

DIPARTIMENTO TERRITORIALE PIEMONTE NORD OVEST

Struttura semplice "Attività di Produzione"

**CAMPAGNA DI RILEVAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA
 CON UTILIZZO DEL LABORATORIO MOBILE NEL COMUNE DI
 BRANDIZZO**

22 maggio – 20 giugno e 14 novembre – 16 dicembre 2019



CODICE DOCUMENTO: F06_2019_00939_014

Redazione	Funzione: Tecnico SS Attività di Produzione	Data: 14/05/2020	Firma: <i>Firma autografa sostituita a mezzo stampa ai sensi dell'art. 3, c. 2, D.Lgs. 39/1993</i>
	Nome: Roberto Sergi		
Verifica e approvazione	Funzione: Responsabile SS Attività di Produzione		
	Nome: Carlo Bussi		

L'organizzazione della campagna di monitoraggio, l'elaborazione dei dati e la stesura della presente relazione sono state curate dai tecnici del Nucleo Operativo "Supporto Tematismo Qualità dell'Aria" nel Dipartimento Territoriale Piemonte Nord Ovest di Arpa Piemonte, dott.ssa Annalisa Bruno, dott.ssa Elisa Calderaro, dott.ssa Laura Gerosa, dott.ssa Laura Milizia, sig. Francesco Romeo, ing. Milena Sacco, sig. Roberto Sergi, coordinati dal Dirigente dott. Carlo Bussi.

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

SOMMARIO

CONSIDERAZIONI GENERALI SUL FENOMENO INQUINAMENTO ATMOSFERICO	3
IL LABORATORIO MOBILE	4
IL QUADRO NORMATIVO	4
LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO	7
Obiettivi Della Campagna Di Monitoraggio	7
Traffico veicolare	10
Elaborazione dei dati meteorologici	18
Elaborazione statistiche e grafiche relative al monitoraggio nel comune di Brandizzo	23
Andamento orario e giornaliero - Confronto con i limiti di legge	23
Giorno medio	23
Ossidi di Azoto	23
Monossido d'azoto	24
Biossido d'azoto	26
Monossido di Carbonio	32
Benzene e Toluene	35
Particolato Sospeso (PM ₁₀) e (PM _{2,5})	38
PM ₁₀	39
PM _{2,5}	40
Ozono	44
Idrocarburi policiclici aromatici	49
metalli	54
CONCLUSIONI	59
APPENDICE - SPECIFICHE TECNICHE DEGLI ANALIZZATORI	61

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 alle pubblicazioni "Uno sguardo all'aria - Relazione annuale", elaborate congiuntamente dalla Città Metropolitana di Torino e da Arpa Piemonte e disponibili 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 secondarie 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 primarie
	= fonti secondarie

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, la cui concentrazione è determinata in laboratorio per via gravimetrica.

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 PM2.5, 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 PM2.5 e in particolare:

- un **valore limite, espresso come media annuale**, pari 25 µg/m³ da raggiungere entro il 1 gennaio 2015;
- un **valore obiettivo, espresso come media annuale**, pari 20 µg/m³ da raggiungere entro il 1 gennaio 2020.

La normativa prevede inoltre per il PM2.5 un obiettivo nazionale di riduzione e un obbligo di concentrazione dell'esposizione il cui rispetto è calcolato sulla base di misurazioni effettuate da stazioni di fondo in siti fissi di campionamento urbani, che verranno definite con Decreto del Ministero dell'Ambiente (art. 12 D. Lgs. 155/2010). Questi due ultimi indicatori esulano quindi dall'ambito della presente relazione.

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 2017".

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 (PM ₁₀)	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	PERIODO DI MEDIAZIONE	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

OZONO (O ₃) (D.Lgs. 13/08/2010 n.155)	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 µg/m³ e il valore di 80 µg/m³, rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8.00 e le 20.00.

(3) La frequenza di campionamento è pari a 1 prelievo ogni z giorni, ove z=3÷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 ng/m ³
Cadmio	5.0 ng/m ³
Nichel	20.0 ng/m ³

(1) Il valore obiettivo è riferito al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM₁₀ del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile.

LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO

OBIETTIVI DELLA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO

La campagna di monitoraggio condotta nel Comune di Brandizzo dal Dipartimento Territoriale del Piemonte Nord Ovest di Arpa è stata effettuata in seguito alla richiesta dell'Amministrazione Comunale - prot. n°1338/05/vG/vg del 22/11/2018, prot. Arpa n°102788/2018 ed è finalizzata ad avere informazioni sulla concentrazione degli inquinanti atmosferici prodotti dal traffico veicolare che insiste sulla zona oggetto del monitoraggio.

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

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 (nel caso specifico la strada S.P. 220 - via Torino) 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 l'esecuzione della campagna di monitoraggio è stato individuato in Via Torino 121 presso il cortile degli uffici comunali, durante il sopralluogo del 18/03/2019, al quale era presente personale dell'Ufficio Tecnico del Comune di Brandizzo.

Nella **Figura 1** viene meglio rappresentato il sito nel quale è stato posizionato il laboratorio mobile.

Il sito anzidetto è stato scelto in considerazione delle richieste pervenute dall'Amministrazione Comunale e delle esigenze tecniche e di sicurezza legate alla tipologia delle indagini ambientali effettuate.

La prima campagna è stata condotta tra il **22 maggio** ed il **20 giugno 2019** (30 giorni), la seconda dal **14 novembre** al **16 dicembre 2019** (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 dal 23 maggio al 19 giugno, per un totale di 28 giorni per quanto riguarda la prima campagna, e dal 15 novembre al 15 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 ai siti in esame.

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).

I dati presentati forniscono quindi, unicamente un quadro generale della situazione di inquinamento atmosferico del 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.

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



MEZZO DI MISURA	PERIODO	INDIRIZZO	Coordinate UTM (S.R. WGS84)	
Laboratorio mobile della qualità dell'aria di Arpa Piemonte	<ul style="list-style-type: none"> I CAMPAGNA 22 maggio al 20 giugno 2019 II CAMPAGNA novembre – dicembre 2019 	Via Torino 12 BRANDIZZO (TO)	EST: 408952	NORD: 5003331

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 **Figura 2** e **Figura 3**.

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



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

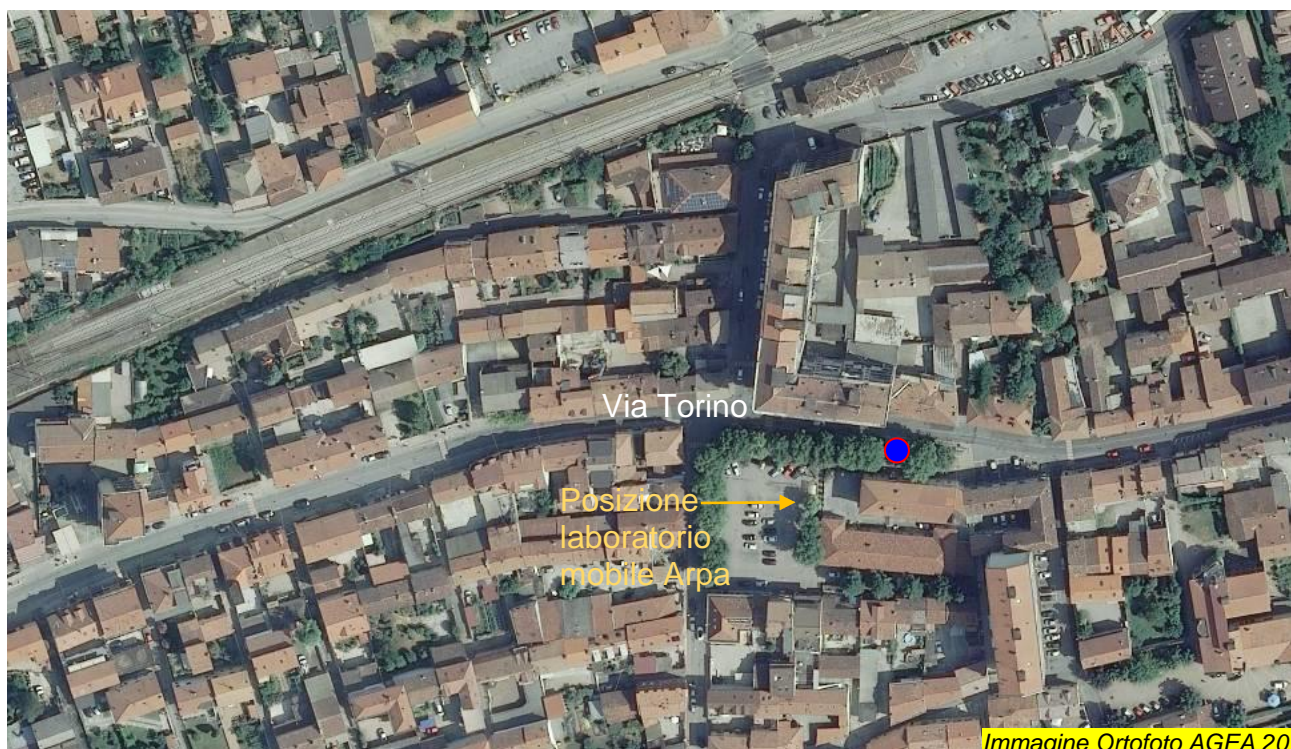


Immagine Ortofoto AGEA 2015

● = sito di rilevamento flussi di traffico veicolare

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 Via Torino all'altezza dell'entrata del Municipio, al numero 121 di fronte al civico 182, a circa 50 mt dal laboratorio mobile.

Lo strumento "contatraffico" 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 Brandizzo 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 **6.287** veicoli/giorno nel periodo primaverile e **6.459** nel periodo autunnale; come termine di confronto in Torino, presso corso Vittorio Emanuele II° - una 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), i valori riscontrati di **6.287** e **6.459** veicoli/giorno individuano per la strada indagata una condizione di medio volume di traffico, essendo i passaggi giornalieri compresi tra 2.000 e 10.000 veicoli/giorno.

Nell'elaborazione dei dati della seconda campagna non sono stati computati i passaggi di mezzi avvenuti nei giorni 23 e 24 novembre, in quanto in tali giornate si sono verificati dei fenomeni di rovesci piovosi molto intensi che hanno reso necessaria la modificazione della viabilità con un passaggio anomalo e particolarmente elevato di veicoli nel tratto monitorato; pertanto i relativi dati di traffico veicolare di quel periodo non risultano coerenti con il traffico normale e il conteggiarli ne falserebbe le medie e gli andamenti.

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 media entità; 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 6** e **Figura 7**); la differenza più marcata tra le due campagne risulta evidente nel confronto tra le valutazioni di frequenza rappresentate rispettivamente nella **Figura 8** e nella **Figura 9** da cui emerge una diminuzione media di flussi di automobili (passate dal 78.5% nella prima campagna a 66.2% nella seconda) a fronte di un aumento delle percentuali di transporter, autocarri e autotreni;

2) il traffico veicolare nel tratto monitorato di via Torino è un traffico non veloce e continuo, in cui i veicoli rallentano, essendo presente un semaforo all'incrocio con via XX Settembre; infatti durante la campagna di primavera il tempo di passaggio medio tra un veicolo e l'altro è stato di 25,18 secondi e in quella autunnale di 22,93 secondi, la percentuale della circolazione in colonna è stata rispettivamente del 33,41% e del 37,75%, mentre la velocità media dei veicoli registrata nei due periodi è stata di 26,93 e 27,17 Km/h;

3) le percentuali di veicoli pesanti e di veicoli di trasporto commerciale (transporter, che generalmente hanno motori diesel) in transito lungo l'asse viario considerato sono risultate significative (vedi **Figura 8** e **Figura 9**);

4) il confronto tra i flussi veicolari e gli ossidi di azoto (**Figura 11**, **Figura 12**, **Figura 13**) mostra un evidente influsso del traffico rispetto a questi inquinanti nella campagna condotta in autunno; durante questa campagna l'andamento temporale medio giornaliero dei flussi veicolari totali lungo via Torino mostra un picco nelle ore del mattino ed un altro nelle ore serali a cui corrispondono, anche se nel caso del picco serale risulta sfalsato di un paio d'ore, i picchi di massima concentrazione degli ossidi di azoto.

Durante la prima campagna condotta in primavera l'andamento dei flussi veicolari è molto simile a quella della seconda campagna ma si riscontra un minore influenza rispetto agli inquinanti; per gli ossidi di azoto infatti si evidenzia un iniziale incremento nelle ore del mattino fino alle ore 8 per poi scendere e rimanere costanti per il resto della giornata mentre i flussi di traffico registrano incrementi consistenti. Il diverso fenomeno osservato nelle due stagioni è da imputare alla maggiore instabilità atmosferica che si verifica nei mesi caldi e che determina una maggiore dispersione e diluizione degli inquinanti atmosferici;

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 relativamente elevata di veicoli pesanti e da trasporto commerciale, come nel caso in questione, ha un effetto rilevante sull'inquinamento atmosferico.

A titolo di esempio¹ si consideri che gli autoveicoli per il trasporto passeggeri con alimentazione diesel (quella più critica in termini di emissioni sia di particolato che di ossidi di azoto) di categoria da Euro 2 a Euro 4 hanno fattori di emissione che vanno da 0.6 a 0.9 g/km per gli ossidi di azoto e da 0.03 a 0.06 g/km per il particolato, mentre per i mezzi pesanti di analoga categoria (da Euro II a Euro IV) i fattori di emissione vanno rispettivamente da 2 a 7 g/km e da 0.01 (solo per gli Euro IV minori di 7.5 t) a 7.5 g/km. Va inoltre considerato che il biossido di azoto, oltre a costituire di per sé un inquinante atmosferico, è uno dei principali precursori del particolato di origine secondaria;

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 14**); 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 0.6 a 1.3 µg/m³ circa nel periodo primaverile e da 1.1 a 2.5 µg/m³ nel periodo invernale. Il benzene è presente nelle benzine come tale e si produce inoltre durante la combustione a partire soprattutto da altri idrocarburi aromatici.

¹ EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook — 2009 1.A.3.b Road transport GB2009 update May 2012 Tabelle 3.16-3-17-3.20 e 3.21

Figura 4: andamento orario traffico veicolare

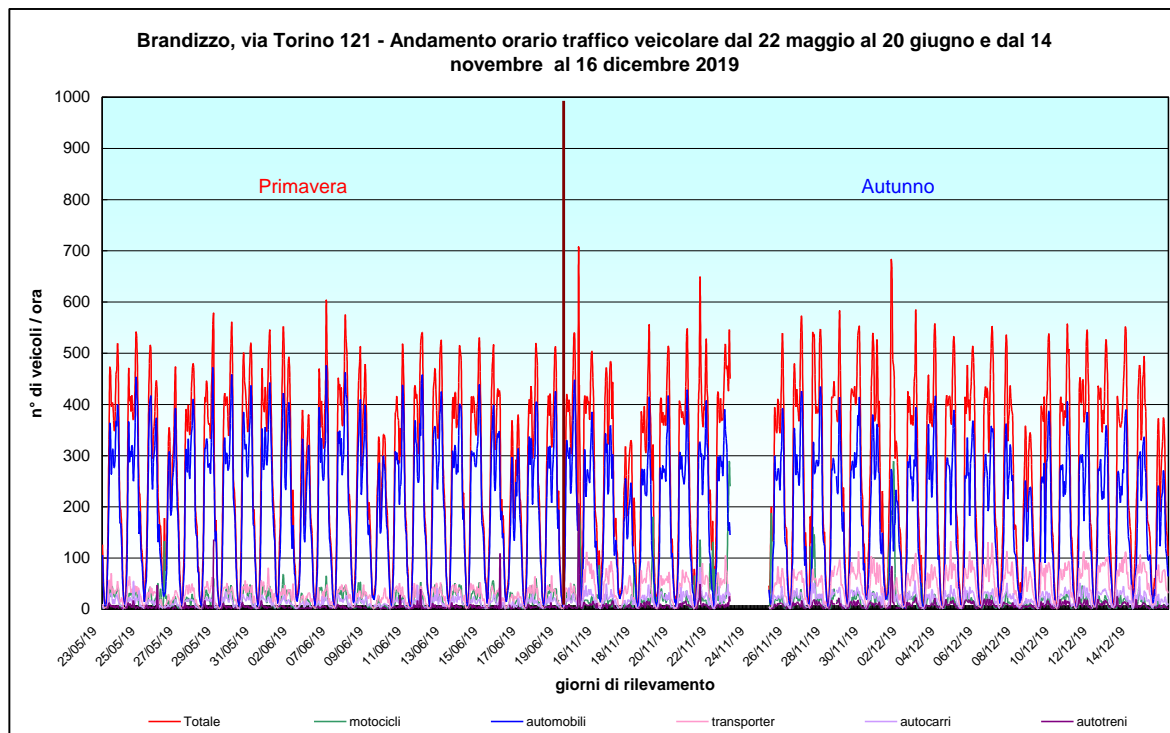


Figura 5: andamento giornaliero (solo giorni completi)

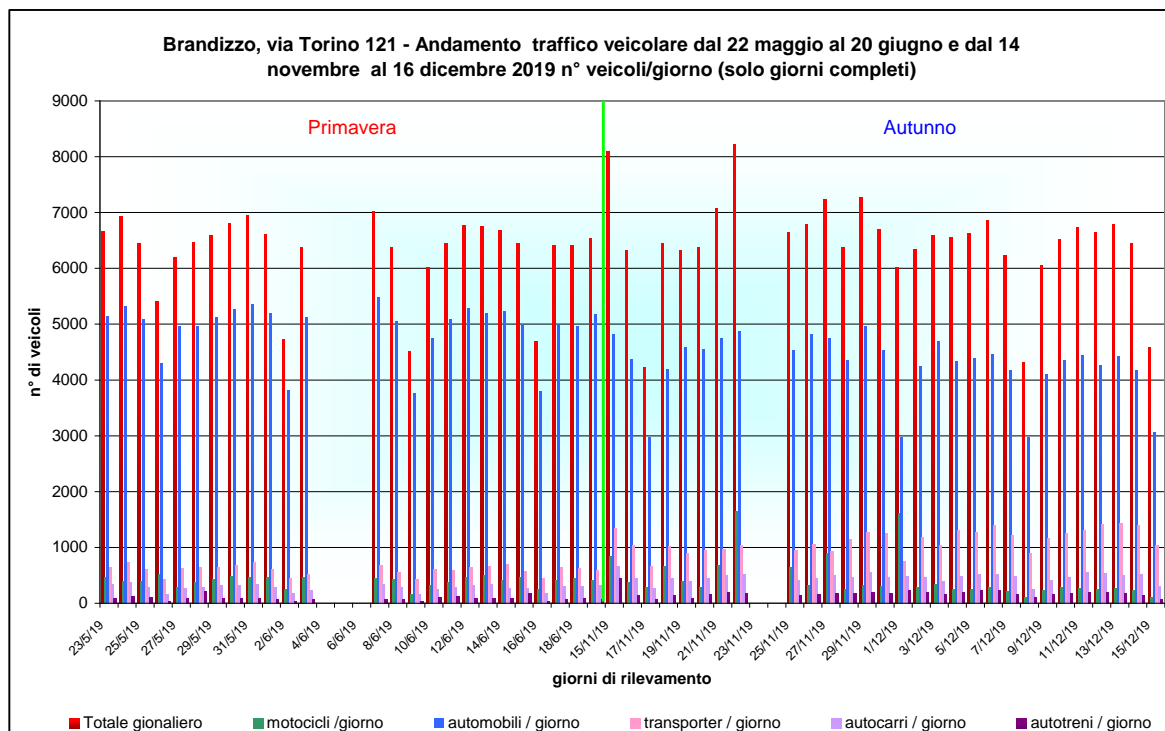


Figura 6: traffico veicolare grafico settimanale – Brandizzo c/o via Torino 121 (solo giorni completi) – campagna di primavera

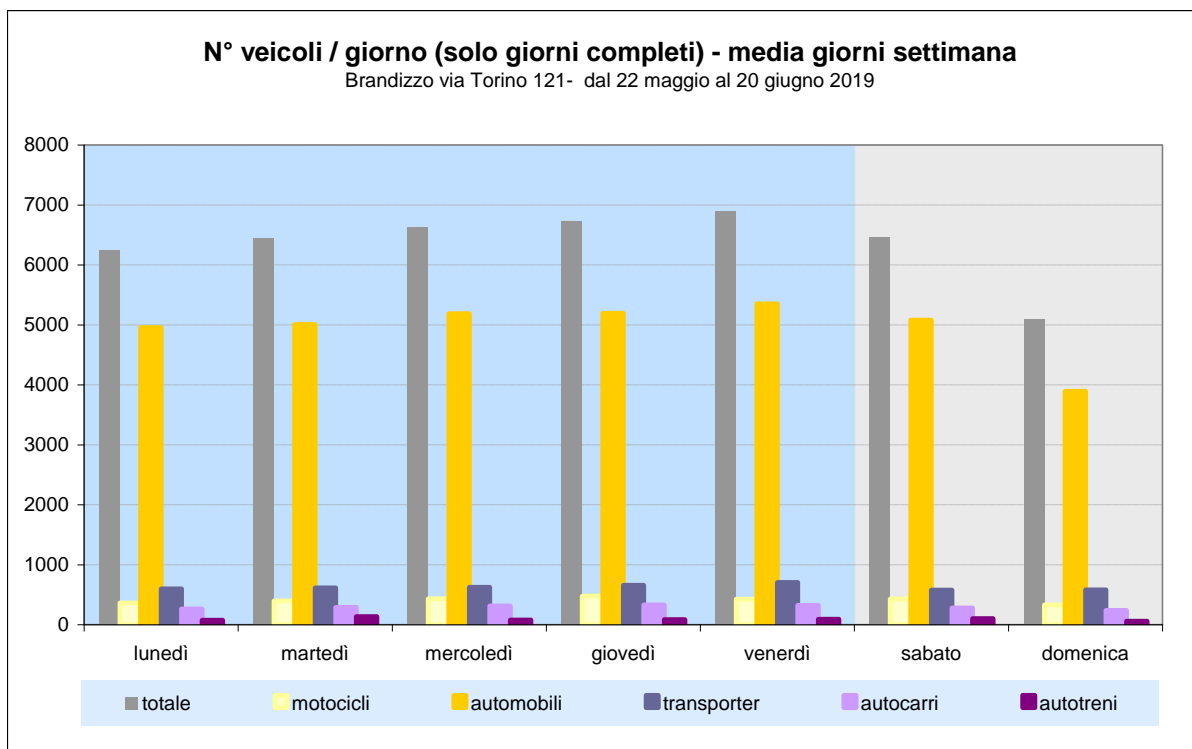


Figura 7: traffico veicolare grafico settimanale – Brandizzo c/o via Torino 121 (solo giorni completi) – campagna d'autunno

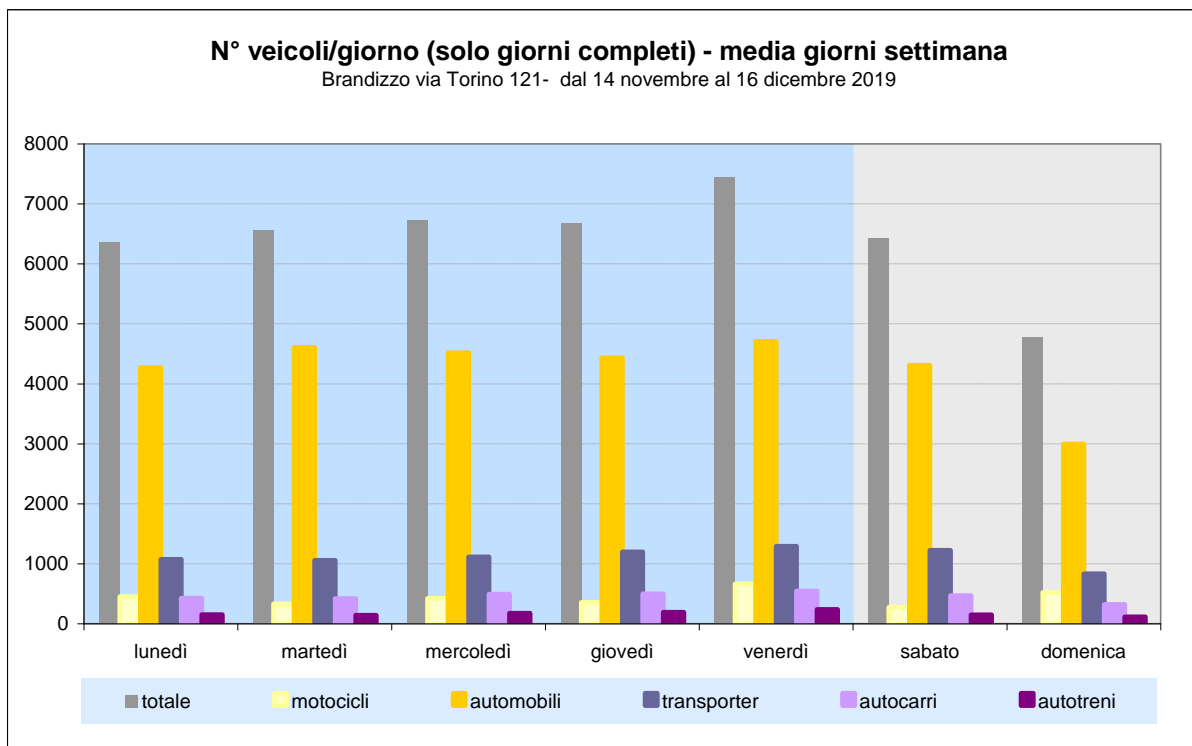


Figura 8: traffico veicolare – Brandizzo c/o via Torino 121 - valutazione di frequenza – 1ª campagna

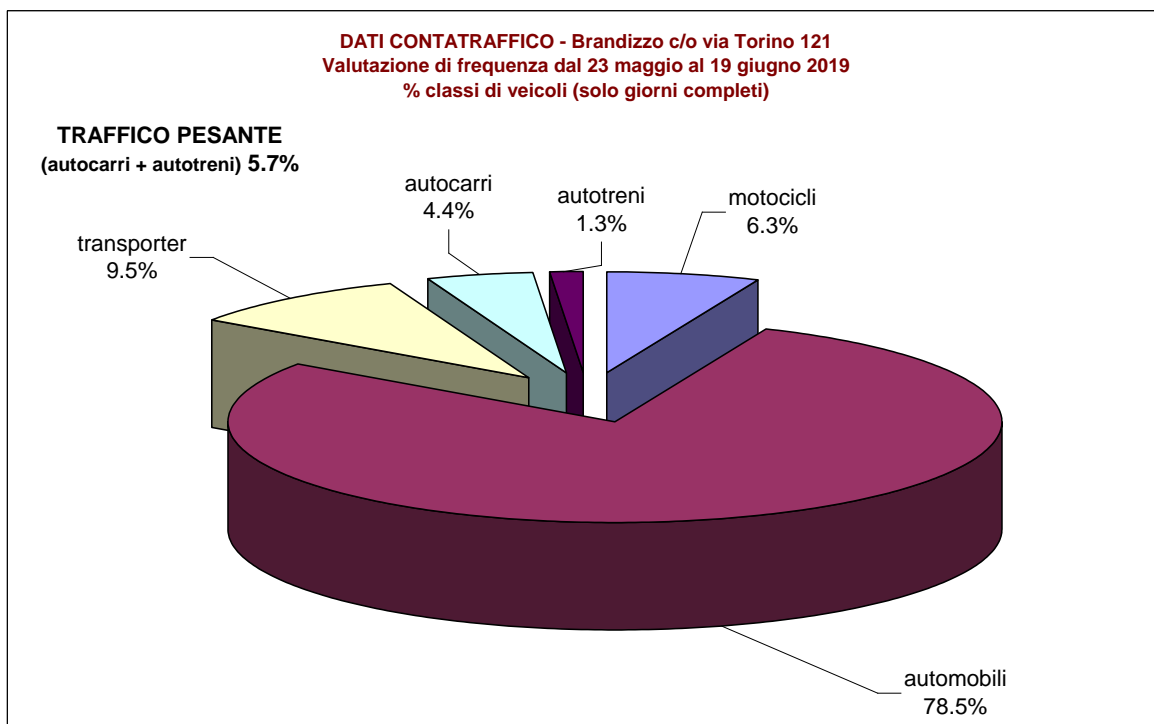


Figura 9: traffico veicolare – Brandizzo c/o via Torino 121 - valutazione di frequenza – 2ª campagna

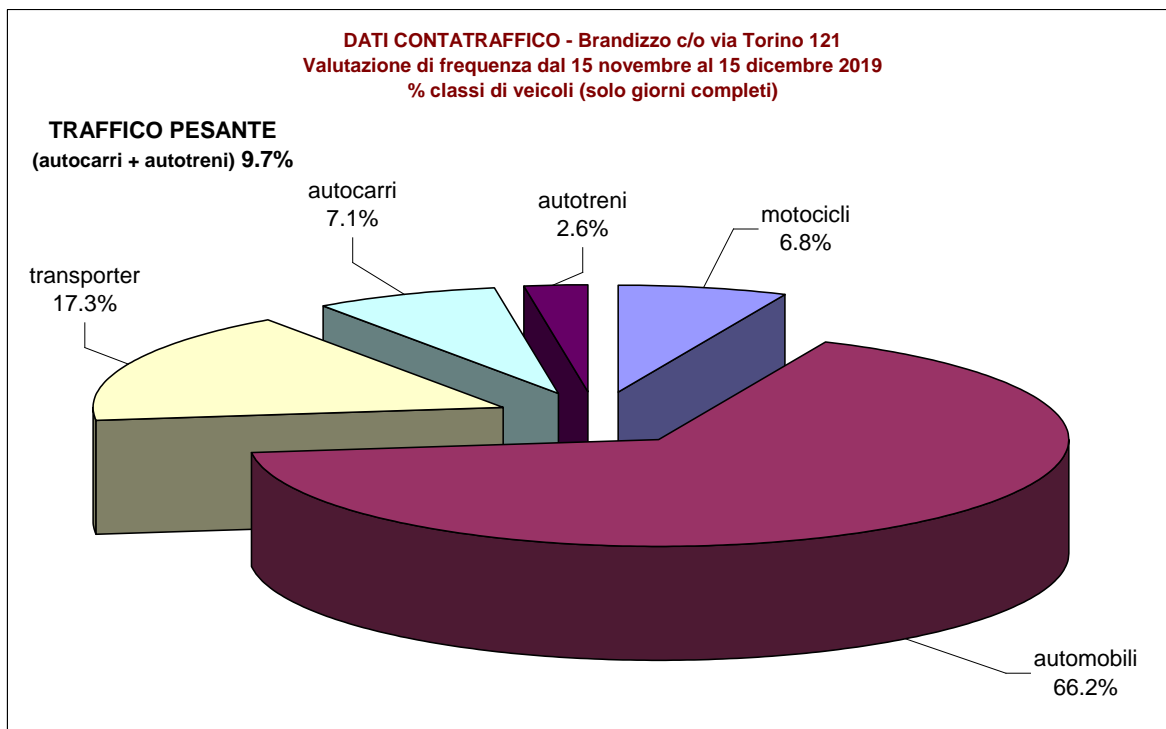


Figura 10: giorno medio flussi di traffico veicolare suddiviso in classi di veicoli in Brandizzo c/o via Torino 121

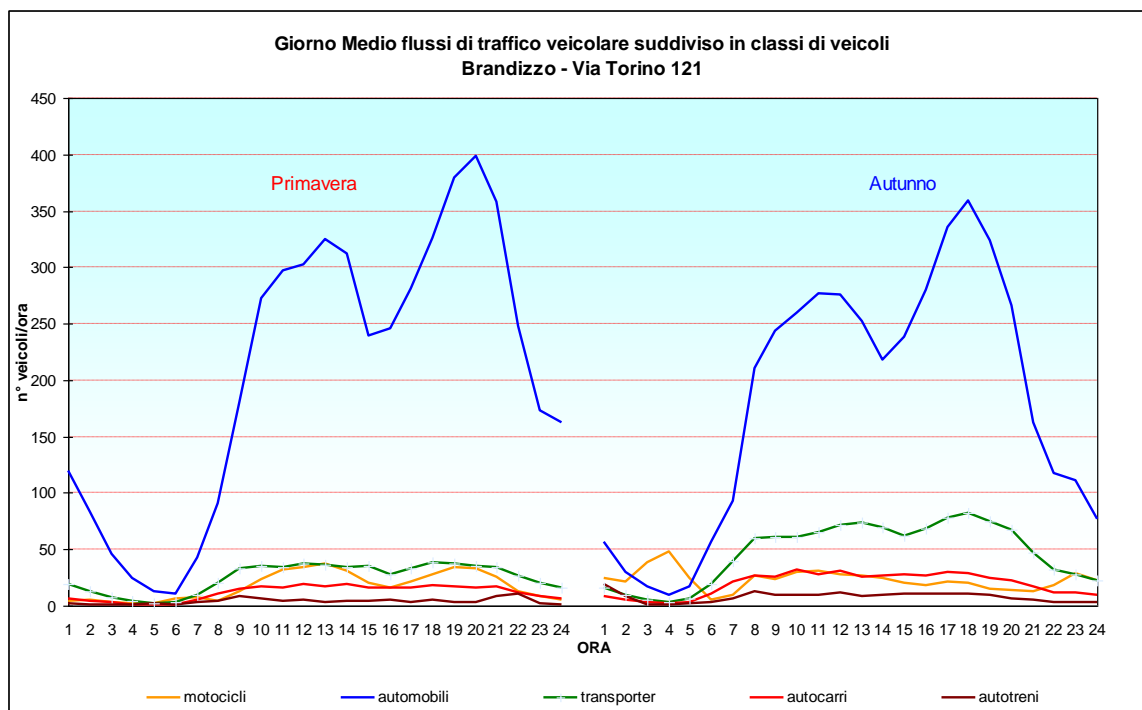


Figura 11: confronto giorno medio veicoli totali c/o via Torino 121 con giorno medio ossidi di azoto

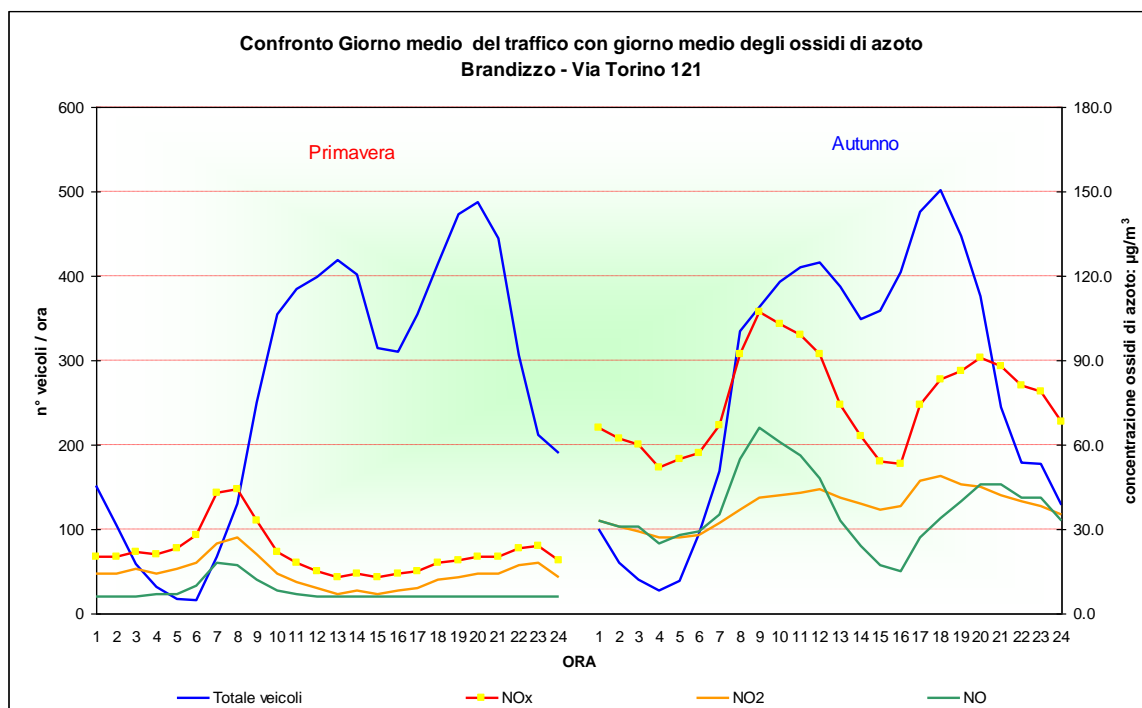


Figura 12: confronto giorno medio veicoli pesanti c/o via Torino 121 con giorno medio ossidi di azoto

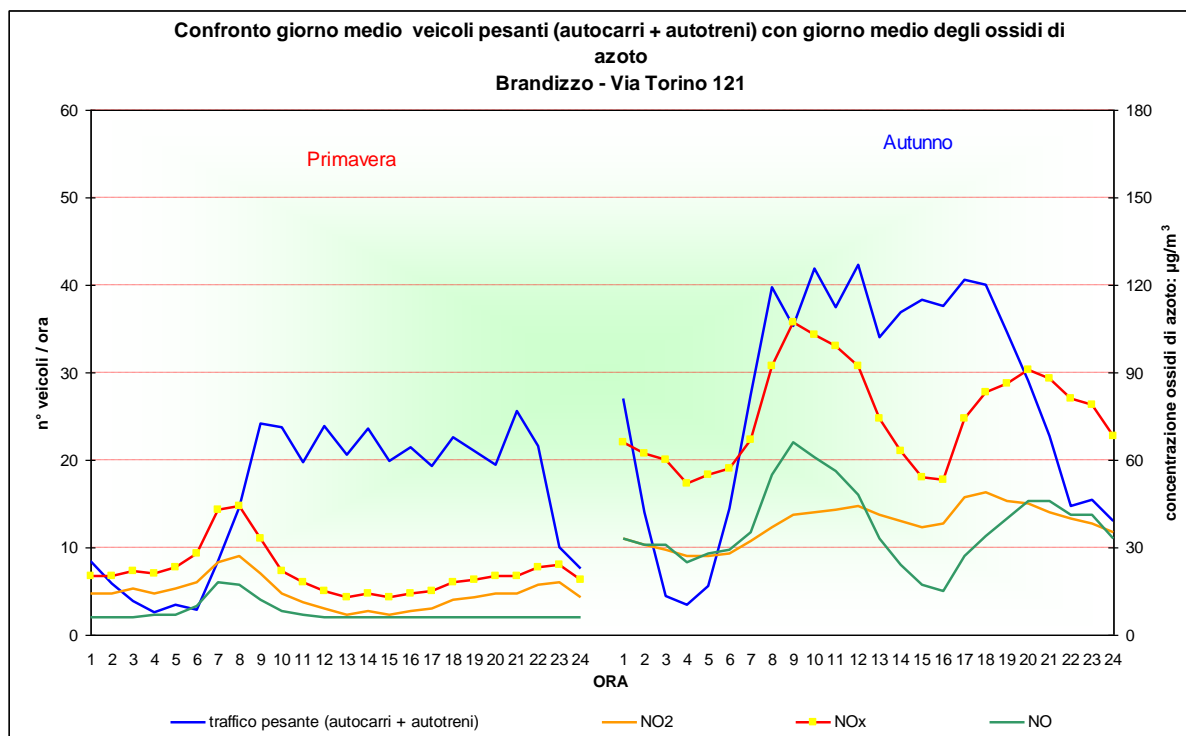


Figura 13: confronto giorno medio veicoli leggeri c/o via Torino 121 con giorno medio ossidi di azoto

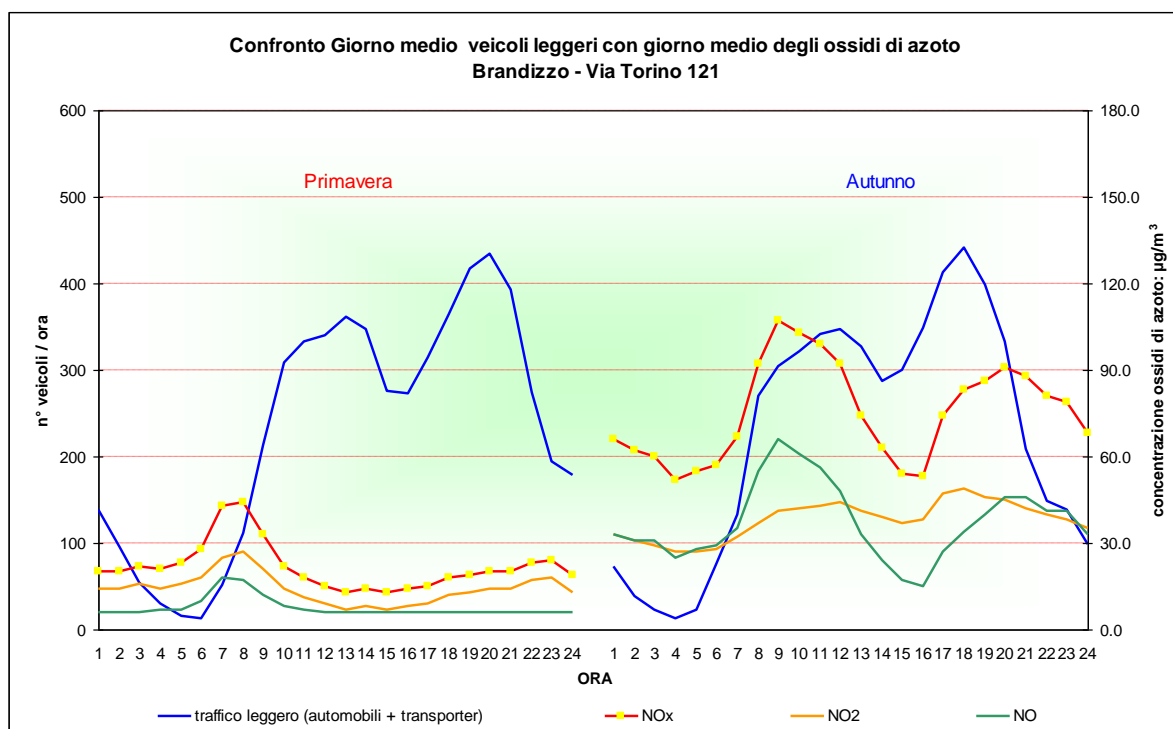
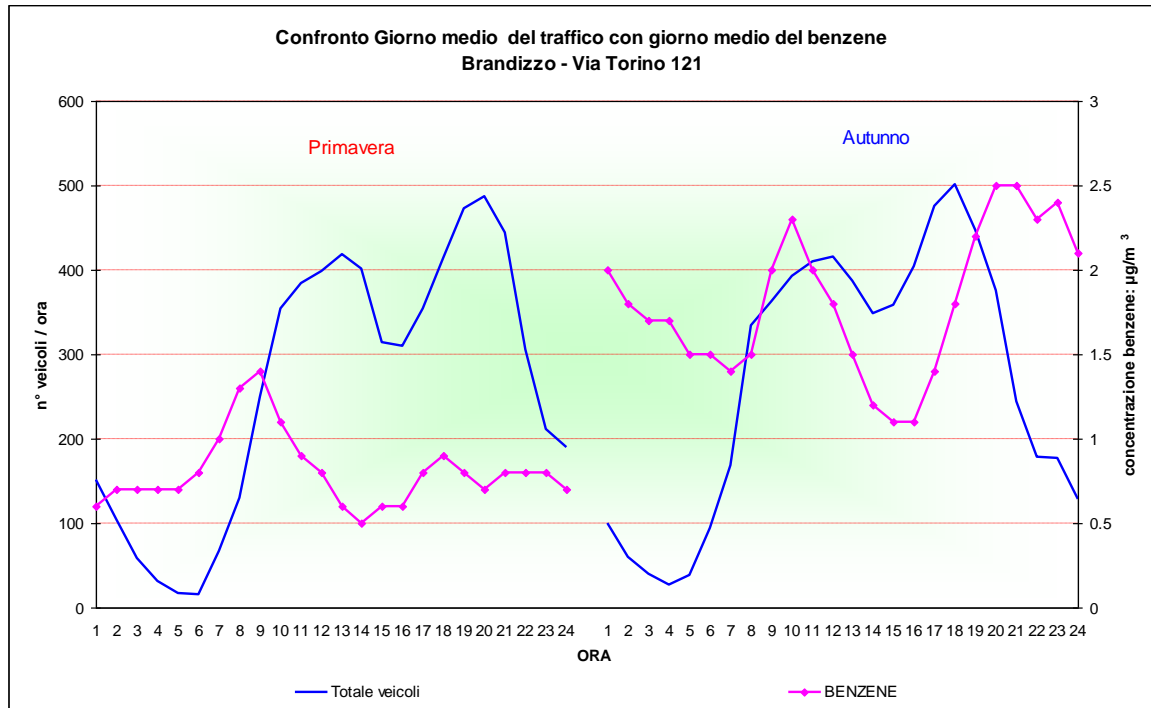


Figura 14: confronto giorno medio veicoli totale c/o SP161 via Torino 121 con giorno medio benzene



ELABORAZIONE DEI DATI METEOROLOGICI

Nelle pagine successive vengono presentate le elaborazioni statistiche e grafiche relative ai dati meteorologici registrati durante la campagna di monitoraggio. 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

Rispetto alle condizioni meteorologiche registrate in Piemonte nei mesi di maggio/giugno e novembre/dicembre 2019 si riportano di seguito le considerazioni generali riportate nelle relazioni climatiche redatte dal Servizio Meteo di Arpa Piemonte.

In Piemonte Maggio 2019 ha avuto un'anomalia termica negativa di circa 1.5°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è risultato il 5° mese di maggio più freddo nella distribuzione storica degli ultimi 62 anni. Ha interrotto una sequenza di 13 mesi consecutivi con temperature superiori alla norma. Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla media degli anni 1971-2000, con 102.4 mm medi ed un deficit di 28.6 mm (pari al 22%).

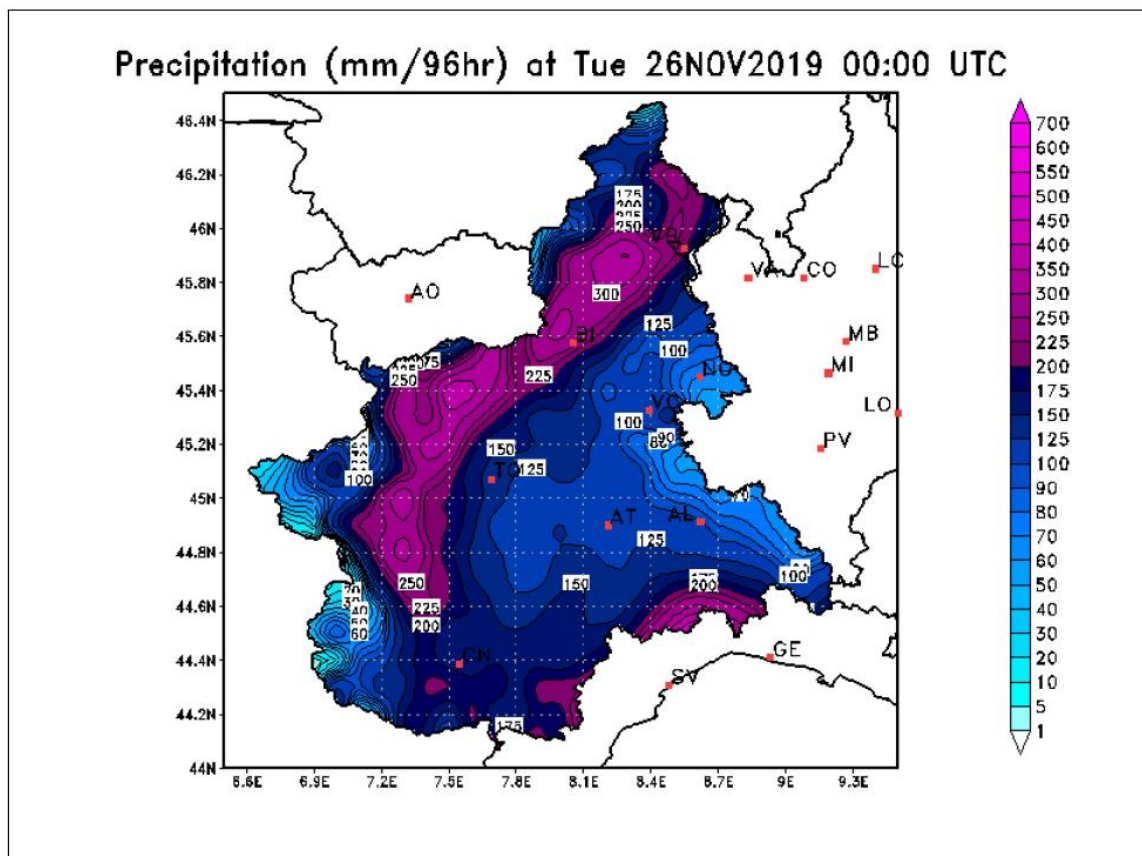
Giugno 2019 ha avuto un'anomalia termica positiva di circa 3°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è risultato il 3° mese di giugno più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 62 anni, dopo i corrispondenti mesi del 2003 e 2017. Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla media degli anni 1971-2000, con 60 mm medi ed un deficit di 36.1 mm (pari al 38%); giugno 2019 si pone al 13° posto tra i corrispondenti mesi più secchi degli ultimi 62 anni.

In Piemonte Novembre 2019 ha avuto una precipitazione media di 327.6 mm, superiore di 249 mm (pari al 317%) rispetto alla norma del periodo 1971-2000, risultando il 2° mese di novembre più piovoso degli ultimi 62 anni. Va sottolineato l'evento pluviometrico dei giorni 22-25 Novembre 2019, nel corso del quale si sono verificate precipitazioni intense e persistenti sul territorio piemontese con diffuse situazioni di criticità. Dal punto di vista termometrico Novembre 2019 ha avuto una temperatura media di circa 4.8°C con un'anomalia termica positiva di circa 0.6°C rispetto alla media del periodo 1971- 2000 ed è risultato il 26° mese di novembre più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 62 anni. Il 23 Novembre 2019 le precipitazioni hanno interessato tutto il territorio piemontese con valori forti, localmente molto forti e con 83.1 mm di precipitazione media sul Piemonte. Le piogge sono cadute su territori umidi a causa delle frequenti ed intense precipitazioni che si sono verificate negli ultimi 40 giorni e pertanto i livelli dei fiumi e torrenti hanno avuto una risalita repentina: fiumi Ceronda, Malone, Cervo e dal Po a San Sebastiano hanno raggiunto il livello di guardia.

Nel Torinese i corsi d'acqua hanno registrato un incremento diffuso dei livelli che ha comportato, in alcuni casi, il superamento dei livelli di guardia o di pericolo. Nel dettaglio, tra gli affluenti di sinistra del fiume Po, i torrenti Chisola e Malone hanno superato il livello di pericolo rispettivamente agli idrometri di Vinovo (TO) e di Brandizzo (TO).

Nella **Figura 15** vediamo la precipitazione caduta in 96 ore tra le ore 00 UTC del 22 e 00 UTC del 26 Novembre 2019, quindi in sostanza nei giorni 22-25 Novembre 2019. Le zone maggiormente interessate dalle precipitazioni sono state la fascia pedemontana settentrionale e nordoccidentale ed il settore appenninico in Città Metropolitana di Alessandria.

Figura 15: Precipitazione caduta in 96 ore tra le ore 00 UTC del 22 e del 26 Novembre 2019



In Piemonte Dicembre 2019 ha avuto una temperatura media di circa 3.8°C con un’anomalia termica positiva di circa 2.5°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è risultato il 3° mese di dicembre più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 62 anni. (fonte Arpa - Servizio Meteo).

Per motivi logistici il laboratorio mobile è stato posizionato in un’area dove la vicinanza delle alberature e 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 campagna di fine primavera il campo pressorio si è attestato tra 980 e 1000 mbar (**Figura 16**), con picco minimo il 28 maggio con 982 mbar e picco massimo il 31 maggio con 1004 mbar. Nei giorni della seconda campagna il campo pressorio ha oscillato tra 970 e 1000 mbar, con un picco massimo di 1004 mbar raggiunto tra il 3 e il 5 dicembre e un minimo di 966 il 13 dicembre.

Nel comune di Brandizzo, il valore medio della temperatura di tutto il periodo primaverile è stata di 22,5°C (**Tabella 5**); il valore massimo orario si è raggiunto il 19 giugno con un valore pari a 31,1°C; nella campagna autunnale la media registrata è stata di 6,2 °C con un massimo di 15,2°C il 25 novembre ed un minimo di -1,2°C raggiunto l’11 dicembre.

In **Figura 17** insieme all’andamento orario della temperatura è riportata anche l’umidità relativa, da cui emerge che 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 dal 22 al 24 luglio in corrispondenza degli eventi piovosi più significativi

del periodo si sono verificati i picchi di umidità, con un calo significativo della temperatura. Anche nel periodo invernale si osserva la medesima specularità osservata d'estate, ma ovviamente le temperature risultano più basse.

La **Figura 18** mostra l'andamento della radiazione solare globale (R.S.G.) e delle precipitazioni nel corso della seconda campagna di monitoraggio; nel corso della prima non è stato possibile effettuare la misurazione della R.S.G. in quanto il laboratorio mobile utilizzato è sprovvisto della strumentazione necessaria.

Durante la prima campagna (**Figura 19**) sono verificate delle piogge moderate nei giorni 25, 27 e 28 maggio.

Il periodo del tardo autunno è stato caratterizzato da una piovosità estesa: i dati pluviometrici indicano 25 giornate di pioggia (su 31 totali), di cui 10 di pioviggine, 6 caratterizzate da un livello di pioggia leggera e moderata, 2 di forte pioggia, 5 giornate con carattere di rovescio il 15, 19, 22 e 27 novembre ed il 1° di dicembre con livelli di pioggia tra i 12 e 24 mm al giorno; due giorni in particolare, il 23 e 24 novembre, sono state contraddistinte da eventi piovosi molto intensi con carattere di nubifragi e rispettivamente 78.2 e 40 mm di pioggia. In queste giornate ad elevata piovosità è corrisposto un notevole abbassamento della radiazione solare globale con valore diurno pari a circa 22 W/m², 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 250 e 300 W/m² circa.

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.

Tabella 5: Dati relativi ai parametri meteorologici nel corso delle campagne di monitoraggio

	RADIAZIONE SOLARE GLOBALE W/m ²		TEMPERATURA °C		UMIDITA' RELATIVA %		PRESSIONE ATMOSFERICA hPa		VELOCITA' VENTO m/s		PIOGGIA mm	
	Primav.	Autun.	Primav.	Autun.	Primav.	Autun.	Primav.	Autun.	Primav.	Autun.	Primav.	Autun.
Minima giornaliera	—	5.0	16.1	1.7	8.0	69.4	984.1	971.0	—	0.08	0.0	0.0
Massima giornaliera	—	49.5	24.8	11.1	87.8	98.6	1001.4	1002.5	—	2.10	0.3	3.3
Media delle medie giornaliere	—	29.0	20.5	6.2	63.8	89.8	992.8	989.3	—	0.40	0.0	0.3
Giorni validi	0	27	28	31	27	31	28	31	0	14	28	31
Percentuale giorni validi	0%	87%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	0%	45%	100%	100%
Media dei valori orari	—	30.8	20.5	6.2	64.2	89.8	992.8	989.3	—	0.37	0.0	0.3
Massima media oraria	—	315.0	31.1	15.2	99.3	99.0	1004.0	1004.0	—	4.00	3.4	8.6
Ore valide	0	684	672	744	661	744	672	744	0	541	672	744
Percentuale ore valide	0%	92%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	0%	73%	100%	100%

Figura 16: Pressione Atmosferica

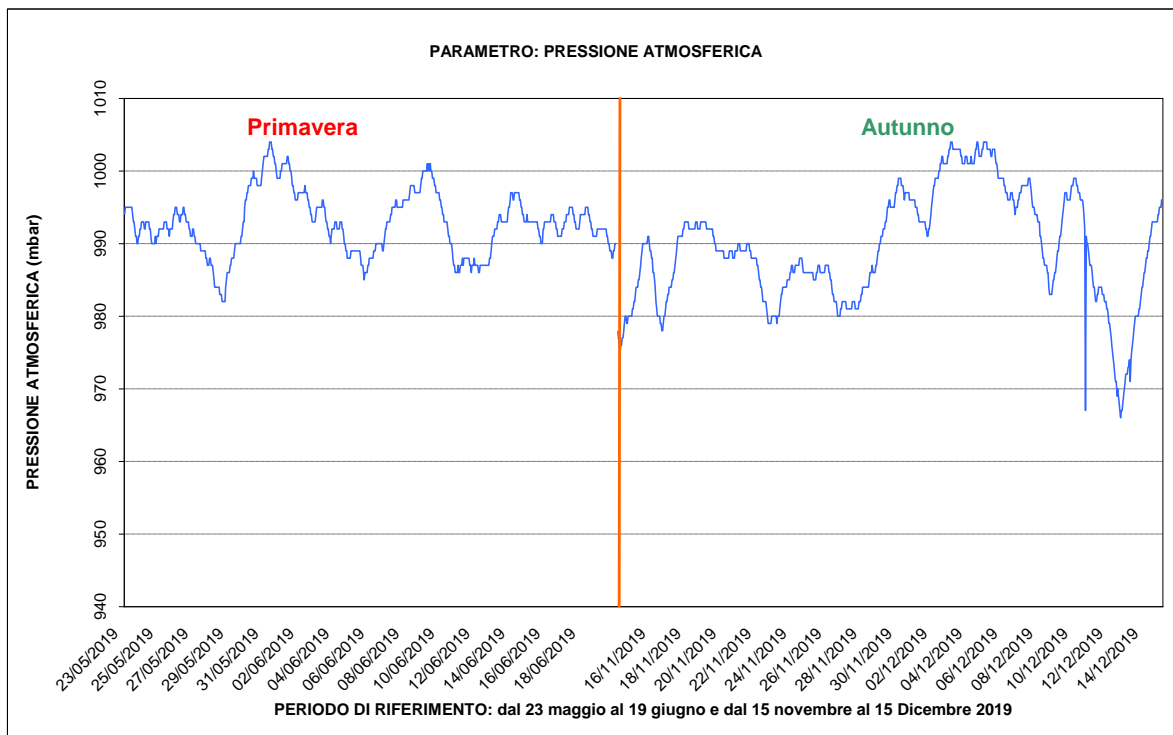


Figura 17: Umidità Relativa - Temperatura aria

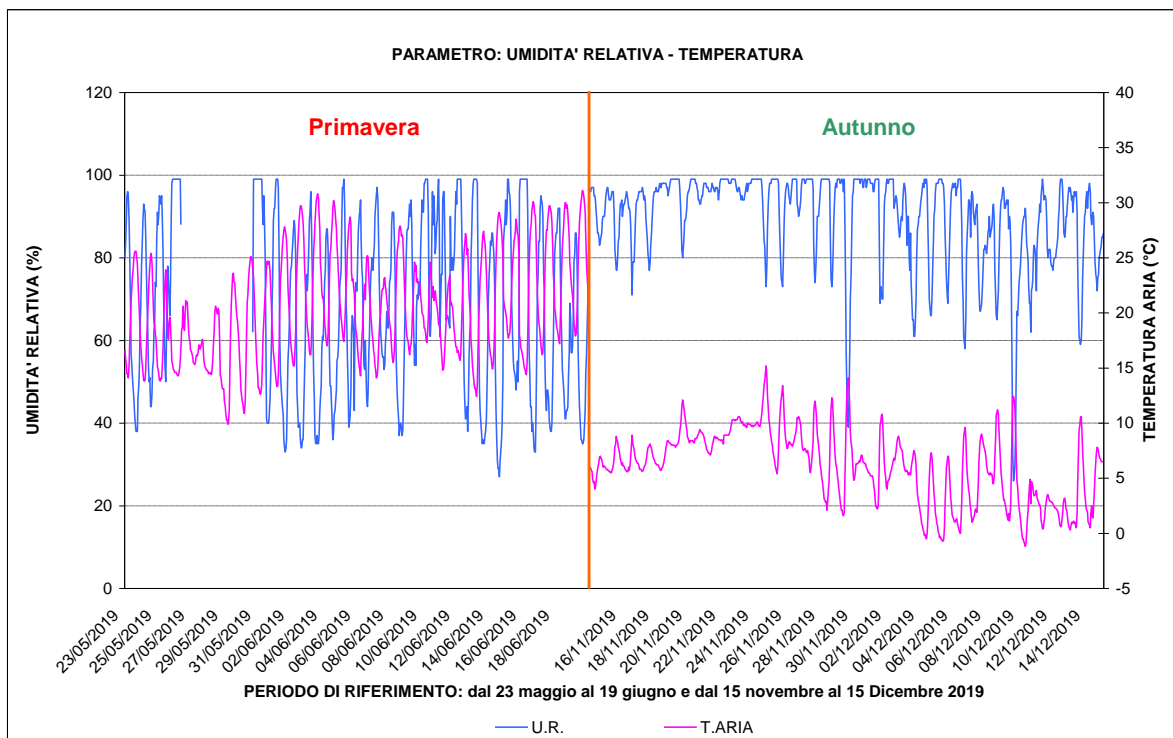


Figura 18: Radiazione Solare Globale e pioggia

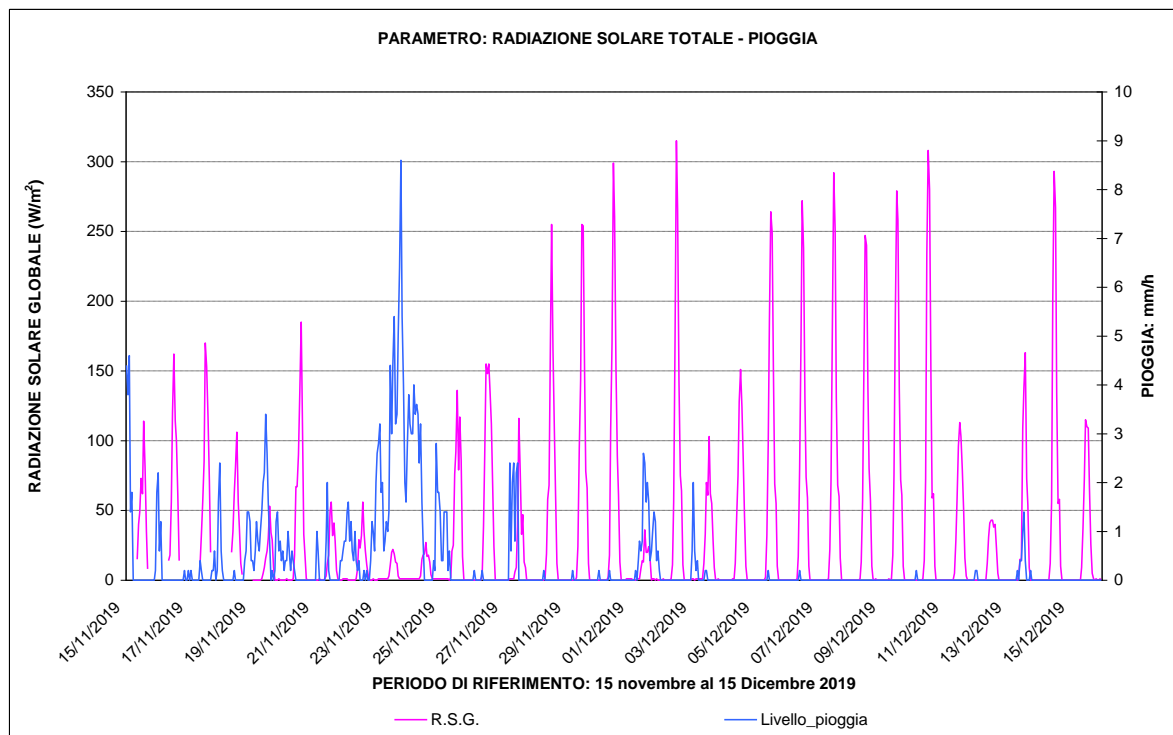
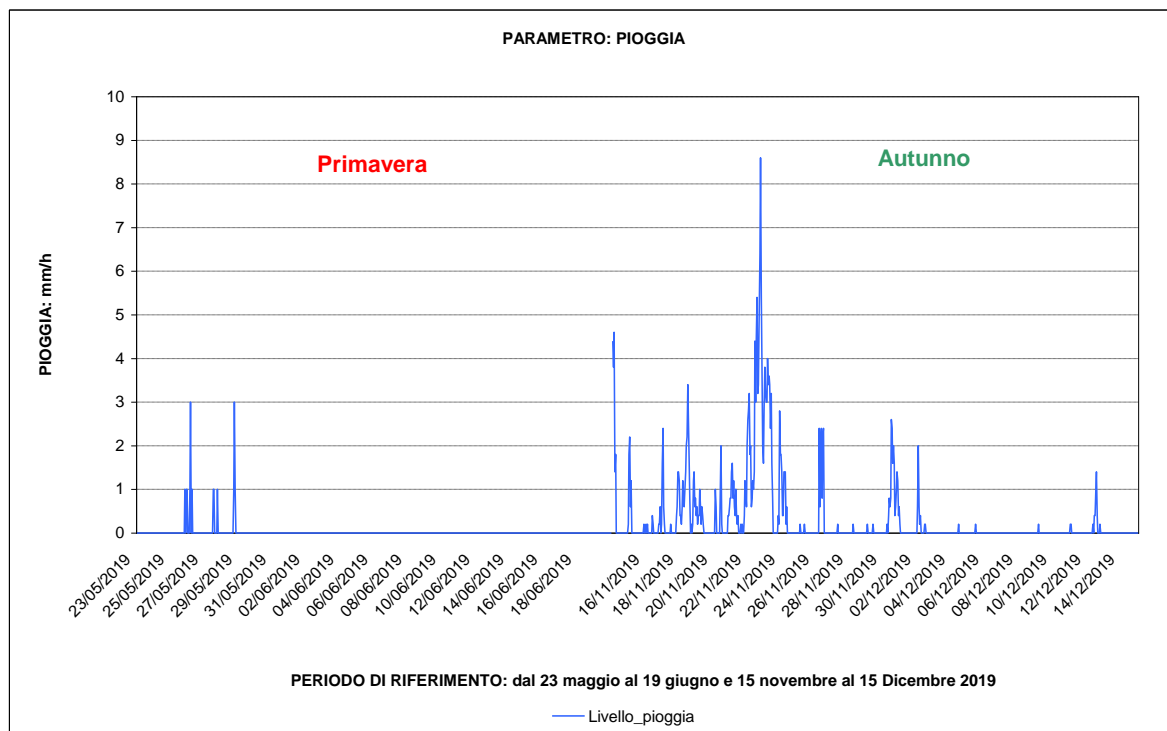


Figura 19: pioggia



ELABORAZIONE STATISTICHE E GRAFICHE RELATIVE AGLI INQUINANTI ATMOSFERICI

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: <http://www.regione.piemonte.it/ambiente/aria/rilev/datiarea2.htm> a disposizione per elaborazioni successive e/o per eventuali richieste di trasmissione da parte degli Enti interessati.

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 lo scrivente servizio 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: questo 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.

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 6**) hanno registrato un valore massimo orario pari a 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; la media dei valori orari risulta pari a 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si tratta pertanto di valori bassi, tipici della stagione calda.

Tale fenomeno risulta equivalente nelle stazioni poste a confronto, indicando come le dinamiche dell'atmosfera siano fondamentali nella formazione e accumulo degli inquinanti e gli ossidi di azoto sono caratteristici prevalentemente del periodo freddo dell'anno.

Nella seconda campagna le concentrazioni hanno registrato una media di 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ed un valore massimo orario di 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda il confronto con altre stazioni della rete della Città Metropolitana di Torino (**Figura 20** e **Figura 21**) la campagna di fine autunno, nella quale si sono registrati i valori più elevati e pertanto più rappresentativi, ha evidenziato livelli e andamento un po' più alti di quelli di Borgaro, stazione di fondo extraurbana e più bassi di quelli di Torino-Consolata, stazione di traffico urbana.

Nella **Figura 21** 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 umane ed in particolare del traffico veicolare, di cui gli NOx rappresentano un buon tracciante.

In primavera invece il profilo del giorno medio presenta solo il picco mattutino in quanto a seguito del soleggiamento il monossido di azoto viene convertito in biossido di azoto.

Tabella 6: Dati relativi al monossido di azoto (NO) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Primavera	Autunno
Minima media giornaliera	6	4
Massima media giornaliera	12	90
Media delle medie giornaliere:	8	37
Giorni validi	27	31
Percentuale giorni validi	96%	100%
Media dei valori orari	8	37
Massima media oraria	56	195
Ore valide	659	741
Percentuale ore valide	98%	100%

Figura 20: NO - medie orarie confronto con alcune stazioni della rete fissa

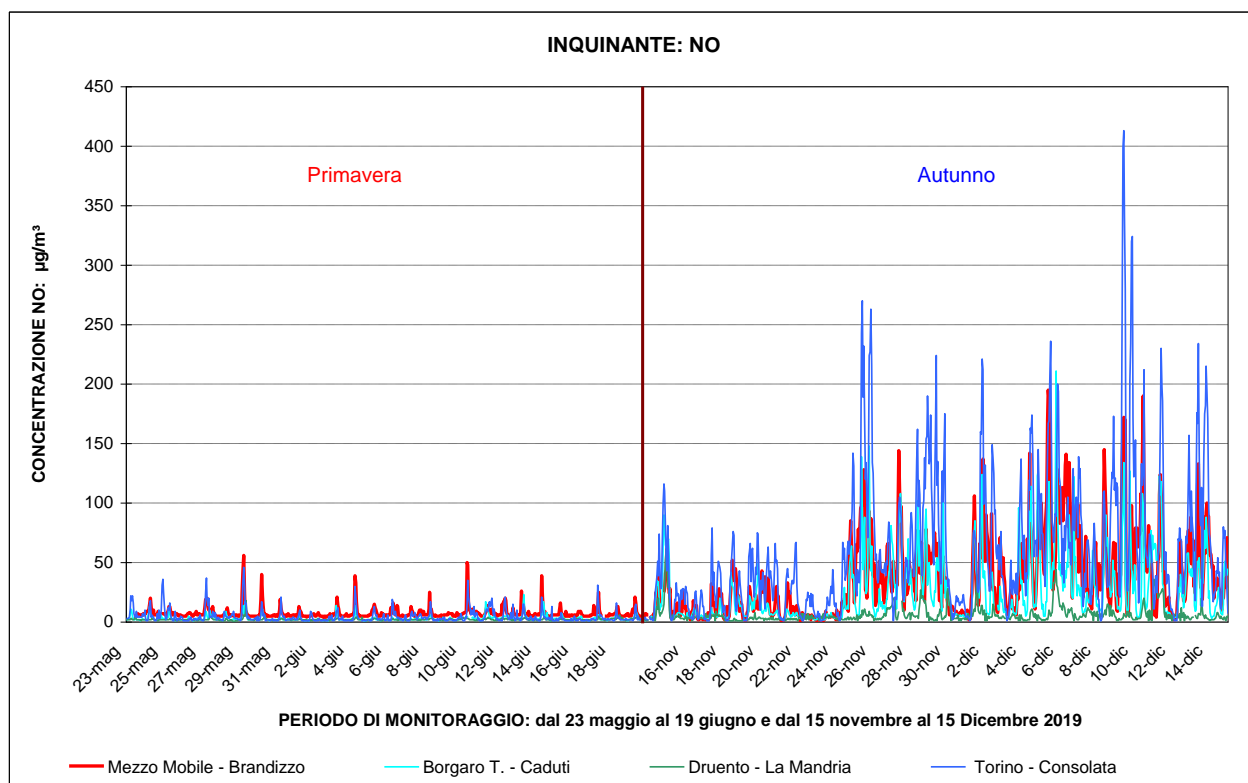
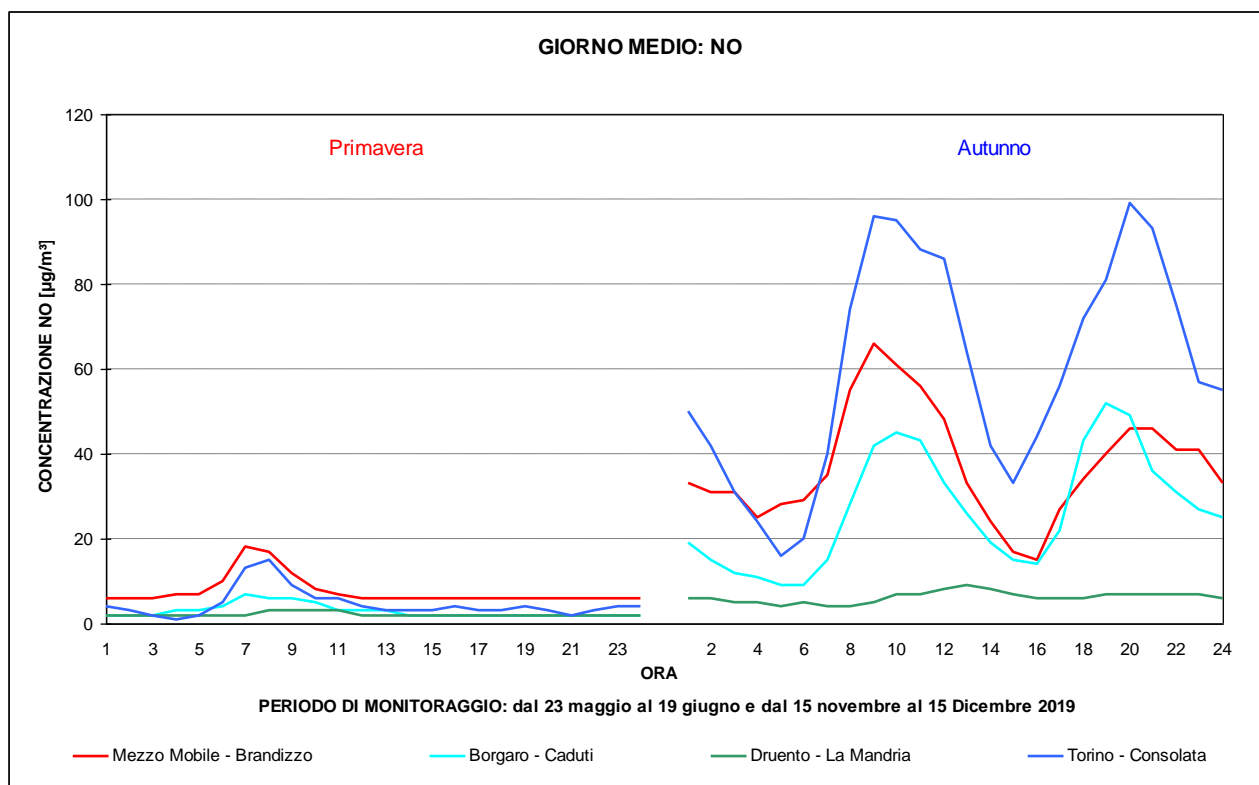


Figura 21: NO - giorno medio confronto con alcune stazioni della rete fissa



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'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, ("Le emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia dal 1990 al 2000", APAT 2003), risulta che nell'anno 2000 il fattore di emissione medio di NO_x su percorso urbano stimato per le autovetture ammonta a 1,070 g/veic*km, per i veicoli commerciali leggeri è 2,338 g/veic*km, mentre per i veicoli commerciali pesanti (>3,5 t) e i bus il fattore di emissione è pari a 12,014 g/veic*km.

Per quello che riguarda l'NO₂ (**Tabella 10**), durante le campagne di monitoraggio nel comune di Brandizzo 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 50 µg/m³ (prima campagna) e di 86 µg/m³ (seconda campagna).

La **Figura 24** e la **Figura 25** permettono di confrontare i dati delle campagne condotte con il mezzo mobile con quelli provenienti da alcune stazioni della rete fissa di monitoraggio: nel confronto è evidente che sia le medie orarie che il giorno medio di Brandizzo presentano concentrazioni più basse rispetto a quelle di Torino-Consolata e più alte di Druento, cabina classificata di fondo rurale; gli andamenti ed i livelli di massimi e minimi risultano confrontabili con quelli di Borgaro, cabina di fondo suburbano.

Nella **Figura 22** e nella **Figura 23** 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 2019 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° percentile² 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 7** e nella **Tabella 8** sono riportate le concentrazioni medie, mediane e massime registrate durante le due campagne di monitoraggio presso il sito di Brandizzo 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, in entrambe le campagne, una situazione molto simile a quella di Settimo, stazione di traffico urbano con concentrazioni inferiori alle altre stazioni di traffico urbano e fondo urbano e superiori rispetto al sito di fondo rurale (Baldissero), fondo suburbano (Chieri e Borgaro) e traffico suburbano (Oulx).

² 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.

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.

Considerato 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 2019 e durante i periodi delle due campagne hanno raggiunto il 90% dei dati validi. Rapportando per 43 siti della RRQA (**Tabella 9**) il valore della concentrazione media del 2019 di NO₂, alla concentrazione media calcolata nei giorni delle due campagne svolte a Brandizzo, è stata costruita la retta di interpolazione di **Figura 26**. Il coefficiente di determinazione R² trovato - pari a 0.95 - evidenzia che la correlazione tra i dati è altamente significativa. Con questo metodo è stato così possibile prevedere una concentrazione media annuale per Brandizzo, riferita al 2019, di 27 µg/m³, inferiore al limite annuale di 40 µg/m³.

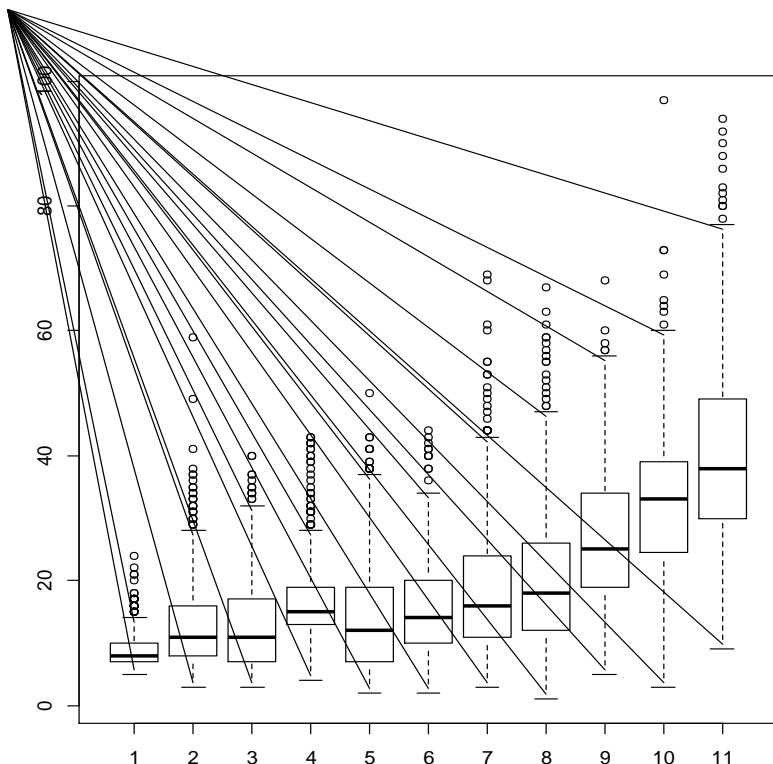
Tabella 7: confronto tra le concentrazioni medie, mediane e massime rilevate a Brandizzo con il laboratorio mobile e presso le stazioni della rete Città Metropolitanale durante la 1^a campagna (tra parentesi è indicata la tipologia delle stazioni: FR= fondo-rurale; FS= fonto-suburbano; FU= fondo-urbano; TS= traffico-suburbano; TU= traffico-urbano)

	Media	Mediana	Massimo
Baldissero T.(FR)	9	8	24
Borgaro (FS)	13	11	59
Chieri (FS)	13	11	40
Mezzo Mobile- Brandizzo	14	12	50
Settimo T. (TU)	15	14	44
Oulx (TS)	17	15	43
Torino- Lingotto (FU)	19	16	69
Torino- Rubino (FU)	20	18	67
Collegno (TU)	27	25	68
Carmagnola (TU)	32	33	97
Torino- Consolata (TU)	40	38	64

Tabella 8: confronto tra le concentrazioni medie, mediane e massime rilevate a Brandizzo con il laboratorio mobile e presso le stazioni della rete Città Metropolitanale durante la 2^a campagna (tra parentesi è indicata la tipologia delle stazioni: FR= fondo-rurale; FS= fonto-suburbano; FU= fondo-urbano; TS= traffico-suburbano; TU= traffico-urbano)

	Media	Mediana	Massimo
Baldissero T. (FR)	24	21	70
Chieri (FS)	24	23	68
Oulx (TS)	26	23.5	87
Borgaro (FS)	33	32	85
Mezzo Mobile- Brandizzo	38	38	86
Carmagnola (TU)	40	39	111
Settimo T. (TU)	41	41	103
Torino- Rubino (FU)	43	42	103
Torino- Lingotto (FU)	55	54	116
Collegno (TU)	62	59	189
Torino- Consolata (TU)	62	61	147

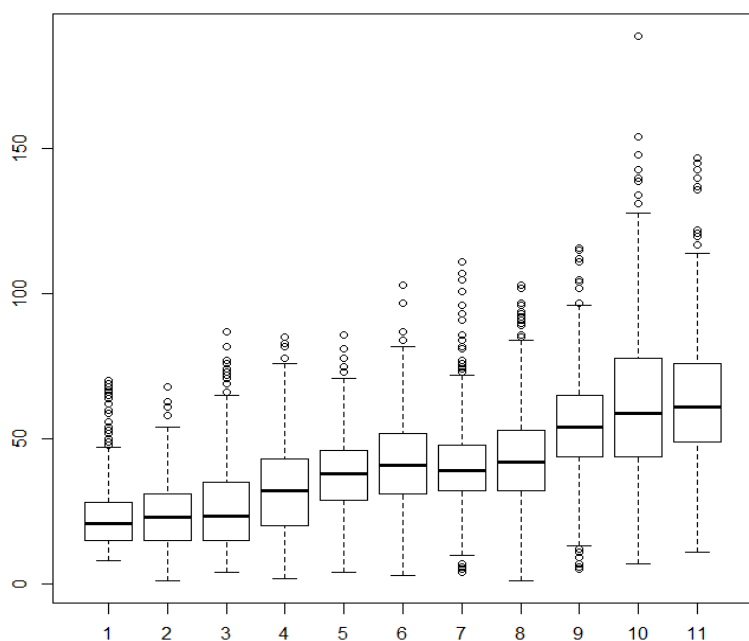
Figura 22: box plot dati orari NO₂ - 1^a campagna



Confronto tra le distribuzioni orarie rilevate con il laboratorio mobile a Brandizzo e presso le centraline della Città Metropolitana di Torino dal 22 maggio al 20 giugno 2019

- 1= Baldissero T.
- 2= Borgaro
- 3= Chieri
- 4= Oulx
- 5= Brandizzo-Mezzo Mobile
- 6= Settimo T.
- 7= Torino-Lingotto
- 8= Torino-Rubino
- 9= Collegno
- 10= Carmagnola
- 11= Torino-Consolata

Figura 23: box plot dati orari NO₂ - 2^a campagna



Confronto tra le distribuzioni orarie rilevate con il laboratorio mobile a Brandizzo e presso le centraline della Città Metropolitana di Torino dal 14 novembre al 16 dicembre 2019

- 1= Baldissero T.
- 2= Chieri
- 3= Oulx
- 4= Borgaro
- 5= Brandizzo-Mezzo Mobile
- 6= Settimo T.
- 7= Carmagnola
- 8= Torino-Rubino
- 9= Torino-Lingotto
- 10= Collegno
- 11= Torino-Consolata

Tabella 9: NO₂ - confronto medie del periodo di monitoraggio con medie annuali 2019 nelle stazioni della Rete Regionale di Qualità dell'Aria (RRQA)

Stazione	I° Campagna	II° Campagna	Media I° e II° Campagna	Media Anno 2019
Dernice - Costa	5	15	10	9
Saliceto - Moizo	4	12	8	10
Druento - La Mandria	6	15	11	11
Trivero - Ronco	7	15	11	11
Revello - Staffarda	9	14	12	11
Pieve Vergonte - Industria	6	19	13	11
Vinchio - San Michele	5	21	13	13
Baldissero T.(ACEA) - parco	9	24	17	15
Borgosesia - Tonella	8	20	14	16
Alba - Tanaro	11	23	17	18
Biella - Sturzo	8	29	19	18
Vercelli - CONI	10	29	20	19
Verbania - Gabardi	12	28	20	20
Domodossola - Curotti	13	31	22	20
Chieri - Bersezio	13	24	19	21
Oulx - Roma	17	26	22	21
Castelletto T. - Fontane	17	26	22	23
Cuneo - Alpini	13	30	22	23
Asti - D'Acquisto	13	32	23	23
Casale M.to - Castello	12	35	24	24
Borgaro T. - Caduti	13	33	23	25
Alessandria - Volta	14	33	24	25
Cerano - Bagno	14	35	25	25
Mondovi' - Aragno	17	34	26	25
Bra - Madonna Fiori	17	36	27	25
Mezzo Mobile - Brandizzo (*)	14	38	26	27
Vercelli - Gastaldi	17	32	25	28
Tortona - Carbone	16	36	26	29
Borgomanero - Molli	17	39	28	29
Trecate - Verra	12	47	30	29
Novi Ligure - Gobetti	21	38	30	30
Biella - Lamarmora	18	49	34	30
Beinasco (TRM) - Aldo Mei	18	34	26	31
Orbassano - Gozzano	18	47	33	31
Omegna - Crusinallo	30	36	33	31
Alessandria - D'Annunzio	22	33	28	32
Torino - Rubino	20	43	32	33
Oleggio - Gallarate	26	39	33	33
Carmagnola - I Maggio	32	40	36	34
Novara - Roma	23	41	32	35
Settimo T. - Vivaldi	15	41	28	36
Torino - Lingotto	19	55	37	37
Collegno - Francia	27	62	45	46
Torino - Consolata	40	62	51	53

(*)= medie annuali stimate

stazioni della Città Metropolitana di Torino

Tabella 10: Dati relativi al biossido di azoto (NO_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Primavera	Autunno
Minima media giornaliera	9	16
Massima media giornaliera	21	56
Media delle medie giornaliere	14	38
Giorni validi	27	31
Percentuale giorni validi	96%	100%
Media dei valori orari	14	38
Massima media oraria	50	86
Ore valide	659	741
Percentuale ore valide	98%	100%
<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

Figura 24: NO_2 - confronto con i limiti di legge e con i dati delle stazioni fisse di Borgaro Druento, e Torino-Consolata

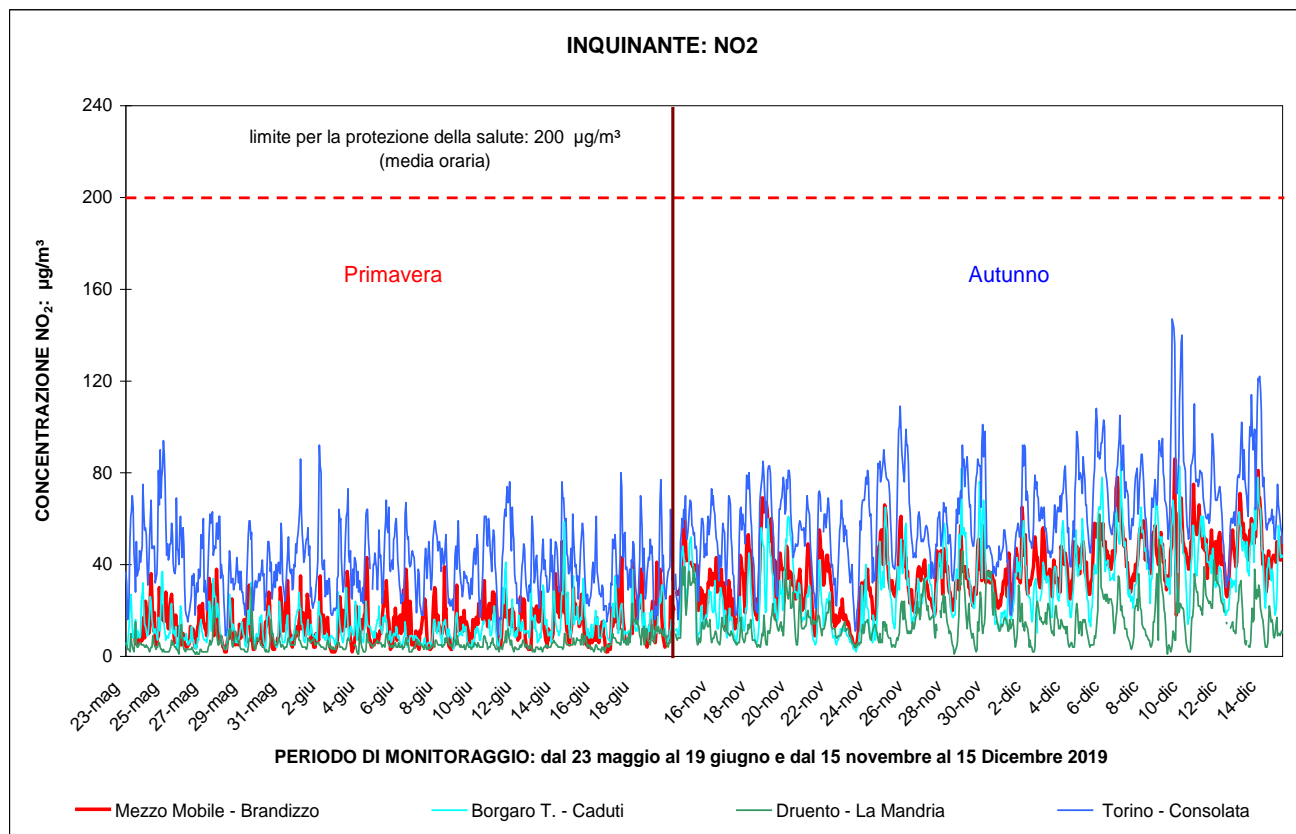


Figura 25: NO₂ - andamento del giorno medio

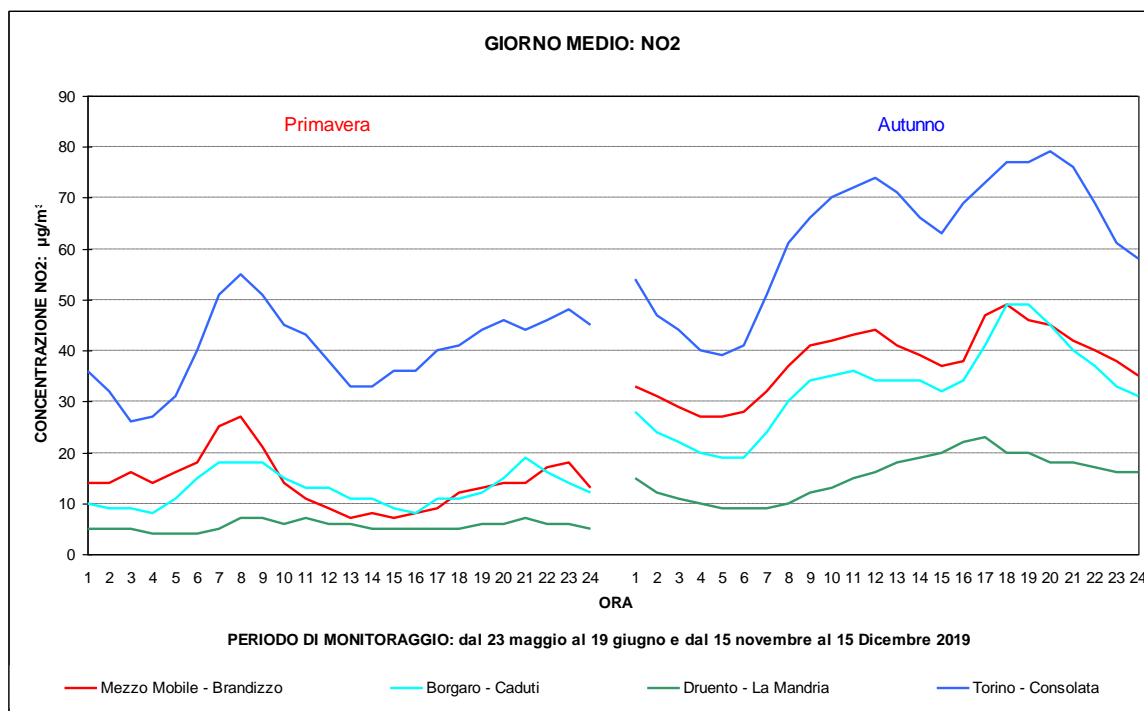
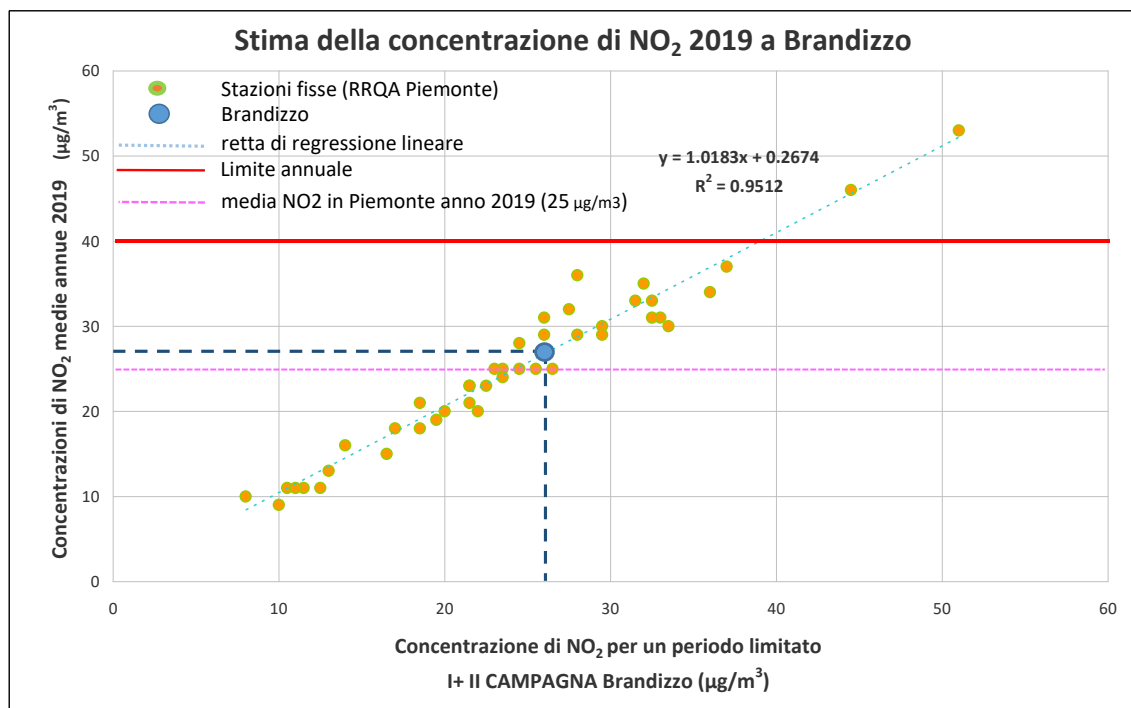


Figura 26: NO₂ - stima della concentrazione annuale a Brandizzo



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/m^3); 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 carbossemoglobina, 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 ventennio, 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 Brandizzo (**Tabella 11**) confermano tale andamento osservato su scala regionale. La normativa prevede un limite di $10 \text{ mg}/\text{m}^3$, calcolato come media su otto ore consecutive, il quale è ampiamente rispettato visto che il valore massimo su otto ore è pari a $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$, nel periodo primaverile, e $2.3 \text{ mg}/\text{m}^3$ in quello autunnale (**Figura 27**); questo limite non è raggiunto neppure su base oraria (il massimo valore orario è stato di 0.6 e $2.9 \text{ mg}/\text{m}^3$ nelle due rispettive campagne).

La **Figura 28** 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 28** e **Figura 29**) indica concentrazioni simili inferiori rispetto a quelle di Torino-Rebaudengo, stazione di traffico urbano.

Tabella 11: Dati relativi al monossido di carbonio (CO) (mg/m³)

	Primavera	Autunno
Minima media giornaliera	0.2	0.6
Massima media giornaliera	0.3	2.1
Media delle medie giornaliere (b):	0.2	1.3
Giorni validi	28	30
Percentuale giorni validi	100%	97%
Media dei valori orari	0.2	1.3
Massima media oraria	0.6	2.9
Ore valide	666	723
Percentuale ore valide	99%	97%
Minimo medie 8 ore	0.1	0.4
Media delle medie 8 ore	0.2	1.3
Massimo medie 8 ore	0.5	2.3
Percentuale medie 8 ore valide	98%	97%
<u>Numero di superamenti livello protezione della salute su medie 8 ore (10)</u>	0	0
<u>Numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (max media 8h > 10)</u>	0	0

Figura 27: CO - confronto con il limite di legge (media trascinata sulle 8 ore)

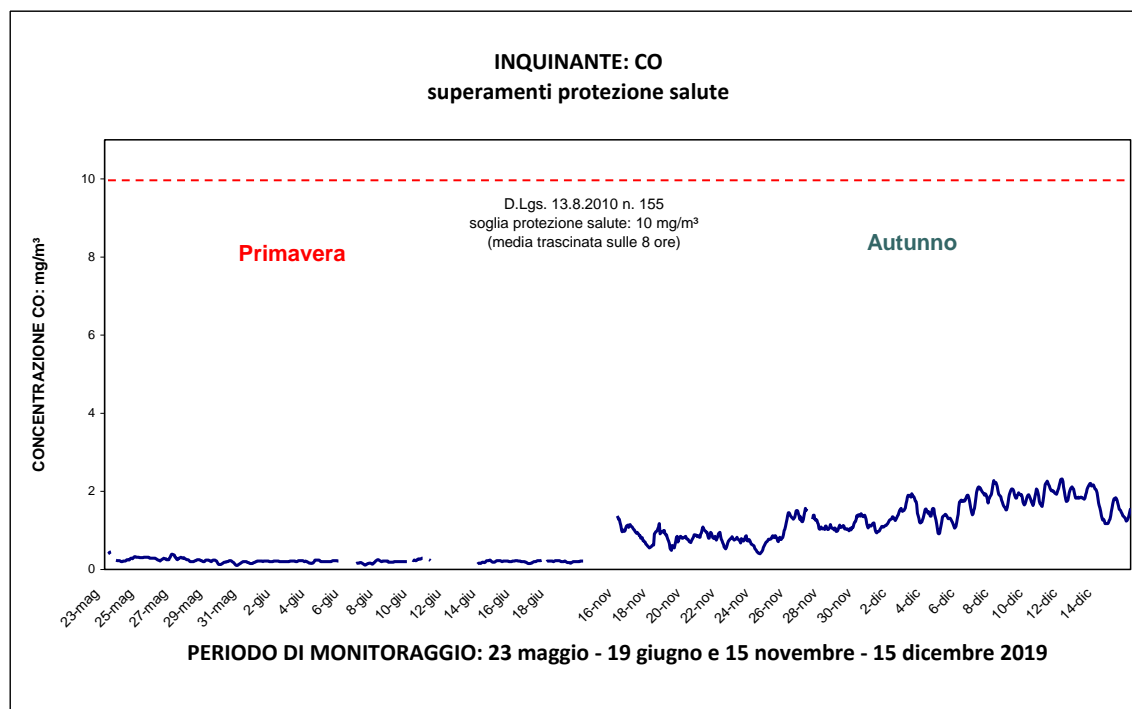


Figura 28: CO - andamento medie orarie

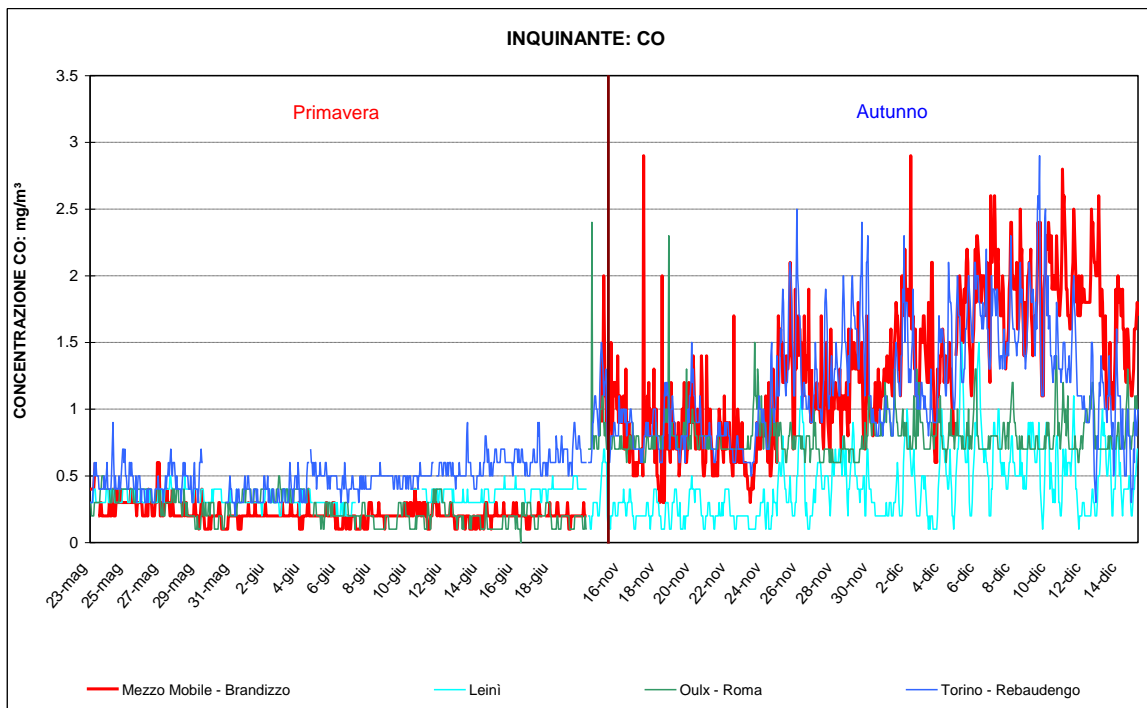
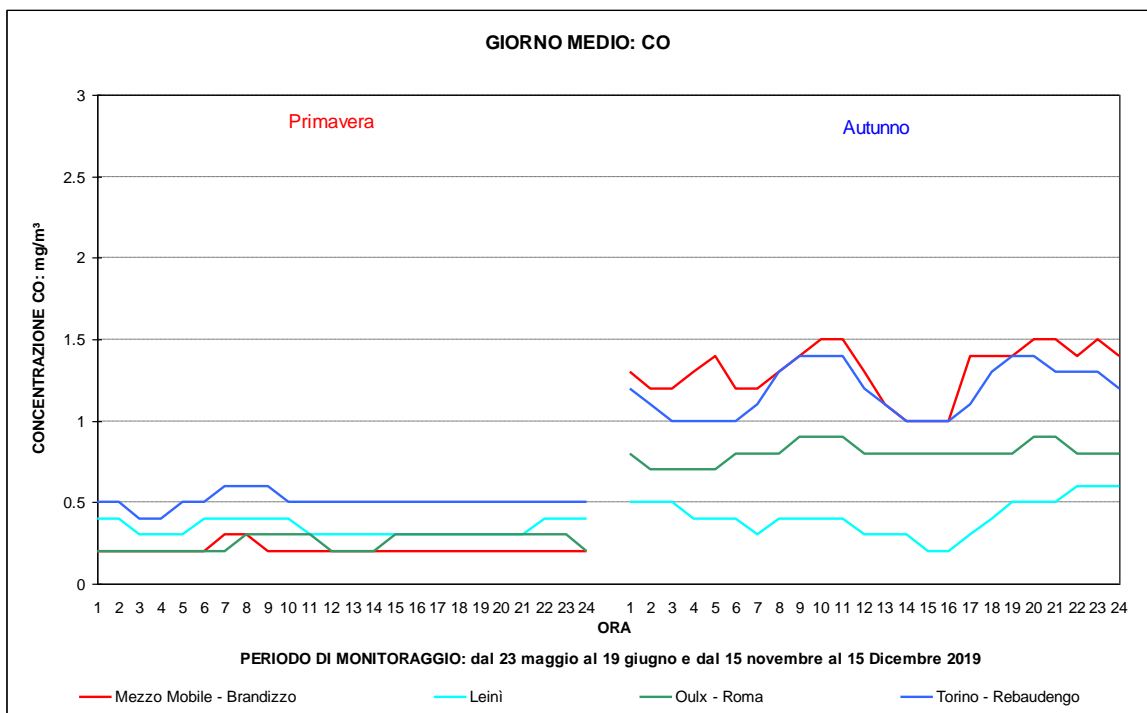


Figura 29: CO - andamento del giorno medio



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).

Studi di mutagenesi evidenziano inoltre che il benzene agisce sul bagaglio genetico delle cellule. Con esposizione a concentrazioni elevate, superiori a milioni di ppb, si osservano danni acuti al midollo osseo. Una esposizione cronica può provocare la leucemia (casi di questo genere sono stati riscontrati in lavoratori dell'industria manifatturiera, dell'industria della gomma e dell'industria petrolifera). Stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità indicano che, a fronte di un'esposizione a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di benzene per l'intera vita, quattro persone ogni milione sono sottoposte al rischio di contrarre la leucemia.

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.

Gli effetti del toluene sono stati studiati soprattutto in relazione all'esposizione lavorativa e sono stati dimostrati casi di disfunzioni del sistema nervoso centrale, ritardi nello sviluppo e anomalie congenite, oltre a sbilanci ormonali in donne e uomini.

Durante le campagne di monitoraggio nel Comune di Brandizzo sono state determinate le concentrazioni medie pari a $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (in primavera) e $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (autunno), mentre le punte massime sono state rispettivamente di 2.9 e $5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come riportato in **Tabella 12**.

Dalla **Figura 30** e dalla **Figura 31** osserviamo che le concentrazioni orarie del benzene nel sito monitorato: nella stagione primaverile, che è meno critica per le concentrazioni di benzene, valori inferiori alla centralina fissa da traffico ubicata in Torino – Via della Consolata, e superiori a quelli di Settimo, stazione di traffico urbano, e di Borgaro T.se, classificata di fondo suburbano; nella seconda campagna, durante un periodo più significativo per le valutazioni inerenti a questo inquinante, le concentrazioni del sito di Brandizzo sono risultate in generale molto simili a quelle di Settimo T.se.

Dai dati del giorno medio di traffico veicolare confrontati con i dati del giorno medio benzene risulta evidente la correlazione tra le concentrazioni benzene e i flussi di traffico veicolare (vedi **Figura 14**)

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 2019 e durante i periodi delle due campagne hanno raggiunto il 90% dei dati validi.

Rapportando per 14 siti della RRQA il valore della concentrazione media del 2019 di benzene, alla concentrazione media calcolata nei giorni delle due campagne svolte a Brandizzo, è stata costruita la retta di interpolazione di **Figura 32**. Applicando tale procedimento, la media annuale stimata per Brandizzo è pari a $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore inferiore al limite.

Tabella 12: Dati relativi al benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Primavera	Autunno
Minima media giornaliera	0.4	0.5
Massima media giornaliera	1.3	3.5
Media delle medie giornaliere	0.8	1.8
Giorni validi	28	30
Percentuale giorni validi	100%	97%
Media dei valori orari	0.8	1.8
Massima media oraria	2.9	5.4
Ore valide	664	726
Percentuale ore valide	99%	98%

Per il toluene la concentrazione media è risultata essere di $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in primavera e $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in autunno (Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.), ben al di sotto del valore guida consigliato dall'OMS.

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

	Estate	Inverno
Minima media giornaliera	1.3	1.9
Massima media giornaliera	5.1	8.4
Media delle medie giornaliere	2.3	4.2
Giorni validi	28	30
Percentuale giorni validi	100%	97%
Media dei valori orari	2.3	4.2
Massima media oraria	35.1	20.3
Ore valide	665	726
Percentuale ore valide	99%	98%

Figura 30: Benzene - andamento orario e confronto con i dati delle stazioni di Borgaro T.se, Settimo T. e Torino – Consolata

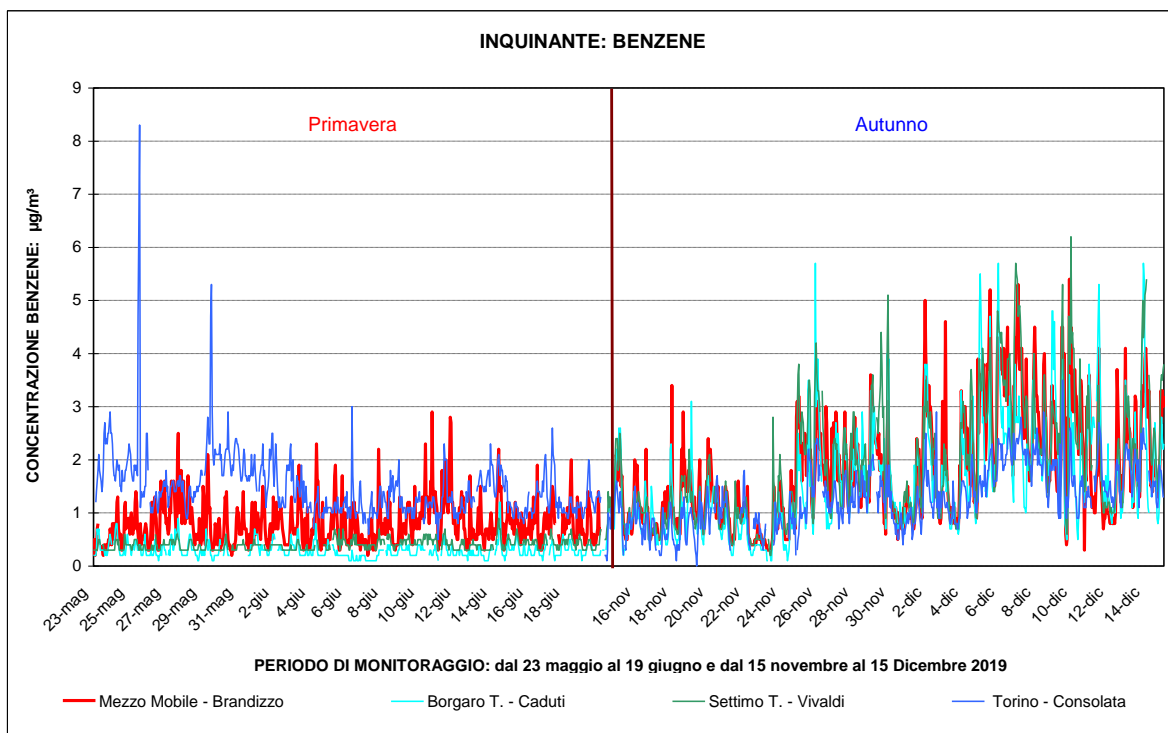


Figura 31: Benzene - giorno medio e confronto con i dati delle stazioni di Borgaro T.se, Settimo T. e Torino – Consolata

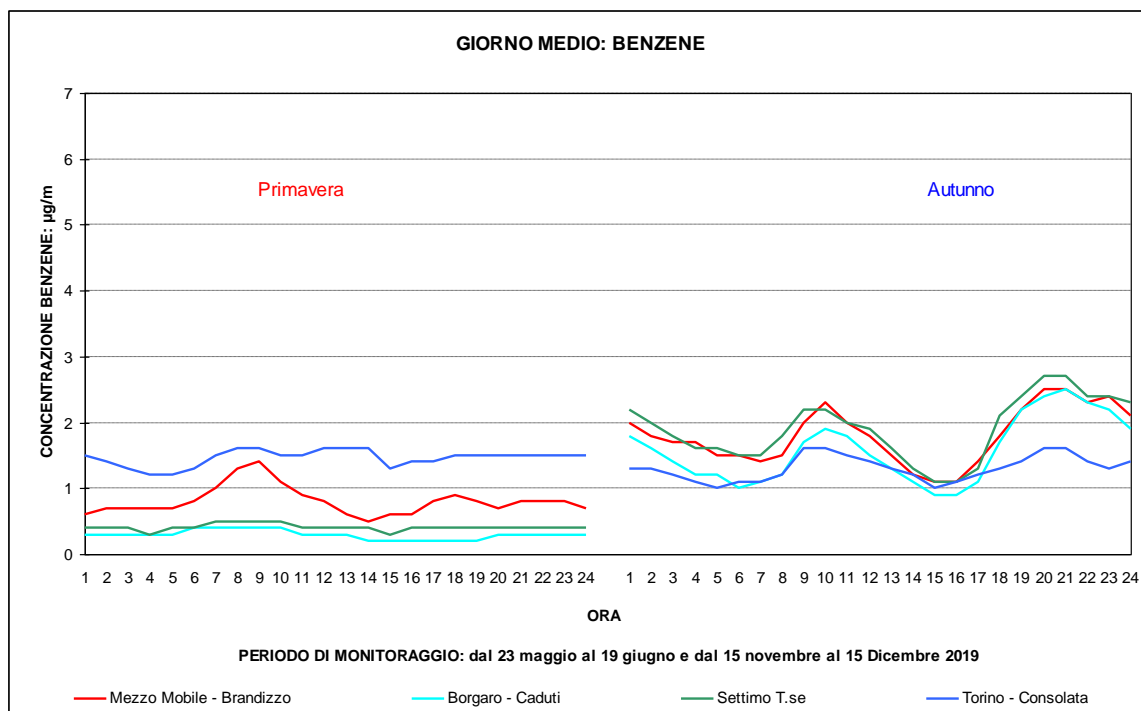
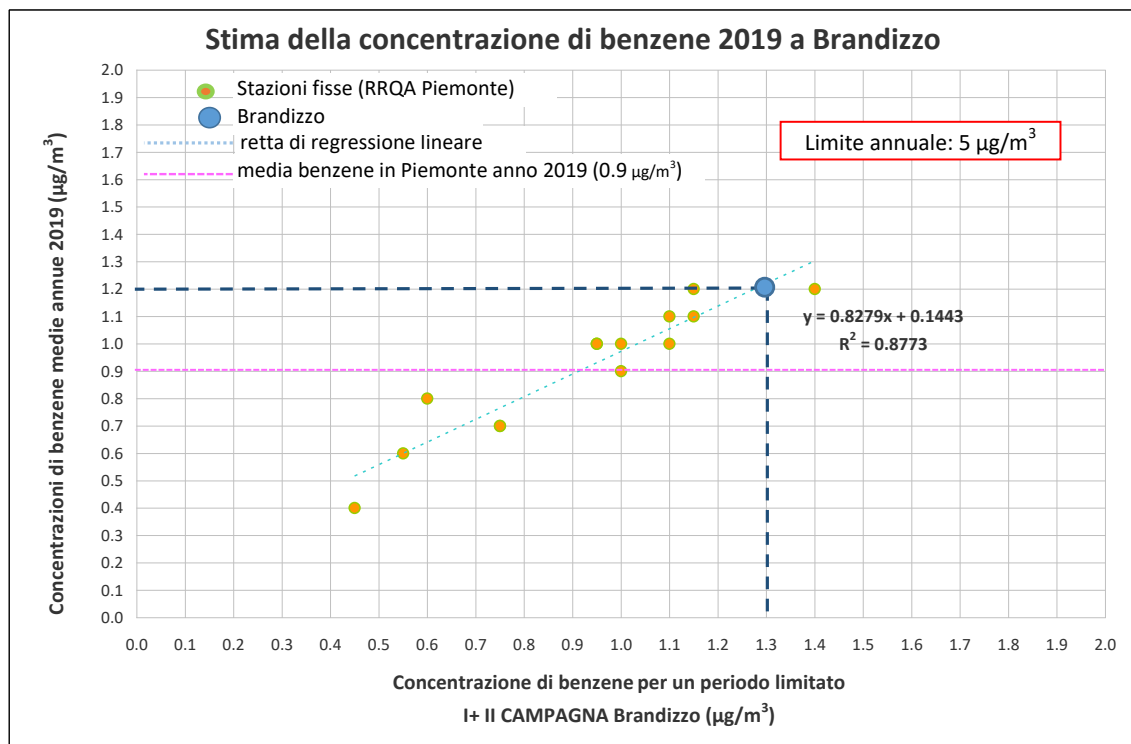


Figura 32: Benzene - stima della concentrazione annuale a Brandizzo



Particolato Sospeso (PM_{10}) e ($PM_{2.5}$)

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, dei 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 DM 60/2002 ha previsto dei limiti esclusivamente per il particolato PM_{10} , cioè la frazione con diametro aerodinamico inferiore a 10 μm , 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.

Il D.Lgs. 155/2010 ha introdotto inoltre, come descritto nel capitolo relativo alla normativa, un valore limite e un valore obiettivo annuale anche per il $PM_{2.5}$ (particolato con diametro aerodinamico inferiore ai 2.5 μm).

Particolato PM₁₀

Nel monitoraggio di tarda primavera eseguito nel comune di Brandizzo non si sono avuti per il particolato PM₁₀ superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³, mentre nel periodo autunnale si sono verificati 6 superamenti di tale limite, come indicato in **Tabella 14** e in **Figura 33**.

La seconda campagna svoltasi in autunno è stata caratterizzata, in particolare nella prima parte, da numerosi eventi piovosi che, come emerge nella **Figura 33**, hanno contribuito in modo significativo all'abbattimento del particolato. È interessante notare come nel giorno di maggiore intensità piovosa (23 novembre) si sia registrato il valore più basso di PM₁₀ e PM_{2.5} nonostante nella stessa giornata il traffico veicolare, e quello pesante in particolare, sia aumentato notevolmente per le motivazioni già riportate nel paragrafo in cui vengono analizzati i flussi di traffico.

Durante la prima campagna il valore medio del periodo rilevato nel sito di è stato di 17 µg/m³, con un valore massimo giornaliero di 31 µg/m³ registrato il 10 giugno; la concentrazione più bassa (8 µg/m³) si è riscontrata il 29 maggio.

Nel corso della seconda campagna il valore medio è stato di 35 µg/m³, con un valore massimo di 77 µg/m³ registrato il 7 dicembre ed uno minimo di 10 µg/m³ il 23 novembre, quando sono caduti 78.2 mm di pioggia.

Dal confronto con le concentrazioni di alcune stazioni della rete di monitoraggio della Città Metropolitana di Torino, rappresentato nella **Figura 33**, emerge durante la prima campagna un andamento simile a quelli di Ivrea e Settimo, con valori più elevati di quelli di Torino-Consolata; nella seconda campagna l'andamento delle concentrazioni registrate nel sito di Brandizzo mostra similitudine con quelli di Settimo e Torino-Consolata, stazioni di traffico urbano, ed è maggiore di quello di Ivrea, stazione di fondo suburbano.

Il D.Lgs 155/2010 prevede per le polveri PM₁₀ un valore limite annuale per la protezione della salute umana di 40 µg/m³. 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'NO₂, per arrivare a stimare un dato di concentrazione annuale di PM₁₀ per il sito di Brandizzo 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 PM₁₀, come media del 2019, alla concentrazione media calcolata nei giorni delle due campagne di misura svolte, ed è stata costruita la retta di interpolazione (**Figura 36**).

Il coefficiente di determinazione R² trovato, evidenzia che la correlazione tra i dati è altamente significativa. È stato così possibile prevedere una concentrazione media annuale per Brandizzo, riferita al 2019, pari a 30 µg/m³: valore inferiore al limite normativo (40 µg/m³) e uguale alle medie annuali registrato presso le stazioni Collegno e Asti-Baussano, entrambe di traffico urbano.

Come già accennato, durante il monitoraggio autunnale vi sono stati 6 superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ su 57 giorni validi (sul totale dei giorni delle due campagne), pari all'11% dei giorni validi.

Dalla **Tabella 16**, nella quale sono riportati i dati relativi alle cabine della Città Metropolitana notiamo che in primavera, ad eccezione di un superamento a Druento, non vi sono stati superamenti del limite giornaliero, mentre durante la campagna autunnale, come è tipico del periodo considerato, si sono avuti superamenti del limite giornaliero su tutte le stazioni di rilevamento della Città Metropolitana di Torino ad eccezione di Baldissero, Druento, Susa e Oulx.

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 la stazione più simile come numero di superamenti del livello giornaliero risulta Torino-Consolata, che nel corso dell'anno ha avuto in totale 45 superamenti, al di sopra del limite di 35 stabilito dalla legge.

Dalla tabella si evince inoltre che, ad eccezione delle quattro stazioni sopra citate che non hanno registrato superamenti durante la seconda campagna, tutte le cabine della CMT hanno avuto un numero di superamenti giornalieri superiori ai 35. È dunque presumibile che, se si fosse effettuato un monitoraggio esteso all'intero anno, anche nel sito di Brandizzo ci sarebbe stato il superamento del limite preso in esame. Questa ipotesi è inoltre confermata dalla stima della media annuale. La correlazione statistica per il PM_{10} tra media annuale e numero di giorni di superamento del valore limite giornaliero³, infatti, evidenzia che sul territorio piemontese il valore limite giornaliero viene rispettato per valori di medi annuale inferiori a $24,7 \mu g/m^3$.

Particolato $PM_{2.5}$

Il laboratorio mobile utilizzato durante la prima campagna non è provvisto di un campionario di questo parametro per cui il $PM_{2.5}$ è stato monitorato durante la seconda campagna che si è svolta durante un periodo più significativo per questo inquinante.

Il parametro $PM_{2.5}$ segue, come andamento temporale e valori medi di concentrazione giornaliera, il PM_{10} (vedi **Figura 35**).

Il valore medio del periodo è stato di $28 \mu g/m^3$, che corrisponde all' 80% della media del PM_{10} , una percentuale in linea con il periodo indagato; il valore minimo è stato di $7 \mu g/m^3$ ed il massimo di $66 \mu g/m^3$ (**Tabella 15**).

Dalla **Figura 34** notiamo che, in termini relativi, i valori di $PM_{2.5}$ nel sito di Brandizzo sono risultati mediamente molto vicini a quelle delle altre stazioni di Settimo e Torino-Lingotto e più alti di quelli di Ivrea.

La normativa italiana prevede per il $PM_{2.5}$ solamente il rispetto di un limite annuale, pari a $25 \mu g/m^3$. In questo caso, non essendoci i dati della prima campagna, non è possibile effettuare stime statistiche con sufficiente significatività. È possibile fare un'ipotesi dal confronto con le stazioni della rete regionale come mostrato in **Figura 37**. Il grafico evidenzia che in tutte le stazioni della rete regionale che hanno raggiunto il 90% dei dati validi il limite annuale non è stato superato-

Anche nelle due centraline (Domodossola e Settimo Torinese) che nel periodo del monitoraggio hanno registrato la stessa media di Brandizzo. È pertanto presumibile che anche nel sito monitorato il limite annuale non sarebbe stato superato nel corso del 2019.

In termini generali per $PM_{2.5}$ e PM_{10} , 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.

³ Bertello et, al Analisi della correlazione fra media annuale e numero di superamenti del valore limite per il PM_{10} – La situazione del Piemonte nel quadro europeo – Atti del VII Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico, Roma 2016

Tabella 14: Dati relativi al particolato sospeso PM_{10} ($\mu g/m^3$)

	Primavera	Autunno
Minima media giornaliera	8	10
Massima media giornaliera	31	77
Media delle medie giornaliere	17	35
Giorni validi	28	29
Percentuale giorni validi	100%	94%
<u>Numero di superamenti livello Giornaliero protezione della salute (50)</u>	0	6

Tabella 15: Dati relativi al particolato sospeso $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)

	Autunno
Minima media giornaliera	7
Massima media giornaliera	66
Media delle medie giornaliere	28
Giorni validi	29
Percentuale giorni validi	94%

Tabella 16: PM_{10} ($\mu g/m^3$) confronto numero di superamenti limite giornaliero, concentrazioni medie del periodo e anno 2019

Stazione	periodo I° campagna		periodo II° campagna		periodo I° e II° campagna		anno 2019	
	media periodo [$\mu g/m^3$]	Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)	media periodo [$\mu g/m^3$]	Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)	media periodo [$\mu g/m^3$]	Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)	media anno 2019 [$\mu g/m^3$]	Numero di superamenti livello giornaliero protezione della salute (50)
Baldissero T.(ACEA) - parco	10	0	15	0	13	0	13	1
Oulx - Roma	17	0	9	0	13	0	15	0
Susa - Repubblica	15	0	12	0	14	0	15	1
Druento - La Mandria	19	1	15	0	17	1	19	10
Leini'(ACEA) - Grande Torino	16	0	28	4	22	4	26	44
Beinasco (TRM) - Aldo Mei	18	0	27	3	23	3	27	49
Torino - Lingotto	15	0	31	4	23	4	27	48
Torino - Consolata	11	0	35	6	23	6	28	45
Collegno - Francia	19	0	31	5	25	5	30	50
Mezzo Mobile -Brandizzo(*)	17	0	35	6	26	6	30	
Settimo T. - Vivaldi	16	0	35	5	26	5	34	63
Torino - Rebaudengo	22	0	39	12	31	12	34	71
Carmagnola - I Maggio	20	0	36	8	28	8	35	69
Torino - Grassi	18	0	45	15	32	15	38	83

* = media annuale stimata

Figura 33: Particolato sospeso PM_{10} - confronto con il limite giornaliero per la protezione della salute e con i dati di alcune stazioni della rete fissa

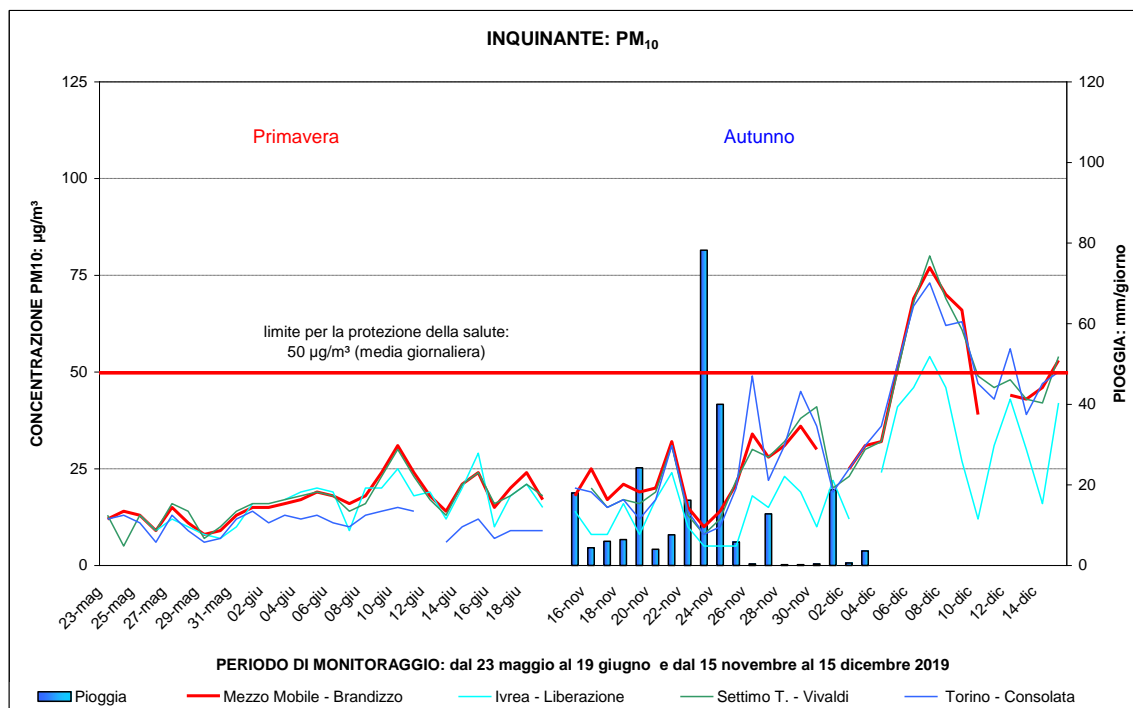


Figura 34: Particolato sospeso $PM_{2.5}$ - confronto con i dati di alcune stazioni della rete fissa

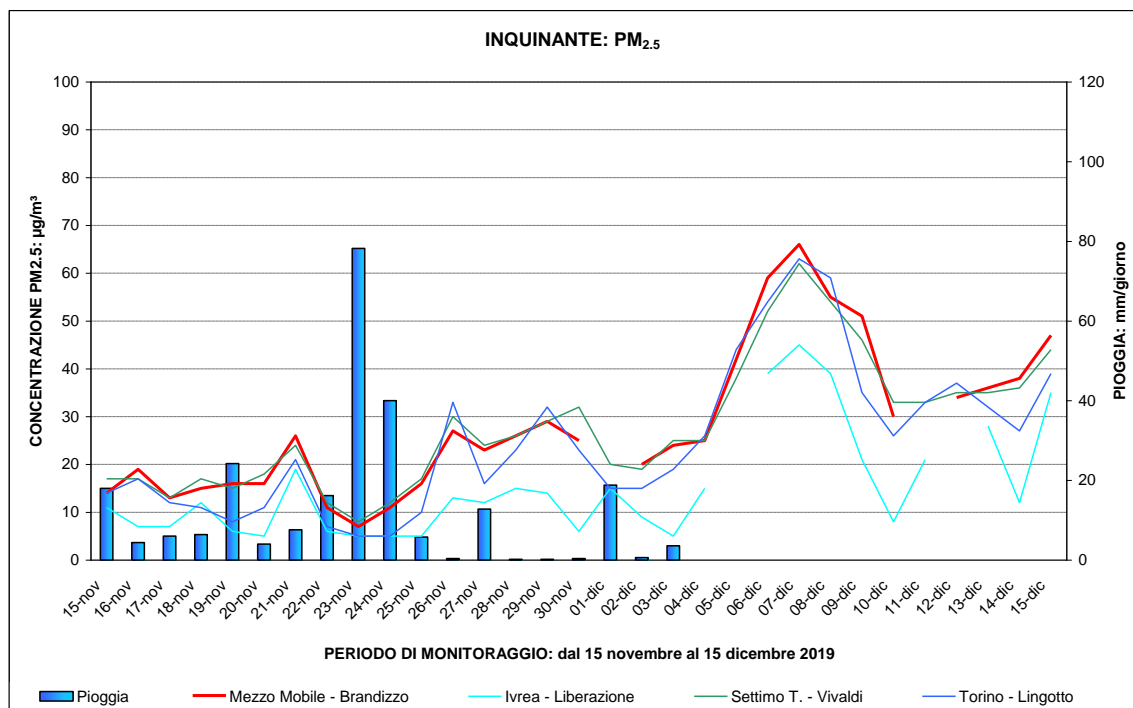


Figura 35: Particolato sospeso PM₁₀ e PM_{2.5}: confronto

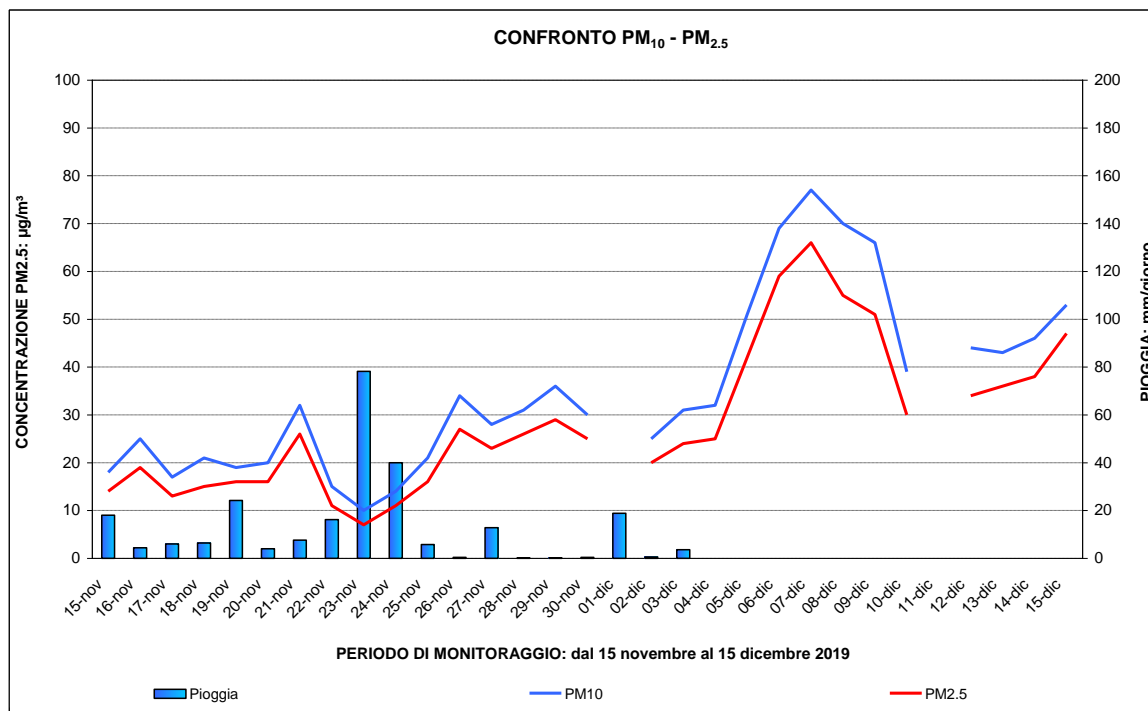


Figura 36: Particolato sospeso PM₁₀ - stima della concentrazione annuale a Brandizzo

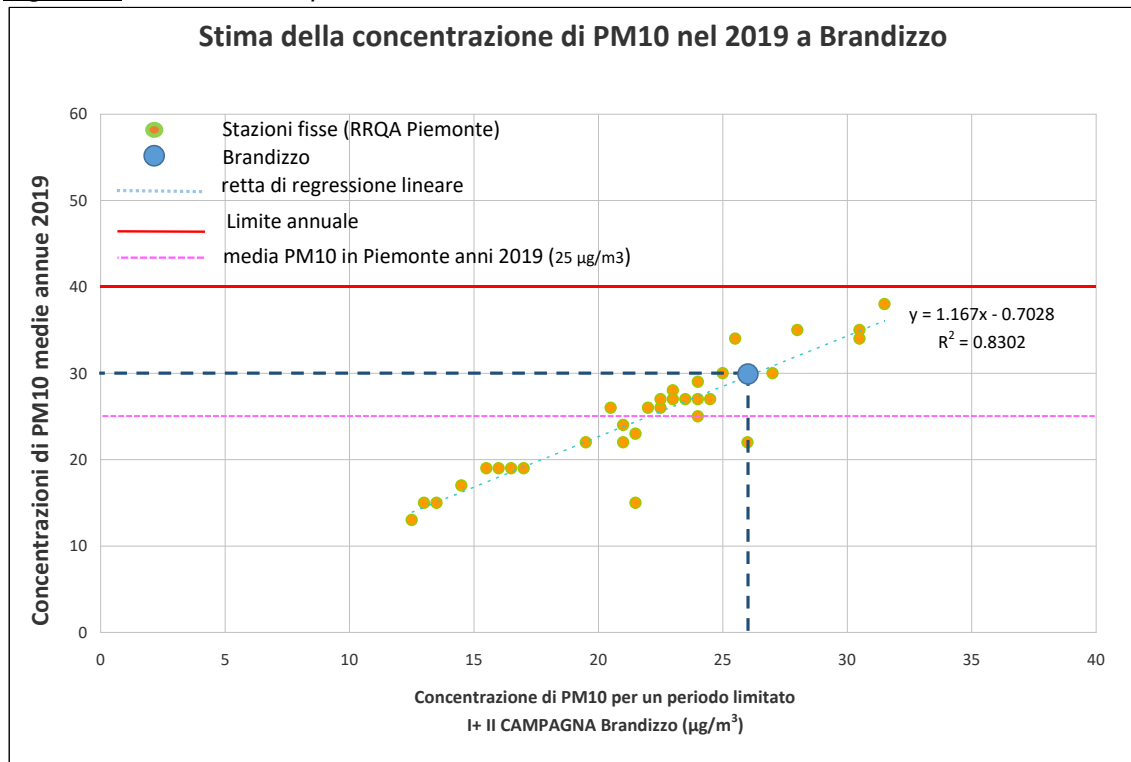
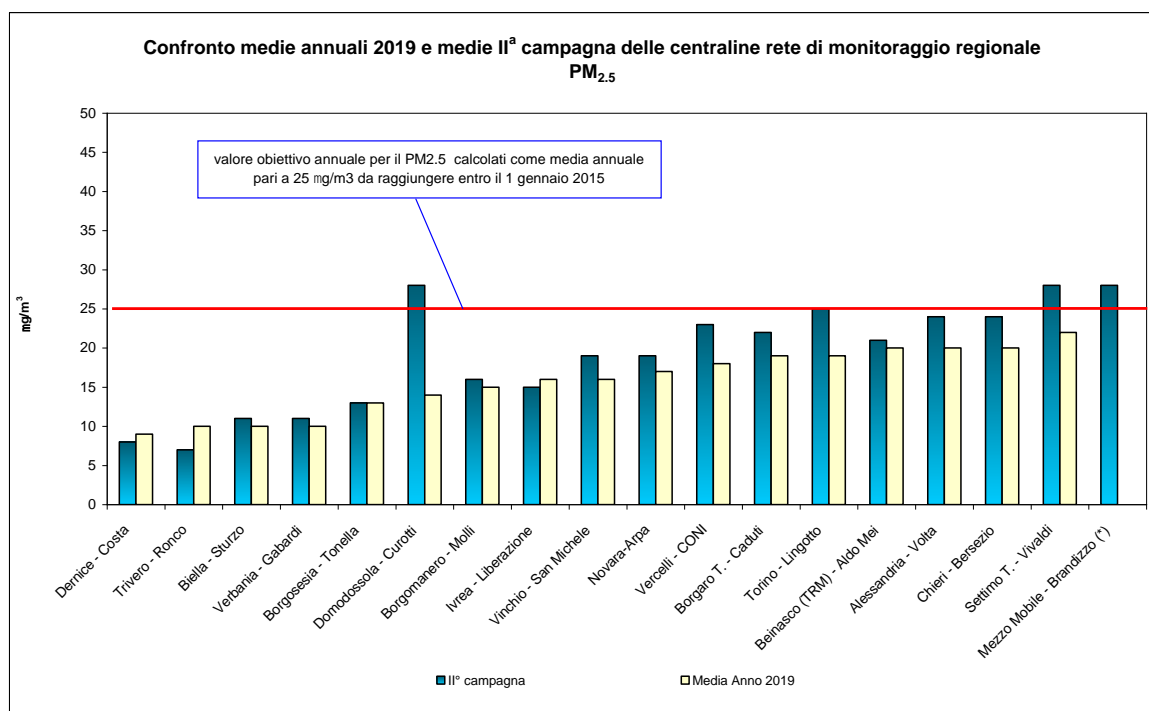


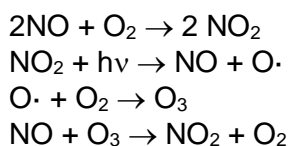
Figura 37: Particolato sospeso PM_{2.5} confronto medie anno 2019 e medie della II^a campagna nella Città Metropolitana di Torino



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 17** nel corso della prima campagna la media dei valori orari di ozono è stata di 71 µg/m³, con una massima media oraria di 175 µg/m³; non si sono quindi registrati superamenti su base oraria del livello di informazione pari a 180 µg/m³. Nella seconda campagna la media dei valori orari è stata di 12 µg/m³, con una massima media oraria di 74 µg/m³; non si sono registrati superamenti.

Questo parametro presenta quindi una certa criticità solo nel periodo caldo dell'anno. Dal grafico di **Figura 39** si nota come, nella campagna di primavera, i valori siano stati 10 volte superiori al livello di protezione della salute su medie di 8 ore (120 µg/m³) per il quale la norma consente al massimo 25 giorni di superamento per anno civile come media di 3 anni. Nella **Figura 43**

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 2019, mentre nella **Figura 44** 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 il numero di superamenti avvenuti nel sito di Brandizzo durante la prima campagna è stato uguale a quello di Torino-Rubino e 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 2019 solo Ceresole e Susa non hanno raggiunto il numero di 25 superamenti in un anno. Si può presumere pertanto che tale obiettivo non sia rispettato nel Comune di Brandizzo. 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.

Nella **Figura 38** e nella **Figura 40** in cui le concentrazioni orarie ed il giorno medio dell'ozono vengono confrontate con le stazioni fisse di Borgaro, Druento e Torino-Lingotto si osserva che nella prima campagna i profili sono molto simili a quelli di Torino-Lingotto e più alte di Borgaro e Druento; nella seconda campagna i profili mostrano andamenti coerenti con quelli delle stazioni di Borgaro e Druento e concentrazioni mediamente più basse di Torino-Lingotto.

Il grafico riportato in **Figura 41** mostra la stretta correlazione degli andamenti di ozono con la 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.

Durante le due campagne non è stato superato il livello di allarme pari a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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.

Tabella 17: Dati relativi all'ozono (O_3) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Primavera	Autunno
Minima media giornaliera	39	3
Massima media giornaliera	90	48
Media delle medie giornaliere	71	12
Giorni validi	28	31
Percentuale giorni validi	100%	100%
Media dei valori orari	71	12
Massima media oraria	175	74
Ore valide	672	743
Percentuale ore valide	100%	100%
Minimo medie 8 ore	13	2
Media delle medie 8 ore	71	12
Massimo medie 8 ore	158	70
Percentuale medie 8 ore valide	100%	100%
<u>Numero di superamenti livello protezione della salute su medie 8 ore (120)</u>	50	0
<u>Numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (max media 8h > 120)</u>	10	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

Numero di valori orari superiori al livello allarme (240)	0	0
Numero di superamenti livello allarme (240 per almeno 3 ore consecutive)	0	0
Numero di giorni con almeno un valore superiore al livello allarme (240)	0	0

Figura 38: O₃ - confronto con i limiti di legge

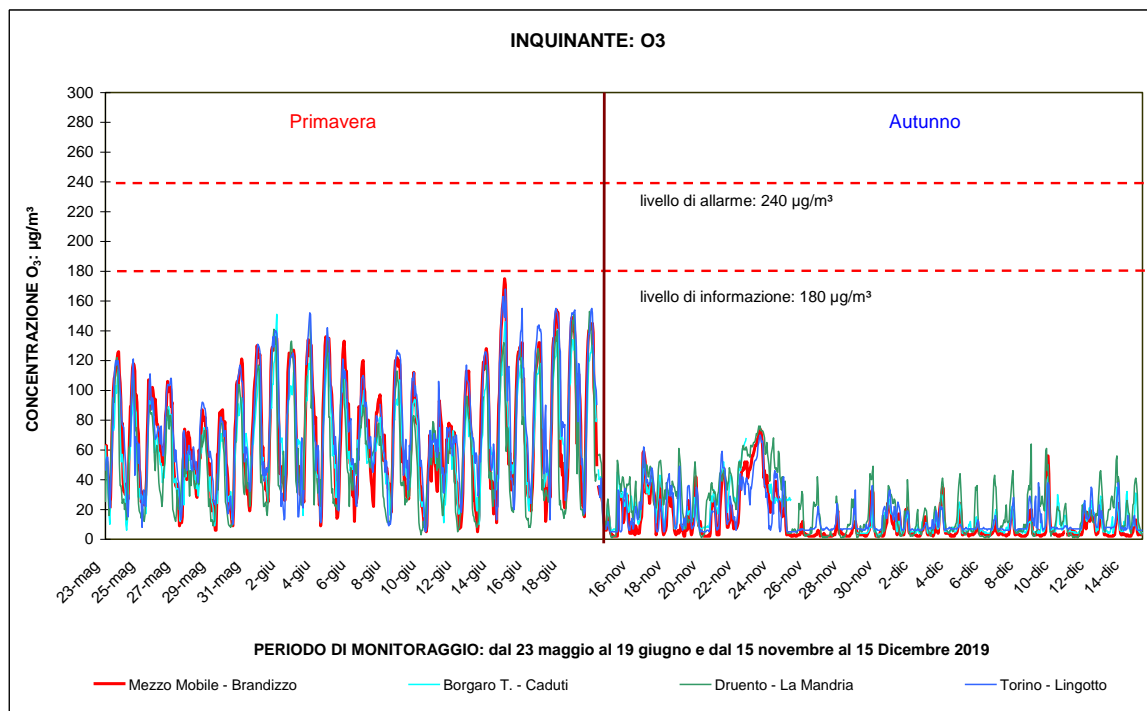


Figura 39: O₃ - superamenti protezione della salute umana

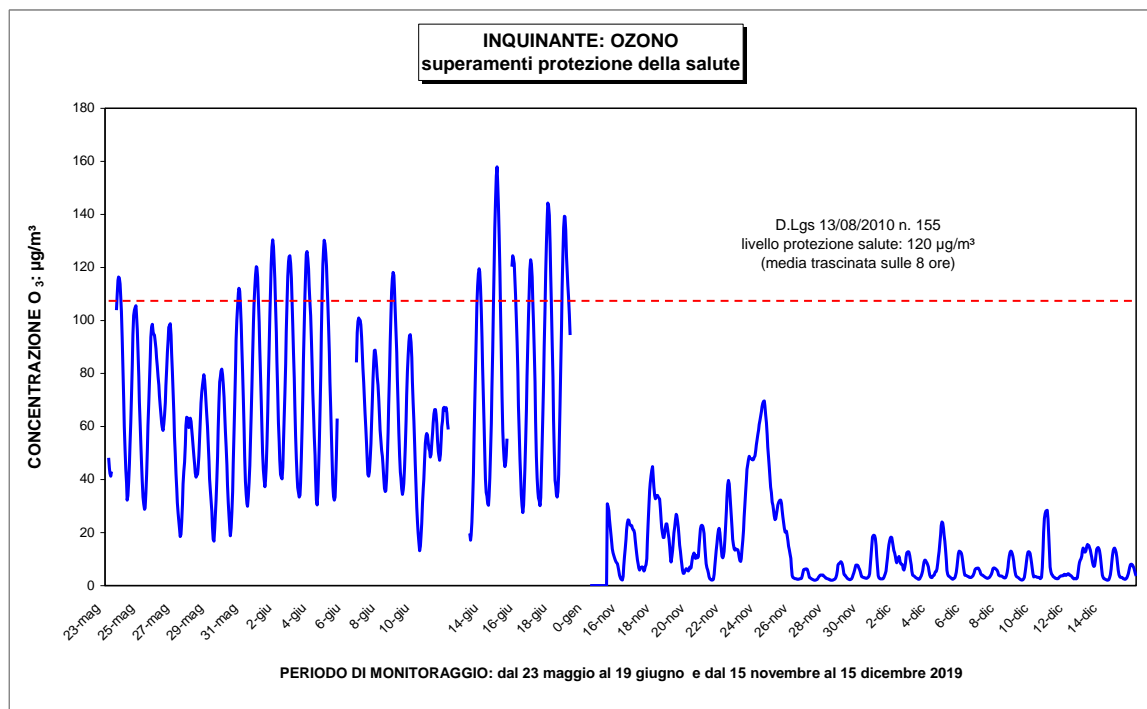


Figura 40: Ozono giorno medio

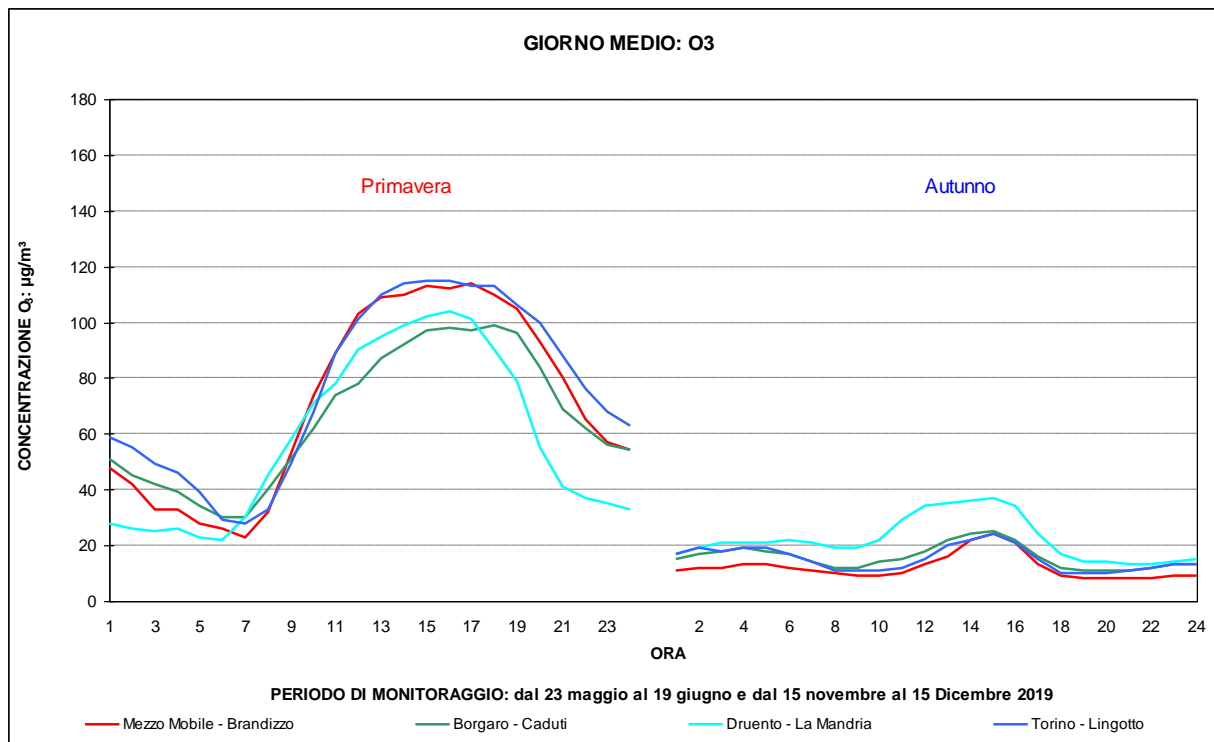


Figura 41: O₃ - andamento della concentrazione oraria e confronto con temperatura

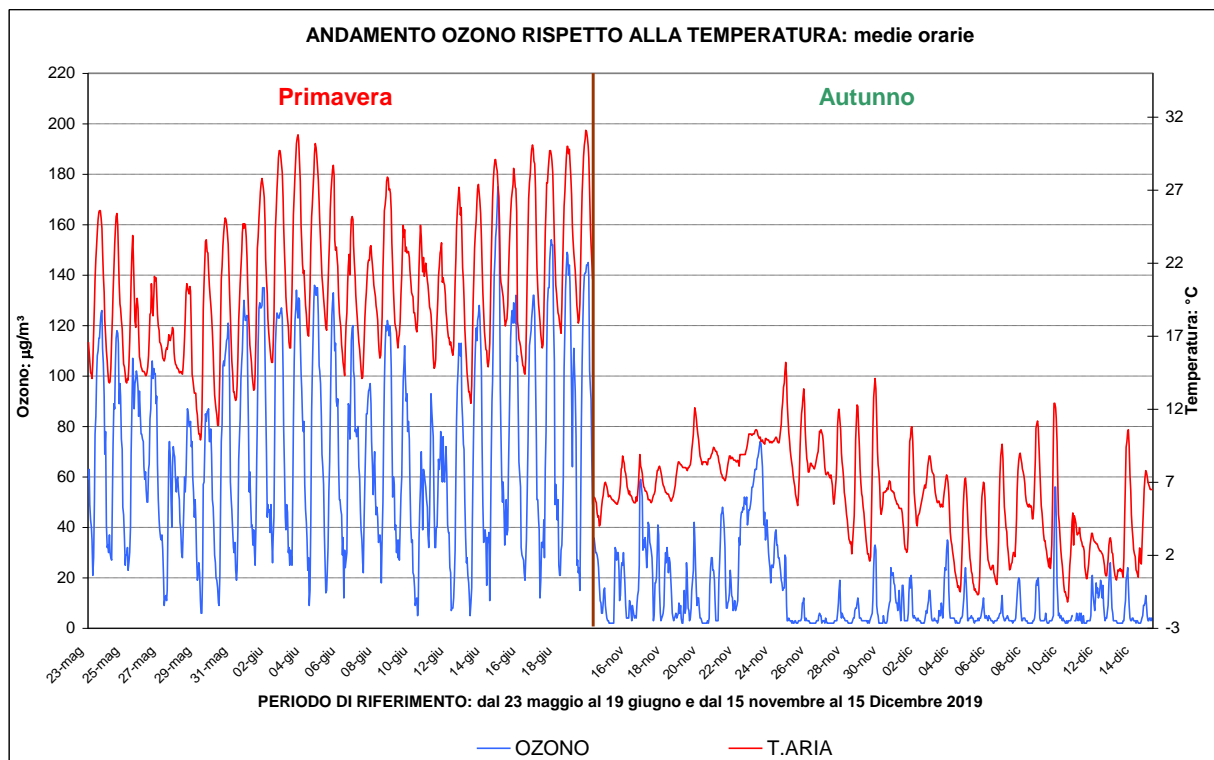


Figura 42: O₃ - confronto medie del periodo nelle stazioni della rete Città Metropolitana – 1^a campagna

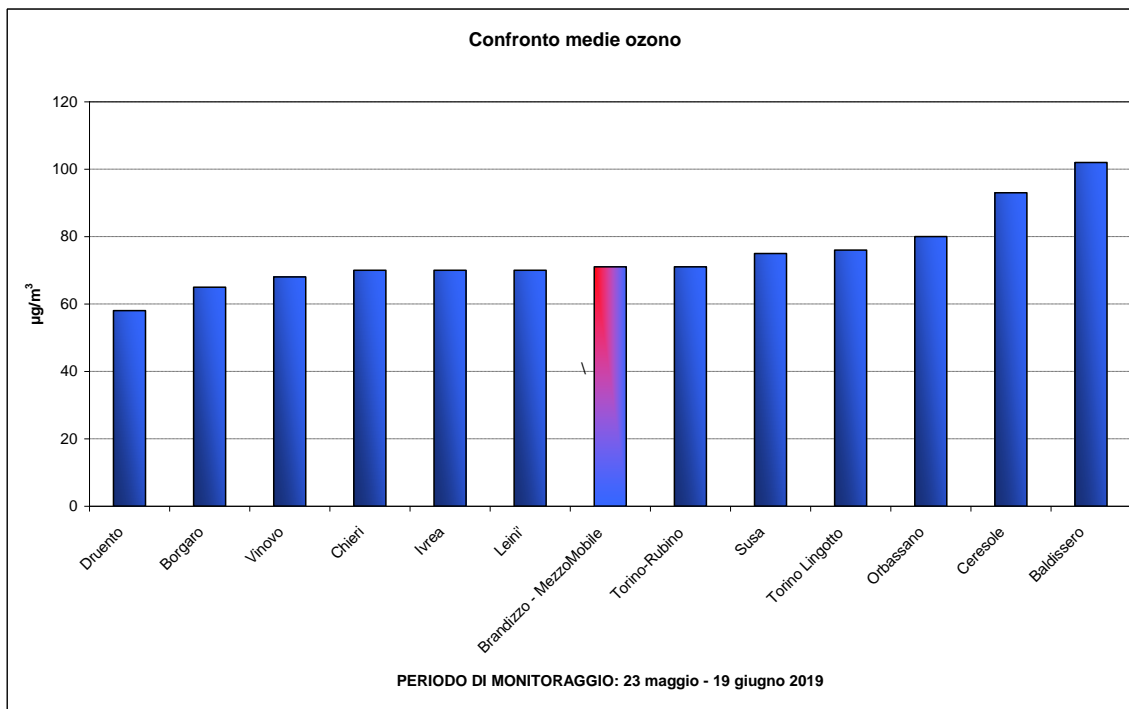


Figura 43: confronto superamenti livelli protezione della salute umana – periodo 1^a campagna e 2019

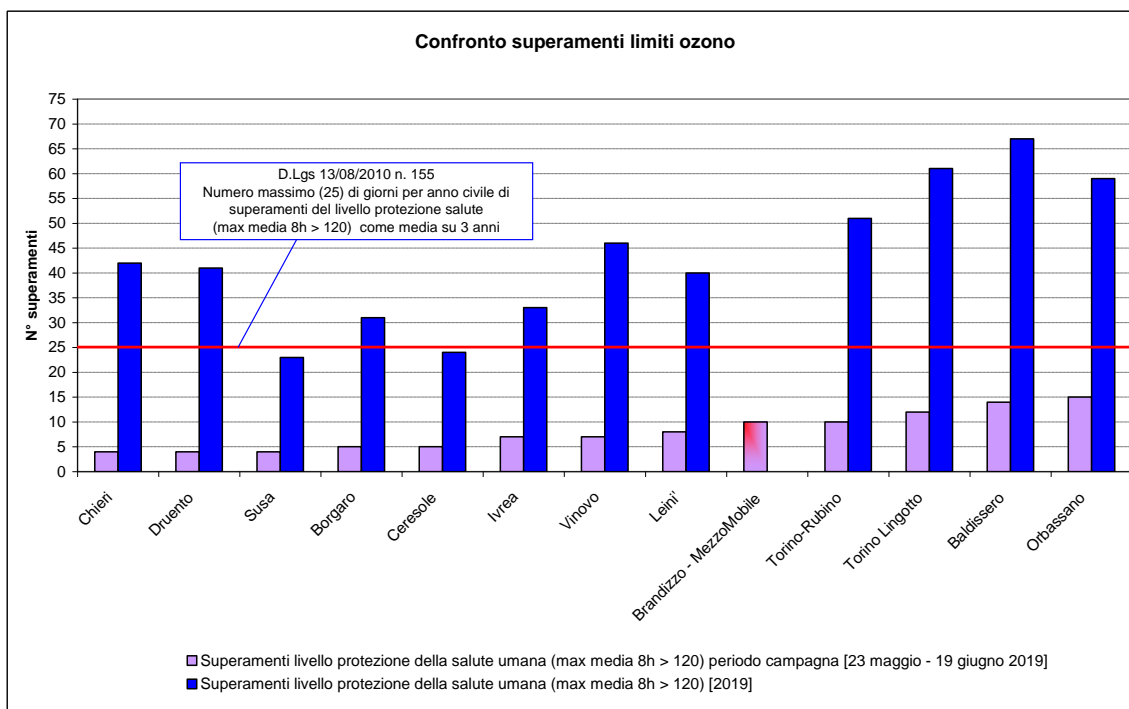
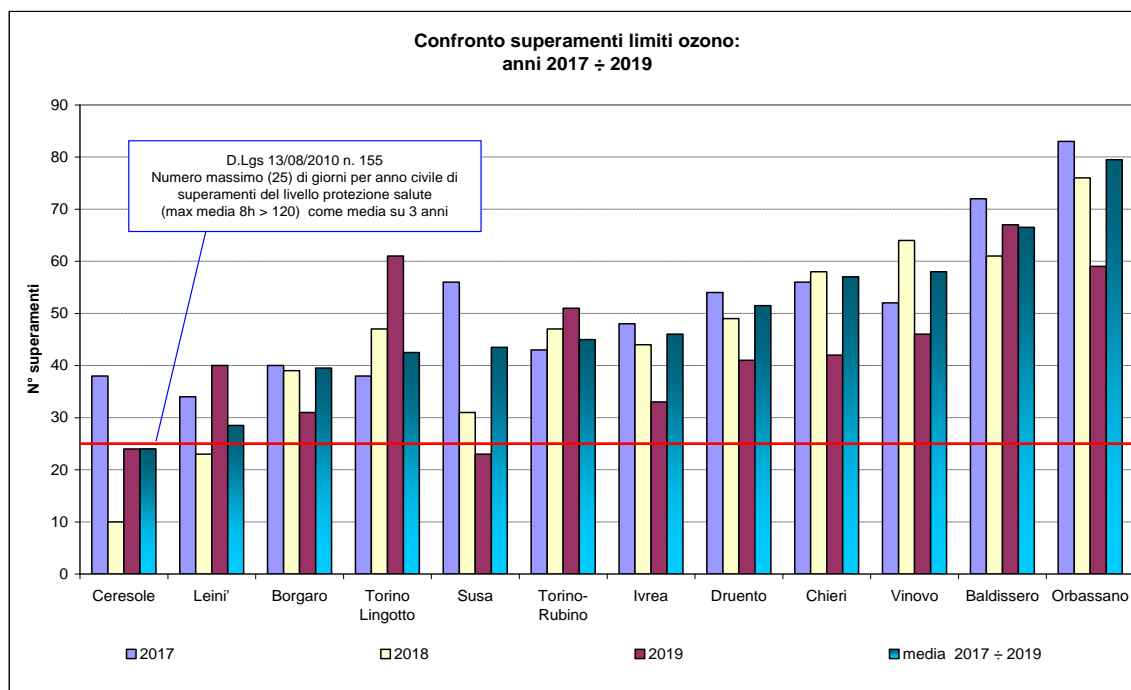


Figura 44: confronto superamenti livelli protezione della salute umana rete CMT anni 2017 ÷ 2019



IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

Gli idrocarburi policiclici aromatici, noti con l'acronimo 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%⁴. 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.)⁵.

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.

⁴ European Commission Ambient air pollution by PAH –Position Paper , pag 8

⁵ EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2007 pag. B216-29 tab 8.1a e B216-.32 tab 8.2 b

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.

In particolare il benzo(a)pirene, produce tumori a livello di diversi tessuti sugli animali da laboratorio ed è inoltre l'unico idrocarburo policiclico aromatico per il quale sono disponibili studi approfonditi di tossicità per inalazione, dai quali risulta che questo composto induce il tumore polmonare in alcune specie.

L'International Agency for Research on Cancer (IARC)⁶ 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 18: 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 in cui esiste un limite di legge annuale (NO₂, Benzene, PM₁₀, PM_{2.5}) e visto che la durata del monitoraggio del sito di Brandizzo 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 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 2019 si è calcolato il fattore che, moltiplicato per il valore medio delle campagne a Brandizzo, 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 Brandizzo

M_c : media stimata anno 2019 per ogni parametro IPA Brandizzo

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

M_p media anno 2019 per ogni parametro IPA Città Metropolitana di Torino

⁶ International Agency for Research on Cancer (IARC) –Agents reviewed by the IARC monographs Volumes 1-100A last updated 2 april 2009

Dall'analisi dei dati notiamo che, in base alla stima effettuata, la media annuale di Benzo(a)pirene presso il sito di monitoraggio di Brandizzo è risultata di 0,98 ng/m³ pari al valore obiettivo indicato dal D.Lgs 155/2010.

Le quattro specie di IPA monitorati hanno evidenziato, nella seconda campagna e nella stima della media annuale, concentrazioni più elevate degli altri siti della rete di monitoraggio della Città Metropolitana (vedi

Figura 45, Figura 46, Figura 47 e Figura 48).

In

Figura 49 viene riportato il profilo del rapporto percentuale tra la somma delle concentrazioni dei quattro IPA monitorati ed il particolato (IPA tot/PM₁₀) riferito ai periodi delle campagne di monitoraggio ed al 2019. Da questa elaborazione grafica emerge che nella seconda campagna, durante la quale si sono registrate le concentrazioni più alte di IPA, il rapporto tra questi inquinanti e il PM₁₀ di Brandizzo è tra i più elevati, risultando paragonabile a quelli di Oulx e Susa dove le polveri, in termini percentuali, risultano le più ricche di composti policiclici aromatici.

Secondo quanto riportato in letteratura⁷ questo rapporto è correlabile a diverse tipologie di fonti emissive (traffico, riscaldamento, utilizzo di biomassa): porzioni più elevate di IPA nel particolato indicano la presenza di fonti legate alla combustione di biomassa. Ciò è confermato dai dati delle centraline di Oulx e Susa ubicate in territorio montano dove maggiore è il ricorso all'utilizzo di biomasse per il riscaldamento domestico.

Interessante è la situazione di Settimo, dove la percentuale di IPA nel PM₁₀ si trova in posizione intermedia tra quella delle altre stazioni della rete ed il sito di Brandizzo. Infatti Settimo, pur essendo conurbato nell'area metropolitana torinese, conserva ancora una parte del suo territorio rurale, dove vengono maggiormente utilizzate fonti da biomassa per il riscaldamento.

È presumibile pertanto che nel sito di Brandizzo le concentrazioni di IPA riscontrate siano da correlare, oltre che al traffico veicolare, alla presenza nel territorio di impianti di riscaldamento domestico alimentati a biomassa.

Tabella 19: Laboratorio mobile ARPA Brandizzo - concentrazione IPA rilevati nel monitoraggio e stima medie annuali

Lab mobile ARPA Brandizzo concentrazione dei quattro IPA rilevati nel monitoraggio				
	Estate [ng/m ³]	Inverno [ng/m ³]	Media campagne [ng/m ³]	Media annuale stimata 2019 [ng/m ³]
Benzo(a)antracene (ng/m ³)	0.04	1.81	0.93	1.10
Benzo(b+j+k)fluorantene (ng/m ³)	0.08	4.19	2.13	2.13
Benzo(a)pirene (ng/m ³)	0.04	1.95	0.99	0.98
Indeno(1,2,3-cd)pirene (ng/m ³)	0.06	1.60	0.83	0.93
sommatoria dei quattro IPA (ng/m ³)	0.22	9.55	4.88	5.14

⁷ PAH Molecular Diagnostic Ratios Applied to Atmospheric Sources: A Critical Evaluation Using Two Decades of Source Inventory and Air Concentration Data from the UK.

Atmospheric Environment 79 (2013) 271e285: Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air using positive matrix factorization and spatial distribution analysisq – (Eunhwa Jang, Mohammed S. Alam, Roy M. Harrison)

Figura 45: Benzo(a)antracene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

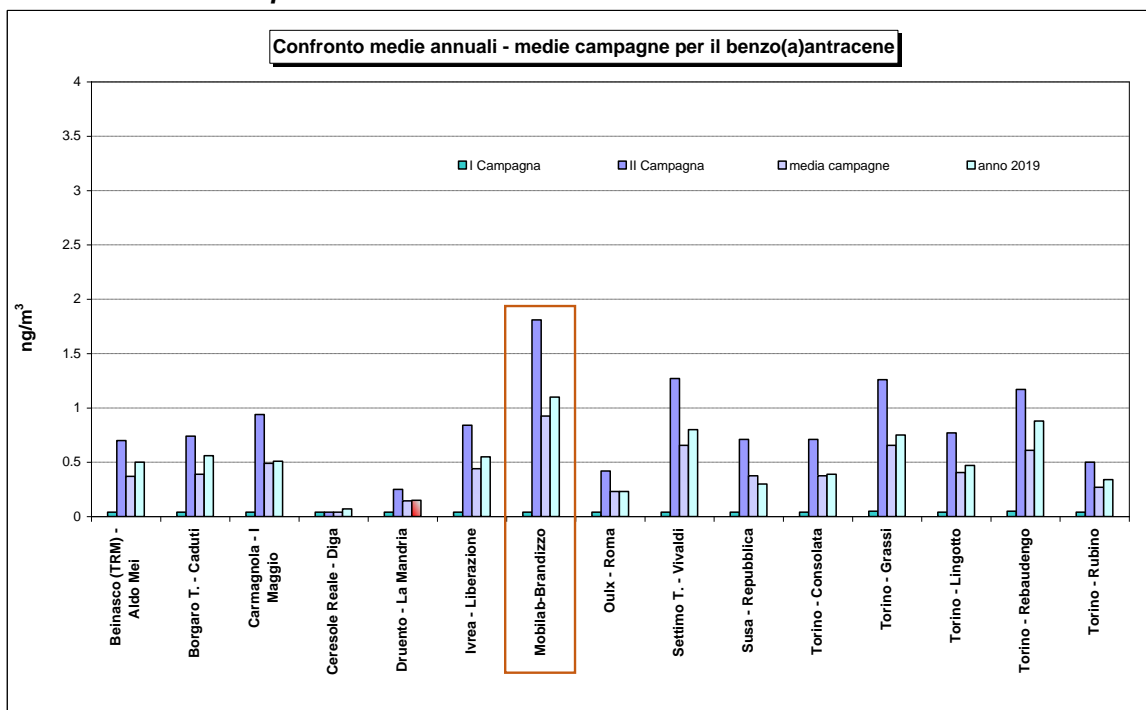


Figura 46: Benzo(b+j+k)fluorantene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

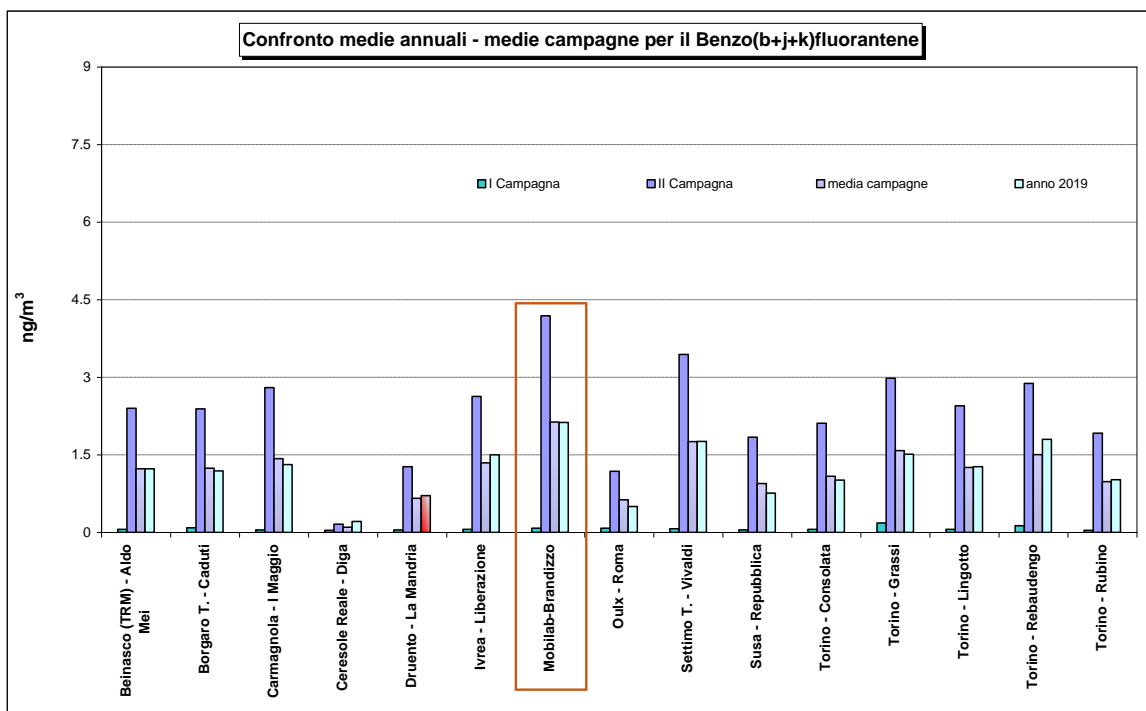


Figura 47: Benzo(a)pirene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

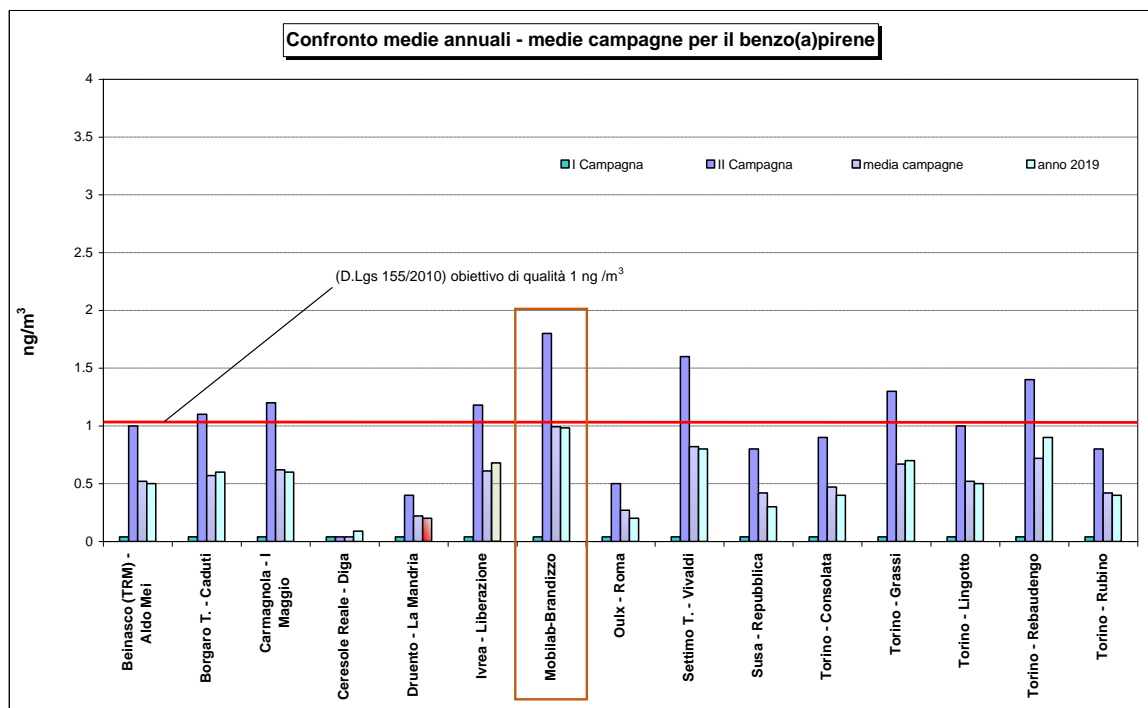


Figura 48: Indeno(1, 2, 3-cd)pirene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

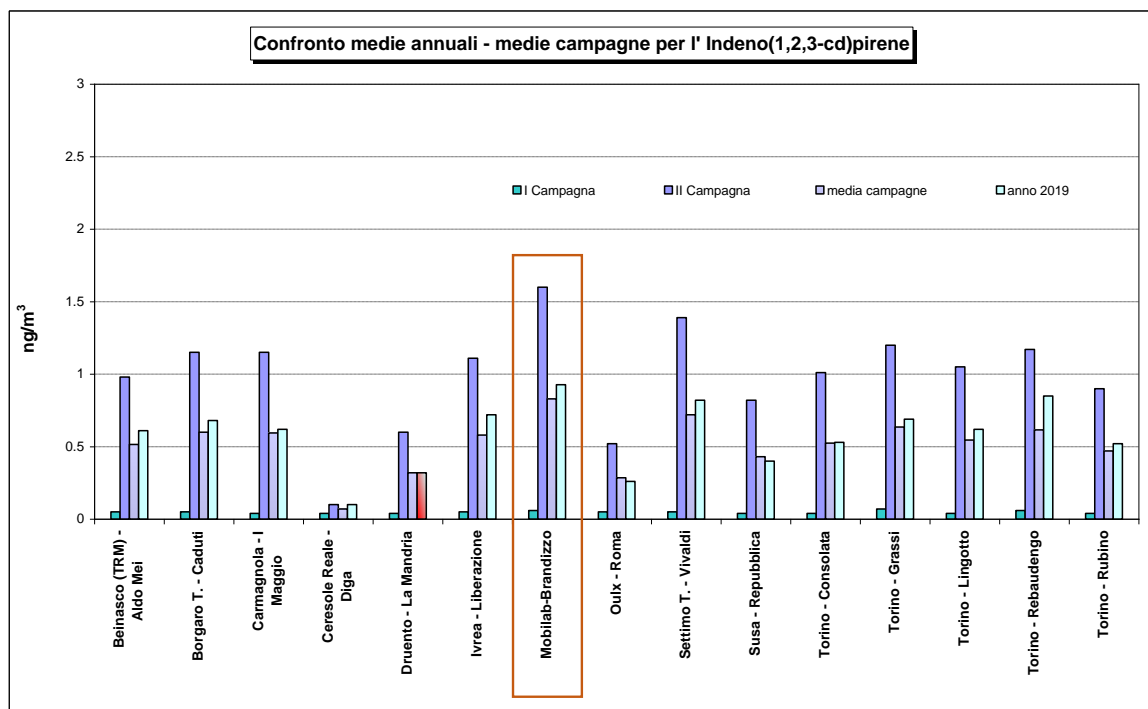
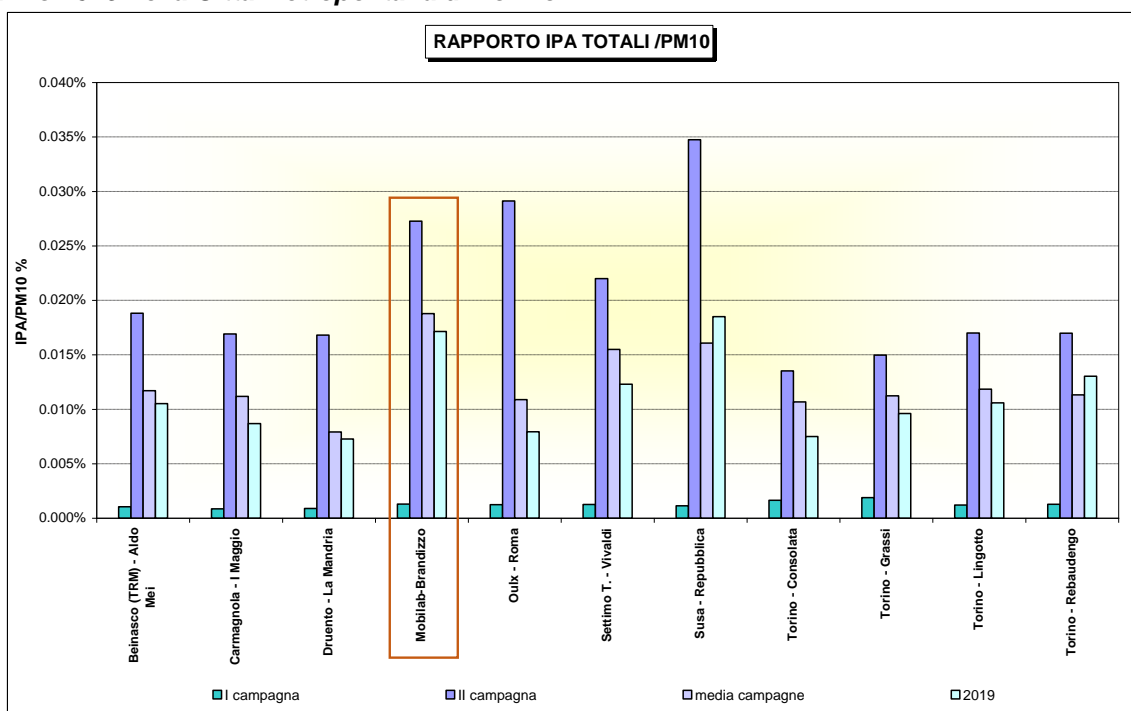


Figura 49: rapporto IPA totali/PM10 - confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino



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.

Riguardo l'inquinamento atmosferico i metalli che maggiormente preoccupano sono generalmente arsenico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), manganese (Mn), nichel (Ni) e piombo (Pb), che sono veicolati dal particolato atmosferico.

La loro origine nel particolato 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 ed organi.

L'avvelenamento da zinco si manifesta con disturbi al sistema nervoso centrale, anemia, febbre e pancreatite. Il rame, invece, produce alterazioni della sintesi di emoglobina e del tessuto connettivo osseo oltre a promuovere epatiti, cirrosi e danni renali. L'intossicazione da cobalto provoca un blocco della captazione dello iodio a livello tiroideo con conseguente gozzo da

ipotiroidismo, alterazioni delle fibre muscolari cardiache e disturbi neurologici. Cromo e nichel, sono responsabili, in soggetti predisposti, di dermatiti da contatto e di cancro polmonare. L'enfisema polmonare (per deficit di $\alpha 1$ antitripsina) è la principale manifestazione dell'intossicazione cronica da cadmio, cui generalmente si accompagnano danni ai tubuli renali e osteomalacia. Sia il piombo, che l'arsenico, inoltre, sono responsabili di numerose alterazioni organiche. L'avvelenamento cronico da piombo (saturnismo), ad esempio, è responsabile di anemia emolitica e danni neurologici.

Tra i metalli che sono più comunemente 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; l'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che, a fronte di una esposizione ad una concentrazione di nichel nell'aria di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per l'intera vita, quattro persone su diecimila siano a rischio di contrarre il cancro.

Nella **Tabella 20** 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 20: 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	$0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$6 \text{ ng}/\text{m}^3$	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	$5 \text{ ng}/\text{m}^3$	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	$20 \text{ ng}/\text{m}^3$	31 dicembre 2012

Anche per i quattro metalli monitorati nell'indagine, considerato che la durata del monitoraggio di Brandizzo oggetto della relazione 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 2019 si è calcolato il fattore che moltiplicato per il valore medio delle campagne a Brandizzo permette di ricavare la stima annuale:

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

dove

m_c : media periodo campagne per ogni metallo Brandizzo

M_c : media stimata anno 2019 per ogni metallo Brandizzo

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

M_p : media anno 2019 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; per il nichel le concentrazioni del sito di Brandizzo sono al di sotto della media di tutte le stazioni della rete della Città Metropolitana.

Tabella 21: Laboratorio mobile ARPA Brandizzo concentrazione dei quattro metalli rilevati nel monitoraggio e stima medie annuali

Lab mobile ARPA Brandizzo concentrazione dei quattro metalli rilevati nel monitoraggio				
	Estate [ng/m ³]	Inverno [ng/m ³]	Media campagne [ng/m ³]	Media annuale stimata 2019 [ng/m ³]
Arsenico (ng/m ³)	0.70	0.70	0.70	0.70
Cadmio (ng/m ³)	0.08	0.23	0.16	0.16
Nichel (ng/m ³)	2.40	1.84	2.12	1.95
Piombo (mg/m ³)	0.004	0.008	0.006	0.008

Figura 50: Arsenico confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

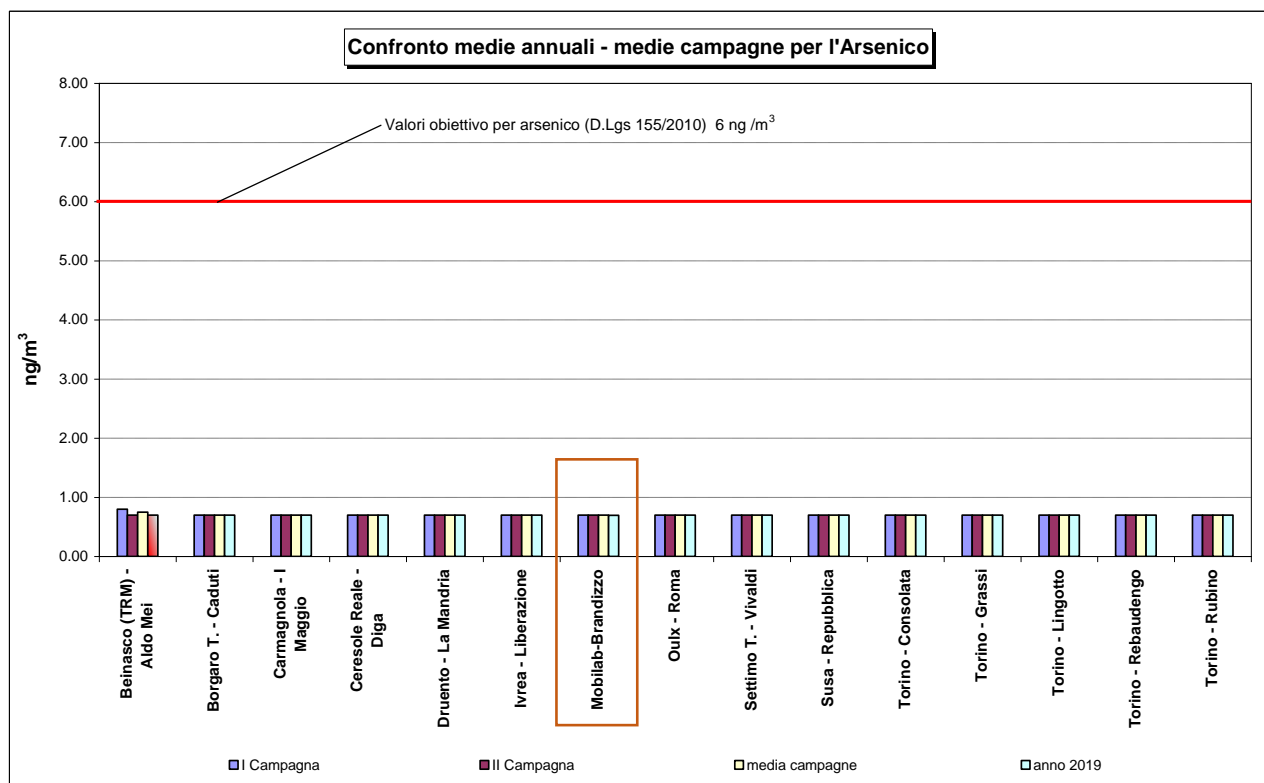


Figura 51: Cadmio confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

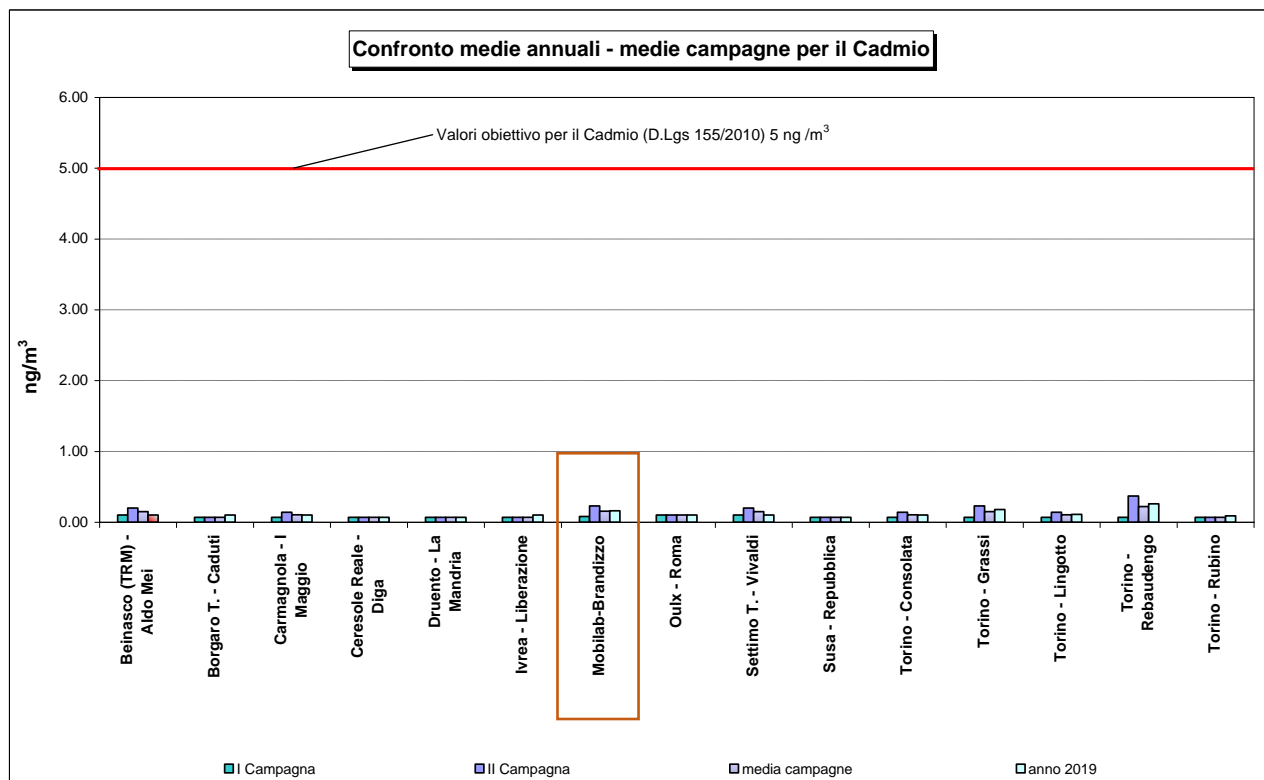


Figura 52: Nichel confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

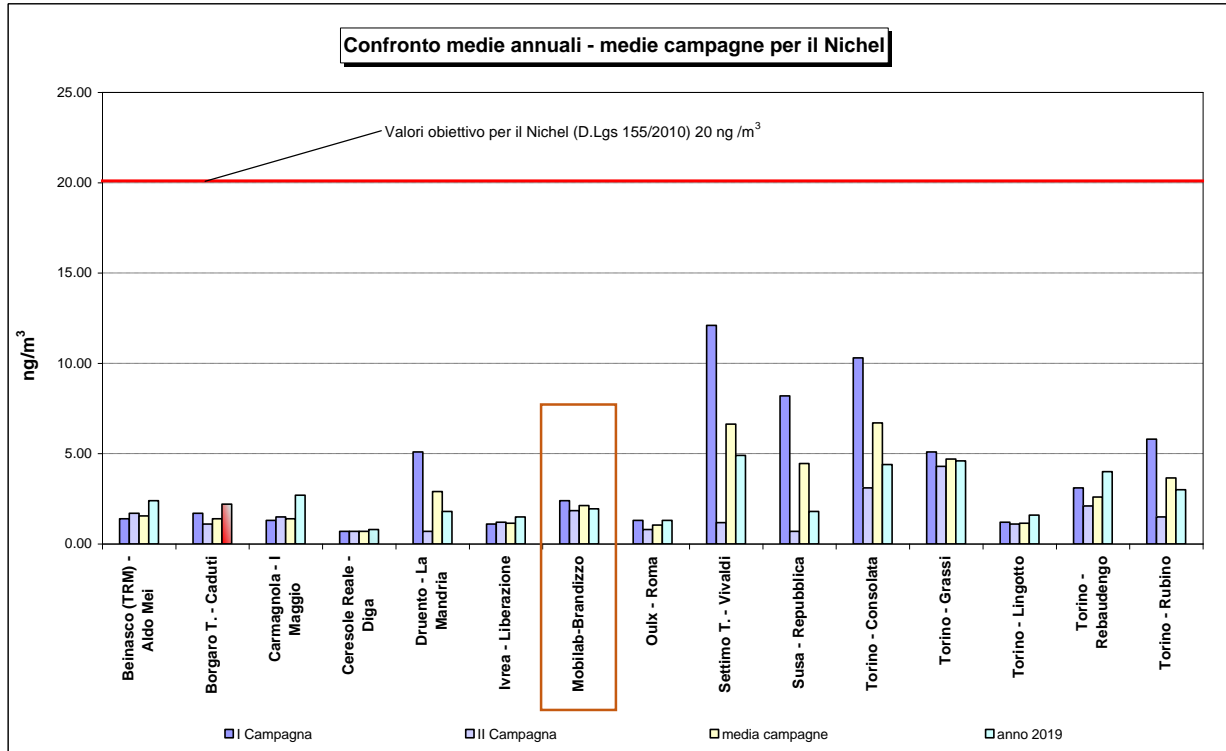
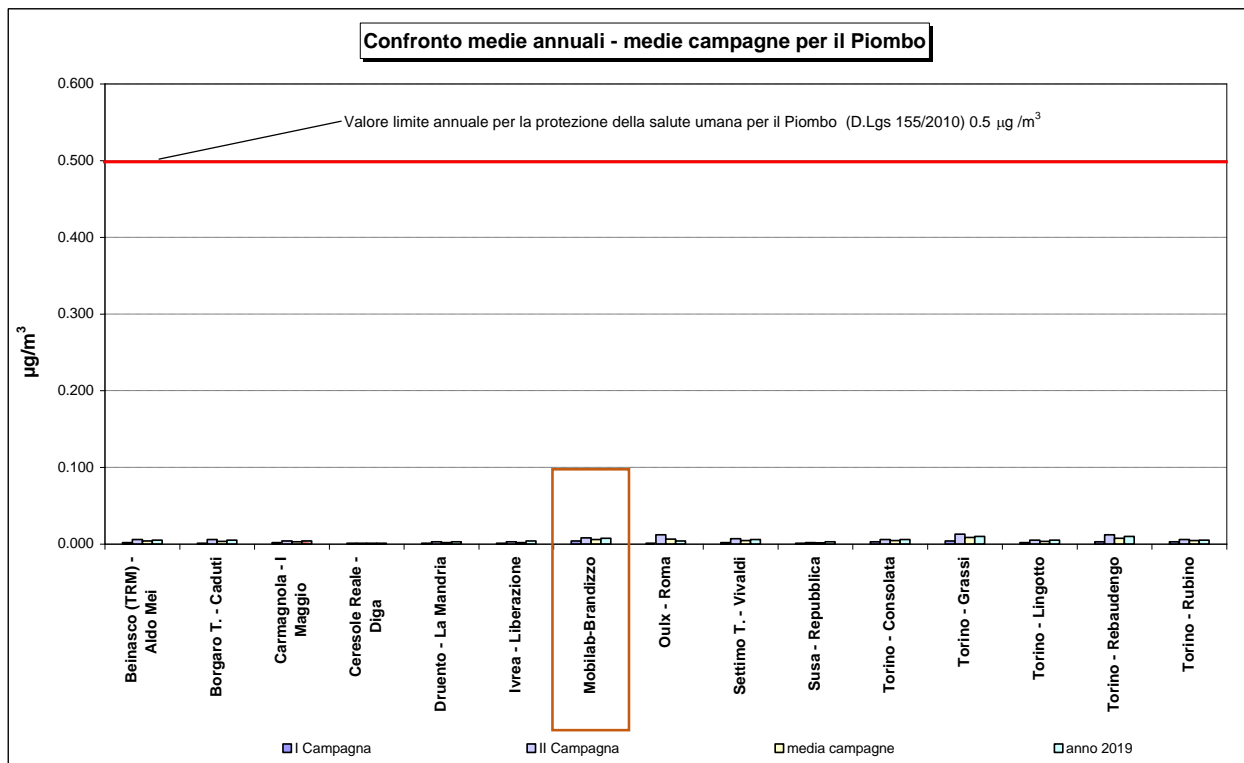


Figura 53: Piombo confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino



CONCLUSIONI

La seconda campagna di monitoraggio svoltasi tra novembre e dicembre 2019, è stata condotta in un periodo più critico rispetto a quello della prima campagna (maggio-giugno) per tutti gli inquinanti ad eccezione dell'ozono ed ha consentito di caratterizzare meglio il sito in relazione alla qualità dell'aria.

Le soglie di allarme non sono mai state superate per tutti e tre gli inquinanti (biossido di zolfo, 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 biossido di zolfo e 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, in entrambe le campagne, una situazione molto simile a quella di Settimo, stazione di traffico urbano con concentrazioni inferiori alle altre stazioni di traffico urbano e fondo urbano e superiori rispetto al sito di fondo rurale (Baldissero), fondo suburbano (Chieri e Borgaro) e traffico suburbano (Oulx).

Per quanto riguarda i limiti su base annuale previsti dalla normativa per NO₂ e PM₁₀, considerato che la durata del monitoraggio con il laboratorio mobile nel comune di Brandizzo non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo, non è possibile un confronto diretto con il limite stesso. E' stato comunque stimato un valore medio annuale sulla base dei valori registrati dalle centraline della rete fissa di monitoraggio Arpa nel 2019. Da tale procedimento, la media annuale di NO₂ stimata per Brandizzo è pari a 27 µg/m³, valore che rispetta il limite (40 µg/m³); nel confronto con 43 siti della RRQA, Brandizzo si pone al 26° posto con una media al di sotto di quelle registrate nelle stazioni di traffico urbano e diverse stazioni di fondo.

Lo stesso procedimento di stima del valore annuale è stato utilizzato per il parametro PM₁₀ a partire dai dati dalle due campagne, ottenendo una media annuale stimata di 30 µg/m³ e quindi inferiore al valore limite (40 µg/m³).

Durante il monitoraggio di maggio/giugno non si sono avuti superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³, mentre nella seconda campagna si sono verificati 6 superamenti. Occorre precisare che durante il periodo della seconda campagna si sono avuti superamenti del limite giornaliero su tutte le stazioni di rilevamento della Città Metropolitana di Torino, ad eccezione di Baldissero, Druento, Oulx e Susa.

Per quanto riguarda il 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 la stazione più simile come numero di superamenti del livello giornaliero risulta Torino-Consolata, che nel corso dell'anno ha avuto in totale 45 superamenti, al di sopra del limite di 35 stabilito dalla legge. Inoltre, ad eccezione delle quattro stazioni sopra citate che non hanno registrato superamenti durante la seconda campagna, tutte le cabine della CMT hanno avuto un numero di superamenti giornalieri superiori ai 35. È dunque presumibile che se si fosse effettuato un monitoraggio esteso all'intero anno anche nel sito di Brandizzo ci sarebbe stato il superamento del limite preso in esame. Ciò è confermato anche dalla correlazione statistica per il PM₁₀ tra media annuale e numero di giorni di superamento del valore limite giornaliero, la quale evidenzia che sul territorio piemontese il valore limite giornaliero viene rispettato per valori di media annuale inferiori a 24,7 µg/m³ (si veda la nota 3 pag. 43).

I profili del periodo della seconda campagna (**Figura 33**), quando sia il contributo degli impianti termici che le condizioni atmosferiche favorevoli all'accumulo del particolato in atmosfera ne determinano livelli di concentrazione più elevati, hanno mostrato una buona analogia tra le concentrazioni registrate nel sito di Brandizzo e quelle di Settimo e Torino-Consolata.

Il PM_{2.5} è stato monitorato durante la campagna di novembre/dicembre periodo più significativo per questo inquinante rispetto a quella della prima, quando non è stato possibile misurare questo parametro in quanto il laboratorio mobile utilizzato è sprovvisto della necessaria strumentazione.

Il valore medio del periodo è stato di 28 µg/m³, che corrisponde all' 80% della media del PM₁₀, una percentuale in linea con il periodo indagato. In termini relativi, i valori di PM_{2.5} nel sito di Brandizzo sono risultati mediamente molto vicini a quelle delle altre stazioni di Settimo e Torino-Lingotto e più alti di quelli di Ivrea.

La normativa italiana prevede per il PM_{2.5} solamente il rispetto di un limite annuale, pari a 25 µg/m³. In questo caso, non essendoci i dati della prima campagna, non è possibile effettuare stime statistiche con sufficiente significatività. È possibile fare un'ipotesi dal confronto con le stazioni della rete regionale come mostrato in **Figura 37**. Il grafico evidenzia che in tutte le stazioni della rete regionale che hanno raggiunto il 90% dei dati validi il limite annuale non è stato superato, anche nelle due centraline (Domodossola e Settimo Torinese) che nel periodo del monitoraggio hanno registrato la stessa media di Brandizzo. È pertanto presumibile che anche nel sito monitorato il limite annuale non sarebbe stato superato nel corso del 2019.

Le stima della media annuale di benzene è pari a 1.2 µg/m³, valore inferiore al limite di 5 µg/m³.

Il valore stimato della media annuale del benzo(a)pirene, è pari a 0,98 ng/m³ valore pari al valore obiettivo indicato dal D.Lgs 155/2010. Come emerge nella

Figura 49, dove viene rappresentato il profilo del rapporto percentuale tra la somma delle concentrazioni dei quattro IPA monitorati ed il particolato (IPA tot/PM₁₀), nella seconda campagna il rapporto tra questi inquinanti e il PM₁₀ di Brandizzo è tra i più elevati, risultando paragonabile a quelli di Oulx e Susa dove le polveri, in termini percentuali, risultano le più ricche di composti policiclici aromatici. Secondo quanto riportato in letteratura questo rapporto è correlabile a diverse tipologie di fonti emissive (traffico, riscaldamento, utilizzo di biomassa): porzioni più elevate di IPA nel particolato indicano la presenza di fonti legate alla combustione di biomassa. Come meglio descritto nel relativo paragrafo si può dedurre che nel sito di Brandizzo le concentrazioni di IPA riscontrate siano da correlare, oltre che al traffico veicolare, alla presenza nel territorio di impianti di riscaldamento domestico alimentati a biomassa.

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.

Per quanto riguarda l'ozono questo inquinante, a differenza degli altri previsti dalla normativa, presenta i valori più elevati nel periodo caldo dell'anno; durante la campagna di monitoraggio di maggio-giugno si sono verificati 10 superamenti del livello di protezione della salute (120 µg/m³ calcolato come massimo giornaliero della media trascinata sulle 8 ore); nel corso della campagna condotta tra novembre e dicembre non si sono registrati superamenti.

Per quanto riguarda il livello di protezione della salute su medie di 8 ore (120 µg/m³) la norma consente al massimo 25 giorni di superamento per anno civile come media di 3 anni. Dalle **Figure 43 e 44** si evince che il numero di superamenti avvenuti nel sito di Brandizzo durante la prima campagna è stato uguale a quello di Torino-Rubino e 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. Si può presumere pertanto che tale obiettivo non sia rispettato nel Comune di Brandizzo. 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.

Le criticità evidenziate nel territorio di Brandizzo a seguito della campagna di monitoraggio condotta con l'utilizzo del mezzo mobile rispecchiano quelle osservate in siti simili della Città Metropolitana di Torino, caratterizzate da fonti emissive e conformazione territoriale simili.

APPENDICE - SPECIFICHE TECNICHE DEGLI ANALIZZATORI

- **Ossidi di azoto**

MONITOR EUROPE ML 9841B

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**

MONITOR EUROPE ML 9810B

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**

API 300 A

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**

SINTECH SPECTRAS CG 855 serie 600

Gasromatografo 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;