

DIPARTIMENTO TERRITORIALE PIEMONTE NORD OVEST

Struttura semplice "Attività di Produzione"

**OGGETTO: CAMPAGNA DI RILEVAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA
CON UTILIZZO DEL LABORATORIO MOBILE
NEL COMUNE DI FROSSASCO
RELAZIONE 1^a e 2^a CAMPAGNA
(16 dicembre 2019 – 16 gennaio 2020 e 3 settembre – 1° ottobre 2020)**



CODICE DOCUMENTO: F06_2019_02221_012

Redazione	Funzione: Tecnico Struttura Attività di Produzione	Data: 23/02/2021	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 Struttura		
	Nome: Ivana Bottazzi		

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento territoriale Piemonte Nord Ovest - Struttura Semplice Attività di Produzione

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

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



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" del 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.ssa Ivana Bottazzi.

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

Partenza: AOO ARPA, N. Prot. 00017395 del 24/02/2021

CONSIDERAZIONI GENERALI SUL FENOMENO INQUINAMENTO ATMOSFERICO	4
IL LABORATORIO MOBILE	5
IL QUADRO NORMATIVO	5
LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO	8
OBIETTIVI DELLA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO	8
ELABORAZIONE DEI DATI METEOROLOGICI	10
ELABORAZIONE STATISTICHE E GRAFICHE RELATIVE AL MONITORAGGIO NEL COMUNE DI FROSSASCO	16
Andamento orario e giornaliero - Confronto con i limiti di legge	16
Giorno medio	16
Ossidi di Azoto	17
Monossido d'azoto	17
Biossido d'azoto	19
Monossido di Carbonio	25
Benzene e Toluene	28
Particolato Sospeso (PM_{10}) e ($PM_{2.5}$)	31
PM_{10} 31	
$PM_{2.5}$ 32	
Ozono 37	
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	43
METALLI	47
Conclusioni	51
APPENDICE - SPECIFICHE TECNICHE DEGLI ANALIZZATORI	53

CONSIDERAZIONI GENERALI SUL FENOMENO INQUINAMENTO ATMOSFERICO

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

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

Le principali sorgenti di inquinanti sono:

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

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

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

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

Per una descrizione completa dei singoli inquinanti, dei danni causati e dei metodi di misura si rimanda alla pubblicazione "Uno sguardo all'aria - Relazione annuale 2019", elaborata congiuntamente dalla Città Metropolitana di Torino e da Arpa Piemonte, e disponibile sui rispettivi siti internet.

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

Tabella 1: Fonti principali e 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.

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 2019".

Tabella 2: Valori limite per alcuni inquinanti atmosferici.

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

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

INQUINANTE	LIMITE	PARAMETRO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI	DATA PER IL RISPETTO DEL LIMITE
OZONO (O ₃) (D.Lgs. 13/08/2010 n.155)	Soglia di informazione	media oraria	180 µg/m ³	-	-
	Soglia di allarme	media oraria	240 µg/m ³	-	-
	Valore bersaglio per la protezione della salute umana	media su 8 ore massima giornaliera	120 µg/m ³ ⁽¹⁾	25 giorni per anno civile come media su 3 anni	2010
	Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	AOT40 calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18000 µg/m ³ *h come media su 5 anni ⁽²⁾		2010
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40 calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	6000 µg/m ³ *h ⁽²⁾		
BENZO(a)PIRENE (D.Lgs. 13/08/2010 n.155)	Obiettivo di qualità	media mobile valori giornalieri (3)	1 ng/m ³ ⁽⁴⁾	-	-

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

(2) Per AOT40 si intende la somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 80 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

Le campagne di monitoraggio condotte nel Comune di Frossasco dal Dipartimento Territoriale Piemonte Nord Ovest di Arpa sono state effettuate in seguito alla richiesta dell'Amministrazione Comunale - prot. n°4599 del 09/08/2019, prot. ARPA n° 71810 del 09/08/2019 e sono finalizzate ad avere informazioni sulla qualità dell'aria nel territorio monitorato, da utilizzare anche come confronto per le successive rilevazioni che verranno realizzate dopo la messa in funzione dello stabilimento Kastamonu.

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

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 lo stabilimento Kastamonu) 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 Don Rinaldo Asvisio 4, durante il sopralluogo del 2/10/2019, al quale era presente personale dell'Ufficio Tecnico del comune di Frossasco.

Nella **Figura 1** e **Figura 2** viene meglio rappresentato il sito nel quale è stato posizionato il laboratorio mobile.

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

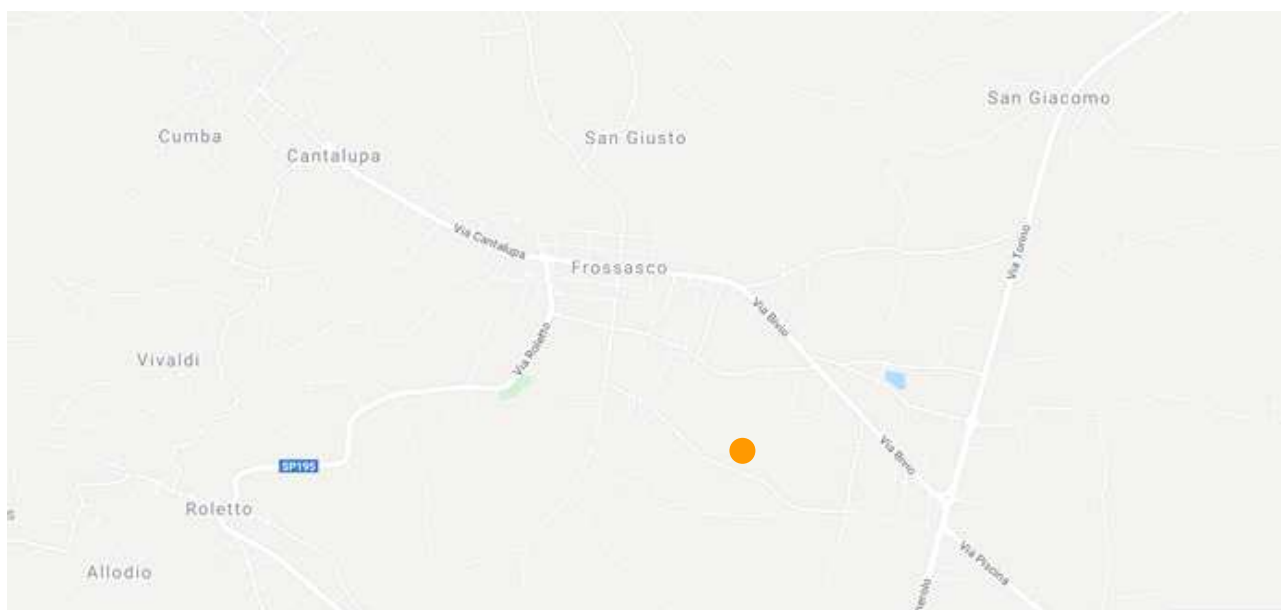
La prima campagna è stata condotta tra il **16 dicembre 2019** ed il **16 gennaio 2020** (32 giorni), la seconda dal **3 settembre** al **1° ottobre 2020** (29 giorni). Si rammenta che per ragioni tecniche le elaborazioni sono state effettuate considerando esclusivamente i giorni di campionamento completi 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 17 dicembre 2019 al 15 gennaio 2020, per un totale di 31 giorni per quanto riguarda la prima campagna, e dal 4 al 30 settembre (27 giorni) per la seconda.

Va sottolineato che i dati acquisiti nel corso della campagna condotta con il Laboratorio Mobile non permettono di effettuare una trattazione in termini statistici, secondo quanto previsto dalla normativa per la qualità dell'aria, ma forniscono un quadro, seppure limitato dal punto di vista temporale, della situazione di inquinamento atmosferico relativa al sito in esame; il confronto con i dati rilevati nello stesso periodo della campagna dalle stazioni fisse della rete della Città Metropolitana di monitoraggio della qualità dell'aria permette, inoltre, di effettuare considerazioni di tipo comparativo.

Una trattazione completa, secondo quanto previsto dalla normativa vigente (allegato I del D.Lgs. 155/2010), dovrebbe prevedere, infatti, campagne di monitoraggio caratterizzate da una durata tale da comprendere almeno il 14% annuo di misurazioni (una misurazione in un giorno, scelto a caso, di ogni settimana in modo che le misure siano uniformemente distribuite durante l'anno, oppure otto settimane di misurazione distribuite in modo regolare nell'arco dell'anno).

Partenza: AOO ARPA, N. Prot. 00017395 del 24/02/2021

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



MEZZO DI MISURA	PERIODO	INDIRIZZO	Coordinate UTM (S.R. WGS84)	
Laboratorio mobile della qualità dell'aria di Arpa Piemonte	- I CAMPAGNA 16 dicembre 2019 - 16 gennaio 2020 - II CAMPAGNA 3 settembre - 1° ottobre 2020	Via Don Rinaldo Asvisio 4 FROSSASCO (TO)	EST: 370417	NORD: 4977277

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



ELABORAZIONE DEI DATI METEOROLOGICI

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

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

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

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

“In Piemonte, il mese 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.

Meritano una citazione i 13 giorni con episodi di foehn durante il mese, circa il doppio rispetto alla norma del periodo 2000 – 2015, che hanno contribuito allo scostamento termico positivo.

Dal punto di vista pluviometrico ha avuto una precipitazione media di 123 mm, superiore di 68,7 mm (pari al 127%) rispetto alla norma del periodo 1971-2000, risultando l'8° mese di dicembre più piovoso degli ultimi 62 anni.

In Piemonte il mese di gennaio 2020 ha avuto una temperatura media di quasi 3°C con un'anomalia termica positiva di circa 2.5°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è risultato il 4° mese di gennaio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 63 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 12.3 mm medi ed un deficit di 47.5 mm (pari al 79%); gennaio 2020 si pone al 12° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 63 anni.

In questo mese gli eventi di nebbia sono stati superiori alla norma; tale fatto non si verificava da dicembre 2018 per le nebbie ordinarie (visibilità inferiore ad 1 km) ed addirittura da febbraio 2017 per le nebbie fitte (visibilità inferiore a 100 m).

In Piemonte il mese di settembre 2020 ha avuto una temperatura media di circa 15.8°C, con un'anomalia termica positiva di 1.4°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 14° mese di settembre più caldo degli ultimi 63 anni.

Tuttavia l'evento termico più rilevante è stato il freddo anomalo che si è verificato attorno al 27 settembre, quando quasi la metà delle stazioni termometriche della rete ARPA Piemonte ha stabilito il primato di temperatura minima per il mese di Settembre.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 52.1 mm medi ed un deficit di 47.3 mm (pari al 48%); settembre 2020 si pone al 21° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi considerati a partire dal 1958.”

Per quanto riguarda le condizioni meteorologiche locali, l'anemologia della zona monitorata, è risultata caratterizzata, come nelle valli montane, da un regime con ciclo giornaliero che dà origine ai fenomeni della brezza di valle e della brezza di monte.

Brezza di valle: al mattino le pareti dei monti si scaldano per effetto dell'insolazione e l'aria ad essi adiacente si scalda, forma cumuli e sale lungo i pendii della valle.

Questa brezza ascendente di aria calda è fortemente turbolenta con capacità di diluizione effettiva degli inquinanti e ha uno spessore notevole (circa 100 metri).

Brezza di monte: di notte l'aria a contatto con la terra si raffredda e scivola verso la valle lungo il fianco delle montagne.

Questa brezza discendente è una lama d'aria molto sottile (circa 10 metri di spessore) che scende lungo i fianchi delle montagne verso il centro della valle e poi si dirige verso lo sbocco della valle stessa con velocità in funzione della pendenza del fondo valle.

Quando vi è una situazione di vento di valle che trascina in quota gli inquinanti vi è un rimescolamento rapido con le masse d'aria presenti in quota che disperdono gli inquinanti, questa situazione è fondamentale per la pulizia dell'aria della valle.

E' importante osservare che la configurazione e la direzione di tali brezze non sono necessariamente conformi con il vento di quota che sposta le masse su grande scala territoriale.

Il regime di brezza presso il sito di Frossasco si può osservare nella **Figura 3** (ROSA DEL VENTO – TOTALE) e soprattutto nella **Figura 4** (ROSA DEL VENTO – GIORNO) e nella **Figura 5** (ROSA DEL VENTO – NOTTE). Nelle ore diurne i venti provengono principalmente da SE e ESE; nelle ore notturne i venti provengono da NW; la maggioranza delle calme di vento si verifica in ore notturne.

La situazione sopra descritta evidenzia pertanto un regime di brezza coerente con la posizione del sito di monitoraggio rispetto ai rilievi montani limitrofi. Si precisa che le elaborazioni delle rose dei venti della prima campagna sono relative al periodo tra il 2 e 15 gennaio, in quanto nei giorni precedenti di monitoraggio il sensore di direzione del vento ha avuto problemi tecnici.

Durante la campagna invernale il campo pressorio si è attestato tra 950 e 990 mbar (**Figura 6**), con picco minimo il 22 dicembre con 946 mbar e picco massimo il 30 dicembre con 993 mbar. Nei giorni della seconda campagna il campo pressorio ha oscillato tra 950 e 980 mbar, con un picco massimo di 984 mbar raggiunto il 14 settembre e un minimo di 951 il 25 settembre.

Nel comune di Frossasco, il valore medio della temperatura del periodo invernale è stata di 5,7°C (**Tabella 5**); il valore massimo orario si è raggiunto il 24 dicembre con un valore pari a 18,2°C, mentre quello minimo di -1,3 si è registrato l'8 gennaio; nella campagna estiva la media registrata è stata di 19,1 °C con un massimo di 29,1°C il 17 settembre ed un minimo di 5,3°C raggiunto il 27 settembre.

In **Figura 7**, 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; tale fenomeno risulta più evidente nel periodo estivo. Anche nel periodo invernale si osserva la medesima specularità osservata d'estate, ma ovviamente le temperature risultano più basse; nei giorni dal 17 al 22 dicembre, in corrispondenza degli eventi piovosi più significativi del periodo, si sono verificati i picchi di umidità.

La **Figura 8** mostra l'andamento della radiazione solare globale (R.S.G.) e delle precipitazioni nel corso delle due campagne di monitoraggio. Durante la prima campagna (**Figura 9**), si sono verificati eventi piovosi tra il 17 e il 22 dicembre. Nel periodo estivo si sono registrati giorni di pioggia il 7 e l'11 e dal 19 al 22 settembre. Nelle giornate caratterizzate da una elevata piovosità è corrisposto un 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 sono stati di 348 W/m² durante la campagna invernale e 711 W/m² durante quella estiva. 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	
	Inverno.	Estate	Inverno.	Estate.	Inverno.	Estate.	Inverno.	Estate	Inverno.	Estate.	Inverno.	Estate.
Minima giornaliera	4.1	49	1.4	11.6	27.5	21	949.7	954.5	0.54	1.0	0.0	0.0
Massima giornaliera	73.4	277	12.9	23.5	99.0	90	991.8	982.5	5.68	3.9	1.2	0.7
Media delle medie giornaliere	51.1	161	5.7	19.1	69.1	65	979.4	972.6	1.72	1.8	0.1	0.1
Giorni validi	30	21	30	27	30	26	30	27	30	26	30	26
Percentuale giorni validi	100%	78%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	96%	100%	96%
Media dei valori orari	51.0	175	5.7	19.1	69.1	65	979.4	972.6	1.73	1.8	0.1	0.1
Massima media oraria	348.0	711	18.2	29.1	99.0	98	993.0	984.0	9.70	7.0	4.6	5.0
Ore valide	711	554	720	648	720	624	720	648	711	623	720	624
Percentuale ore valide	99%	85%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	99%	96%	100%	96%

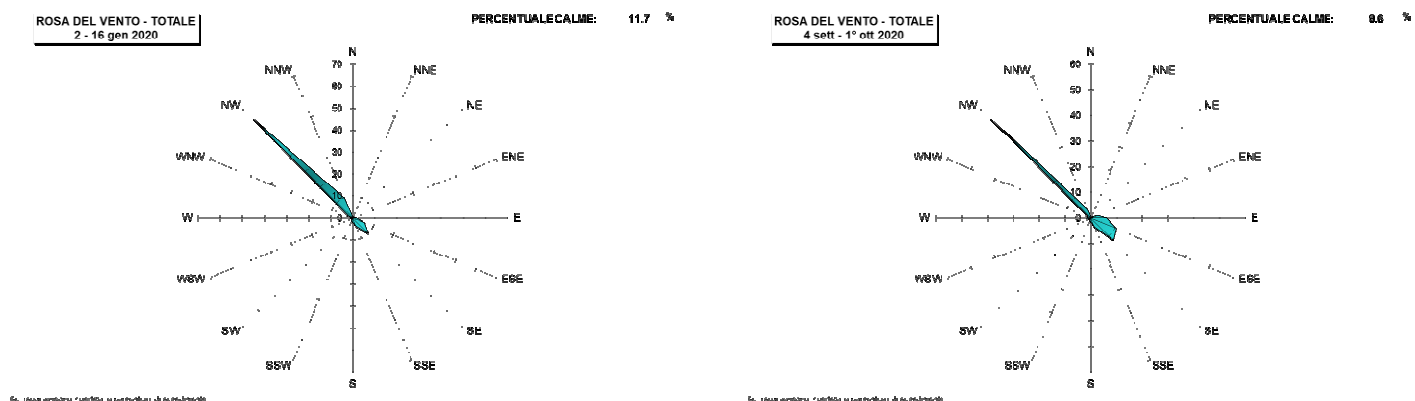
Figura 3: Distribuzione dati di vento in funzione della direzione e della classe di velocità – totale

Figura 4: Distribuzione dati di vento in funzione della direzione e della classe di velocità – diurna

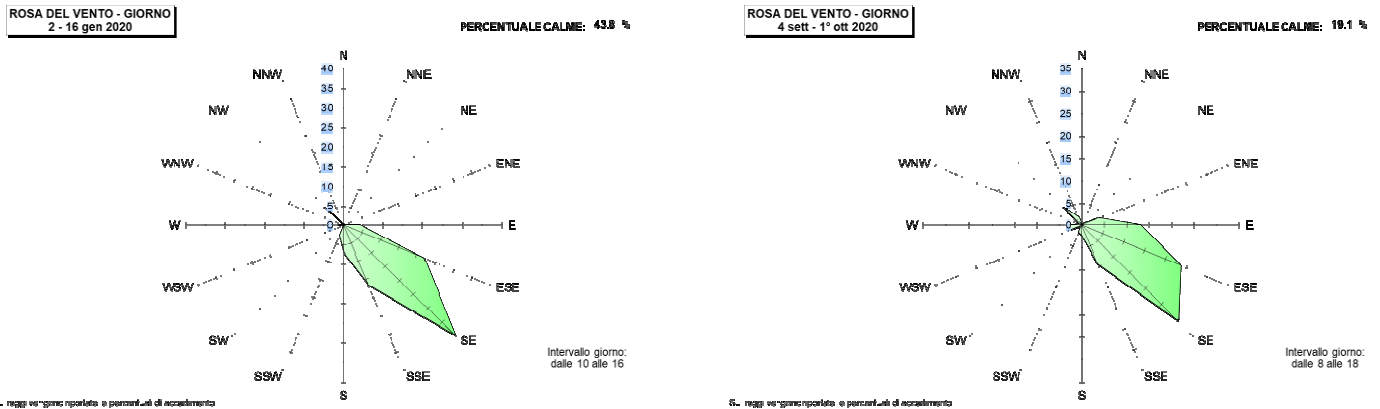


Figura 5: Distribuzione dati di vento in funzione della direzione e della classe di velocità – notturna

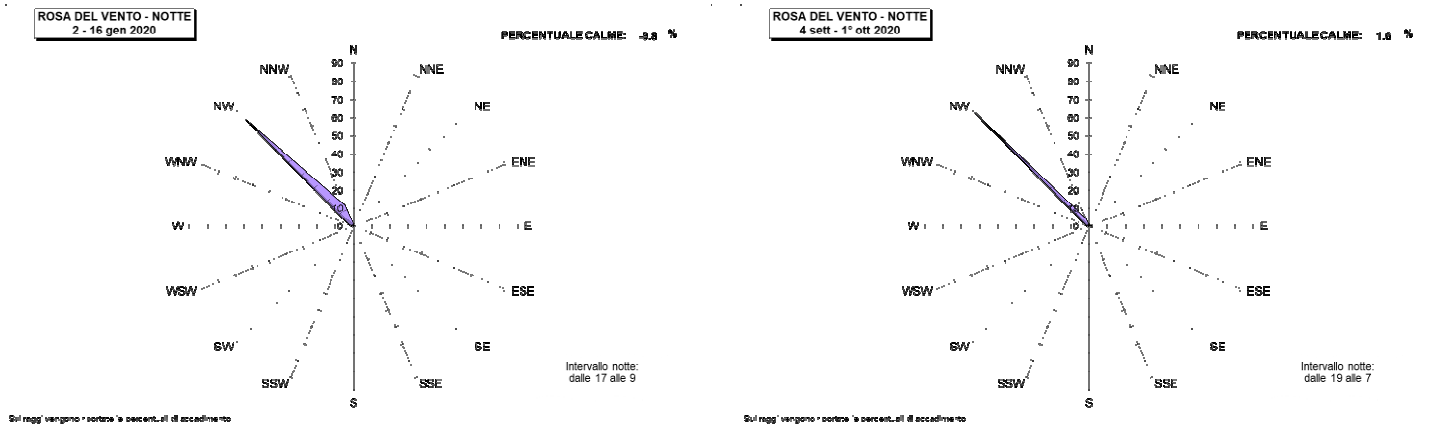


Figura 6: Pressione Atmosferica

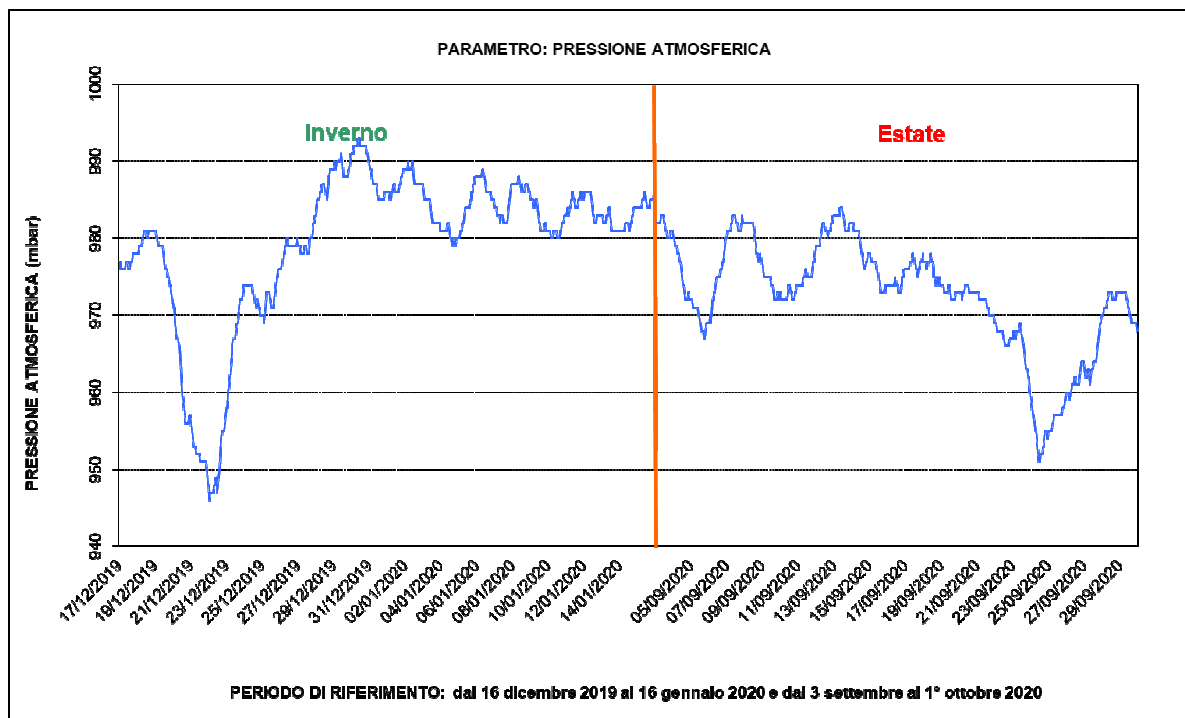


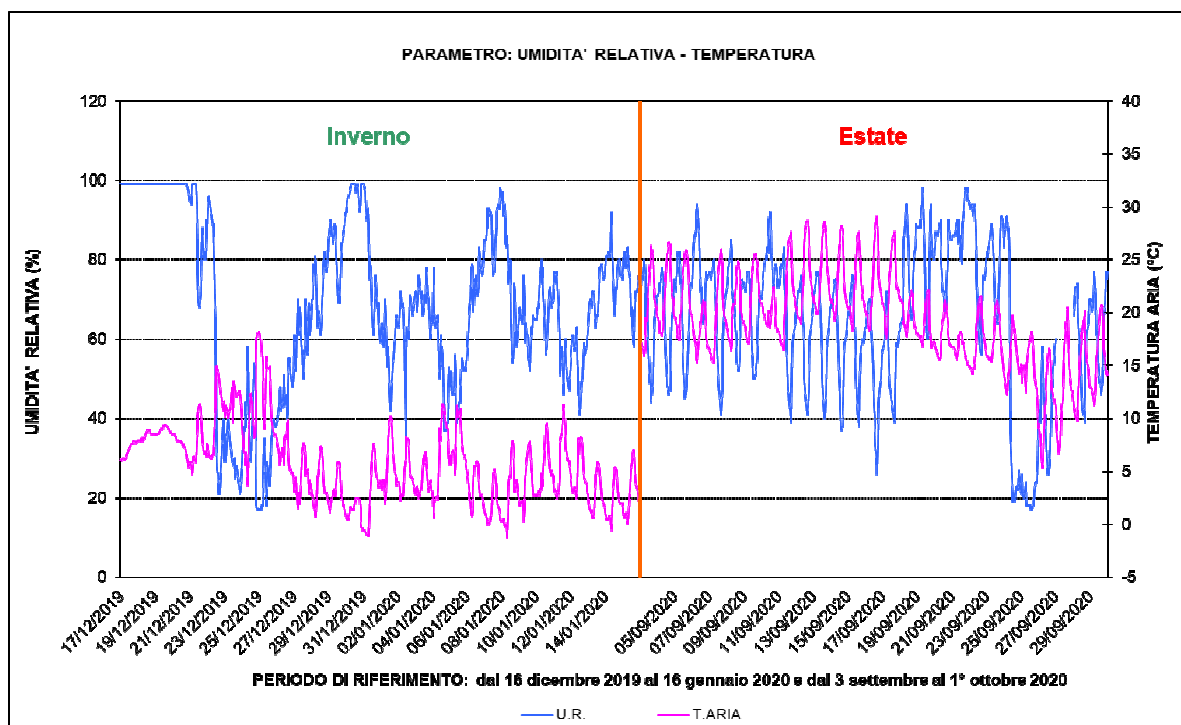
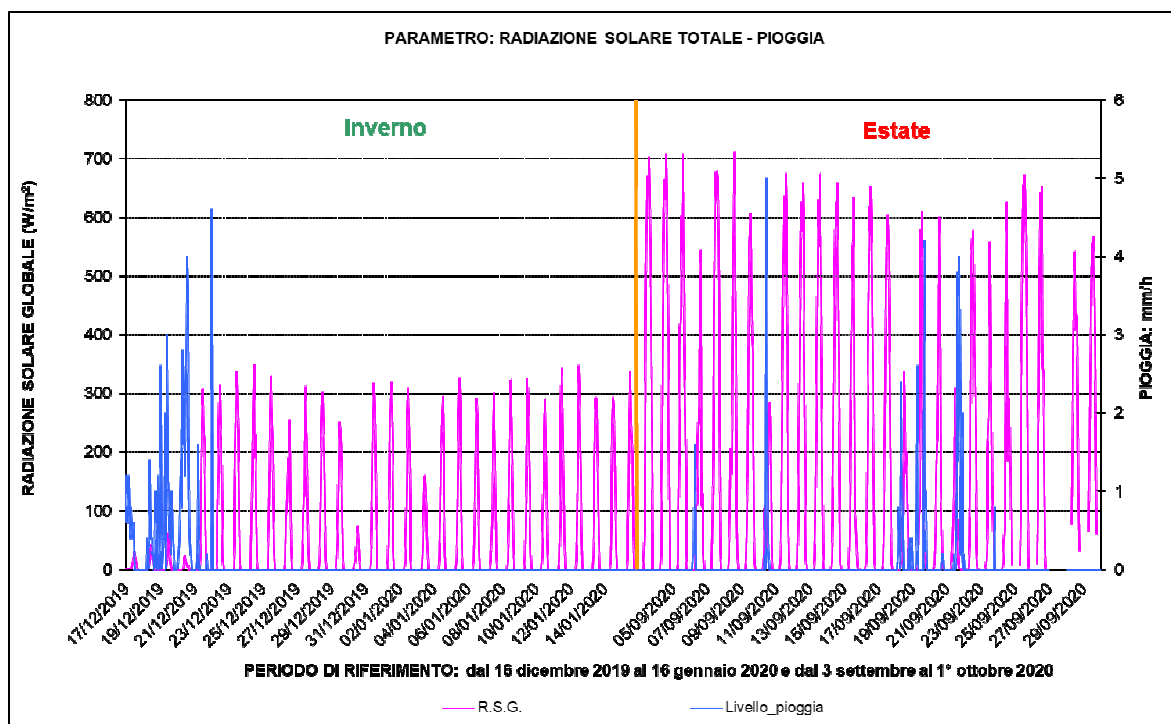
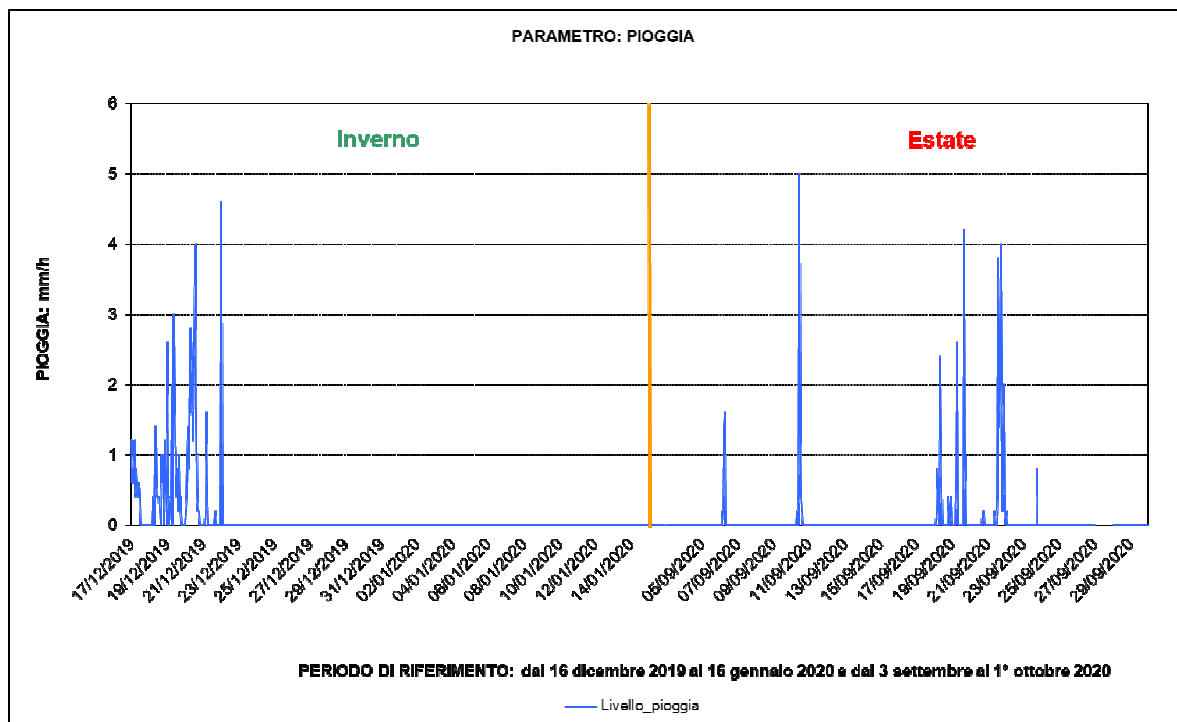
Figura 7: Umidità Relativa - Temperatura aria**Figura 8:** Radiazione Solare Globale e pioggia

Figura 9: pioggia



ELABORAZIONE STATISTICHE E GRAFICHE RELATIVE AL MONITORAGGIO NEL COMUNE DI FROSSASCO

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 (Struttura Attività 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 raggiunti 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 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; la media dei valori orari risulta pari a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nella seconda campagna la media dei valori orari è risultata di 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ed un valore massimo orario di 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda il confronto con altre stazioni della rete della CMT (**Figura 10** e **Figura 11**) la campagna invernale nella quale si sono registrati i valori più elevati e pertanto più rappresentativi, ha evidenziato livelli e andamento confrontabili con quelli di Susa, e più bassi di quelli di Borgaro, stazione di fondo extraurbana e di Torino-Consolata, stazione di traffico urbana.

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

	Inverno	Estate
Minima media giornaliera	2	2
Massima media giornaliera	14	5
Media delle medie giornaliere:	5	3
Giorni validi	30	25
Percentuale giorni validi	100%	93%
Media dei valori orari	5	3
Massima media oraria	72	6
Ore valide	716	595
Percentuale ore valide	99%	92%

Figura 10: NO - medie orarie confronto con alcune stazioni della rete fissa

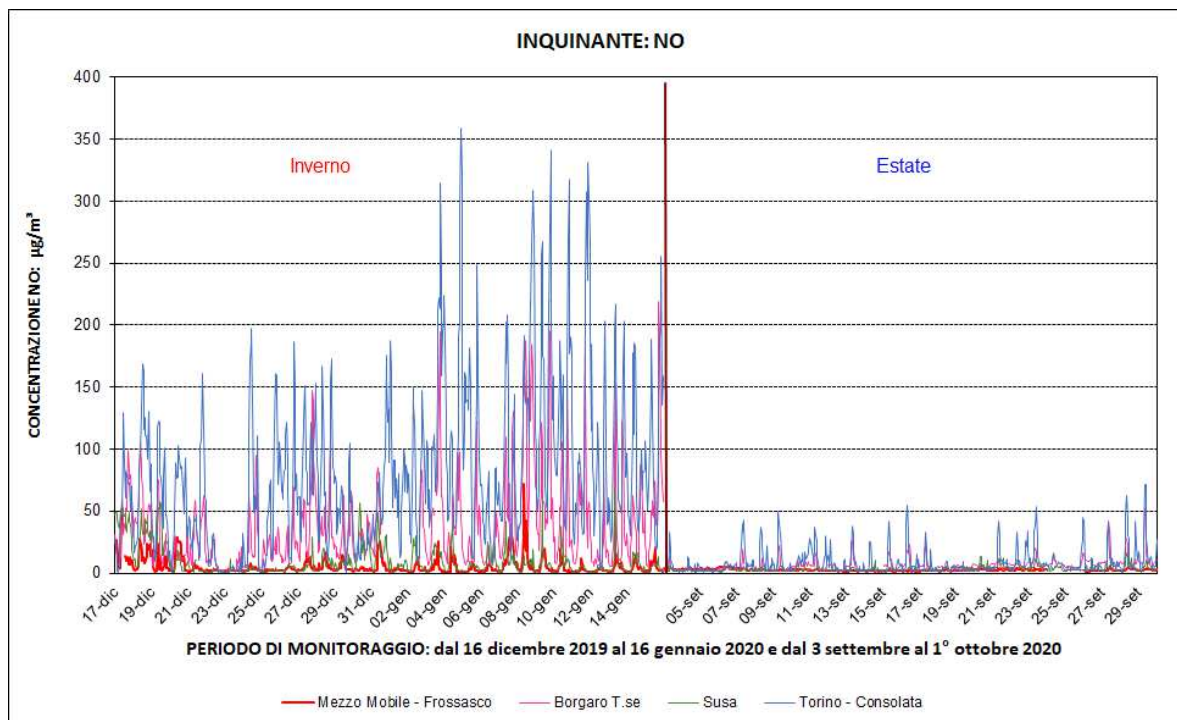
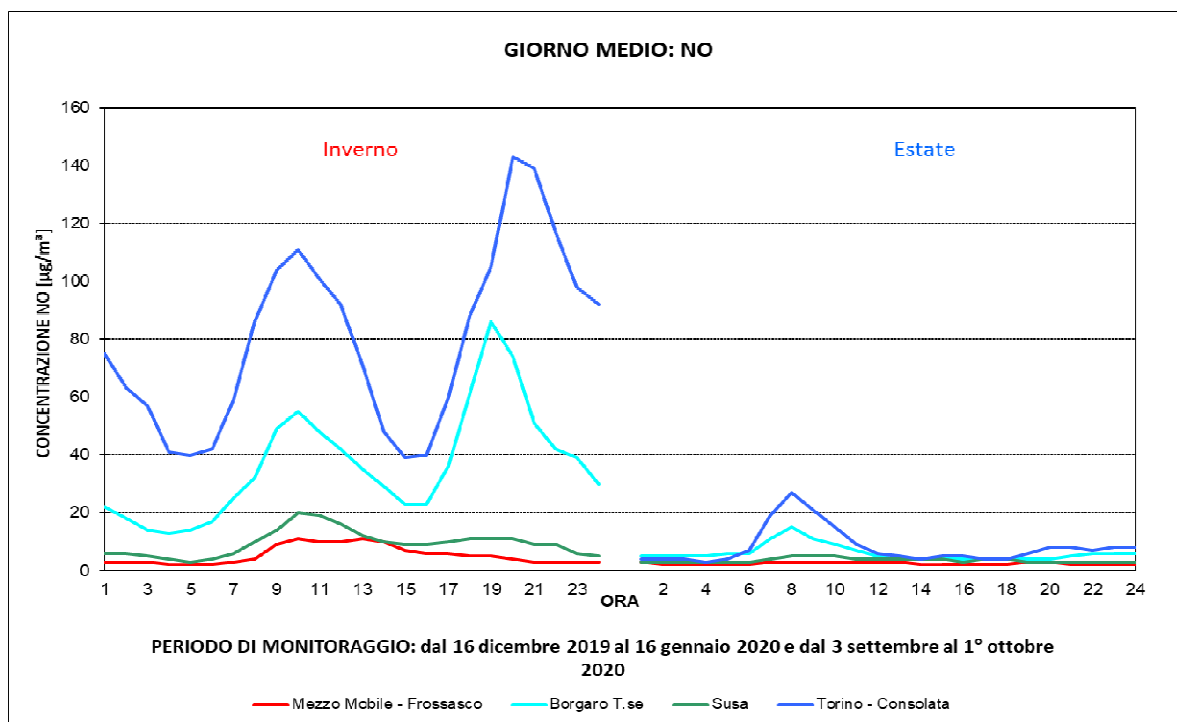


Figura 11: NO - giorno medio confronto con alcune stazioni della rete fissa



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 NO_2 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' NO_2 (**Tabella 7**), durante le campagne di monitoraggio nel comune di Frossasco non si sono registrati superamenti del limite orario di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ né tantomeno del livello di allarme di 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, essendo la massima media oraria misurata di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (prima campagna) e di 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (seconda campagna).

La **Figura 12** e la **Figura 13** 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 Frossasco presentano concentrazioni più basse rispetto a quelle di Borgaro, stazione di fondo suburbana e di Torino-Consolata, stazione di traffico urbana; gli andamenti ed i livelli di massimi e minimi risultano confrontabili con quelli di Susa, cabina di fondo suburbano.

Nella **Figura 14** e nella **Figura 15** 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 è una visualizzazione usata in statistica per rappresentare la distribuzione di una serie di eventi relativi ad un campione esaminato; nella presente trattazione sintetizza la posizione di tutti i dati orari ottenuti: il rettangolo (la "scatola") è delimitato dal 25° e dal 75° percentile¹ e diviso al suo interno dalla mediana, che evidenzia l'eventuale asimmetria (solo in caso di distribuzione simmetrica, media e mediana coincidono). I segmenti che escono dalla scatola (i "baffi") delimitano la zona al di fuori della quale i valori sono definiti outliers (anomali) ed esprimono l'asimmetria della distribuzione dei dati degli inquinanti.

Nella **Tabella 8** e nella **Tabella 9** sono riportate le concentrazioni medie, mediane e massime registrate durante le due campagne di monitoraggio presso il sito di Frossasco 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 (FR= fondo-rurale; FS= fondo-suburbano; FU= fondo-urbano; TS= traffico-suburbano; TU= traffico-urbano).

I box plot e gli indicatori relativi ai dati del laboratorio mobile mostrano nella prima campagna concentrazioni inferiori a tutte le altre stazioni di confronto; nella seconda campagna le elaborazioni evidenziano concentrazioni uguali a quelle di Baldissero T.se, classificata di fondo rurale, ed inferiori alle altre stazioni prese in esame.

Il D.Lgs. 155/2010 prevede per il biossido di azoto anche un valore limite annuale per la protezione della salute umana di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Visto che la durata della campagna non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo, non è possibile un confronto diretto con le misure effettuate. Si può però considerare un valore stimato di media annuale facendo riferimento alle

¹ Percentile di ordine k (P_k) è il numero che suddivide la successione dei valori ordinati in senso crescente in due parti, tali che i valori minori o uguali a P_k siano una percentuale uguale a k%. Il percentile è il valore di una variabile sotto il quale si verifica una certa percentuale dell'osservazione. Ad esempio il 25° percentile è il valore sotto al quale si trovano il 25% delle osservazioni. La mediana corrisponde al 50° percentile.

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. È stato preso come riferimento il 2019 in quanto il 2020 nel suo complesso è risultato un anno anomalo a causa della crisi sanitaria in corso. Rapportando per 38 siti della RRQA (**Tabella 10**) il valore della concentrazione media del 2019 di NO₂, alla concentrazione media calcolata nei giorni delle due campagne svolte a Frossasco, è stata costruita la retta di interpolazione di **Figura 16**. 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 Frossasco, riferita al 2019, di 13 µg/m³, inferiore al limite annuale di 40 µg/m³.

Tabella 7: Dati relativi al biossido di azoto (NO₂) (µg/ m³)

	Inverno	Estate
Minima media giornaliera	2	2
Massima media giornaliera	31	11
Media delle medie giornaliere	20	6
Giorni validi	30	22
Percentuale giorni validi	100%	81%
Media dei valori orari	20	6
Massima media oraria	50	20
Ore valide	716	540
Percentuale ore valide	99%	83%
<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 12: NO_2 - confronto con i limiti di legge e con i dati delle stazioni fisse di Borgaro, Susa e Torino-Consolata

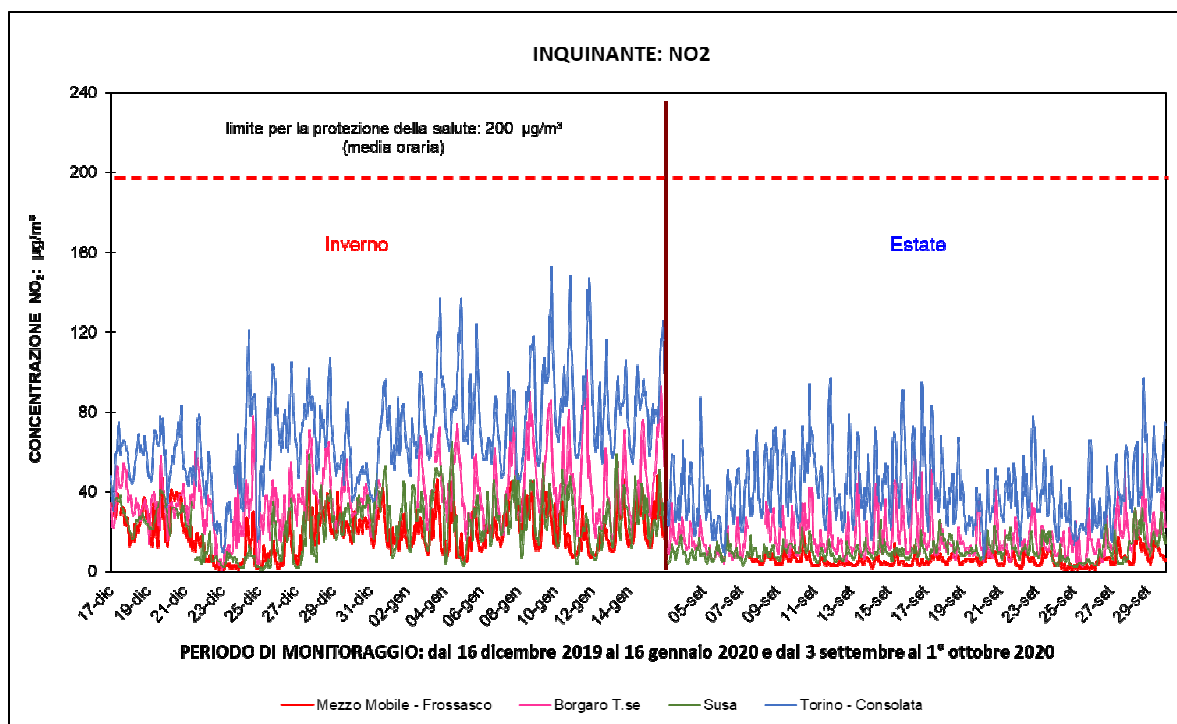


Figura 13: NO_2 - andamento del giorno medio

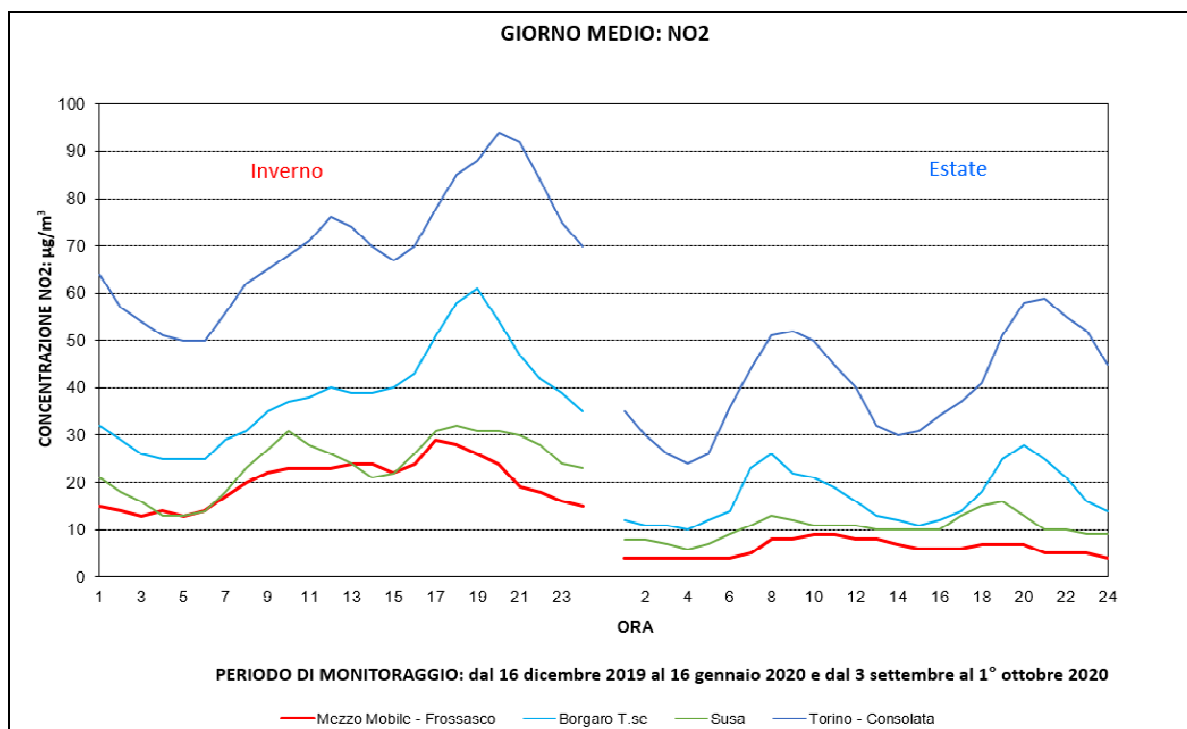
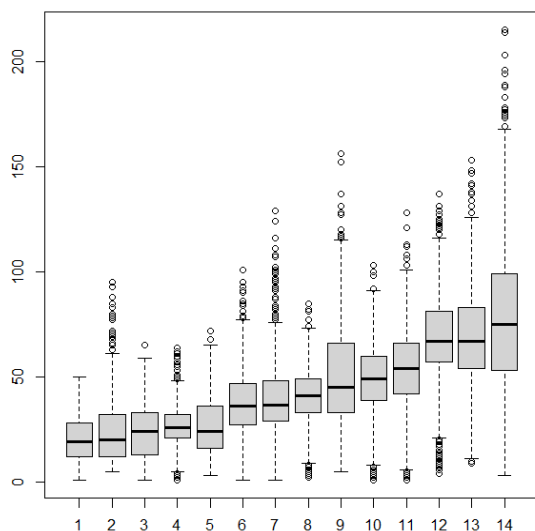


Tabella 8: confronto tra le concentrazioni medie, mediane e massime rilevate a Frossasco con il laboratorio mobile e presso le stazioni della rete Città Metropolitana durante la 1^a campagna

	Media	Mediana	Massimo
Mezzo Mobile - Frossasco	20	19	50
Baldissero T. (FR)	24	20	95
Susa (FS)	24	24	65
Oulx (TS)	26	24	72
Chieri (FS)	27	26	64
Borgaro (FS)	38	36	101
Carmagnola (TU)	41	37	129
Ivrea (FS)	40	41	85
Beinasco TRM (FS)	51	45	156
Torino – Rubino (FU)	48	49	103
Orbassano (FS)	53	54	128
Torino – Lingotto (FU)	68	67	137
Torino – Consolata (TU)	70	67	153
Collegno (TU)	78	75	215

Figura 14: box plot dati orari NO₂ - 1^a campagna

Confronto tra le distribuzioni orarie rilevate con il laboratorio mobile a Frossasco e presso le centraline della Città Metropolitana di Torino dal 16 dicembre 2019 al 16 gennaio 2020



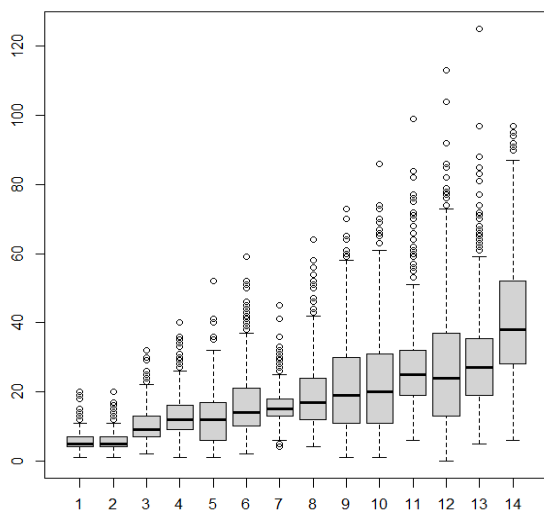
- 1= Frossasco-Mezzo Mobile
- 2= Baldissero T.
- 3= Susa
- 4= Chieri
- 5= Oulx
- 6= Borgaro
- 7= Carmagnola
- 8= Ivrea
- 9= Beinasco TRM
- 10= Torino-Rubino
- 11= Orbassano
- 12= Torino-Lingotto
- 13= Torino-Consolata
- 14= Collegno

Tabella 9: confronto tra le concentrazioni medie, mediane e massime rilevate a Frossasco con il laboratorio mobile e presso le stazioni della rete Città Metropolitana durante la 2^a campagna

	Media	Mediana	Massimo
Baldissero T. (FR)	6	5	20
Mezzo Mobile - Frossasco	6	5	20
Susa (FS)	10	9	32
Chieri (FS)	13	12	52
Ivrea (FS)	13	12	40
Borgaro (FS)	17	14	59
Oulx (TS)	16	15	45
Beinasco TRM (FS)	19	17	64
Torino – Rubino (FU)	22	19	73
Orbassano (FS)	23	20	86
Collegno (TU)	27	24	113
Carmagnola (TU)	28	25	99
Torino – Lingotto (FU)	29	27	125
Torino – Consolata (TU)	41	38	97

Figura 15: box plot dati orari NO₂ - 2^a campagna

Confronto tra le distribuzioni orarie rilevate con il laboratorio mobile a Frossasco e presso le centraline della Città Metropolitana di Torino dal 3 settembre al 1° ottobre 2020



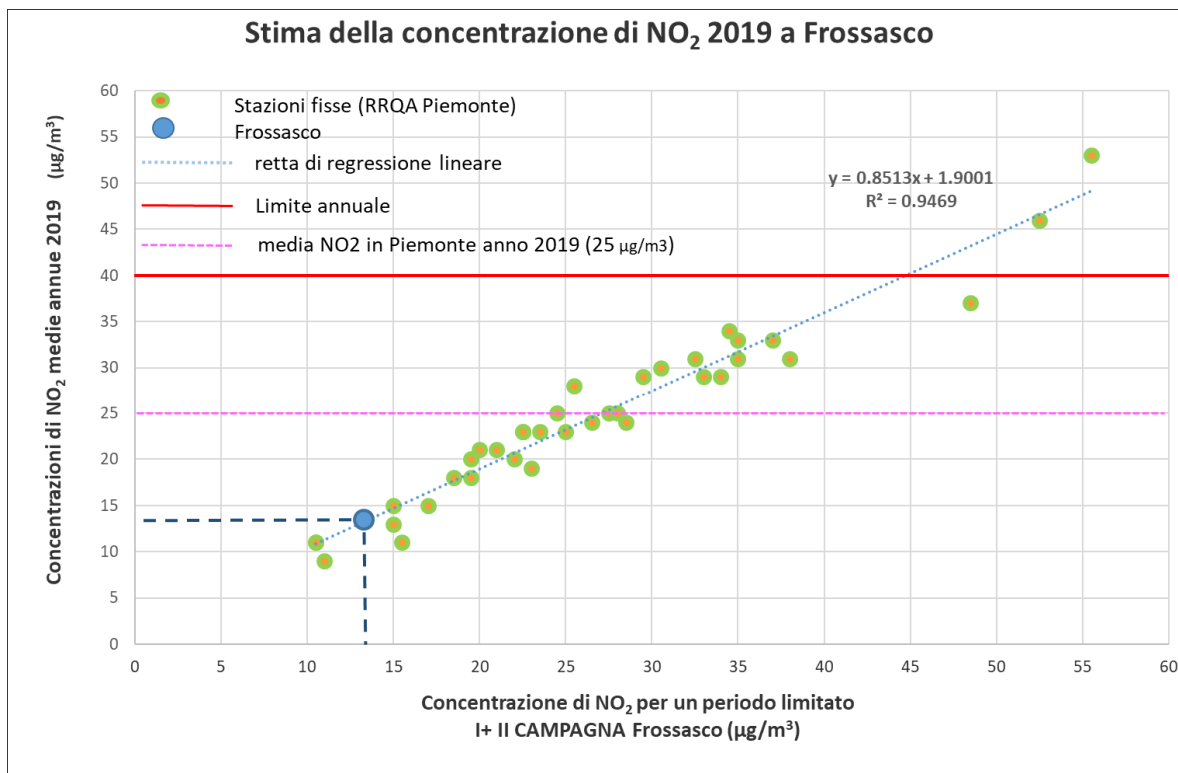
- 1= Baldissero T.
- 2= Frossasco-Mezzo Mobile
- 3= Susa
- 4= Ivrea
- 5= Chieri
- 6= Borgaro
- 7= Oulx
- 8= Beinasco TRM
- 9= Torino-Rubino
- 10= Orbassano
- 11= Carmagnola
- 12= Collegno
- 13= Torino-Lingotto
- 14= Torino-Consolata

Tabella 10: 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	14	8	11	9
Revello - Staffarda	14	7	11	11
Trivero – Ronco	15	6	11	11
Pieve Vergonte - Industria	23	8	16	11
Mezzo Mobile - Frossasco (*)	20	6	13	13
Vinchio - San Michele	23	7	15	13
Baldissero T. (ACEA) - parco	24	6	15	15
Susa - Repubblica	24	10	17	15
Biella - Sturzo	29	8	19	18
Cossato - Pace	29	10	20	18
Vercelli - CONI	33	13	23	19
Verbania - Gabardi	29	10	20	20
Domodossola - Curotti	32	12	22	20
Chieri - Bersezio	27	13	20	21
Oulx - Roma	26	16	21	21
Castelletto T. - Fontane	29	16	23	23
Cigliano - Autostrada	22	23	23	23
Asti - D'Acquisto	34	13	24	23
Cuneo - Alpini	30	20	25	23
Ivrea - Liberazione	40	13	27	24
Bra - Madonna Fiori	38	19	29	24
Mondovì - Aragno	31	18	25	25
Borgaro T. - Caduti	38	17	28	25
Cerano - Bagno	37	19	28	25
Vercelli - Gastaldi	37	14	26	28
Tortona - Carbone	39	20	30	29
Borgomanero - Molli	45	21	33	29
Trecate - Verra	50	18	34	29
Novi Ligure - Gobetti	42	19	31	30
Omegna - Crusinallo	41	24	33	31
Beinasco (TRM) - Aldo Mei	51	19	35	31
Orbassano - Gozzano	53	23	38	31
Torino - Rubino	48	22	35	33
Oleggio - Gallarate	45	29	37	33
Carmagnola - I Maggio	41	28	35	34
Torino - Lingotto	68	29	49	37
Collegno - Francia	78	27	53	46
Torino - Consolata	70	41	56	53

(*)= medie annuali stimate

stazioni della Città Metropolitana di Torino

Figura 16: NO₂ - stima della concentrazione annuale a Frossasco

Monossido di Carbonio

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

Il monossido di carbonio è caratterizzato da un'elevata affinità con l'emoglobina presente nel sangue (circa 220 volte maggiore rispetto all'ossigeno), pertanto la presenza di questo gas comporta un peggioramento del normale trasporto di ossigeno nei diversi distretti corporei.

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 Frossasco (**Tabella 11**) confermano tale andamento osservato su scala regionale. La normativa prevede un limite di 10 mg/m³, calcolato come media su otto ore consecutive, il quale è ampiamente rispettato visto che il valore massimo su otto ore è pari a 1.4 mg/m³, nel periodo invernale, e 0.4 mg/m³ in quello estivo (**Figura 17**); questo limite non è raggiunto neppure su base oraria (il massimo valore orario è stato di 1.6 e 0.4 mg/m³ nelle due rispettive campagne). La **Figura 19** 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 18** e **Figura 19**) indica concentrazioni confrontabili con quelle di Oulx (stazione di traffico

suburbano) e Leinì (stazione di fondo suburbano), mentre risultano inferiori a quelle di Torino-Rebaudengo, stazione di traffico urbano.

Tabella 11: Dati relativi al monossido di carbonio (CO) (mg/m^3)

	Inverno	Estate
Minima media giornaliera	0.3	0.2
Massima media giornaliera	1.1	0.3
Media delle medie giornaliere (b):	0.6	0.2
Giorni validi	24	21
Percentuale giorni validi	80%	78%
Media dei valori orari	0.6	0.2
Massima media oraria	1.6	0.4
Ore valide	614	547
Percentuale ore valide	85%	84%
Minimo medie 8 ore	0.2	0.1
Media delle medie 8 ore	0.6	0.2
Massimo medie 8 ore	1.4	0.4
Percentuale medie 8 ore valide	84%	83%
<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 17: CO - confronto con il limite di legge (media trascinata sulle 8 ore)

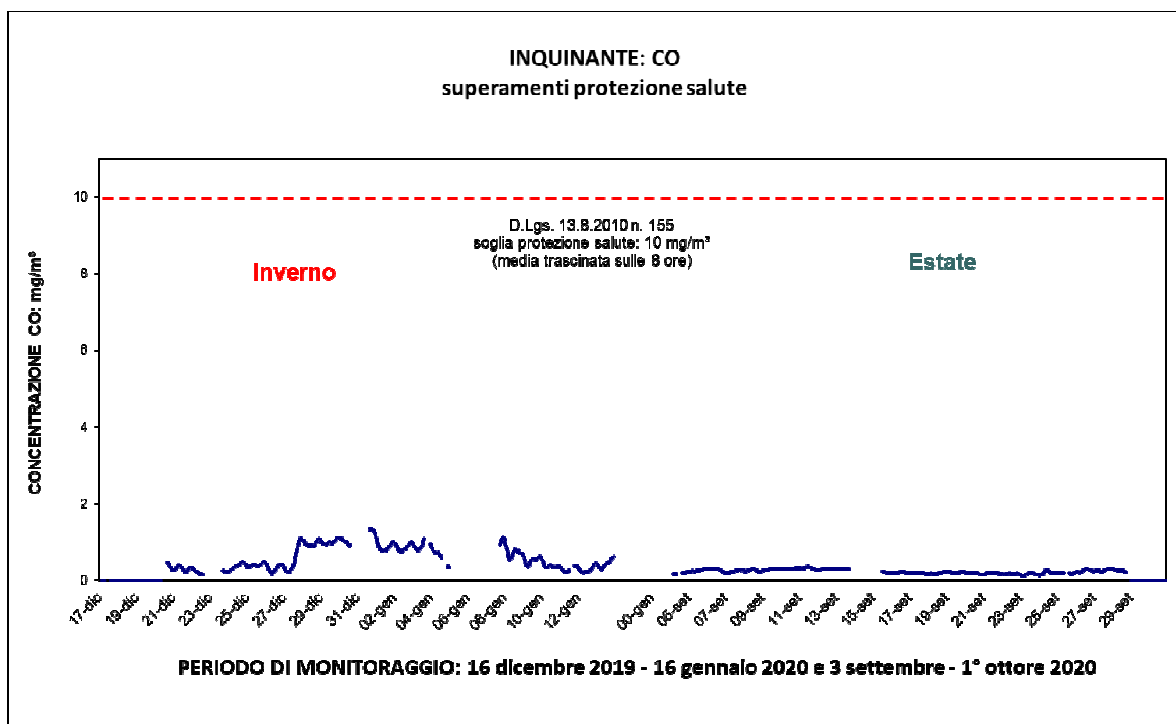


Figura 18: CO - andamento medie orarie

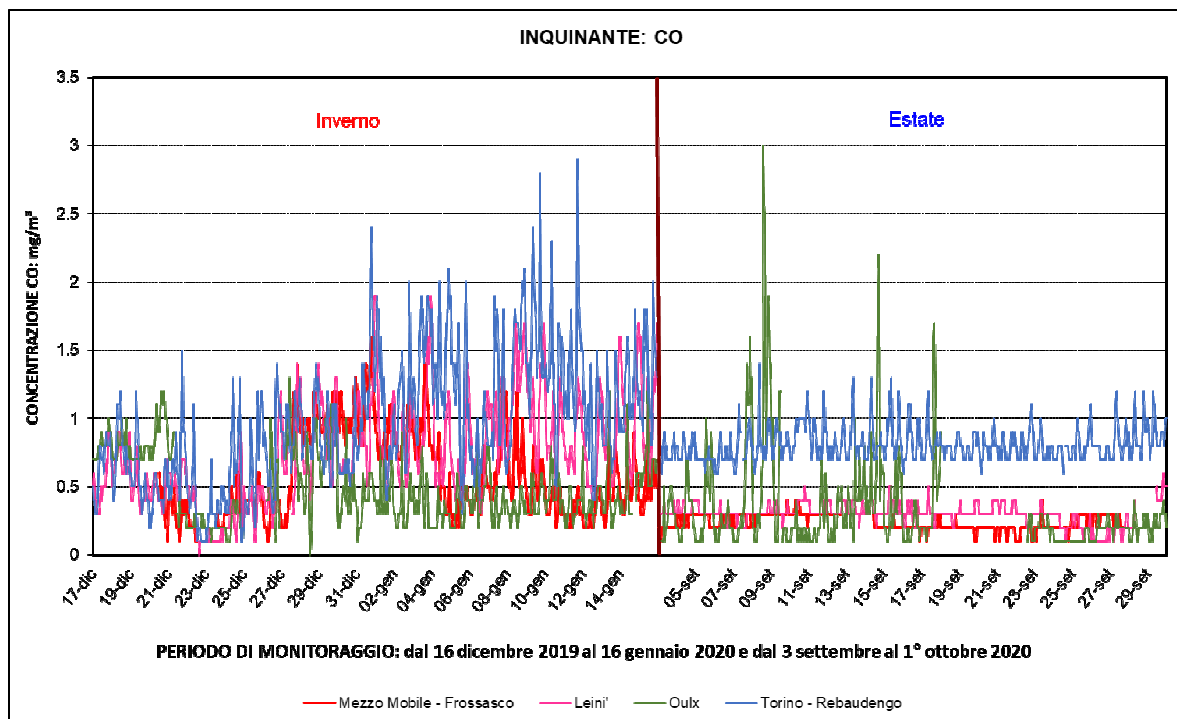
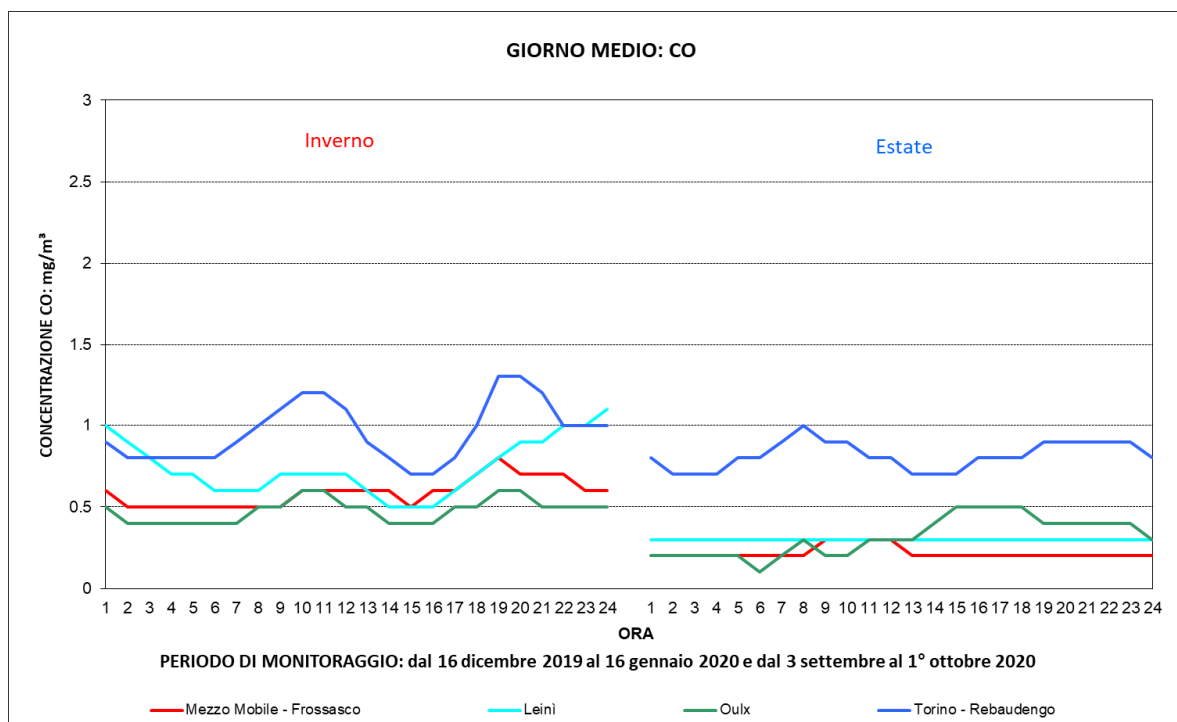


Figura 19: CO - andamento del giorno medio



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).

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

Durante le campagne di monitoraggio nel Comune di Frossasco sono state determinate le concentrazioni medie pari a $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (inverno) e $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (estate), mentre le punte massime sono state rispettivamente di 4.8 e $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come riportato in **Tabella 12**.

Dalla **Figura 20** e dalla **Figura 21** si osserva che nella prima campagna, durante il periodo più significativo per le valutazioni inerenti a questo inquinante, le concentrazioni del sito di Frossasco sono risultate inferiori alle tre cabine di confronto (Torino-Rebaudengo, stazione di traffico urbano; Torino-Rubino, stazione di fondo urbano; Vinovo, stazione di fondo suburbano); nella stagione estiva, che è la meno critica per le concentrazioni di benzene, i profili risultano simili tra i siti a confronto, trattandosi mediamente di basse concentrazioni.

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 12 siti della RRQA il valore della concentrazione media del 2019 di benzene, alla concentrazione media calcolata nei giorni delle due campagne svolte a Frossasco, è stata costruita la retta di interpolazione di **Figura 22**. Applicando tale procedimento, la media annuale stimata per Frossasco è pari a $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore inferiore al limite.

Per il toluene la concentrazione media è risultata essere di $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in inverno e $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in estate (**Tabella 13**), al di sotto del valore guida consigliato dall'OMS.

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

	Inverno	Estate
Minima media giornaliera	0.2	0.4
Massima media giornaliera	2.1	0.7
Media delle medie giornaliere	1.1	0.6
Giorni validi	30	22
Percentuale giorni validi	100%	81%
Media dei valori orari	1.1	0.6
Massima media oraria	4.8	1.2
Ore valide	714	534
Percentuale ore valide	99%	82%

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

	Inverno	Inverno
Minima media giornaliera	1.3	1.6
Massima media giornaliera	2.7	2.7
Media delle medie giornaliere	1.8	2.2
Giorni validi	30	20
Percentuale giorni validi	100%	74%
Media dei valori orari	1.8	2.1
Massima media oraria	4.4	7.4
Ore valide	715	486
Percentuale ore valide	99%	75%

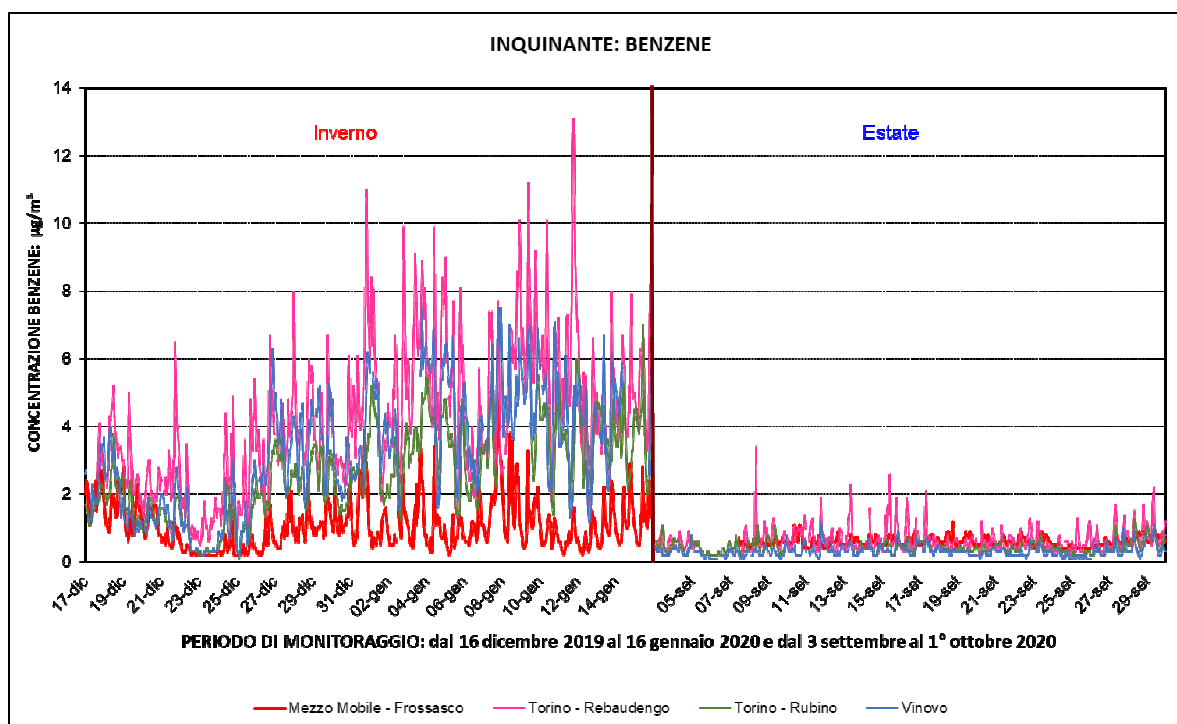
Figura 20: Benzene - andamento orario e confronto con i dati delle stazioni di Torino – Rebaudengo, Torino – Rubino T. e Vinovo

Figura 21: Benzene - giorno medio e confronto con i dati delle stazioni di Torino – Rebaudengo, Torino – Rubino T. e Vinovo

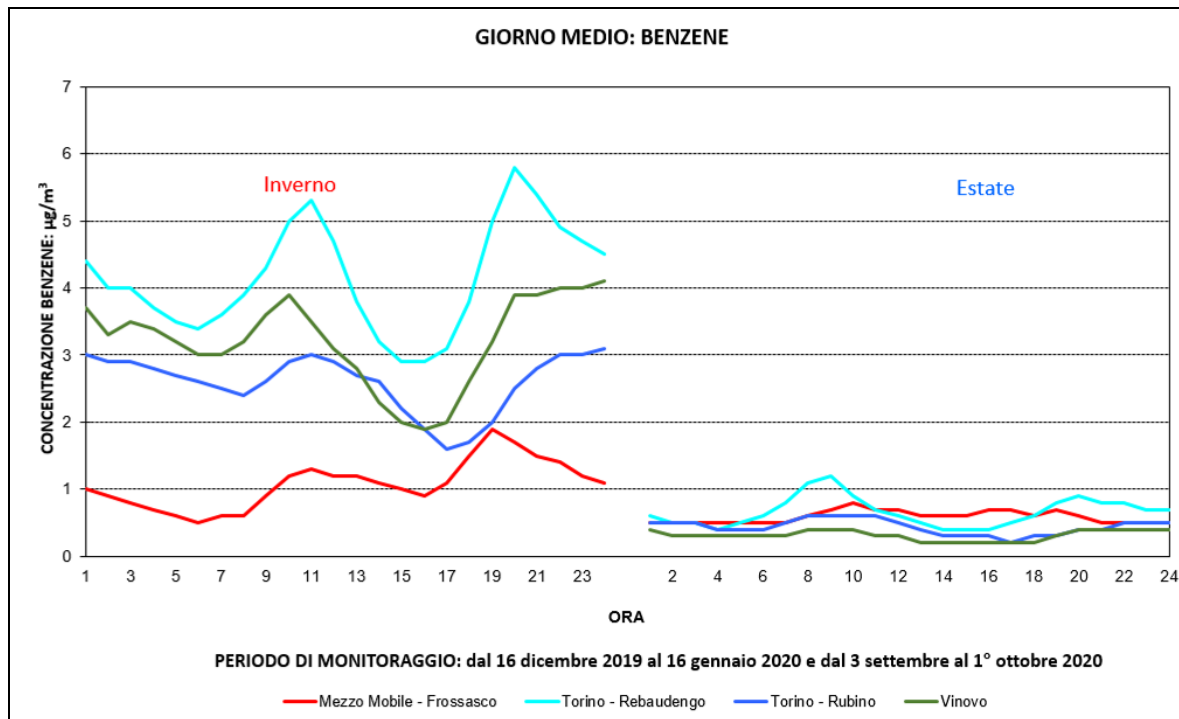
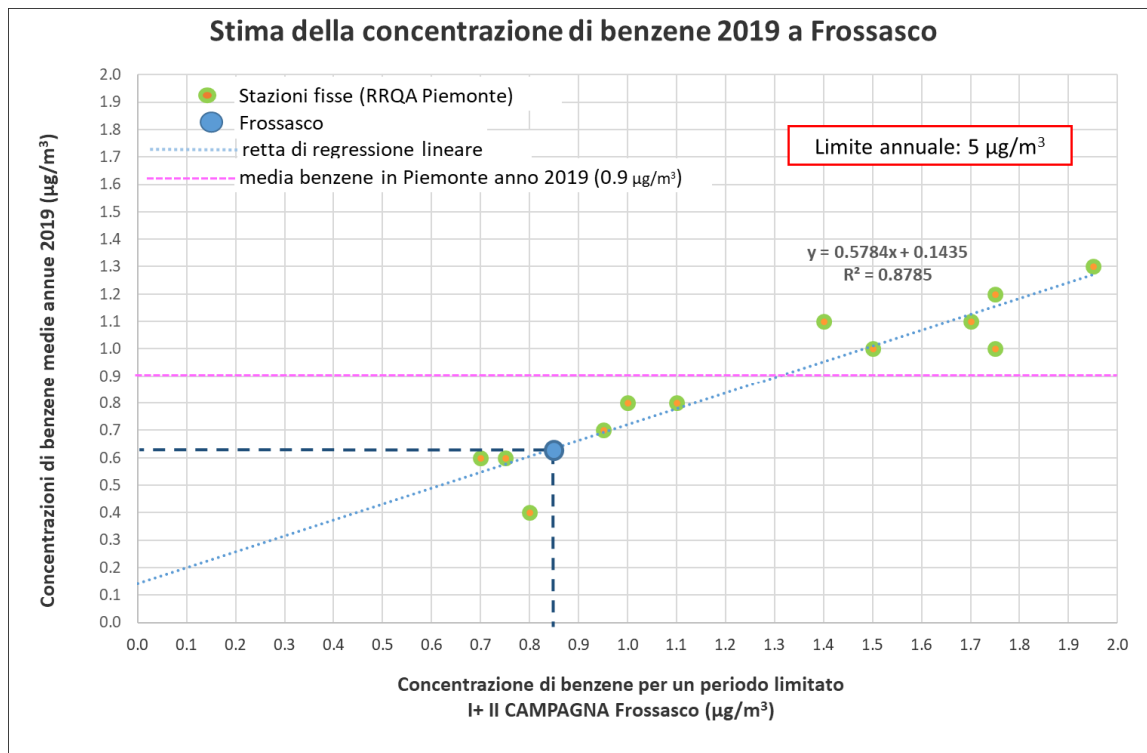


Figura 22: Benzene - stima della concentrazione annuale a Frossasco



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 concentrazioni 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 $10\ \mu m$, più pericolosa in quanto può raggiungere facilmente trachea e bronchi e mettere inoltre a contatto l'apparato respiratorio con sostanze ad elevata tossicità adsorbite sul particolato stesso.

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

PM_{10}

Nel monitoraggio eseguito nel comune di Frossasco durante l'inverno, per il particolato PM_{10} si sono verificati 5 superamenti del valore limite giornaliero di $50\ \mu g/m^3$, mentre nel periodo estivo non si sono registrati superamenti di tale limite, come indicato in **Tabella 14** e in **Figura 23**.

Come emerge nella **Figura 23**, gli eventi piovosi che si sono verificati durante le campagne di monitoraggio hanno contribuito in modo significativo all'abbattimento del particolato. Tale effetto della pioggia sul particolato è particolarmente evidente nei primi giorni della campagna che si è svolta tra dicembre e gennaio.

Durante la prima campagna, il valore medio del periodo rilevato nel sito di Frossasco è stato di $32\ \mu g/m^3$, con un valore massimo giornaliero di $76\ \mu g/m^3$ registrato il 30 dicembre; la concentrazione più bassa ($5\ \mu g/m^3$) si è riscontrata il 22 e il 25 dicembre.

Nel corso della seconda campagna il valore medio è stato di $19\ \mu g/m^3$, con un valore massimo di $32\ \mu g/m^3$ registrato il 19 settembre e uno minimo di $7\ \mu g/m^3$ il 25 settembre, dopo alcuni giorni di pioggia.

Dal confronto con le concentrazioni di alcune cabine della rete di monitoraggio della CMT rappresentato nella **Figura 23**, emerge durante il periodo invernale, che presenta le maggiori criticità per questo inquinante, un andamento sovrapponibile con i dati della stazione di fondo urbano di Pinerolo, generalmente con concentrazioni più basse di Ivrea (fondo suburbano) e Torino-Consolata (traffico urbano) e più alte di quelle di Susa (fondo suburbano). Nella seconda campagna le concentrazioni registrate nel sito di Frossasco mostrano una similitudine con quelle di Ivrea; durante il periodo estivo, con condizioni meteorologiche favorevoli alla dispersione di questo inquinante, i valori di tutte stazioni di confronto hanno registrato un abbassamento generale delle concentrazioni e i profili risultano molto più ravvicinati rispetto a quelli della stagione fredda.

Il D.Lgs 155/2010 prevede per le polveri PM_{10} un valore limite annuale per la protezione della salute umana di $40\ \mu g/m^3$. Anche in questo caso la durata della campagna non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo e non è possibile quindi un confronto diretto

con le misure effettuate. Tuttavia, così come è stato fatto per l'NO₂, per arrivare a stimare un dato di concentrazione annuale di PM₁₀ per il sito di Frossasco, 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 26**).

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 Frossasco, riferita al 2019, pari a 21 µg/m³: valore inferiore al limite normativo (40 µg/m³) e uguale alla media annuale registrata presso la stazione di Vinchio-San Michele, stazione di fondo rurale.

Come già accennato, durante il monitoraggio autunnale, vi sono stati 5 superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ su 58 giorni validi (sul totale dei giorni delle due campagne), pari all'8,6% dei giorni validi.

Dalla **Tabella 16**, nella quale sono riportati i dati relativi alle cabine della Città Metropolitana, si nota che durante la campagna invernale, come è tipico del periodo considerato, si sono avuti superamenti del limite giornaliero su tutte le stazioni di rilevamento ad eccezione di Oulx, mentre nella seconda campagna non vi sono stati superamenti del limite giornaliero.

Rispetto al numero di superamenti nel corso dell'anno non è possibile effettuare stime che abbiano un'approssimazione statistica accettabile, come nel caso dei valori medi; vengono pertanto considerati per analogia le stazioni della rete fissa che, durante il periodo delle campagne, hanno registrato un numero di superamenti uguali o molto vicini. Nel caso in oggetto le stazioni più simili come numero di superamenti del livello giornaliero risultano Pinerolo e Druento, che nel corso dell'anno 2019 hanno avuto rispettivamente 5 e 10 superamenti in totale, al di sotto del limite di 35 stabilito dalla legge. È dunque presumibile che, se si fosse effettuato un monitoraggio esteso all'intero anno, anche nel sito di Frossasco non 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 PM₁₀ tra media annuale e numero di giorni di superamento del valore limite giornaliero², infatti, evidenzia che sul territorio piemontese il valore limite giornaliero viene rispettato per valori di media annuale inferiori a 24,7 µg/m³.

PM_{2.5}

Il parametro PM_{2.5} segue, come andamento temporale e valori medi di concentrazione giornaliera, il PM₁₀ (vedi **Figura 25**).

Il valore medio del periodo invernale è stato di 25 µg/m³, che corrisponde al 78% della media del PM₁₀, una percentuale in linea con il periodo indagato; il valore minimo è stato di 5 µg/m³ ed il massimo di 61 µg/m³. Durante la seconda campagna la media registrata è stata di 12 µg/m³ (63% della media del PM₁₀) con un valore minimo di 5 µg/m³ ed uno massimo di 20 µg/m³ (**Tabella 15**).

Dalla **Figura 24** si nota che, in termini relativi, i valori di PM_{2.5} nel sito di Frossasco sono risultati mediamente simili a quelli di Ivrea e più bassi di Settimo e Torino-Lingotto.

La normativa italiana prevede per il PM_{2.5} solamente il rispetto di un limite annuale, pari a 25 µg/m³. In termini assoluti la media dei due periodi di monitoraggio, pari a 19 µg/m³, è inferiore al limite annuale che però va calcolato su base annuale. Visto che la durata del monitoraggio a Frossasco è pari a 58 giorni distribuiti nel corso di due stagioni diverse, la media dei valori non è paragonabile all'arco temporale di riferimento del limite normativo; non è quindi possibile in termini formali un confronto diretto con il limite stesso.

Si può però considerare un valore stimato di media annuale utilizzando lo stesso metodo impiegato per stimare le medie annuali del biossido di azoto, benzene e PM₁₀. Applicando tale procedimento la concentrazione media annuale stimata a Frossasco, per il 2019, è pari a 15 µg/m³: valore nettamente inferiore al limite normativo (25 µg/m³). Sebbene i dati impiegati nella

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

correlazione lineare risultino piuttosto dispersi (R^2 pari a 0.65), il dato stimato appare coerente con il quadro riscontrato a livello regionale (16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di media nel 2019) e con la concentrazione annuale stimata per il PM_{10} : il rapporto tra la stima della media annuale del $\text{PM}_{2.5}$ e quella del PM_{10} è uguale a 71,43%, mentre lo stesso rapporto utilizzando le medie rilevate nel corso delle due campagne è pari a 73,08%. Alla luce delle considerazioni sopra riportate, è possibile affermare che la stima annuale del $\text{PM}_{2.5}$ (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ha un buon livello di approssimazione.

In termini generali per $\text{PM}_{2.5}$ 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.

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

	Inverno	Estate
Minima media giornaliera	5	7
Massima media giornaliera	76	32
Media delle medie giornaliere	32	19
Giorni validi	28	24
Percentuale giorni validi	93%	89%
<u>Numero di superamenti livello</u> <u>Giornaliero protezione della salute (50)</u>	5	0

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

	Inverno	Estate
Minima media giornaliera	5	5
Massima media giornaliera	61	20
Media delle medie giornaliere	25	12
Giorni validi	27	26
Percentuale giorni validi	90%	96%

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)
Oulx - Roma	17	0	16	0	17	0	15	0
Susa - Repubblica	17	1	15	0	16	1	15	1
Pinerolo - Alpini	27	4	12	0	20	4	19	5
Druento - La Mandria	22	3	18	0	20	3	19	10
Mezzo Mobile -Frossasco(*)	32	5	19	0	26	5	21	
Ivrea - Liberazione	42	12	19	0	31	12	24	29
Borgaro	43	9	24	0	34	9	26	28
Leini' (ACEA)	47	15	17	0	32	15	26	44
Torino - Lingotto	54	18	19	0	37	18	27	48
Torino - Lingotto	54	18	19	0	37	18	27	48
Beinasco (TRM) - Aldo Mei	49	18	19	0	34	18	27	49
Torino - Rubino	60	15	24	0	42	15	28	42
Torino - Consolata	58	19	22	0	40	19	28	45
Collegno - Francia	51	16	26	0	39	16	30	50
Settimo T. - Vivaldi	63	20	22	0	43	20	34	63
Torino - Rebaudengo	64	20	26	0	45	20	34	71
Carmagnola - I Maggio	55	18	30	0	43	18	35	69
Torino - Grassi	61	15	28	0	45	15	38	83

* = media annuale stimata

Figura 23: Particolato sospeso PM_{10} - confronto con il limite giornaliero per la protezione della salute e con i dati di alcune stazioni della rete fissa

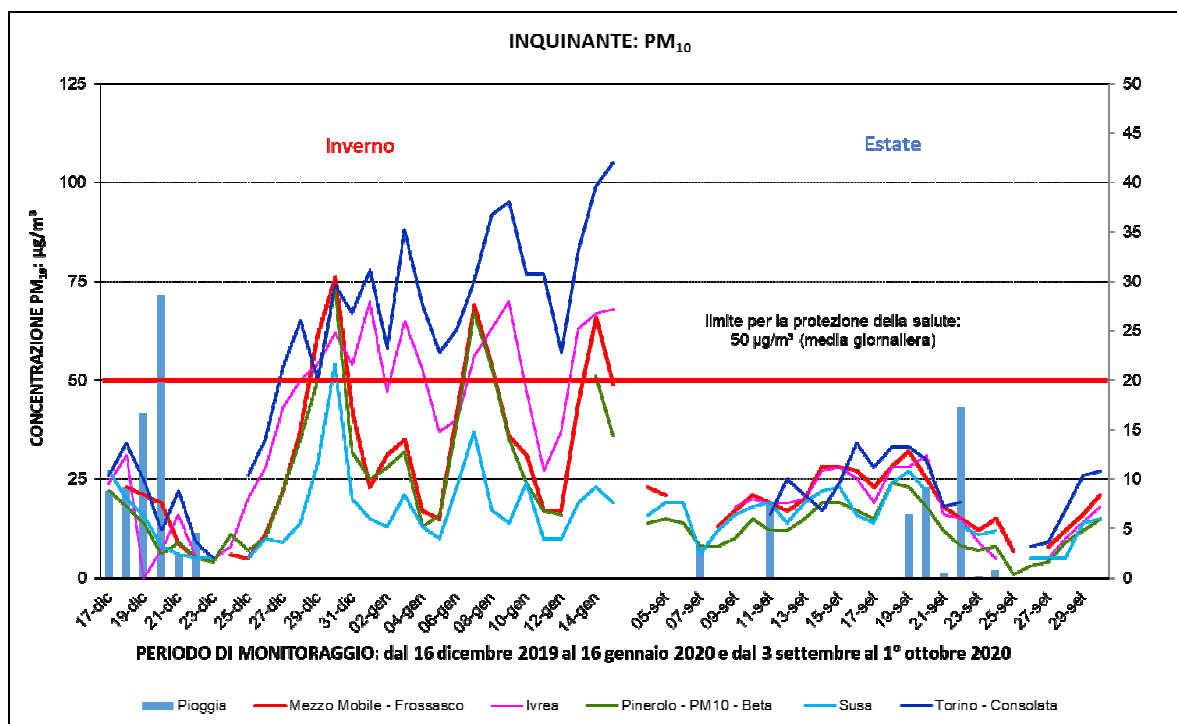


Figura 24: Particolato sospeso $PM_{2.5}$ - confronto con i dati di alcune stazioni della rete fissa

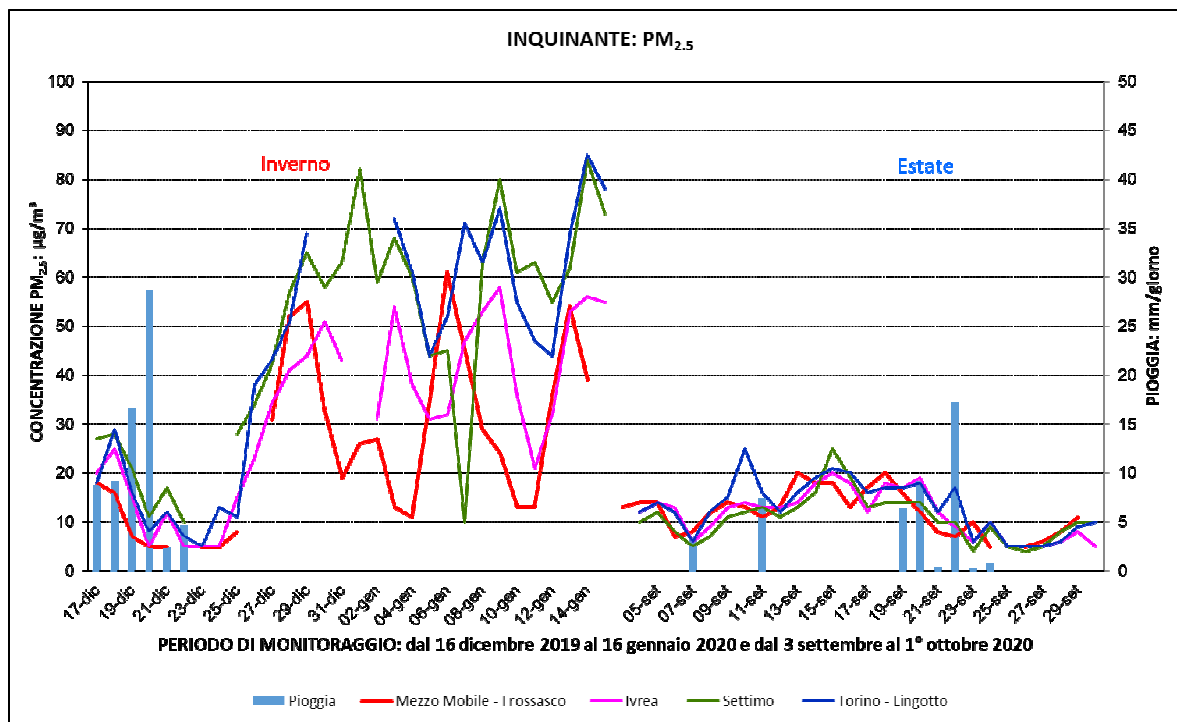


Figura 25: Particolato sospeso PM_{10} e $PM_{2.5}$: confronto

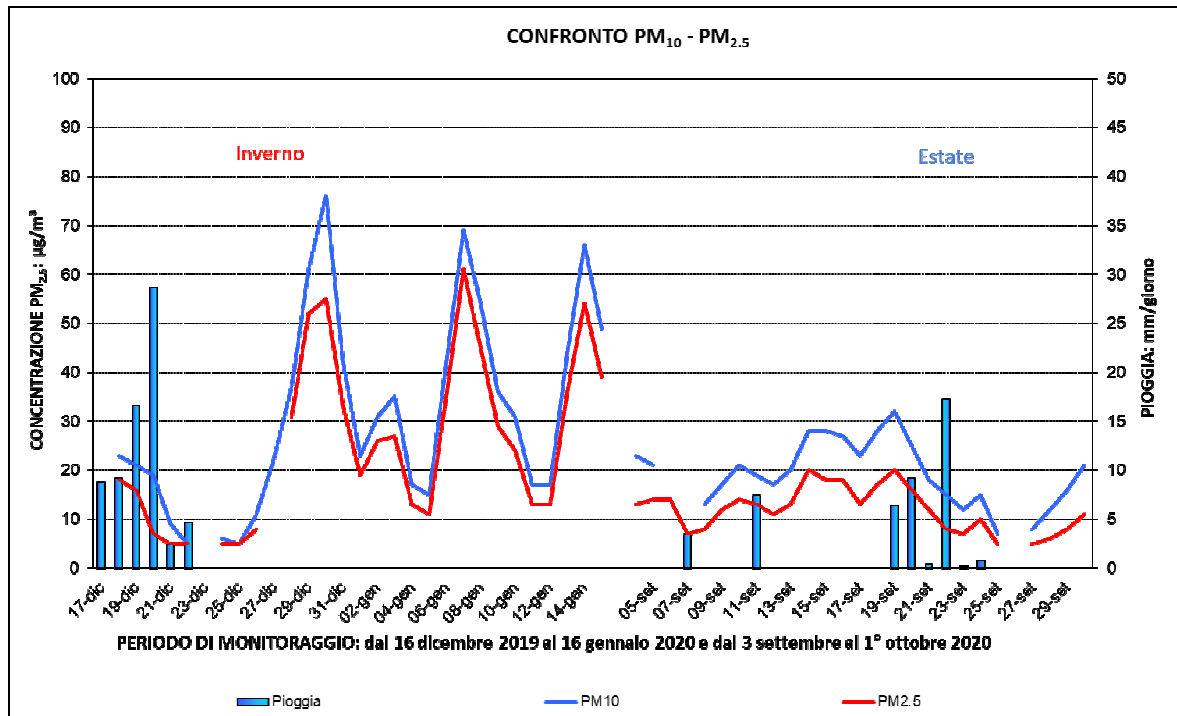


Figura 26: Particolato sospeso PM_{10} - stima della concentrazione annuale a Frossasco

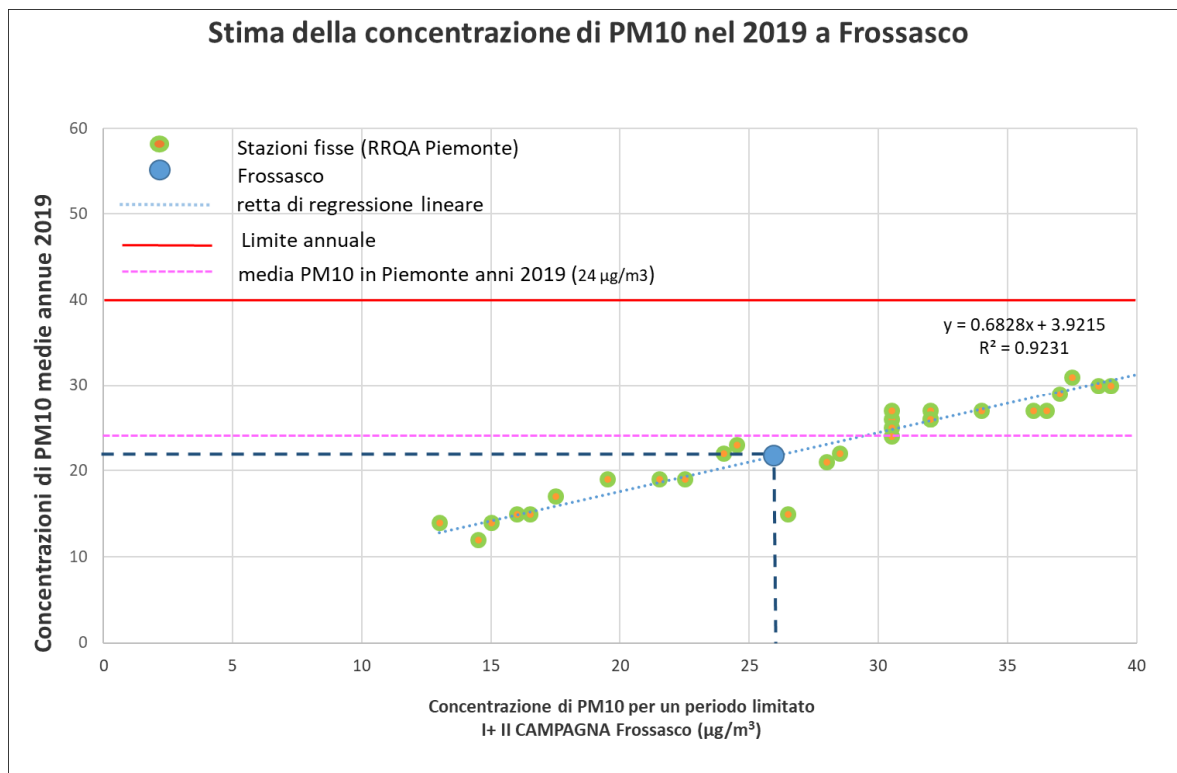
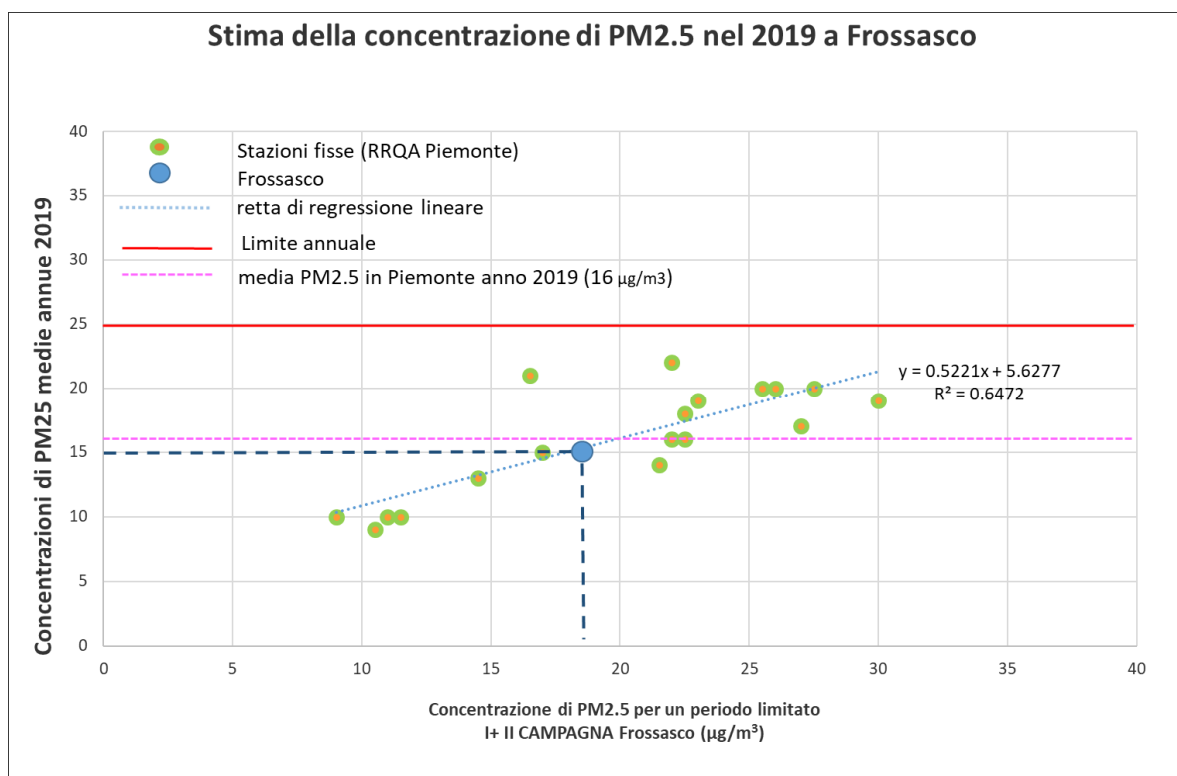


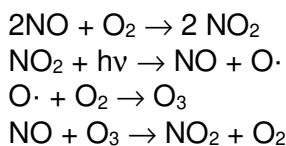
Figura 27: Particolato sospeso $PM_{2.5}$ - stima della concentrazione annuale a Frossasco



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 a 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 40 µg/m³, con una massima media oraria di 95 µg/m³; non si sono quindi registrati superamenti. Nella seconda campagna la media dei valori orari è stata di 76 µg/m³, con una massima media oraria di 160 µg/m³; non si sono registrati superamenti su base oraria della soglia di informazione pari a 180 µg/m³.

Questo parametro presenta quindi una certa criticità solo nel periodo caldo dell'anno. Dal grafico di **Figura 29** si nota come, nella campagna estiva, i valori siano stati 2 volte superiori al livello di protezione della salute umana 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 34** vengono rappresentati graficamente il numero di superamenti registrati durante il periodo della prima campagna e quelli registrati nelle cabine del territorio della Città Metropolitana durante il 2020; presso il sito di Frossasco i superamenti sono stati 2 rispetto ad un solo superamento registrato Ceresole, Chieri e Vinovo e ai 6 superamenti di Susa e Torino-Lingotto, mentre nella **Figura 35** sono evidenziati i superamenti delle stazioni della CMT degli ultimi 3 anni e della loro media. Da questi due grafici si evince che tutte le cabine della rete, ad eccezione di Ceresole, hanno superato il numero massimo di 25 consentito dalla norma come media degli ultimi 3 anni; nel 2020 solo Ceresole, Chieri e Susa non hanno raggiunto il numero di 25 superamenti in un anno. Si può presumere, pertanto, che tale obiettivo non sia rispettato neanche nel Comune di Frossasco. 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 28** e nella **Figura 30**, in cui le concentrazioni orarie ed il giorno medio dell'ozono vengono confrontate con le stazioni fisse di Baldissero, Orbassano e Susa, si osserva che nella prima campagna i profili sono molto simili a quelli di Baldissero e Susa e più alte di Orbassano; nella seconda campagna i profili mostrano andamenti coerenti con quelli della stazione di Susa, con concentrazioni generalmente più basse rispetto a Baldissero e più alte di Orbassano.

I grafici riportati in **Figura 31** e **Figura 32** mostrano la stretta correlazione degli andamenti di ozono con i parametri meteo relativi a radiazione solare e temperatura: infatti elevate temperature ed irraggiamento solare favoriscono la formazione di ozono a partire dai suoi precursori quali ossidi di azoto e composti organici volatili.

Durante le due campagne non è stato superato il livello di allarme pari a 240 µg/m³.

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) ($\mu g/m^3$)

	Inverno	Estate
Minima media giornaliera	5	48
Massima media giornaliera	85	113
Media delle medie giornaliere	41	75
Giorni validi	29	22
Percentuale giorni validi	97%	81%
Media dei valori orari	40	76
Massima media oraria	95	160
Ore valide	707	537
Percentuale ore valide	98%	83%
Minimo medie 8 ore	2	38
Media delle medie 8 ore	41	76
Massimo medie 8 ore	92	142
Percentuale medie 8 ore valide	98%	81%
<u>Numero di superamenti livello protezione della salute su medie 8 ore (120)</u>	0	19
<u>Numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (max media 8h > 120)</u>	0	2
<u>Numero di superamenti livello informazione (180)</u>	0	0
<u>Numero di giorni con almeno un superamento livello informazione (180)</u>	0	0
<u>Numero di valori orari superiori al livello allarme (240)</u>	0	0
<u>Numero di superamenti livello allarme (240 per almeno 3 ore consecutive)</u>	0	0
<u>Numero di giorni con almeno un valore superiore al livello allarme (240)</u>	0	0

Figura 28: O_3 - confronto con i limiti di legge

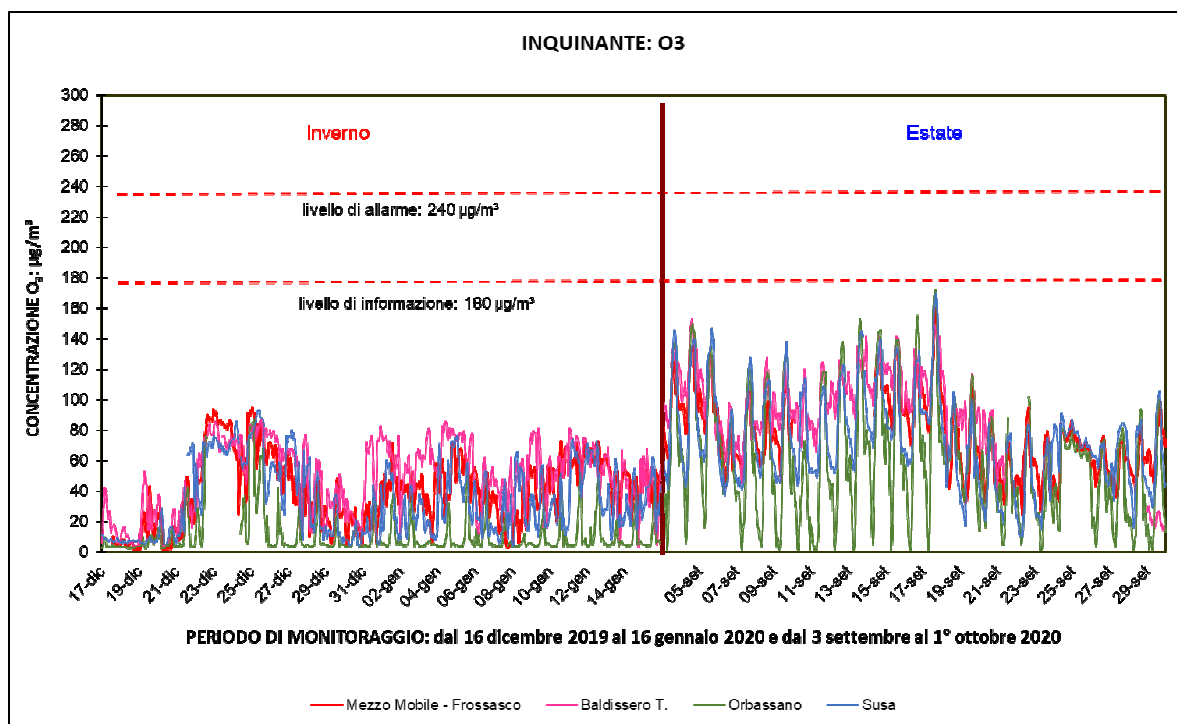


Figura 29: O_3 - superamenti protezione della salute umana

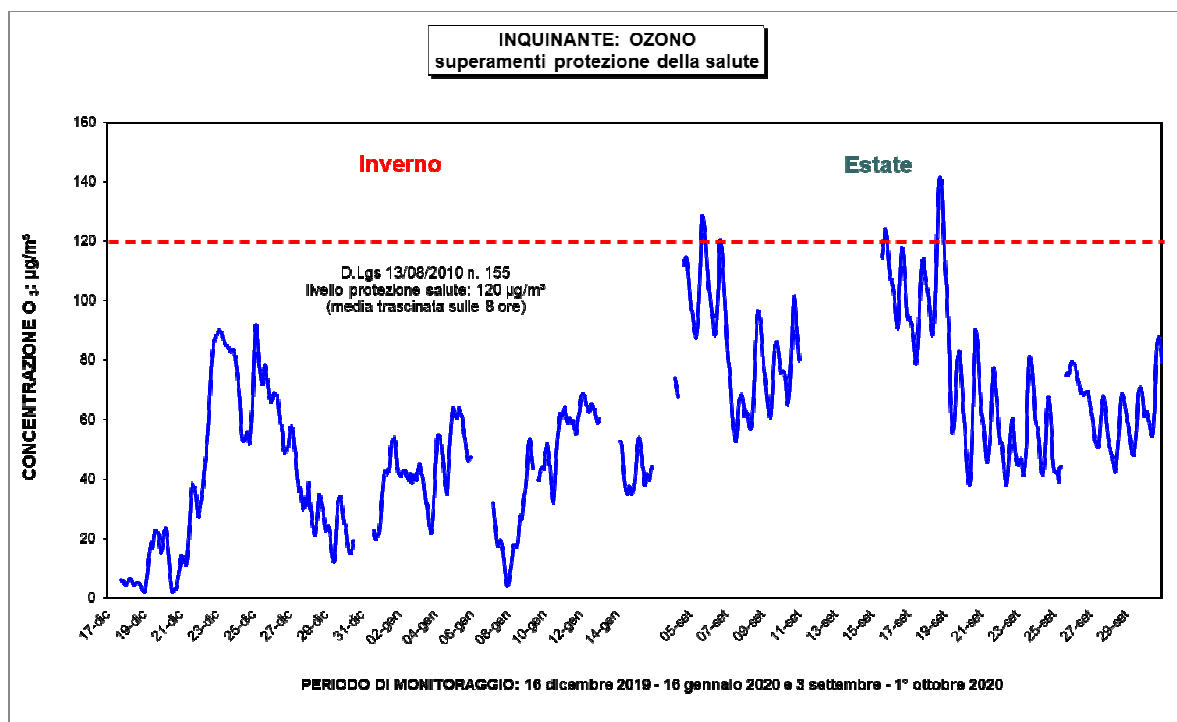


Figura 30: Ozono giorno medio

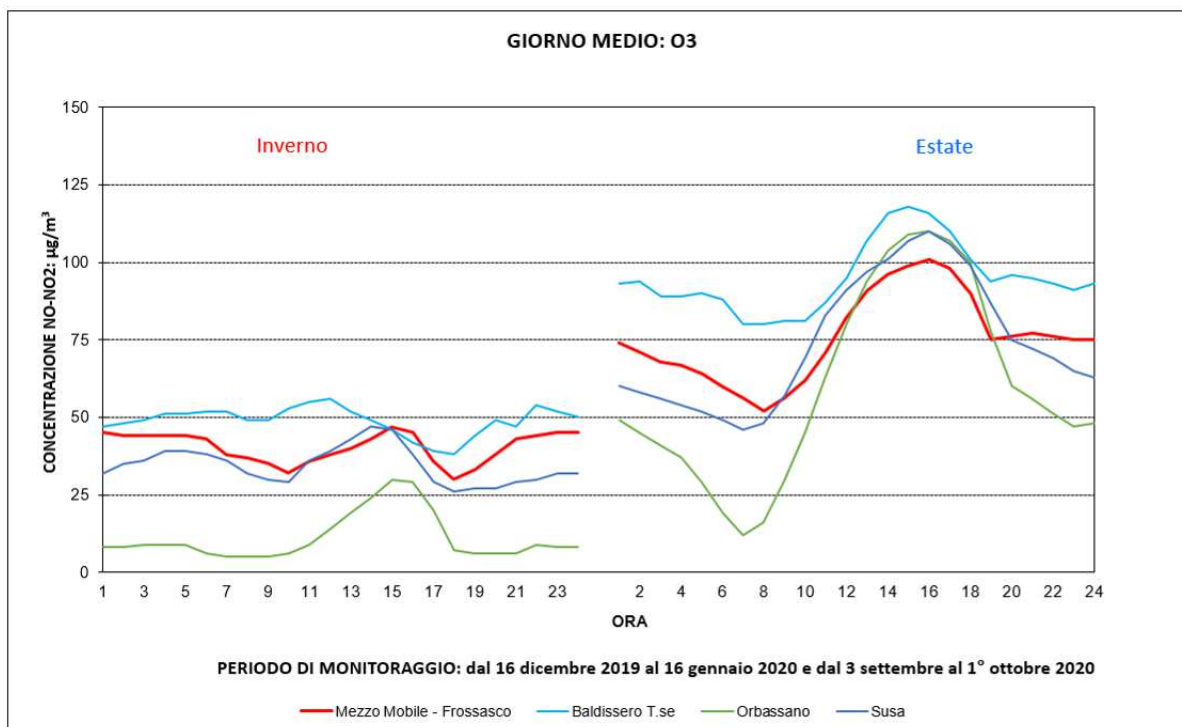


Figura 31: O₃ - andamento della concentrazione oraria e confronto con radiazione solare globale

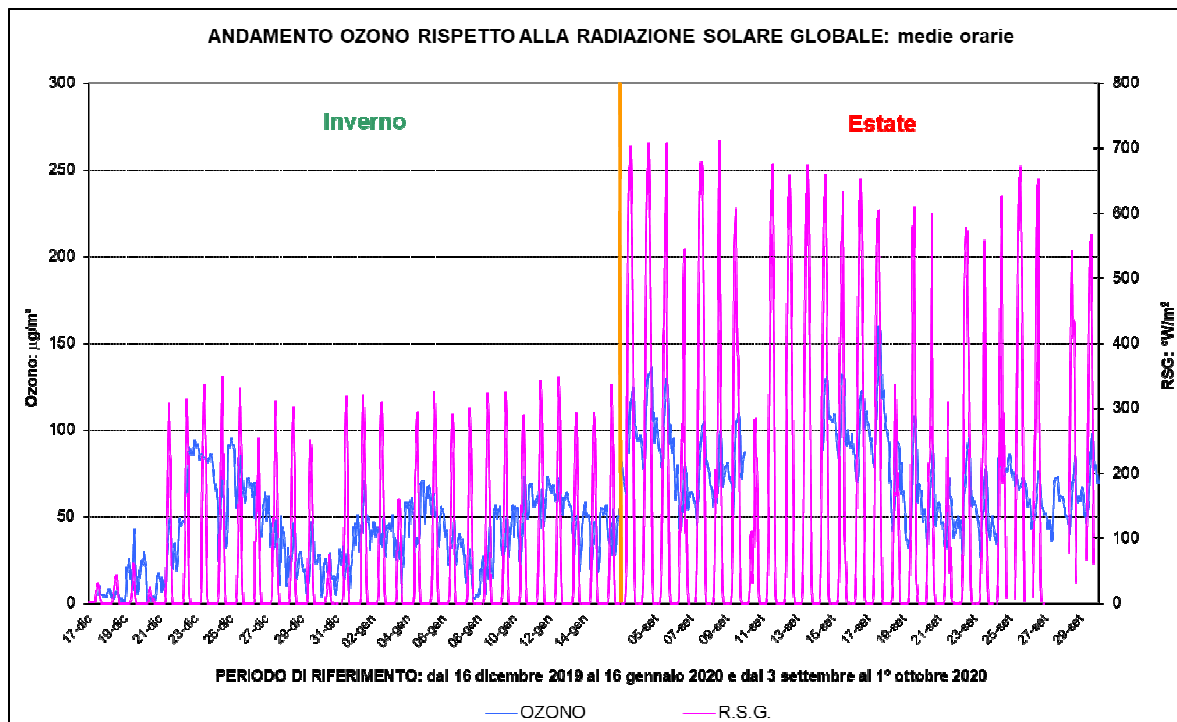


Figura 32: O_3 - andamento della concentrazione oraria e confronto con temperatura

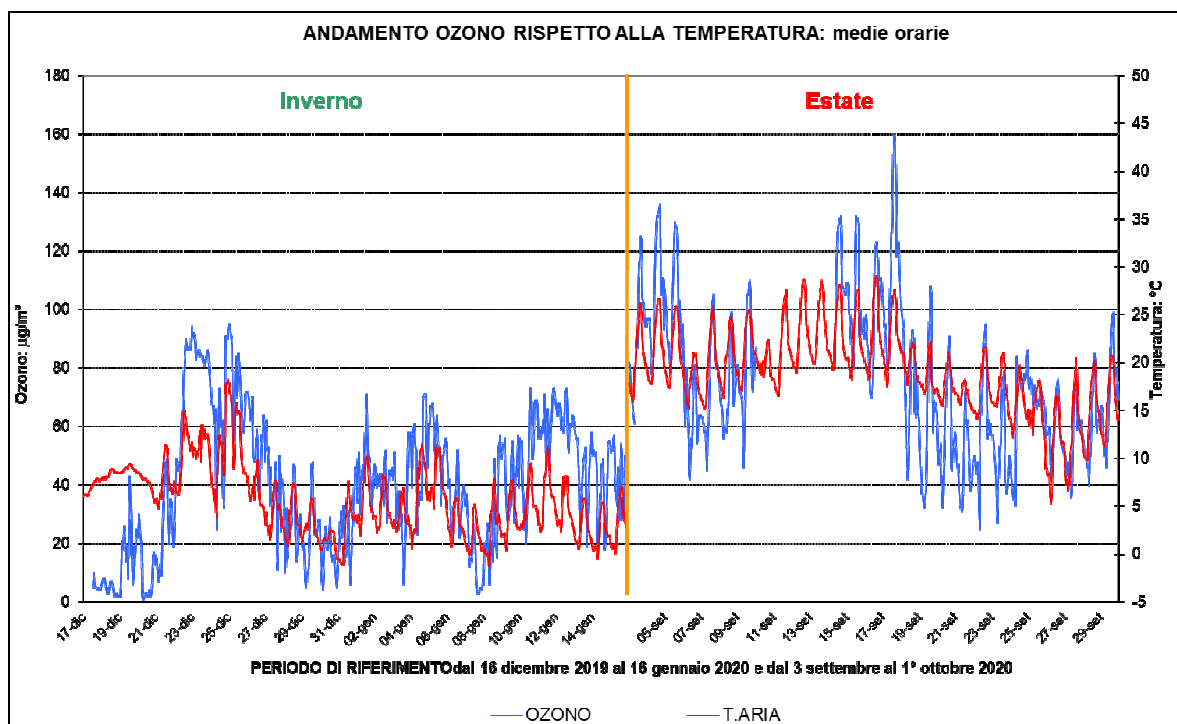


Figura 33: O_3 - confronto medie del periodo nelle stazioni della rete Città Metropolitana – 2^a campagna

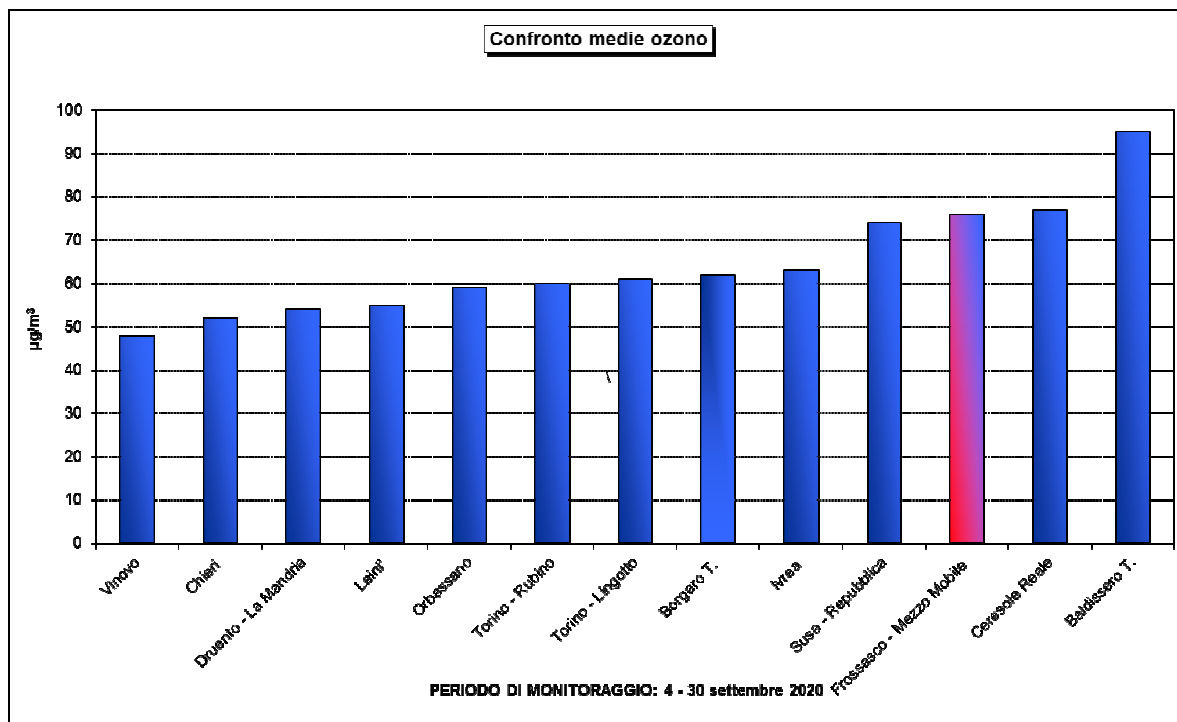


Figura 34: confronto superamenti livelli protezione della salute umana – periodo 2^a campagna 2020

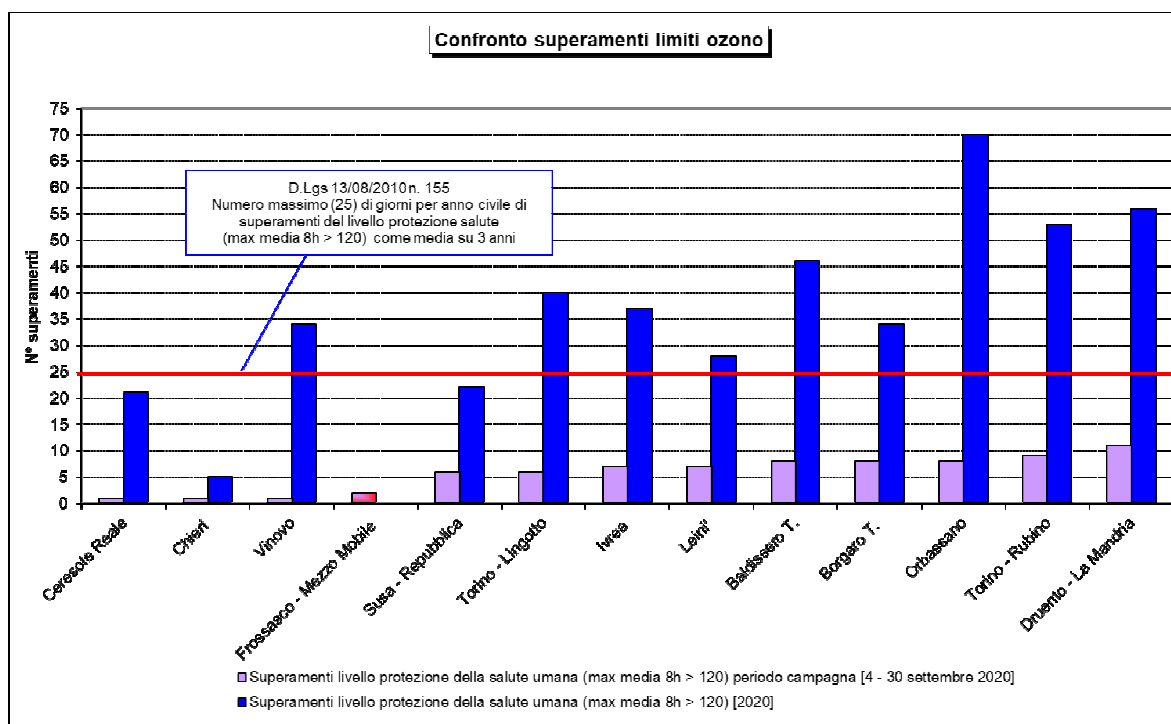
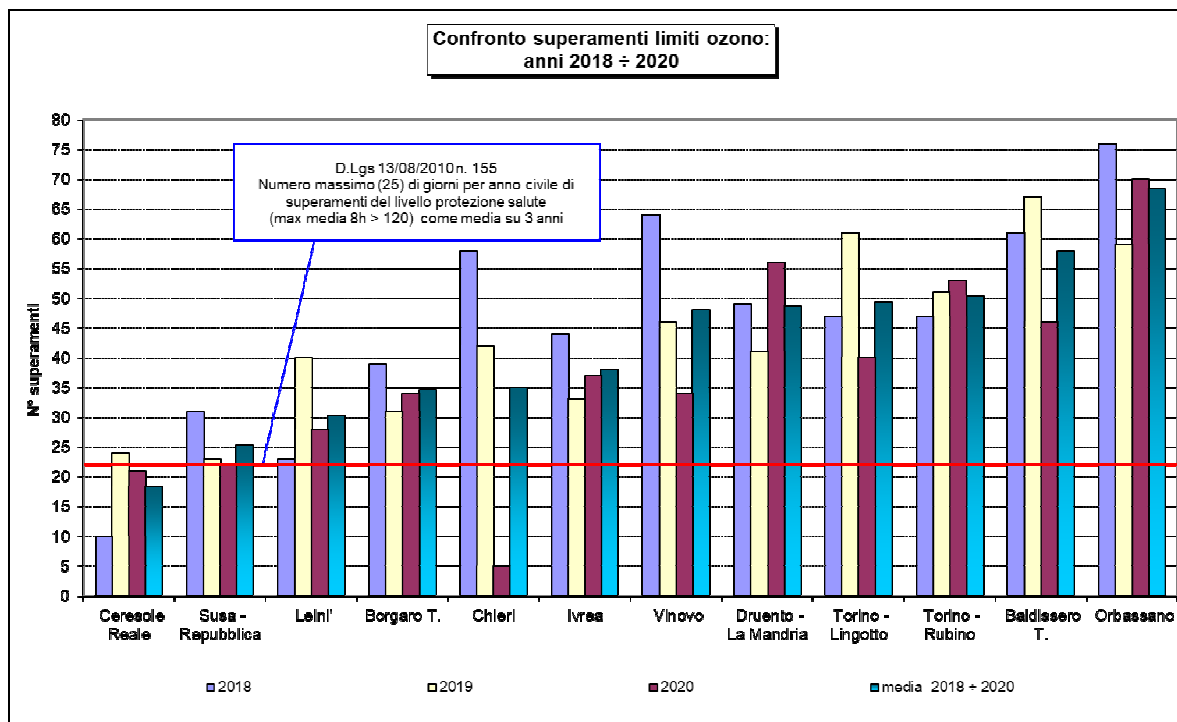


Figura 35: confronto superamenti livelli protezione della salute umana rete CMT anni 2018 ÷ 2020



IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

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

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

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

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

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

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

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

Tabella 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 per i quali esiste un limite di legge annuale (NO₂, Benzene, PM₁₀, PM_{2.5}), poichè che la durata del monitoraggio del sito di Frossasco è pari a due mesi distribuiti nel corso dell'anno in stagioni diverse, la media relativa ai due mesi non è

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

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

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

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 confrontati con i valori delle altre stazioni della rete di monitoraggio della Città Metropolitana di Torino nelle quali 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 Frossasco, 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 Frossasco

M_c : media stimata anno 2019 per ogni parametro IPA Frossasco

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

In base alla stima effettuata risulta una media annuale di 0,34 ng/m³, pertanto il valore obiettivo dettato dal D.Lgs 155/2010 per il benzo(a)pirene (1 ng/m³ media annuale) nel sito di monitoraggio di Frossasco è ampiamente rispettato. Gli altri IPA monitorati hanno evidenziato concentrazioni analoghe ad altri siti della rete di monitoraggio provinciale, aventi le stesse condizioni d'inquinamento (vedi **Figura 36**, **Figura 37**, **Figura 38**, **Figura 39** e **Figura 40**); il valore medio sia di benzo(a)pirene che degli altri IPA risulta molto vicino alla stazione di Susa, che ha mostrato risultati simili anche per le altre specie chimiche inquinanti.

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

Lab mobile ARPA Frossasco concentrazione dei quattro IPA rilevati nel monitoraggio				
	Inverno	Estate	Media campagne	Media annuale stimata 2019
Benzo(a)antracene (ng/m ³)	1.02	0.04	0.53	0.32
Benzo(b+j+k)fluorantene (ng/m ³)	2.98	0.04	1.51	0.78
Benzo(a)pirene (ng/m ³)	1.30	0.04	0.67	0.34
Indeno(1,2,3-cd)pirene (ng/m ³)	1.40	0.04	0.72	0.46
sommatoria dei quattro IPA (ng/m ³)	6.70	0.16	3.43	1.86

Figura 36: Benzo(a)antracene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

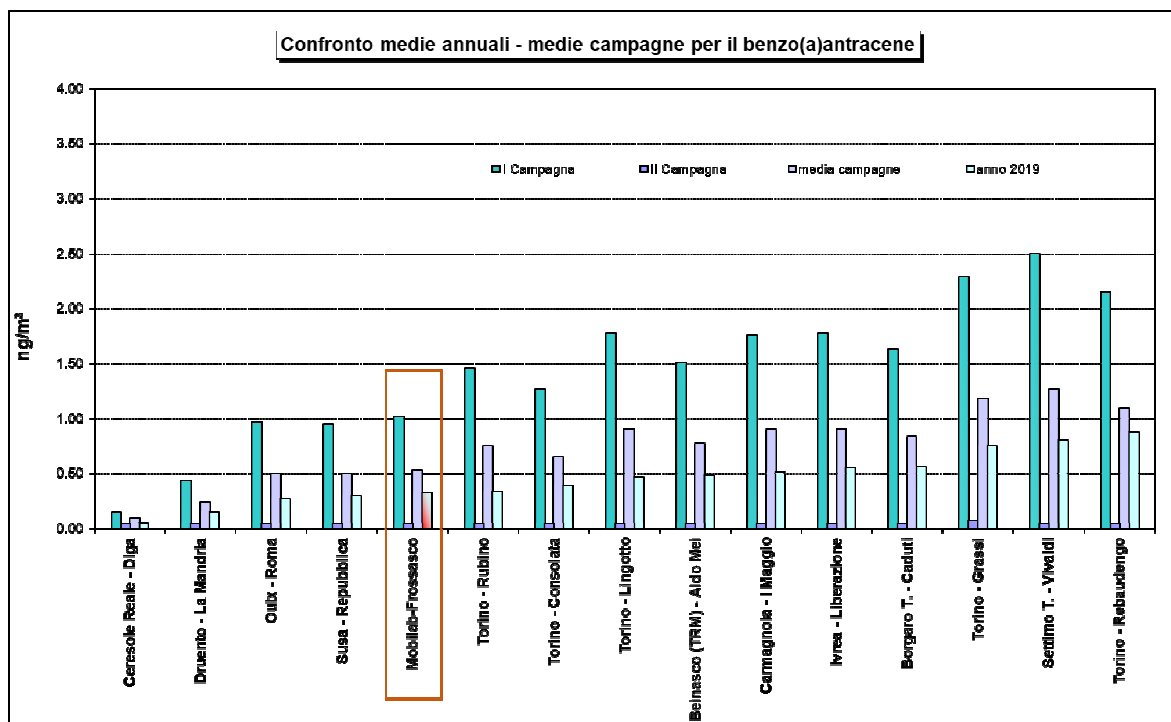


Figura 37: Benzo(b+j+k)fluorantene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

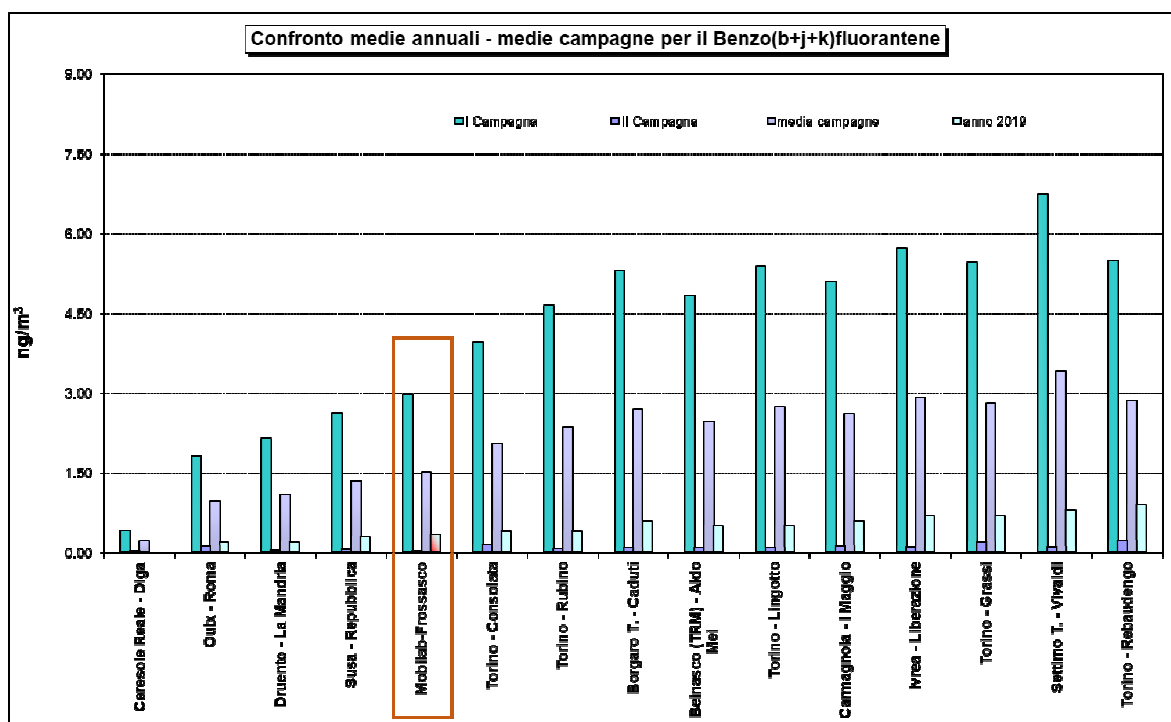


Figura 38: Benzo(a)pirene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

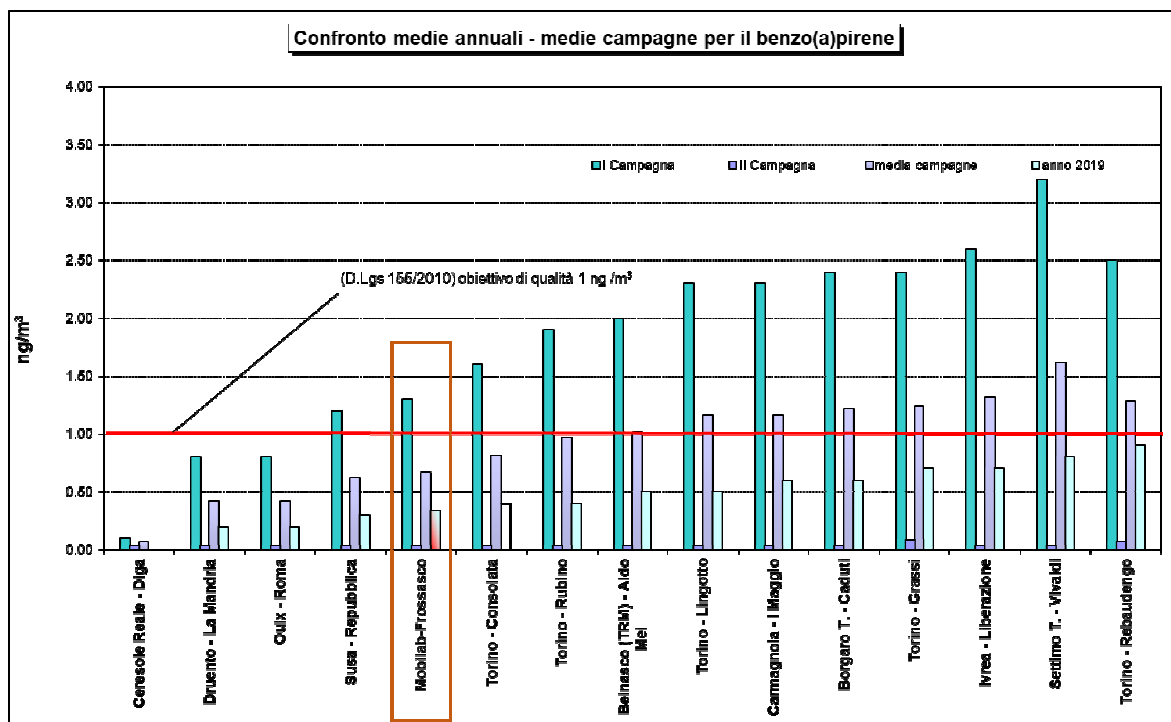


Figura 39: Indeno(1, 2, 3-cd)pirene confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

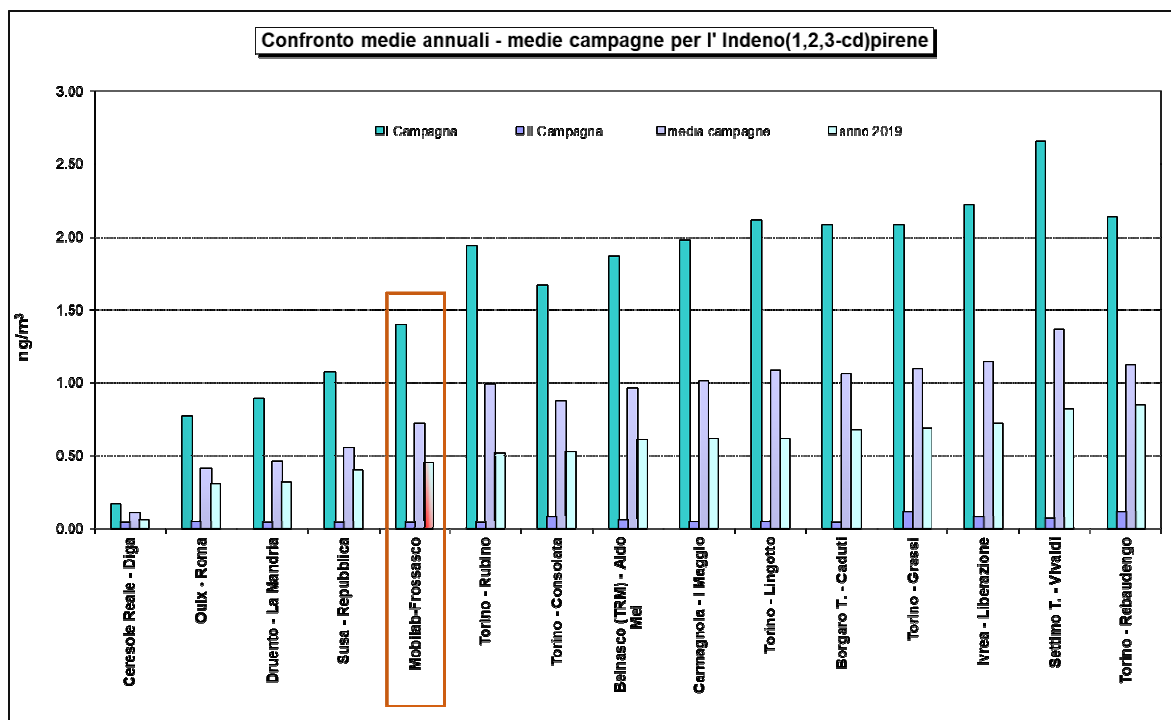
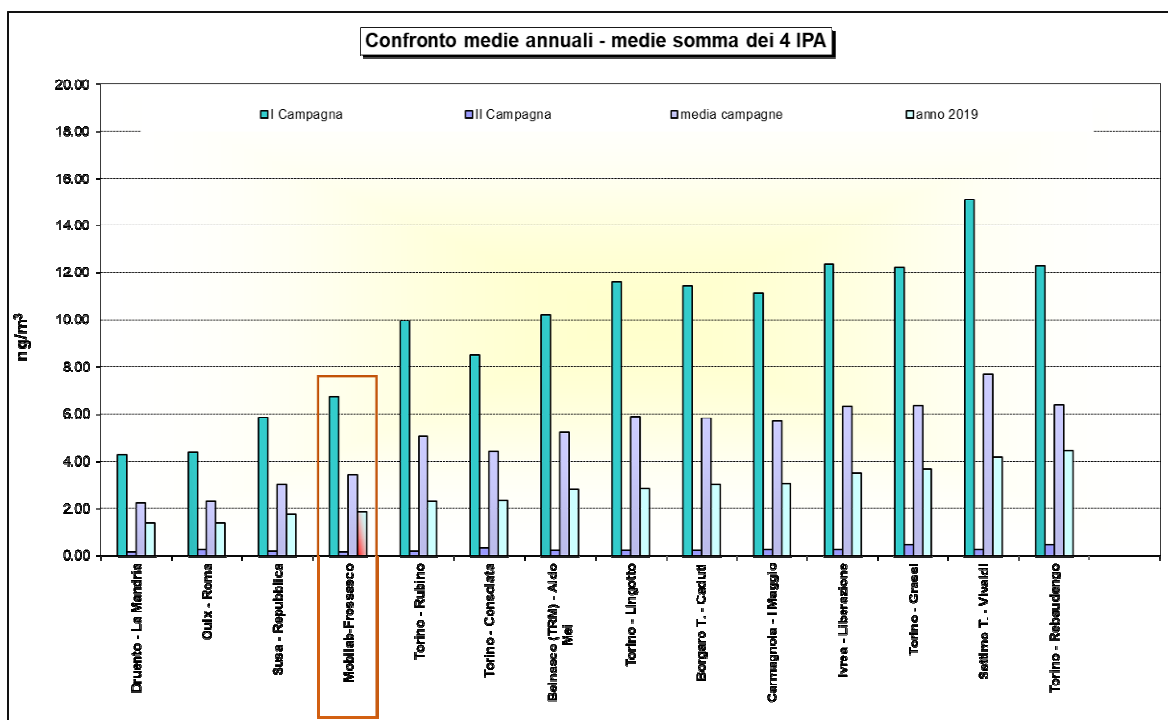


Figura 40: somma dei quattro IPA confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino



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.

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

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

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

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

Nella **Tabella 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 valore limite per la protezione della salute umana per il Pb previsti dal D.Lgs. 13/8/2010 n. 155.

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

Anche per i quattro metalli monitorati, visto che la durata del monitoraggio di Frossasco 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 Frossasco permette di ricavare la stima annuale:

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

dove

m_c : media periodo campagne per ogni metallo Frossasco

M_c : media stimata anno 2019 per ogni metallo Frossasco

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 della Città Metropolitana; per il nichel le concentrazioni del sito di Frossasco sono al di sotto della media di tutte le stazioni della rete della Città Metropolitana ad eccezione di Ceresole.

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

Lab mobile ARPA Frossasco concentrazione dei quattro metalli rilevati nel monitoraggio				
	Inverno	Estate	Media campagne	Media annuale stimata 2019
Arsenico (ng/m ³)	0.70	0.70	0.70	0.68
Cadmio (ng/m ³)	0.08	0.07	0.08	0.05
Nichel (ng/m ³)	0.70	0.70	0.70	0.81
Piombo (µg/m ³)	0.003	0.002	0.003	0.002

Figura 41: Arsenico confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

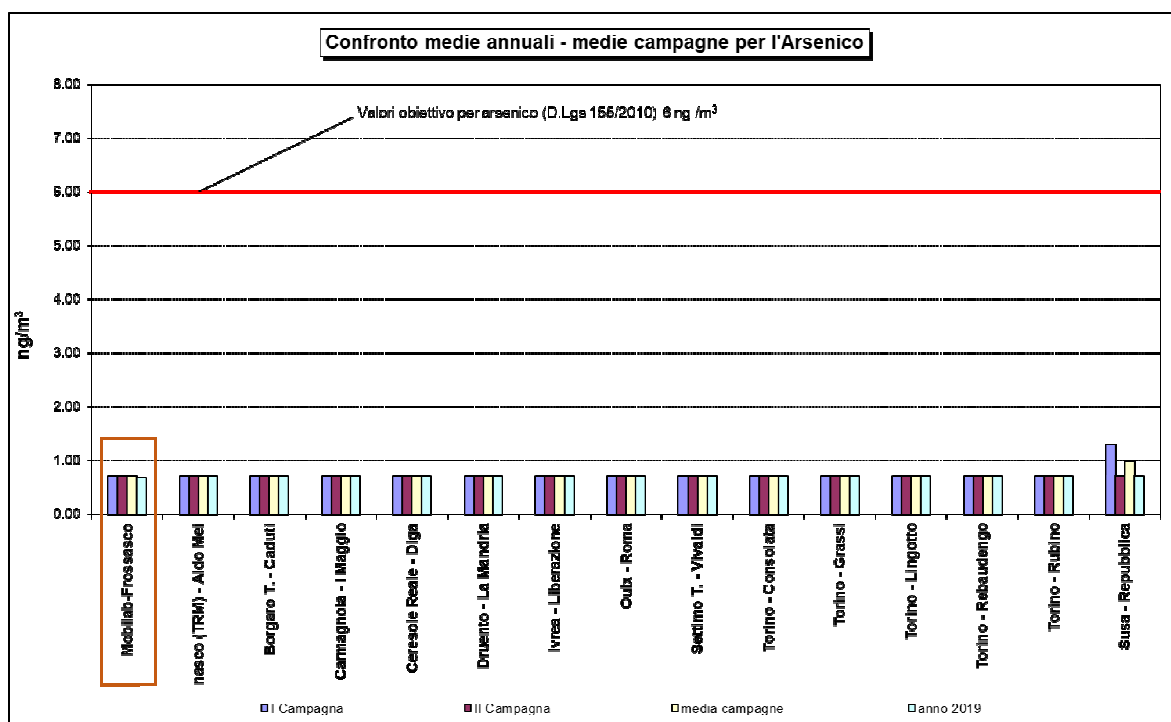


Figura 42: Cadmio confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

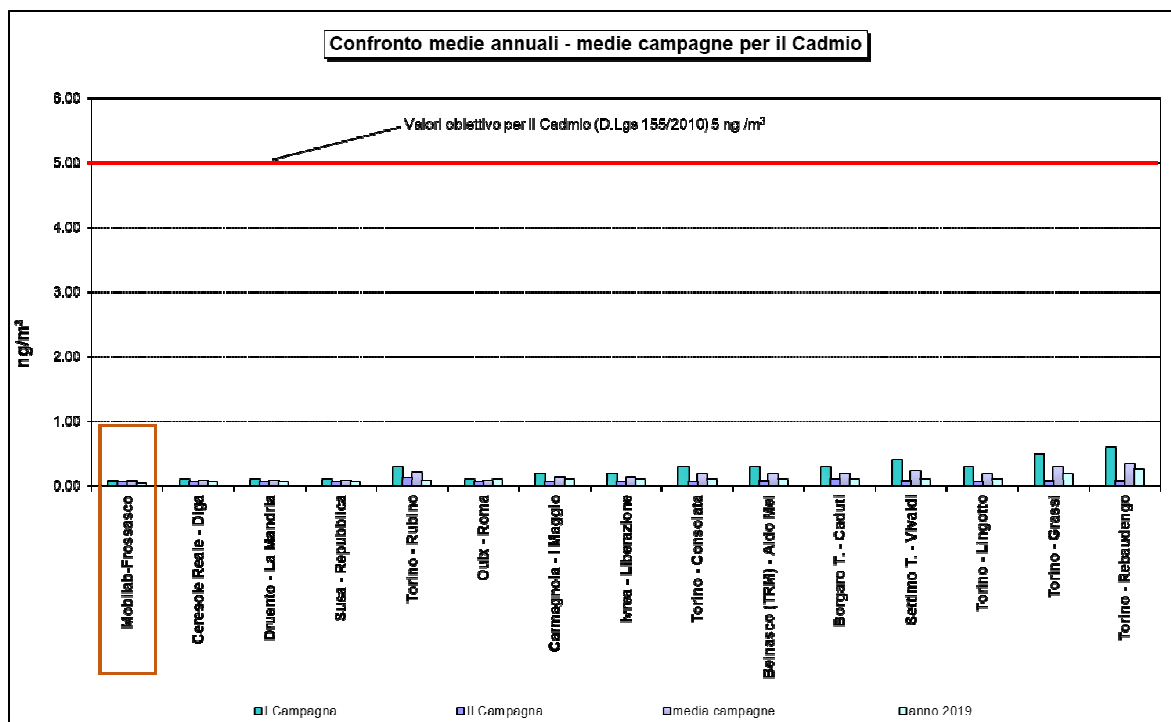


Figura 43: Nichel confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino

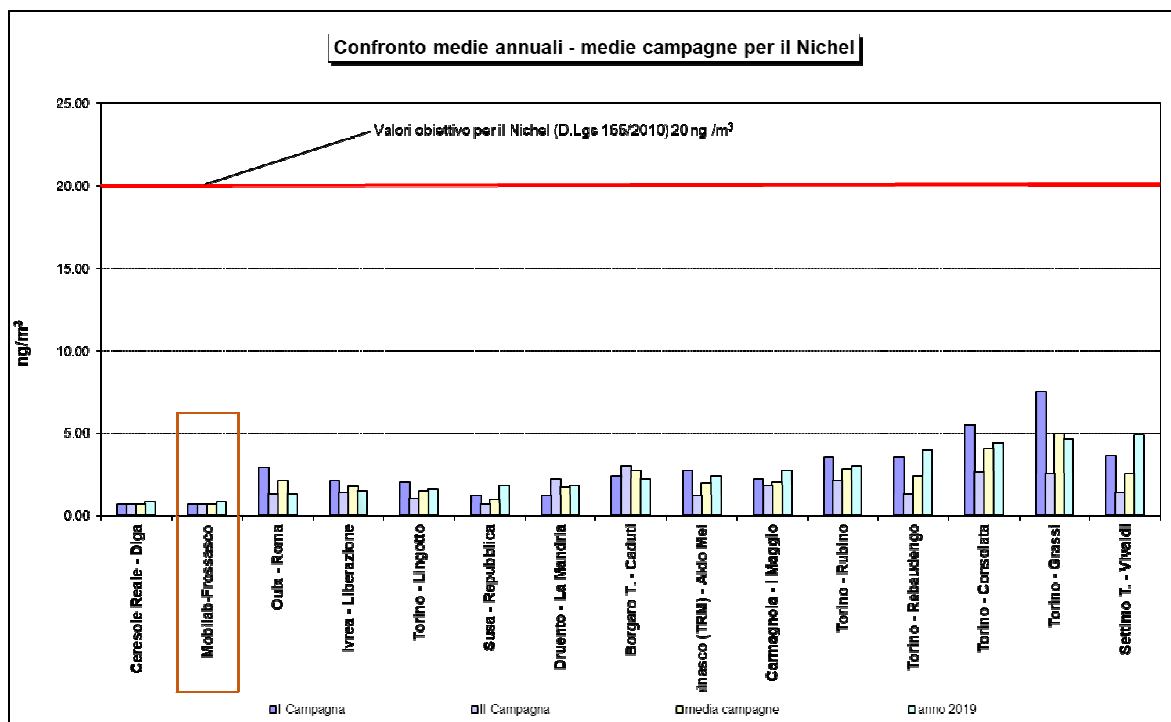
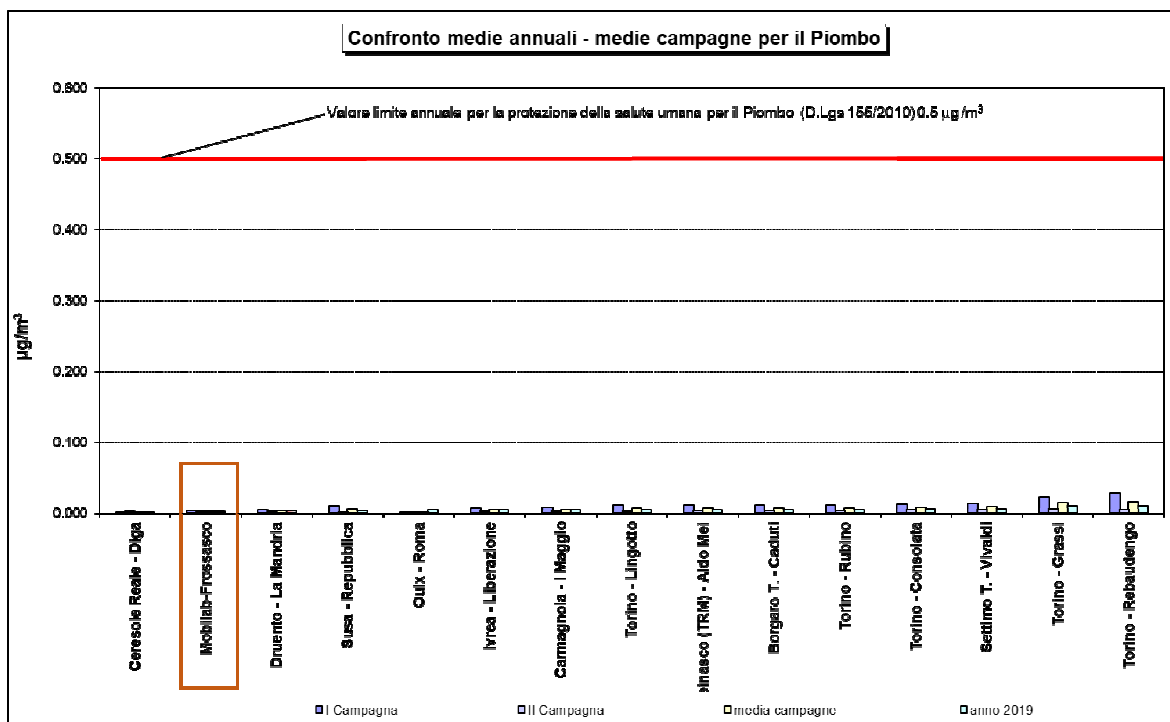


Figura 44: Piombo confronto della media delle campagne di monitoraggio con media anno 2019 nella Città Metropolitana di Torino



Conclusioni

Le criticità evidenziate nel territorio di Frossasco a seguito delle campagne di monitoraggio condotte con l'utilizzo del mezzo mobile rispecchiano quelle osservate in siti di valle della provincia di Torino. Le soglie di allarme non sono mai state superate per gli inquinanti per i quali la normativa prevede tale tipo di limite (biossido di azoto e ozono); 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, in entrambe le campagne, una situazione molto simile a quella di Baldissero, stazione di fondo rurale con concentrazioni inferiori alle altre stazioni della CMT.

Per quanto riguarda i limiti su base annuale previsti dalla normativa per NO_2 e PM_{10} , visto che la durata del monitoraggio con il laboratorio mobile nel comune di Frossasco 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 NO_2 stimata per Frossasco è pari a $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore che rispetta ampiamente il limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$); nel confronto con 38 siti della RRQA, Frossasco si pone al 5° posto con una media al di sotto di quelle registrate nelle stazioni di traffico e quasi tutte le stazioni di fondo.

Lo stesso procedimento di stima del valore annuale è stato utilizzato per il parametro PM_{10} a partire dai dati delle due campagne, ottenendo una media annuale stimata di $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e quindi inferiore al valore limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Durante il monitoraggio di dicembre/gennaio, per il PM_{10} si sono verificati 5 superamenti del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre nella seconda campagna non si sono avuti

superamenti. E' opportuno precisare che, durante il periodo della prima campagna, si sono rilevati superamenti del limite giornaliero su tutte le stazioni di rilevamento della Città Metropolitana di Torino, ad eccezione di Oulx.

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 le stazioni più simili come numero di superamenti del livello giornaliero risultano Pinerolo e Druento, che nel corso del 2019 hanno avuto rispettivamente 5 e 10 superamenti in totale, al di sotto del limite di 35 stabilito dalla legge. È dunque presumibile che, se si fosse effettuato un monitoraggio esteso all'intero anno, anche nel sito di Frossasco non 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 2).

I profili del periodo della prima campagna (**Figura 23**), 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 Frossasco e quelle della stazione di fondo urbano di Pinerolo.

Il parametro PM_{2.5} segue, come andamento temporale e valori medi di concentrazione giornaliera, il PM₁₀ (vedi **Figura 25**). Dai profili delle concentrazioni rilevate durante i monitoraggi (**Figura 24**), si può notare che, in termini relativi, i valori di PM_{2.5} nel sito di Frossasco sono risultati mediamente simili a quelli di Ivrea e più bassi di Settimo e Torino-Lingotto.

La normativa italiana prevede per il PM_{2.5} solamente il rispetto di un limite annuale, pari a 25 µg/m³. La stima della concentrazione media annuale per Frossasco, riferita al 2019 ed ottenuta utilizzando la metodologia impiegata per stimare le medie annuali del biossido di azoto e PM₁₀, è risultata di 15 µg/m³: valore inferiore al limite normativo (25 µg/m³) e vicino a quello di Ivrea che nel 2019 ha registrato una media annuale di 16 µg/m³.

Le stima della media annuale di benzene è pari a 0.6 µg/m³, valore inferiore al limite di 5 µg/m³.

Il valore stimato della media annuale del benzo(a)pirene, è pari a 0,34 ng/m³ valore inferiore al valore obiettivo indicato dal D.Lgs 155/2010 (1 ng/m³ media annuale); gli altri IPA monitorati hanno evidenziato concentrazioni analoghe ad altri siti della rete di monitoraggio provinciale, aventi le stesse condizioni d'inquinamento; il valore medio sia di benzo(a)pirene che degli altri IPA risulta molto vicino alla stazione di Susa, che ha mostrato caratteristiche simili anche per le altre specie chimiche inquinanti.

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

L'ozono, a differenza degli altri inquinanti, presenta i valori più elevati nel periodo caldo dell'anno; durante la campagna di monitoraggio di settembre si sono verificati 2 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 gennaio 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. Dalla **Figura 34** e dalla **Figura 35** si evince che tutte le cabine della rete, ad eccezione di Ceresole, hanno superato il numero massimo di 25 consentito dalla norma come media degli

ultimi 3 anni. Si può presumere pertanto che tale obiettivo non sia rispettato nel Comune di Frossasco. 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 concentrazioni orarie ed il giorno medio mostrano profili molto simili a quelli di Susa.

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

Le criticità evidenziate nel territorio di Frossasco a seguito della campagna di monitoraggio condotta con l'utilizzo del mezzo mobile rispecchiano quelle osservate in siti della Città Metropolitana di Torino caratterizzati 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

Gascromatografo con doppia colonna, rivelatore PID (fotoionizzazione)

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