28	7	31	55
Collegno - Francia	21	0	35	4	28	4	32	57
Carmagnola - I Maggio	22	1	35	4	29	5	33	49
Torino - Rebaudengo	20	0	41	6	31	6	33	65
Torino - Grassi	22	0	43	10	33	10	36	75

* = media annuale stimata

PM_{2.5}

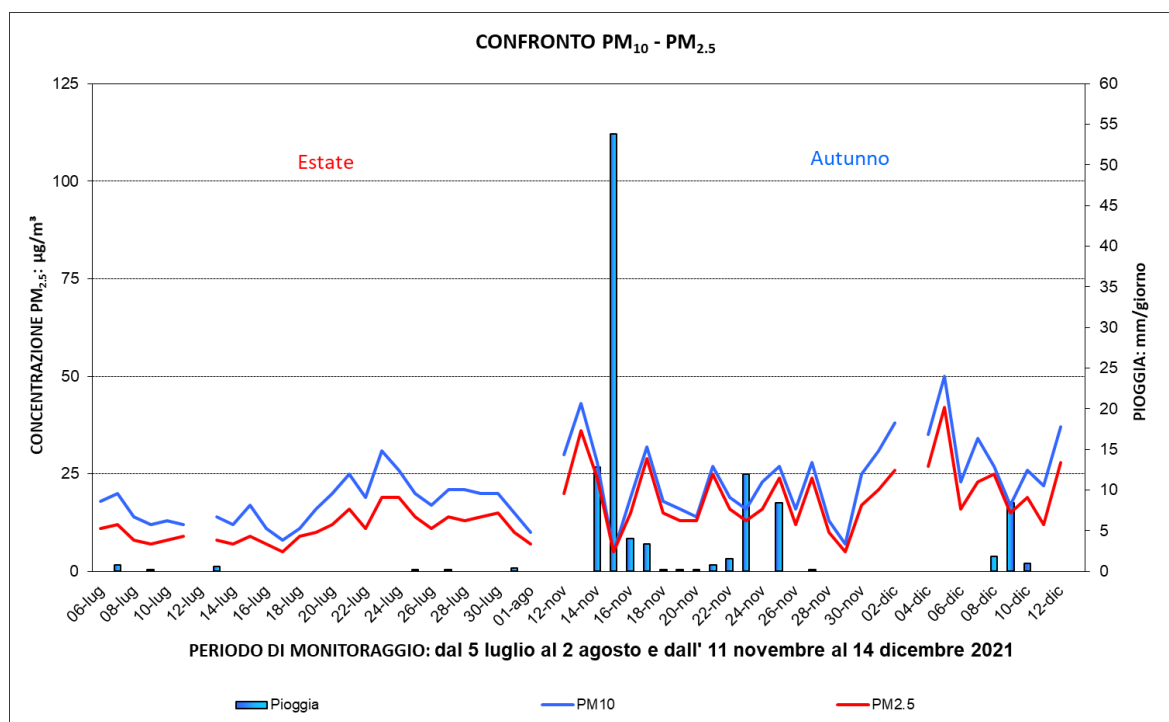
Il parametro $PM_{2.5}$ segue, come andamento temporale e valori medi di concentrazione giornaliera, il PM_{10} (vedi **Figura 40**).

Il valore medio del periodo estivo è stato di $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che corrisponde al 65% della media del PM_{10} , una percentuale in linea con il periodo indagato; il valore minimo è stato di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed il massimo di $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante la seconda campagna, la media registrata è stata di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (80% della media del PM_{10}) con un valore minimo di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed uno massimo di $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (**Tabella 17**).

Tabella 17: Dati relativi al particolato sospeso $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)

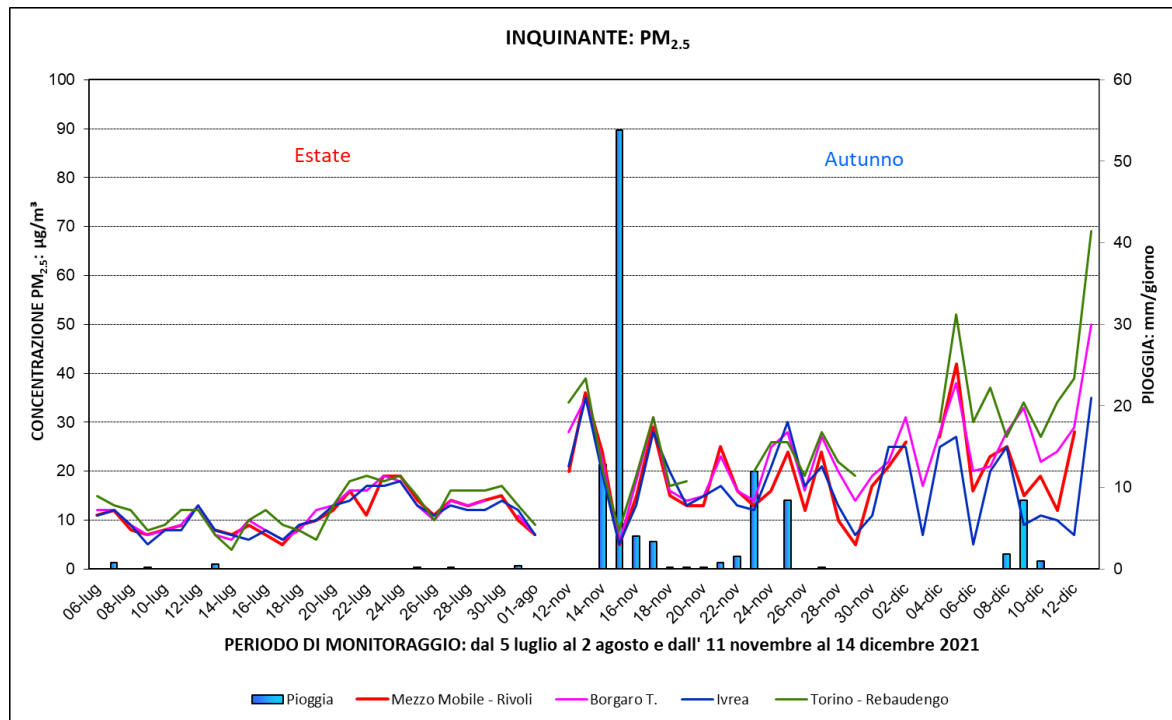
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	Estate 2021	Autunno 2021
Minima media giornaliera	5	5
Massima media giornaliera	19	42
Media delle medie giornaliere	11	20
Giorni validi	26	30
Percentuale giorni validi	96%	94%

Figura 40: Particolato sospeso PM_{10} e $PM_{2.5}$: confronto



Dalla **Figura 41** si nota che durante la prima campagna le concentrazioni basse tipiche del periodo estivo rendono i profili delle stazioni di confronto molto simili tra loro. Nella prima parte della seconda campagna caratterizzata da una estesa piovosità le concentrazioni e gli andamenti non si differenziano molto nei diversi siti presi a riferimento, mentre nella seconda parte le concentrazioni registrate a Rivoli sono risultate generalmente più alte di Ivrea (stazione di fondo suburbano) e più basse rispetto a quelle di Borgaro (fondo suburbano) e Torino-Rebaudengo (traffico urbano).

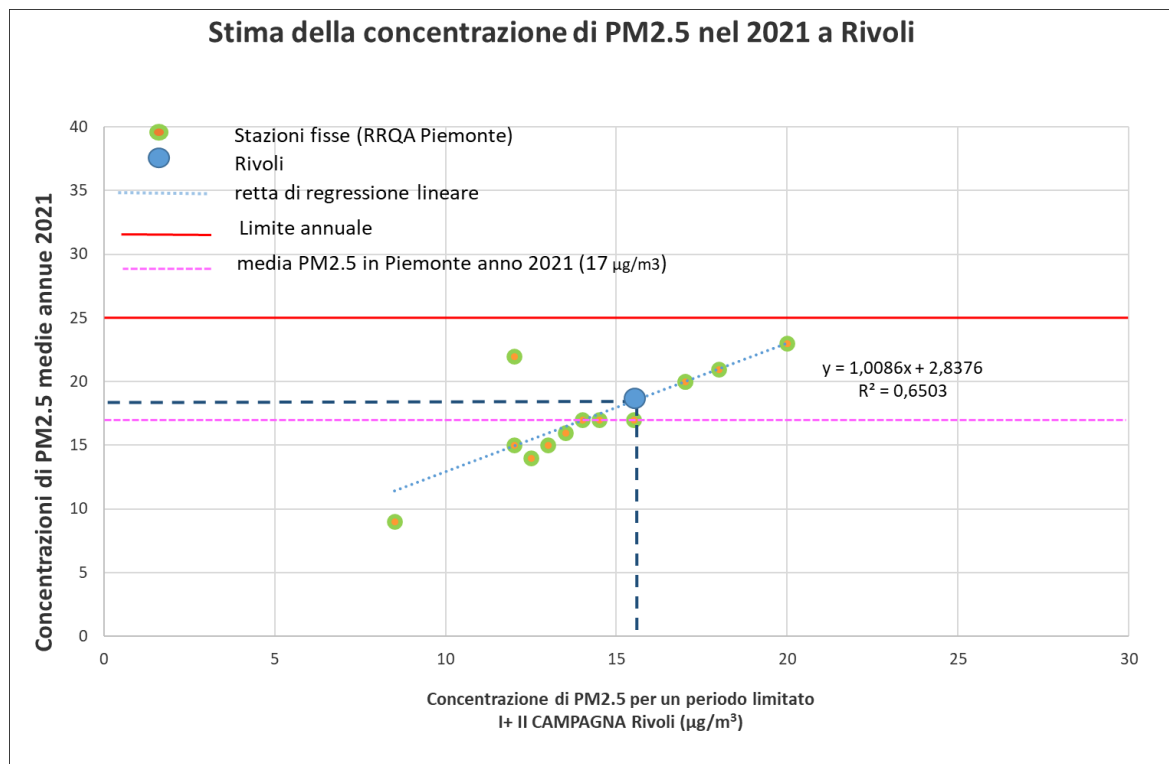
Figura 41: Particolato sospeso $PM_{2.5}$ - confronto con i dati di alcune stazioni della rete fissa



La normativa italiana prevede per il $PM_{2.5}$ solamente il rispetto di un limite annuale, pari a $25 \mu g/m^3$. In termini assoluti la media dei due periodi di monitoraggio, pari a $16 \mu g/m^3$, è inferiore al limite annuale che però va calcolato su base annuale. Visto che la durata del monitoraggio a Rivoli è pari a 59 giorni distribuiti nel corso di due stagioni diverse, la media dei valori non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo; non è quindi possibile in termini formali un confronto diretto con il limite stesso.

Si può però considerare un valore stimato di media annuale utilizzando lo stesso metodo impiegato per stimare le medie annuali del biossido di azoto, benzene e PM_{10} . Applicando tale procedimento (**Figura 42**) la concentrazione media annuale stimata a Rivoli, per il 2021, è pari a $18 \mu g/m^3$: valore inferiore al limite normativo ($25 \mu g/m^3$). Sebbene i dati impiegati nella correlazione lineare risultino piuttosto dispersi (R^2 pari a 0.65), il dato stimato appare coerente con il quadro riscontrato a livello regionale ($17 \mu g/m^3$ di media nel 2021).

Figura 42: Particolato sospeso PM_{2.5} - stima della concentrazione annuale a Rivoli

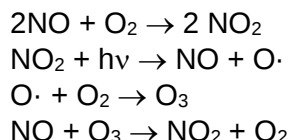


In termini generali per PM_{2.5} e PM₁₀, che sono due tra gli inquinanti più critici nell'intero bacino padano, sono necessari interventi strutturali a livello di territorio metropolitano e regionale per la riduzione delle fonti primarie di polveri e dei precursori della componente secondaria del particolato. Tuttavia, anche interventi a livello locale in armonia con tale strategia possono dare un contributo importante per ottenere gli obiettivi indicati.

4.5.6 Ozono

L'ozono è un gas con elevato potere ossidante, di odore pungente. L'ozono presente nella troposfera, lo strato più basso dell'atmosfera, è un inquinante non direttamente emesso da fonti antropiche, che si genera in atmosfera grazie all'instaurarsi di un ciclo di reazioni fotochimiche (favorite da un intenso irraggiamento solare) che coinvolgono principalmente gli ossidi di azoto (NO_x) e i composti organici volatili (VOC).

In forma semplificata, si possono riassumere nel modo seguente le reazioni coinvolte nella formazione di questo inquinante:



L'elevato potere ossidante dell'ozono è in grado di produrre infiammazioni e danni all'apparato respiratorio più o meno gravi, in funzione della concentrazione cui si è esposti, della durata dell'esposizione e della ventilazione polmonare, in particolar modo nei soggetti sensibili (asmatici, bambini, anziani, soggetti aventi patologie respiratorie).

Come riassunto nella **Tabella 18** nel corso della prima campagna la media dei valori orari di ozono è stata di $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una massima media oraria di $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$; nella seconda campagna la media dei valori orari è stata di $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una massima media oraria di $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nelle due campagne non si sono quindi registrati superamenti su base oraria del livello di informazione pari a $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabella 18: Dati relativi all'ozono (O_3) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Estate 2021	Autunno 2021
Minima media giornaliera	15	6
Massima media giornaliera	101	29
Media delle medie giornaliere	70	13
Giorni validi	26	26
Percentuale giorni validi	96%	81%
Media dei valori orari	70	14
Massima media oraria	150	65
Ore valide	632	653
Percentuale ore valide	98%	85%
Minimo medie 8 ore	7	1
Media delle medie 8 ore	70	14
Massimo medie 8 ore	137	53
Percentuale medie 8 ore valide	97%	84%
<u>Numero di superamenti livello protezione della salute su medie 8 ore (120)</u>	22	0
<u>N. di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (max media 8h > 120)</u>	4	0
<u>Numero di superamenti livello informazione (180)</u>	0	0
<u>Numero di giorni con almeno un superamento livello informazione (180)</u>	0	0
<u>Numero di valori orari superiori al livello allarme (240)</u>	0	0
<u>Numero di superamenti livello allarme (240 per almeno 3 ore consecutive)</u>	0	0
<u>Numero di giorni con almeno un valore superiore al livello allarme (240)</u>	0	0

Questo parametro presenta una certa criticità solo nel periodo caldo dell'anno. Dal grafico di **Figura 43** si nota come, nella campagna di estiva, i valori siano stati 4 volte superiori al livello di protezione della salute su medie di 8 ore ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per il quale la norma consente al massimo 25 giorni di superamento per anno civile come media di 3 anni. Nella **Figura 45** vengono rappresentati graficamente il numero di superamenti registrato durante il periodo della prima campagna e quelli registrati nelle cabine del territorio della Città Metropolitana durante il 2021, mentre nella **Figura 46** viene data evidenza del numero dei superamenti delle stazioni della CMT degli ultimi 3 anni e della loro media. Da questi due grafici si evince che tutte le cabine della rete, ad eccezione di Ceresole, hanno superato il numero massimo di 25 consentito dalla norma come media degli ultimi 3 anni; nel 2021 solo Ceresole non ha raggiunto il numero di 25 superamenti in un anno. Il numero di superamenti registrati a Rivoli (4) durante la prima campagna è uguale a quelli di Ivrea e Leinì che, sia nel corso del 2021 sia come media degli ultimi tre anni, hanno registrato più di 25 superamenti. Si può presumere pertanto che tale obiettivo non sia rispettato nel Comune di Rivoli. L'ozono infatti, data l'origine secondaria, è di fatto un inquinante ubiquitario: nei siti più periferici e remoti sono possibili fenomeni di trasporto e accumulo sia dell'ozono sia dei precursori emessi nelle aree antropizzate.

Figura 43: O₃ - superamenti protezione della salute umana

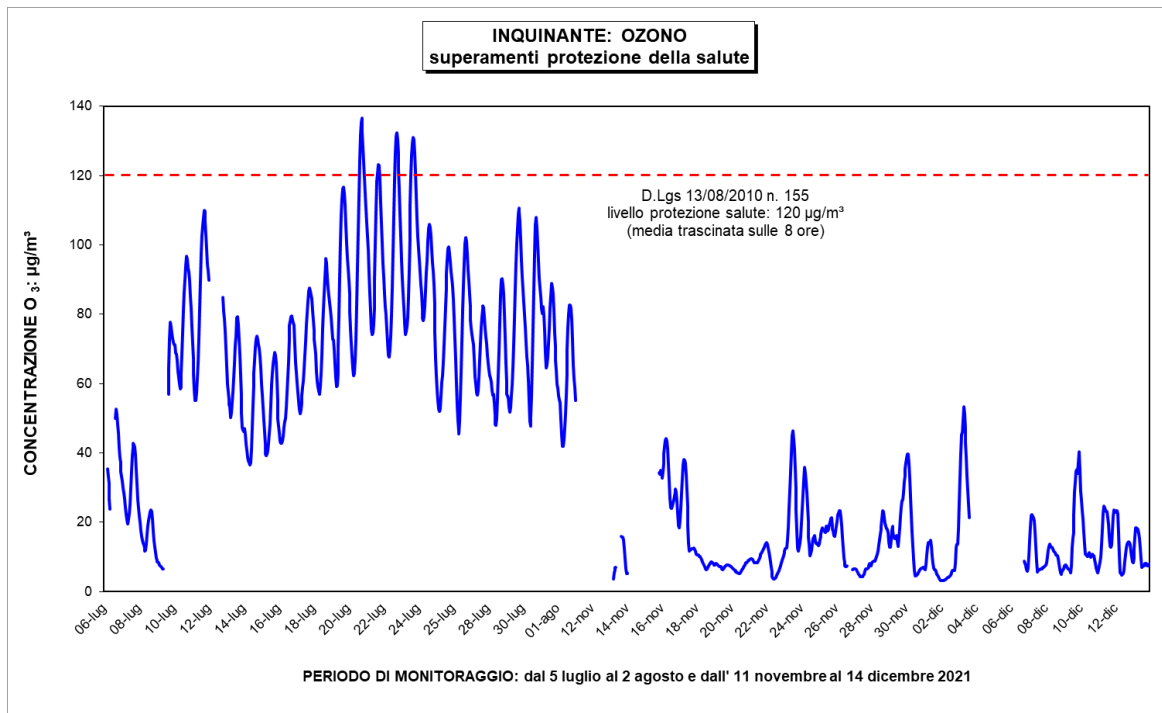


Figura 44: O₃ - confronto medie del periodo nelle stazioni della rete Città Metropolitana – 1^a campagna

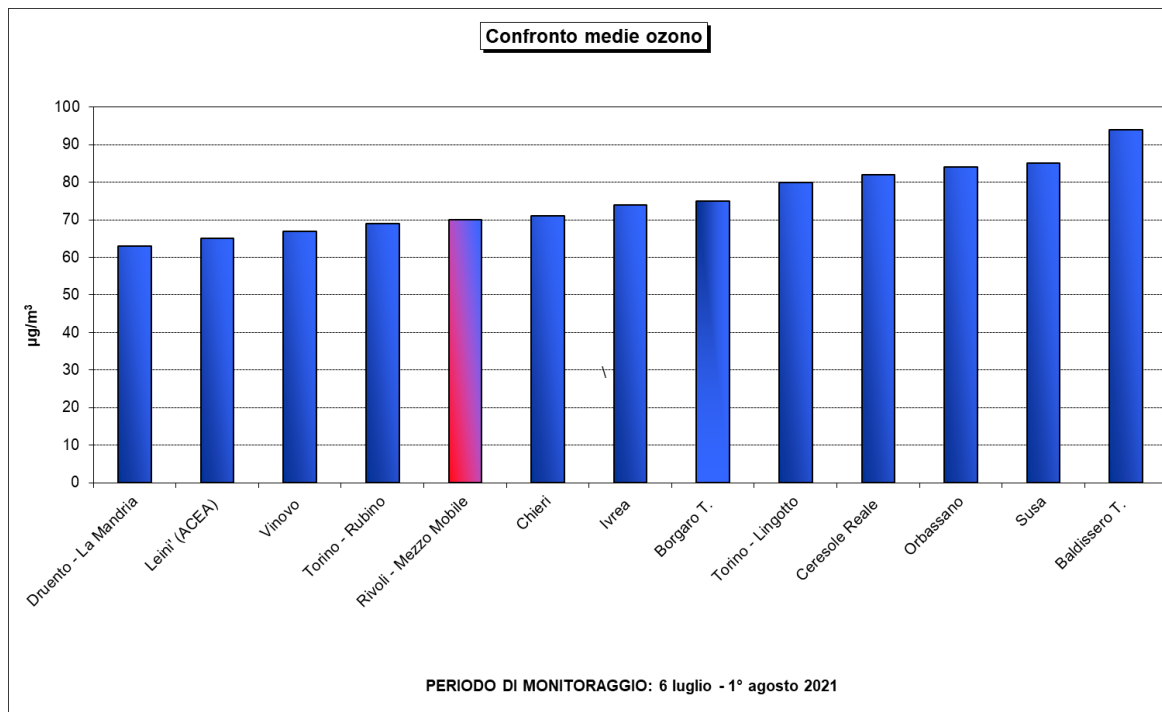


Figura 45: confronto superamenti livelli protezione della salute umana – periodo 1^a campagna e 2021

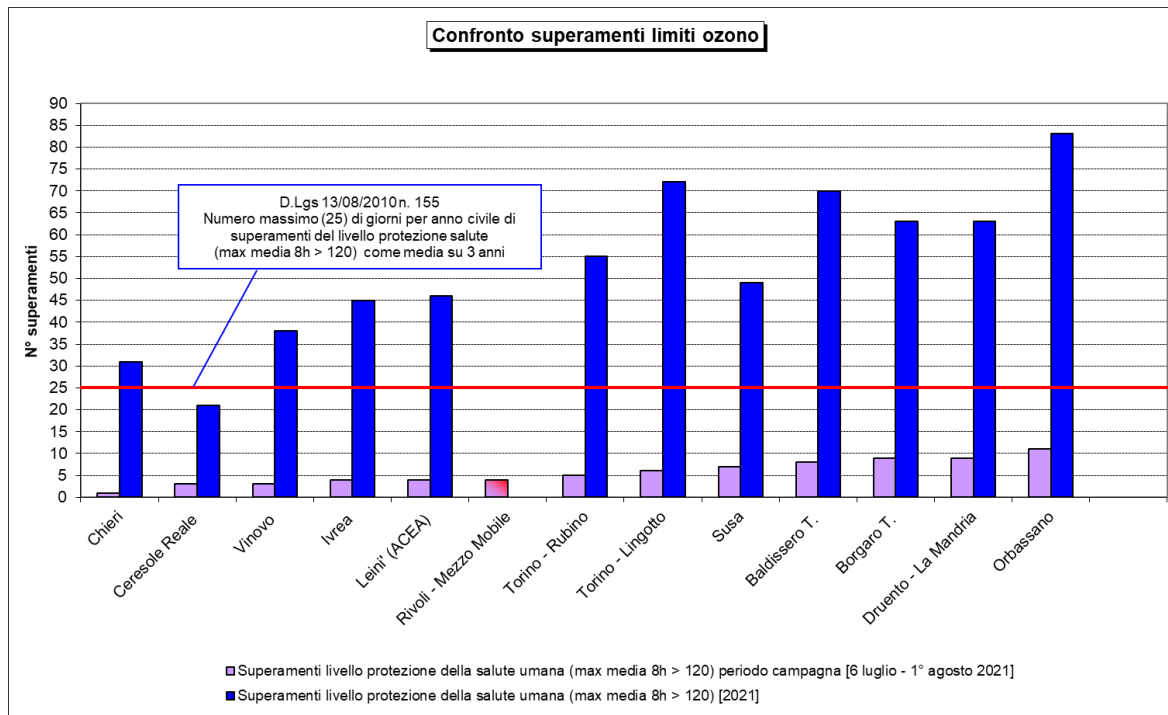
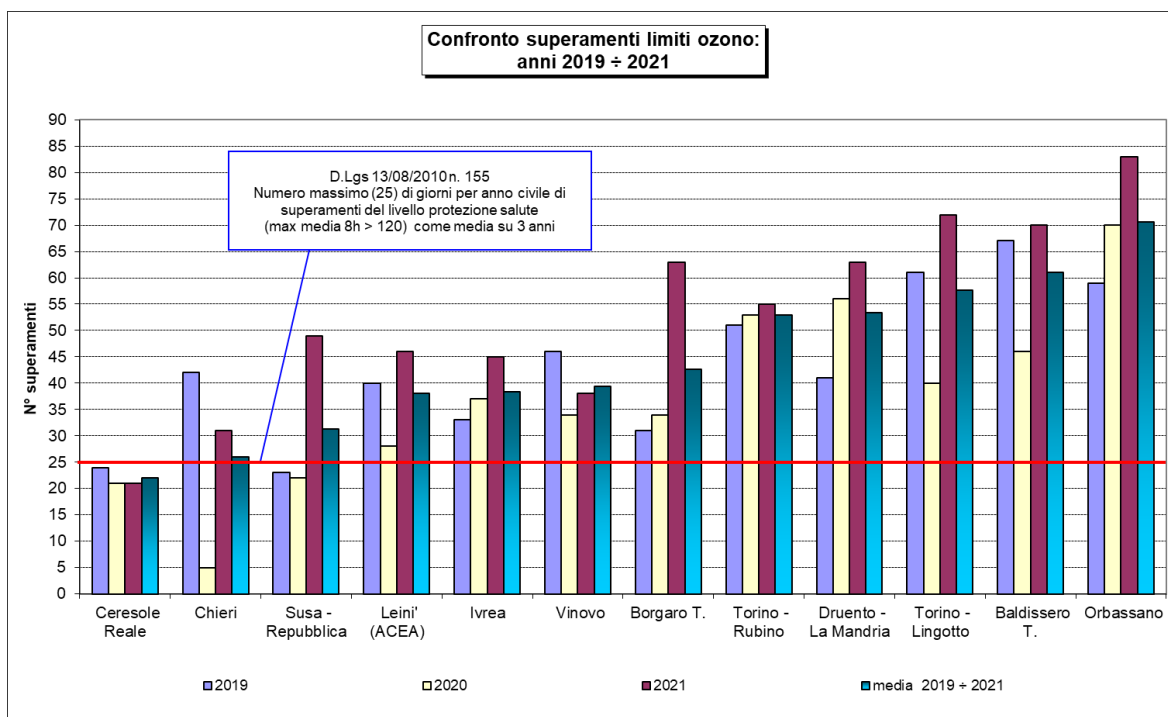


Figura 46: confronto superamenti livelli protezione della salute umana rete CMT anni 2019 ÷ 2021



Nella **Figura 47** e nella **Figura 48**, in cui le concentrazioni orarie ed il giorno medio dell'ozono vengono confrontate con le stazioni fisse di Druento (fondo rurale), Susa (fondo suburbano) e Torino-Lingotto (fondo urbano), si osserva che i valori registrati a Rivoli risultano inferiori a quelli dei siti di confronto ad eccezione delle prime ore e delle ore serali della prima campagna quando le concentrazioni di Rivoli sono risultate più elevate di Druento.

Figura 47: O₃ - confronto con i limiti di legge

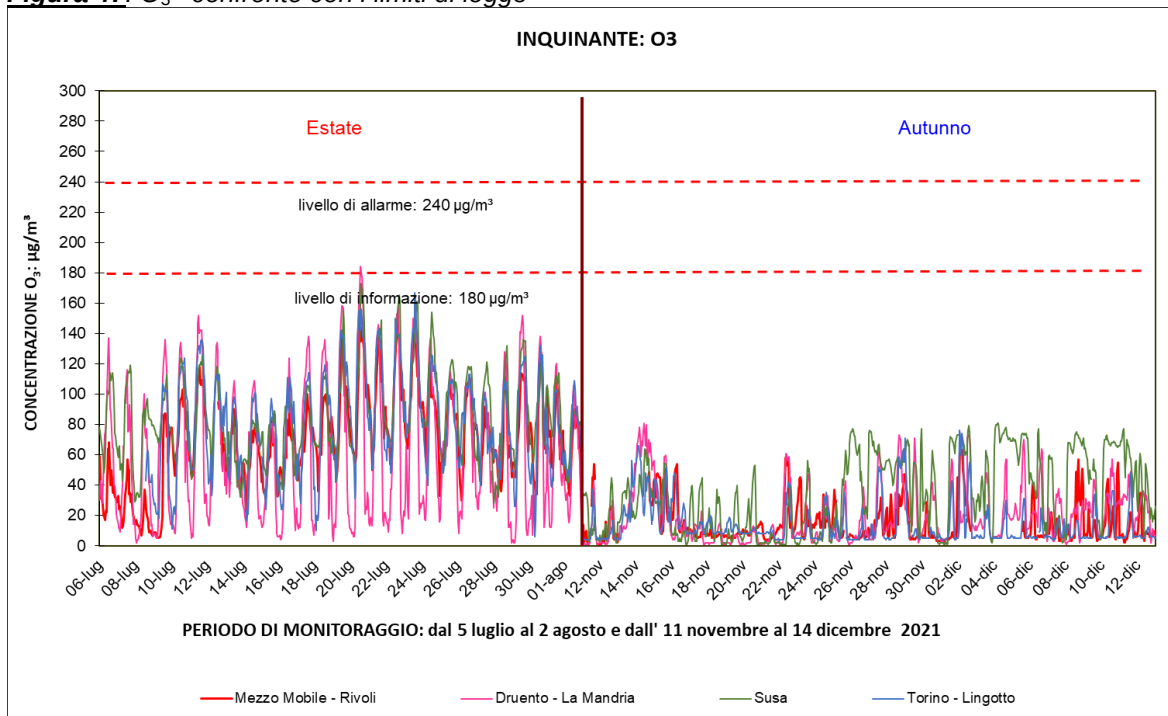
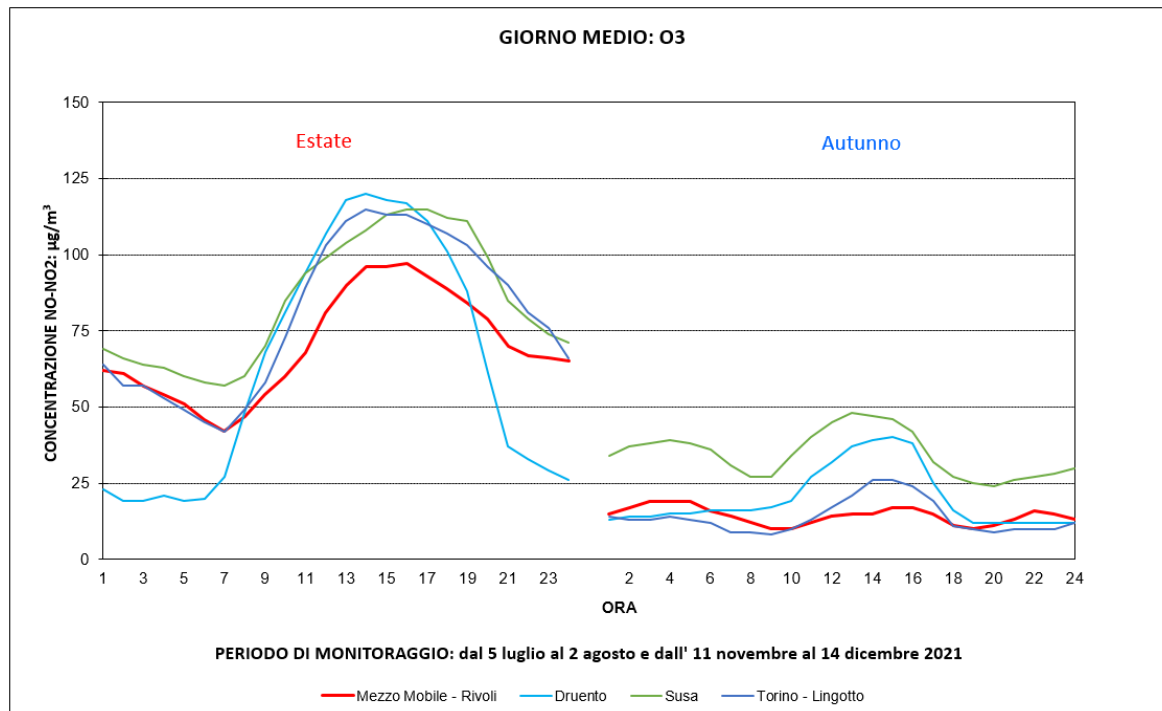


Figura 48: Ozono giorno medio



I grafici riportati in **Figura 49** e **Figura 50** mostrano la stretta correlazione degli andamenti di ozono con i parametri meteo relativi a radiazione solare e temperatura: infatti elevate temperature ed irraggiamento solare favoriscono la formazione di ozono a partire dai suoi precursori quali ossidi di azoto e composti organici volatili.

Figura 49: O₃ - andamento della concentrazione oraria e confronto con radiazione solare globale

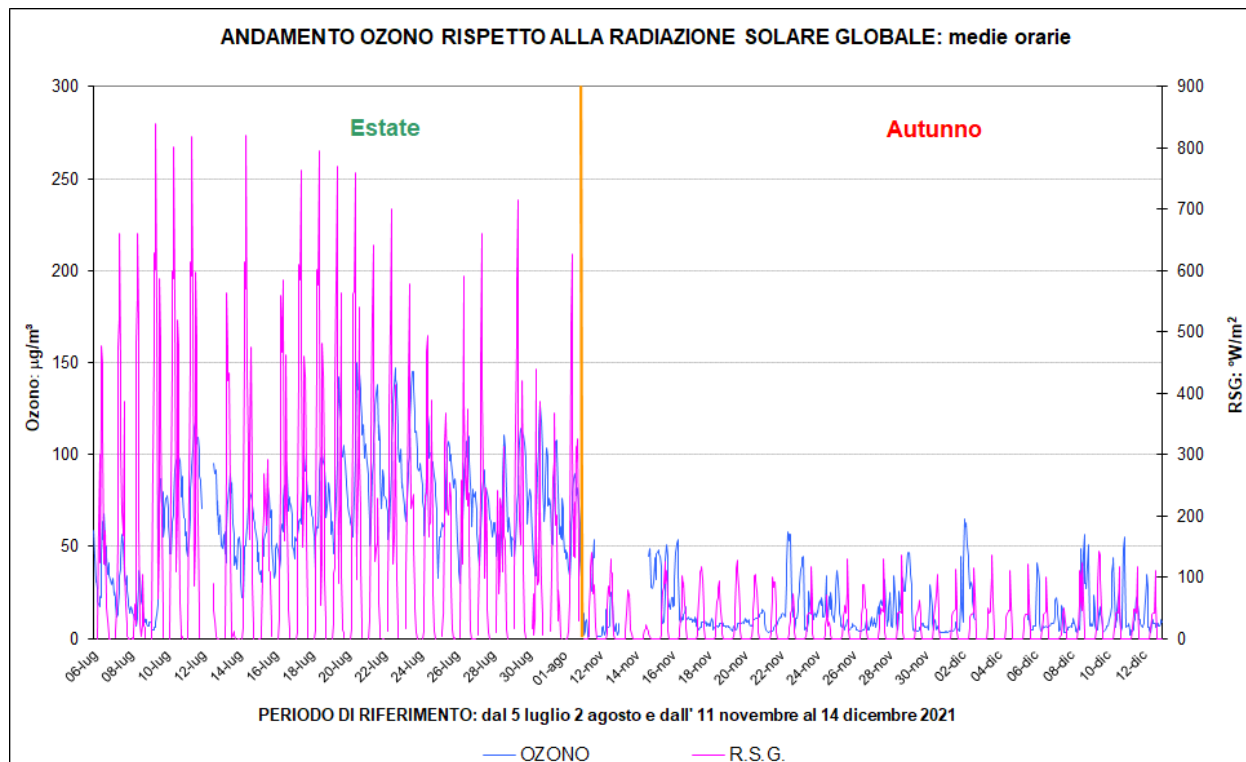
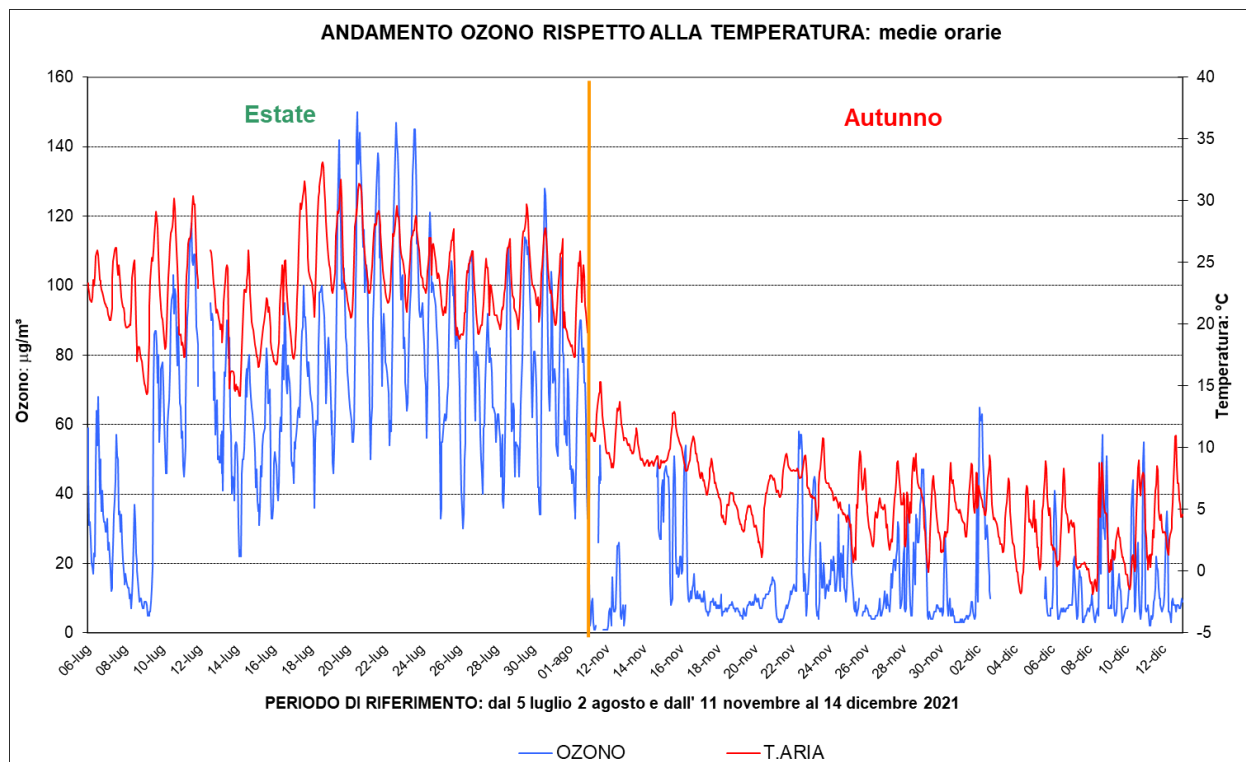


Figura 50: O₃ - andamento della concentrazione oraria e confronto con temperatura



La formazione e la degradazione dell'ozono coinvolgono un numero notevole di composti e di fenomeni chimico-fisici e interessano aree molto vaste, per cui per la risoluzione di questo problema sono fondamentali le politiche a livello regionale o sovraregionale miranti alla complessiva riduzione dei precursori.

4.5.7 IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

Gli idrocarburi policiclici aromatici, noti come IPA, sono un importante gruppo di composti organici caratterizzati dalla presenza di due o più anelli aromatici condensati. Gli IPA presenti in aria ambiente si originano da tutti i processi che comportano la combustione incompleta e/o la pirolisi di materiali organici. Le principali fonti di emissione in ambito urbano sono costituite dagli autoveicoli alimentati a benzina o gasolio e dalle combustioni domestiche e industriali che utilizzano combustibili solidi o liquidi. Tuttavia, negli autoveicoli alimentati a benzina l'utilizzo di marmitte catalitiche riduce l'emissione di IPA dell'80-90%³. A livello di ambienti confinati il fumo di sigaretta e le combustioni domestiche possono costituire un'ulteriore fonte di inquinamento da IPA.

In termini generali la parziale sostituzione del carbone e degli oli combustibili con il gas naturale ai fini della produzione di energia ha costituito un indubbio beneficio anche in termini di emissioni di IPA. La diffusione della combustione di biomasse per il riscaldamento domestico, invece, se da un lato ha indubbi benefici in termini di bilancio complessivo di gas serra, dall'altro va tenuta attentamente sotto controllo in quanto la quantità di IPA emessi da un impianto domestico alimentato a legna è 5-10 volte maggiore di quella emessa da un impianto alimentato con combustibile liquido (kerosene, gasolio da riscaldamento, ecc.)⁴.

In termini di massa gli IPA costituiscono una frazione molto piccola del particolato atmosferico rilevabile in aria ambiente (< 0,1%) ma rivestono un grande rilievo tossicologico, specialmente quelli con 5 o più anelli, e sono per la quasi totalità adsorbiti sulla frazione di particolato con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm.

In particolare, il benzo(a)pirene (o 3,4-benzopirene), che è costituito da cinque anelli condensati, viene utilizzato quale indicatore di esposizione in aria per l'intera classe degli IPA. Il D.Lgs. 152/2007 individua anche altri sei idrocarburi policiclici aromatici di rilevanza tossicologica (art. 5.4) che vanno misurati al fine di verificare la costanza dei rapporti tra la loro concentrazione e quella del benzo(a)pirene stesso.

I dati ricavati da test su animali di laboratorio indicano che molti IPA hanno effetti sanitari rilevanti che includono l'immunotossicità, la genotossicità, e la cancerogenicità. Va comunque sottolineato che, da un punto di vista generale, la maggiore fonte di esposizione a IPA, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, non è costituita dall'inalazione diretta, ma dall'ingestione di alimenti contaminati a seguito della deposizione del particolato atmosferico al suolo.

L'International Agency for Research on Cancer (IARC)⁵ classifica il benzo(a)pirene nel gruppo 1 come "cancerogeno per l'uomo", il dibenzo(a,h)antracene nel gruppo 2A come "probabile cancerogeno per l'uomo" mentre tutti gli altri IPA sono inseriti nel gruppo 2B come "possibili cancerogeni per l'uomo".

La normativa italiana fissa un obiettivo di qualità solo per il benzo(a)pirene qui di seguito riportato.

Tabella 19: benzo(a)pirene, valori di riferimento e normativa in vigore.

BENZO(A)PIRENE			
Riferimento normativo	Parametro di controllo	Periodo di osservazione	Valore di riferimento
VALORE OBIETTIVO (D.Lgs 155/2010)	media annuale	Anno (1 gennaio - 31 dicembre)	1 ng/m ³

Analogamente agli altri inquinanti per i quali esiste un limite di legge annuale (NO₂, Benzene, PM₁₀, PM_{2.5}) e visto che la durata del monitoraggio del sito di Rivoli è pari a due mesi distribuiti nel corso dell'anno in stagioni diverse, la media relativa ai due mesi non è paragonabile all'arco temporale di

³ European Commission Ambient air pollution by PAH –Position Paper , pag 8

⁴ EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2007 pag. B216-29 tab 8.1a e B216-.32 tab 8.2 b

⁵ International Agency for Research on Cancer (IARC) –Agents reviewed by the IARC monographs Volumes 1-100A last updated 2 april 2009

riferimento del limite normativo; non è quindi possibile in termini formali un confronto diretto con il limite stesso.

Si può però considerare anche in questo caso un valore stimato di media annuale ricavato come descritto nella nota. Applicando tale procedimento, si ottengono i valori di media annuale che sono stati messi a confronto con i valori delle altre stazioni della rete di monitoraggio della Città Metropolitana di Torino in cui si determinano gli idrocarburi policiclici aromatici.

Nota

Si sono calcolate le medie delle concentrazioni nel PM₁₀ dei quattro IPA (Benzo(a)antracene, Benzo(b+j+k)fluorantene, Benzo(a)pirene, Indeno(1, 2, 3-cd)pirene) per il periodo delle campagne, di tutte le stazioni della Città Metropolitana in cui vengono monitorati tali parametri ad eccezione della cabina di Ceresole in quanto stazione remota esente da apporti di particolato da traffico veicolare significativi. Dal rapporto con la media dell'anno 2021 si è calcolato il fattore che, moltiplicato per il valore medio delle campagne a Rivoli, permette di ricavare la stima annuale:

$$M_c = (m_c / m_p) \times M_p$$

dove

m_c : media periodo campagne per ogni parametro IPA di Rivoli

M_c : media stimata anno 2021 per ogni parametro IPA Rivoli

m_p : media periodo campagne per ogni parametro IPA Città Metropolitana di Torino

M_p : media anno 2021 per ogni parametro IPA Città Metropolitana di Torino

Dall'analisi dei dati si nota che, in base alla stima effettuata, la media annuale di Benzo(a)pirene presso il sito di monitoraggio di Rivoli è risultata di 0,31 ng/m³ (**Tabella 20**) inferiore al valore obiettivo indicato dal D.Lgs 155/2010.

Tabella 20: Laboratorio mobile ARPA Rivoli - concentrazione IPA rilevati nel monitoraggio e stima medie annuali

Lab mobile ARPA Rivoli concentrazione dei quattro IPA rilevati nel monitoraggio				
	Estate [ng/m ³]	Autunno [ng/m ³]	Media campagne [ng/m ³]	Media annuale stimata 2021 [ng/m ³]
Benzo(a)antracene (ng/m ³)	0,04	0,49	0,27	0,21
Benzo(b+j+k)fluorantene (ng/m ³)	0,06	1,93	1,00	0,91
Benzo(a)pirene (ng/m ³)	0,04	0,62	0,33	0,31
Indeno(1,2,3-cd)pirene (ng/m ³)	0,04	0,72	0,38	0,38
sommatoria dei quattro IPA (ng/m ³)	0,18	3,76	1,97	1,79

Gli IPA monitorati hanno evidenziato concentrazioni comprese tra la stazione di fondo suburbano di Susa e quelle di fondo urbano di Torino-Lingotto e Torino-Rubino (vedi **Figure 51÷55**).

Figura 51: Benzo(a)antracene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino

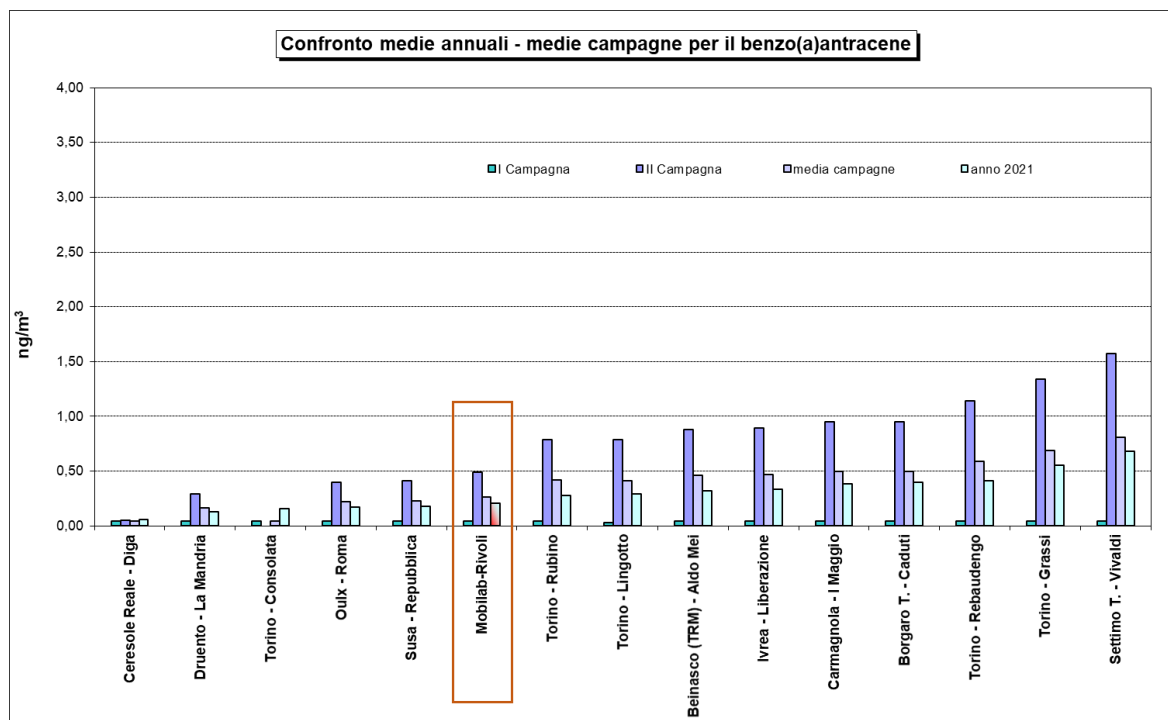


Figura 52: Benzo(b+j+k)fluorantene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino

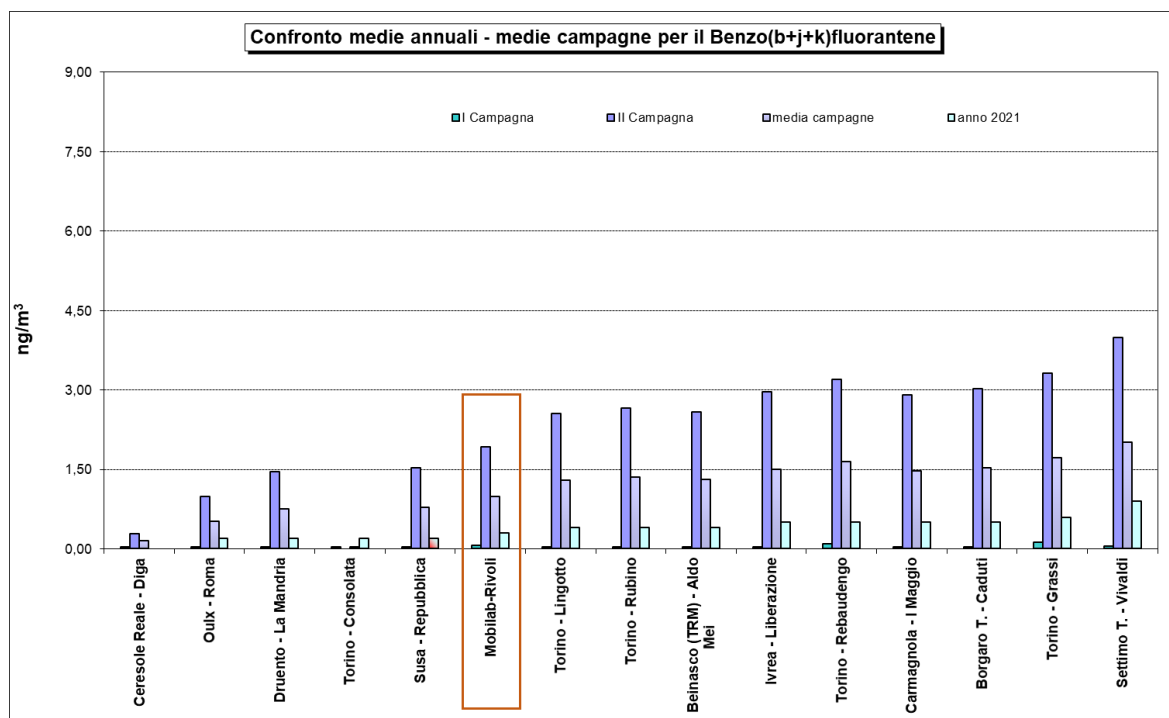


Figura 53: Benzo(a)pirene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino

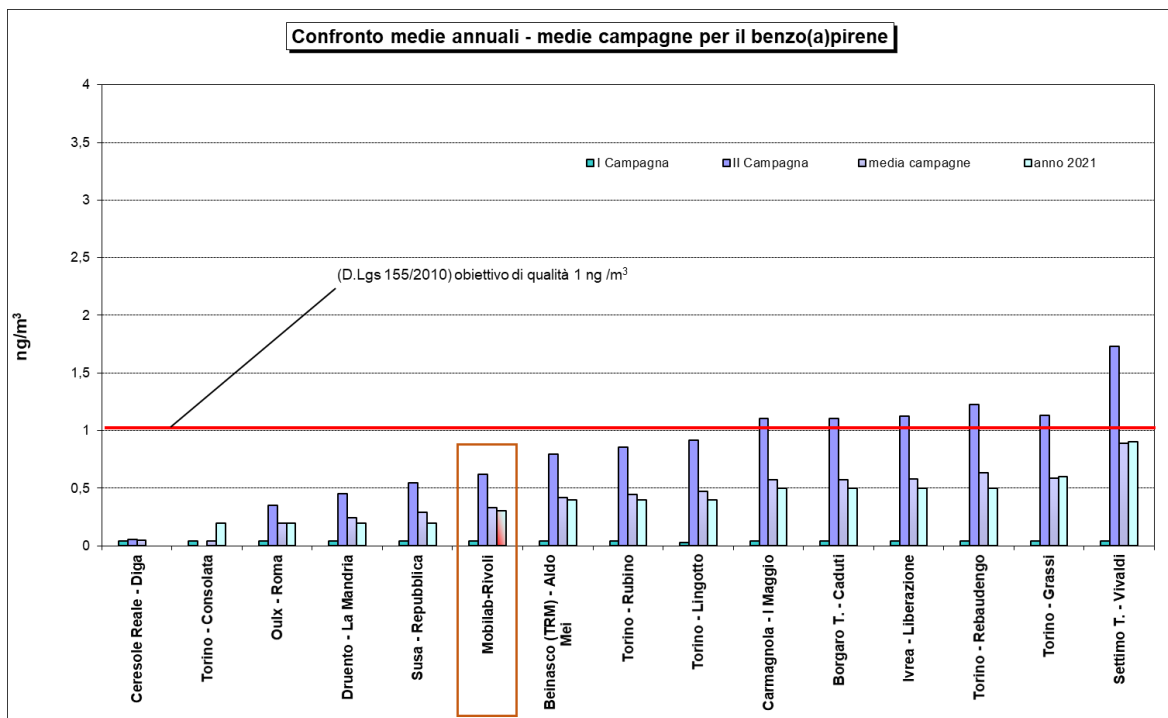


Figura 54: Indeno(1, 2, 3-cd)pirene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino

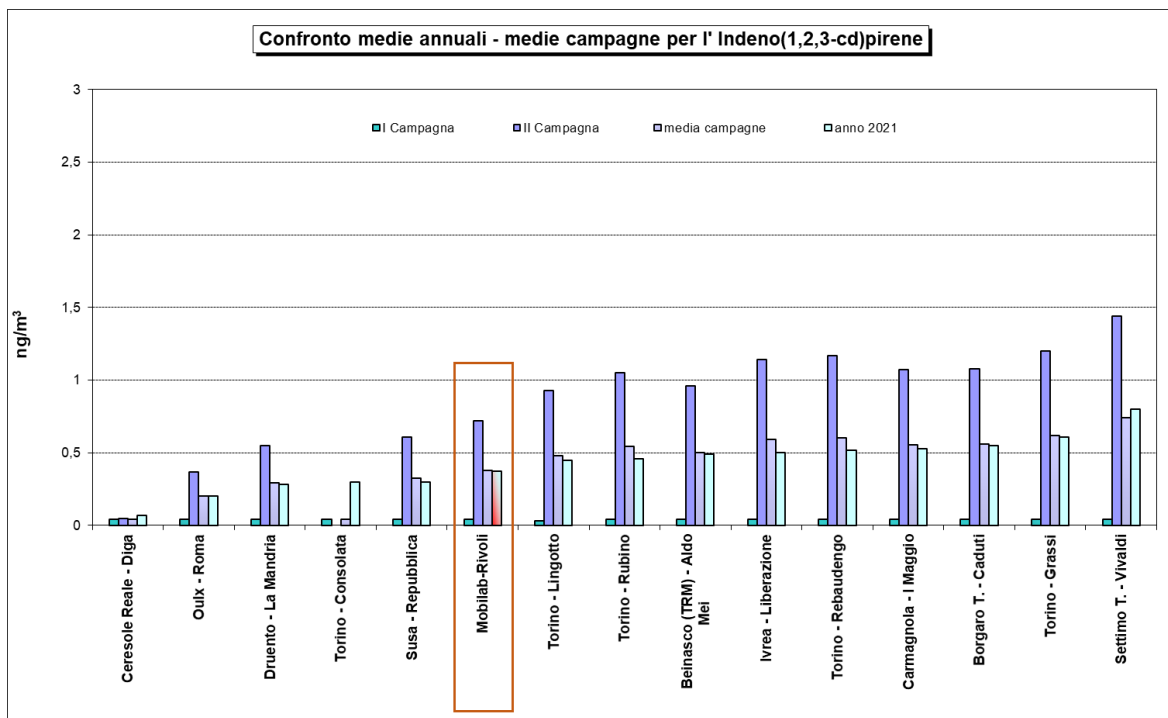
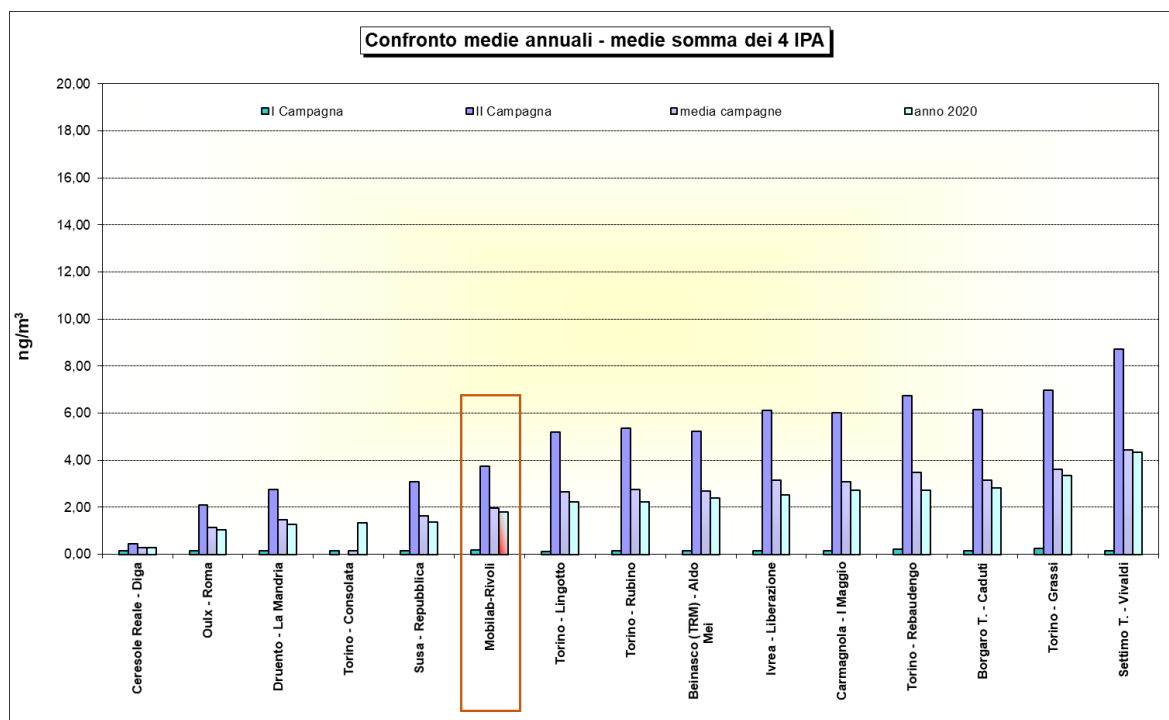


Figura 55: somma dei quattro IPA confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino



4.5.8 METALLI

I metalli pesanti costituiscono una classe di sostanze inquinanti estremamente diffusa nelle varie matrici ambientali. La loro presenza in aria, acqua e suolo può derivare da fenomeni naturali (erosione, eruzioni vulcaniche), ai quali si sommano gli effetti derivanti da tutte le attività antropiche. Relativamente all'inquinamento atmosferico, i metalli che maggiormente preoccupano sono generalmente As (arsenico), Cd (cadmio), Co (cobalto), Cr (cromo), Mn (manganese), Ni (nichel) e Pb (piombo), che sono veicolati dal particolato atmosferico.

La loro origine è varia: Cd, Cr e As provengono principalmente dalle industrie minerarie e metallurgiche, Cu dalla lavorazione di manufatti e da processi di combustione, Ni dall'industria dell'acciaio, della numismatica, da processi di fusione e combustione, Co e Zn da materiali cementizi ottenuti con il riciclaggio degli scarti delle industrie siderurgiche e degli inceneritori. L'incenerimento dei rifiuti può essere una fonte di metalli pesanti quali antimonio, cadmio, cromo, manganese, mercurio, stagno, piombo.

L'effetto dei metalli pesanti sull'organismo umano dipende dalle modalità di assunzione del metallo, nonché dalle quantità assorbite. Alcuni metalli sono oligoelementi necessari all'organismo per lo svolgimento di numerose funzioni quali il metabolismo proteico (Zn), quello del tessuto connettivo osseo e la sintesi dell'emoglobina (Cu), la sintesi della vitamina B12 (Co) e altre funzioni endocrino-metaboliche ancora oggetto di studio. L'assunzione eccessiva e prolungata di tali sostanze, invece, può provocare danni molteplici a tessuti e organi.

Tra i metalli monitorati nel particolato atmosferico, quelli di maggiore rilevanza sotto il profilo tossicologico sono il nichel, il cadmio e il piombo. I composti del nichel e del cadmio sono classificati dalla Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro come cancerogeni per l'uomo.

Nella **Tabella 21** sono riportati i valori obiettivo per As, Cd e Ni e il valore limite per la protezione della salute umana per il Pb previsti dal D.Lgs. 13/8/2010 n. 155.

Tabella 21: valori obiettivo per As, Cd e Ni e il valore limite per la protezione della salute umana per il Pb previsti dal D.Lgs. 13/8/2010 n. 155.

PIOMBO (Pb)		
VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
Anno civile	0,5 µg/m ³	1 gennaio 2005
ARSENICO (As)		
VALORE OBIETTIVO DELLA MEDIA ANNUALE		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	6 ng/m ³	31 dicembre 2012
CADMIO (Cd)		
VALORE OBIETTIVO DELLA MEDIA ANNUALE		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	5 ng/m ³	31 dicembre 2012
NICHEL (Ni)		
VALORE OBIETTIVO DELLA MEDIA ANNUALE		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	20 ng/m ³	31 dicembre 2012

Anche per i quattro metalli monitorati nell'indagine, visto che la durata del monitoraggio di Rivoli è pari a due mesi distribuiti nel corso dell'anno in stagioni diverse, la media dei valori del periodo di campionamento non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo; non è quindi possibile in termini formali un confronto diretto con il limite stesso.

Si può però considerare un valore stimato di media annuale ricavato come descritto nella nota. Applicando tale procedimento, si ottengono i valori di media annuale che sono stati messi a confronto con i valori delle altre centraline della rete di monitoraggio della Città Metropolitana di Torino in cui si determinano i metalli.

Nota

Si sono calcolate le medie delle concentrazioni nel PM₁₀ di nichel (Ni), cadmio (Cd), arsenico (As) e piombo (Pb) per il periodo delle campagne, di tutte le stazioni della Città Metropolitana in cui vengono monitorati tali parametri ad eccezione della cabina di Ceresole in quanto stazione remota esente da apporti di particolato da traffico veicolare significativi. Dal rapporto con la media dell'anno 2021 si è calcolato il fattore che moltiplicato per il valore medio delle campagne a Rivoli permette di ricavare la stima annuale:

$$M_c = (m_c / m_p) \times M_p$$

dove

m_c: media periodo campagne per ogni metallo Rivoli

M_c: media stimata anno 2021 per ogni metallo Rivoli

m_p: media periodo campagne per ogni metallo Città Metropolitana di Torino

M_p: media anno 2021 per ogni metallo Città Metropolitana di Torino

Il valore stimato di media annuale per tutti i metalli considerati è abbondantemente inferiore al valore obiettivo in vigore. Le concentrazioni di piombo, arsenico e cadmio sono omogenee in tutto il territorio Città Metropolitana (**Figure 56÷59**).

Tabella 22: Laboratorio mobile ARPA Rivoli concentrazione dei quattro metalli rilevati nel monitoraggio e stima medie annuali

Lab mobile ARPA Rivoli concentrazione dei quattro metalli rilevati nel monitoraggio				
	Estate [ng/m ³]	Autunno [ng/m ³]	Media campagne [ng/m ³]	Media annuale stimata 2021 [ng/m ³]
Arsenico (ng/m ³)	0,70	0,70	0,70	0,70
Cadmio (ng/m ³)	0,10	0,10	0,10	0,11
Nichel (ng/m ³)	1,10	1,60	1,35	1,61
Piombo (µg/m ³)	0,002	0,005	0,004	0,004

Figura 56: Arsenico confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino

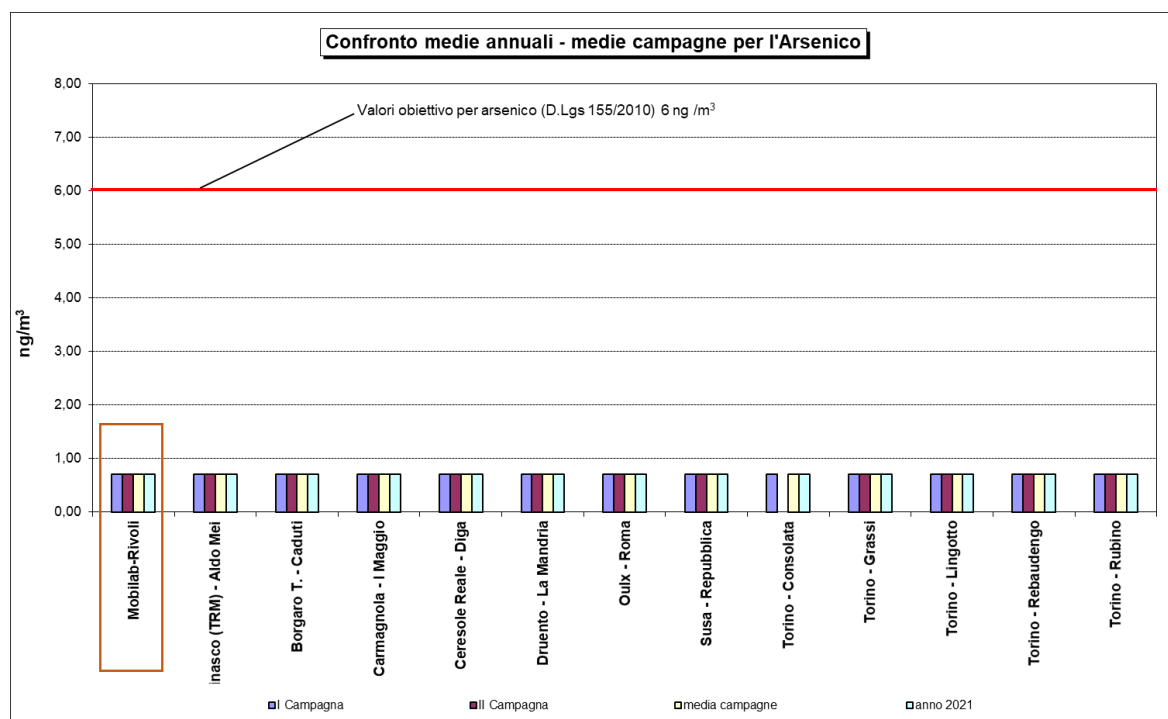


Figura 57: Cadmio confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino

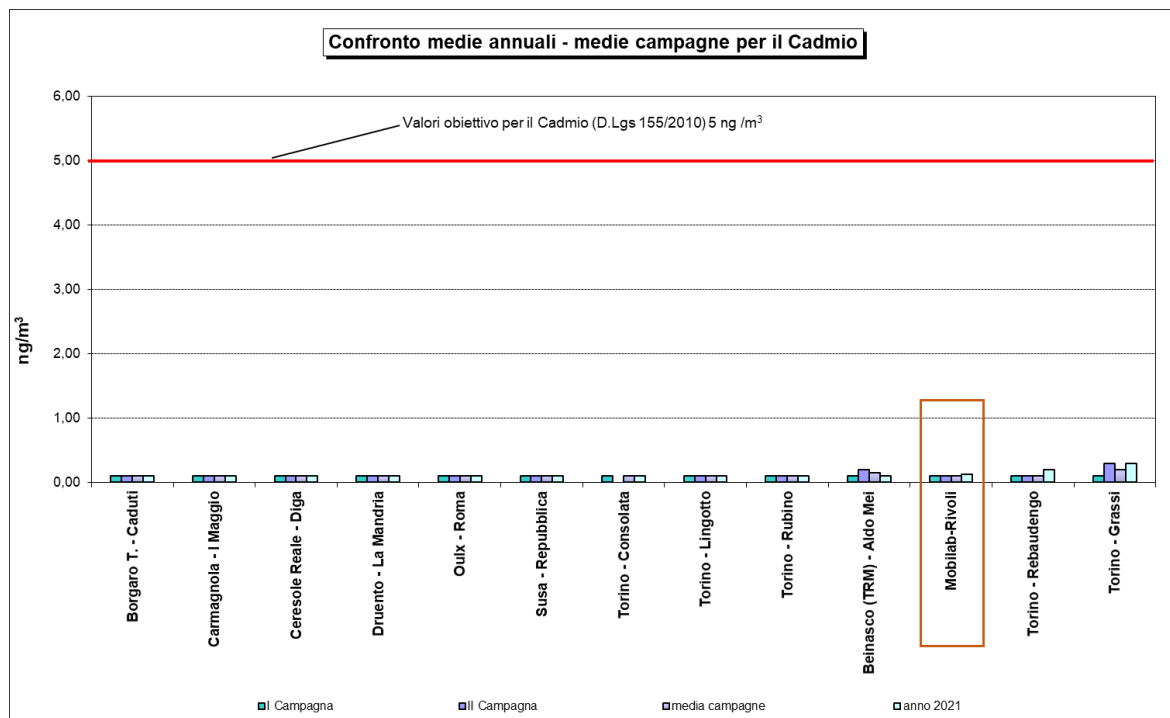


Figura 58: Nichel confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino

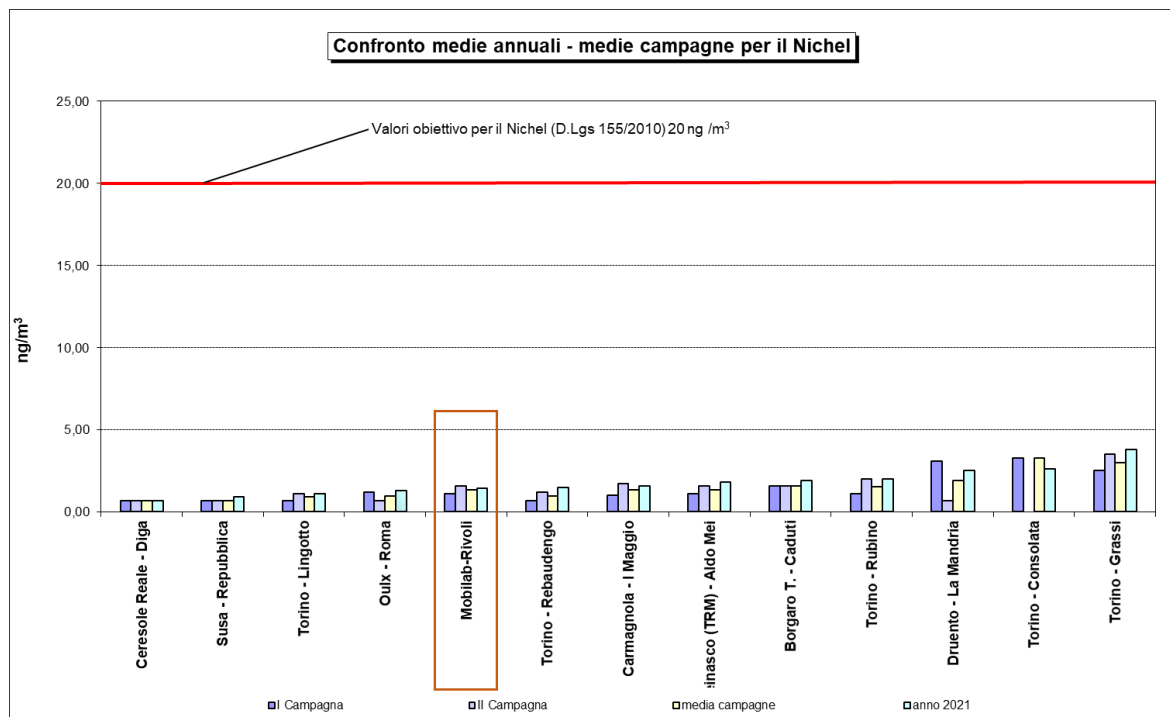
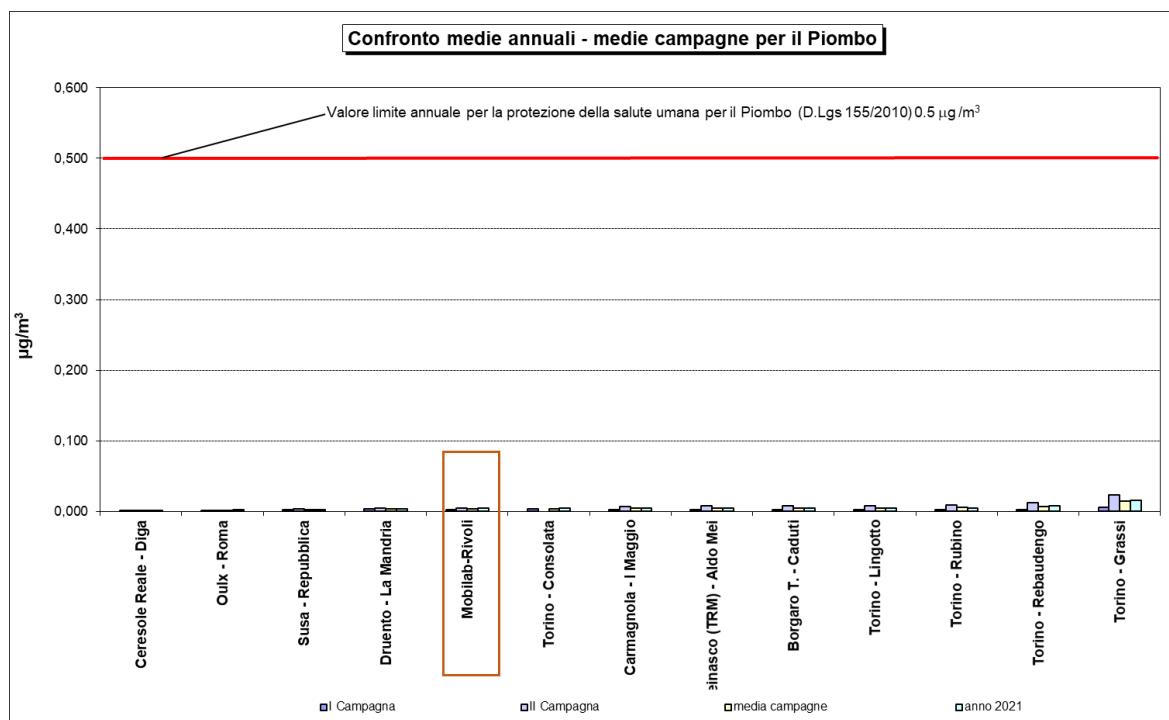


Figura 59: Piombo confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2021 nella Città Metropolitana di Torino



5 CONCLUSIONI

Le soglie di allarme non sono mai state superate per gli inquinanti (biossido di azoto e ozono) per i quali la normativa prevede tale tipo di limite; sono inoltre rispettati i valori limite per la protezione della salute umana per il monossido di carbonio.

Per il biossido d'azoto non si sono verificati superamenti del valore limite giornaliero.

Le elaborazioni statistiche rispetto a questo inquinante hanno mostrato nella campagna estiva una situazione compresa tra le due stazioni di fondo suburbano di Orbassano e Vinovo, con concentrazioni inferiori alle stazioni di fondo e traffico urbano ed alla stazione di fondo suburbano di Beinasco. Nella campagna autunnale le concentrazioni risultano inferiori alle stazioni di fondo e traffico urbano, tranne Carmagnola, e superiori alle altre stazioni di fondo, con l'eccezione di Borgaro.

Per quanto riguarda i limiti su base annuale previsti dalla normativa per NO_2 e PM_{10} , visto che la durata del monitoraggio con il laboratorio mobile nel comune di Rivoli non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo, non è possibile un confronto diretto con il limite stesso. È stato comunque stimato un valore medio annuale sulla base dei valori registrati dalle centraline della rete fissa di monitoraggio ARPA nel 2021. Da tale procedimento, la media annuale di NO_2 stimata per Rivoli è pari a $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore che rispetta il limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Lo stesso procedimento di stima del valore annuale è stato utilizzato per il parametro PM_{10} a partire dai dati delle due campagne, ottenendo una media annuale stimata di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e quindi inferiore al valore limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Durante le due campagne non vi sono stati superamenti del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Rispetto al numero di superamenti nel corso dell'anno non è possibile effettuare stime che abbiano un'approssimazione statistica accettabile, come nel caso dei valori medi; vengono pertanto considerati per analogia le stazioni della rete fissa che, durante il periodo delle campagne, hanno registrato un numero di superamenti uguali o molto vicini. Nel caso in oggetto le stazioni che nei periodi delle campagne non hanno registrato superamenti come nel sito di Rivoli, non hanno raggiunto nel corso del 2021 i 35 giorni di superamenti stabiliti dalla legge. Se invece si considerano le medie di PM_{10} del periodo delle campagne e del 2021 le due stazioni che presentano dati più simili a quelli di Rivoli sono state Leinì e Torino-Lingotto che nel corso del 2021 hanno superato il limite normativo considerato.

Un altro metodo per stimare i superamenti nel corso dell'anno consiste nel fare riferimento alle elaborazioni effettuate per valutare la media annuale. La correlazione statistica per il PM_{10} tra media annuale e numero di giorni di superamento del valore limite giornaliero (si veda la nota 2 pag. 43), infatti, evidenzia che sul territorio piemontese il valore limite giornaliero viene rispettato per valori di media annuale inferiori a $24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nel caso di Rivoli la media annuale stimata di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è molto vicina a questo valore. Sulla base di queste considerazioni è possibile affermare che nel sito di Rivoli, se si fosse effettuato un monitoraggio esteso all'intero anno, il numero di superamenti sarebbe stato molto vicino al limite considerato, presumibilmente di poco inferiore o superiore.

I profili delle due campagne mostrano che le concentrazioni sono generalmente superiori al sito di confronto di Susa (stazione di fondo suburbano), confrontabili con Borgaro T.se (stazione di fondo suburbano) ed inferiori a Collegno (traffico urbano); le differenze risultano più marcate nel corso della seconda campagna trattandosi di un periodo caratterizzato da concentrazioni superiori rispetto a quelle del periodo della prima campagna.

Gli andamenti di $\text{PM}_{2.5}$ nel sito di Rivoli sono risultati durante la prima campagna molto simili alle stazioni di confronto; il periodo estivo è caratterizzato da concentrazioni basse che rendono i profili delle diverse stazioni molto simili tra loro. Nella prima parte della seconda campagna, caratterizzata da una estesa piovosità, le concentrazioni e gli andamenti non si differenziano molto nei diversi siti presi a riferimento, mentre nella seconda parte le concentrazioni registrate a Rivoli sono risultate

generalmente più alte di Ivrea (stazione di fondo suburbano) e più basse rispetto a quelle di Borgaro (fondo suburbano) e Torino-Rebaudengo (traffico urbano).

La normativa italiana prevede per il $PM_{2.5}$ solamente il rispetto di un limite annuale, pari a $25 \mu g/m^3$. Visto che la durata del monitoraggio con il laboratorio mobile nel comune di Rivoli non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo, non è possibile un confronto diretto con il limite stesso. È stato però stimato un valore di media annuale utilizzando lo stesso metodo impiegato per stimare le medie annuali del biossido di azoto, benzene e PM_{10} ottenendo un dato pari a $18 \mu g/m^3$: valore inferiore al limite normativo ($25 \mu g/m^3$).

Le stima della media annuale di benzene è pari a $1 \mu g/m^3$, valore inferiore al limite di $5 \mu g/m^3$.

Il valore stimato della media annuale del benzo(a)pirene, è pari a $0,31 ng/m^3$, inferiore al valore obiettivo indicato dal D.Lgs 155/2010.

Il valore stimato di media annuale per tutti i metalli di cui la normativa prevede la determinazione sul particolato (piombo, arsenico, cadmio e nichel) è abbondantemente inferiore al valore obiettivo in vigore.

L'ozono, a differenza degli altri inquinanti, presenta i valori più elevati nel periodo caldo dell'anno. Durante la campagna di monitoraggio di luglio 2021 si sono verificati 4 superamenti del livello di protezione della salute ($120 \mu g/m^3$ calcolato come massimo giornaliero della media trascinata sulle 8 ore). Nel corso della seconda campagna non si sono registrati superamenti.

Per quanto riguarda il livello di protezione della salute su medie di 8 ore ($120 \mu g/m^3$), la norma consente al massimo 25 giorni di superamento per anno civile come media di 3 anni. Durante la prima campagna il numero di superamenti registrati a Rivoli è stato uguale a quelli di Ivrea e Leinì che, sia nel 2021 sia come media degli ultimi tre anni, hanno registrato più di 25 superamenti. Nel corso del 2021 e come media degli ultimi 3 anni tutte le cabine della rete, ad eccezione di Ceresole, hanno superato il numero massimo di 25 consentito dalla norma. Si può presumere pertanto che tale obiettivo non sia rispettato nel Comune di Rivoli. L'ozono infatti, data l'origine secondaria, è di fatto un inquinante ubiquitario: nei siti più periferici e remoti sono possibili fenomeni di trasporto e accumulo sia dell'ozono sia dei precursori emessi nelle aree antropizzate.

La formazione e la degradazione dell'ozono coinvolgono un numero notevole di composti e di fenomeni chimico-fisici e interessano aree molto vaste, per cui per la risoluzione di questo problema sono fondamentali le politiche a livello regionale o sovraregionale miranti alla complessiva riduzione dei precursori.

Le criticità evidenziate dalla campagna di monitoraggio realizzata con l'utilizzo del mezzo mobile nel territorio di Rivoli sono comuni a quelle rilevate in altri siti della Città Metropolitana di Torino, con fonti emissive e conformazione territoriale simili.

6 APPENDICE - SPECIFICHE TECNICHE DEGLI ANALIZZATORI

• Ossidi di azoto

TELEDYNE API 200 E

Analizzatore reazione di chemiluminescenza classificato da EPA quale metodo di riferimento per la misura della concentrazione di NO/NO_x.

- ✓ Campo di misura: 0 ÷ 20000 ppb;
- ✓ Limite inferiore di rivelabilità : 0.5 ppb.

• Ozono

THERMO SCIENTIFIC 49i

Analizzatore ad assorbimento ultravioletto classificato da EPA per la misura delle concentrazioni di O₃ nell'aria ambiente.

- ✓ Campo di misura: 0 ÷ 20 ppm;
- ✓ Limite inferiore di rivelabilità: 0.001 ppm.

• Monossido di carbonio

TELEDYNE API 300 E

Analizzatore a filtro a correzione di gas classificato da EPA quale metodo di riferimento per la misura della concentrazione di CO nell'aria ambiente.

- ✓ Campo di misura: 0 ÷ 200 ppm;
- ✓ Limite inferiore di rivelabilità: 0.1 ppm.

• Particolato sospeso PM10 e PM2.5

TECORA CHARLIE AIR GUARD PM

Campionatore di particolato sospeso PM10; campionamento delle particelle sospese con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm in aria ambiente, con testa di prelievo a norma europea .

Analisi gravimetrica su filtri in fibra di vetro di diametro 47 mm.

• Stazione meteorologica

LSI LASTEM

Stazione completa per la misura dei seguenti parametri: velocità e direzione vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, irraggiamento solare.

• Benzene, Toluene, Xileni

CHROMATOTEC

AIR TOXIC GC 866

Gascromatografo con doppia colonna, rivelatore PID (fotoionizzazione)

- ✓ Campo di misura benzene: 0 ÷ 324 µg/m³;
- ✓ Campo di misura toluene: 0 ÷ 766 µg/m³;
- ✓ Campo di misura xileni : 0 ÷ 442 µg/m³;
- ✓ Campo di misura etilbenzene : 0 ÷ 441 µg/m³;