

Uno sguardo all'aria

2017





Relazione annuale sui dati rilevati dalla rete metropolitana di monitoraggio della qualità dell'aria

Anno 2017

Testi ed elaborazioni a cura di:

Città metropolitana di Torino – Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria - Servizio Qualità dell'Aria e Risorse Energetiche:

G Filippini, A. Bertello.

ARPA Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest

C. Bussi, F. Lollobrigida, A. Bruno, E. Calderaro, D. Marangon, L. Milizia , M. Sacco.

ARPA Dipartimento Sistemi Previsionali:

M. Grosa, M. Nicolella, G. Paesano, S. Bande, D. Gandini.

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

ARPA Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest

F. Pitasi, S. Bertero, M. Carrera, S. Cerrato, I. Coretti, L. Corino, A. D'Agostino, C. Duretti, G. Gallina, P. Giansanti, M. Nurra, G. Prano, M. Radeschi, F. Romeo, P. Rosina, V. Sciortino, R. Sergi, D. Simondi, E. Vicenzino, V. Zulian,

CSI Piemonte

Il personale tecnico della Sala Ambiente della Regione Piemonte presso il CSI Piemonte.

Si ringrazia la Regione Piemonte per i dati di composizione del parco veicolare

O. Munafò.

Copertina

Martina Uccisella, "Pietro Micca è perplesso" 2017

INDICE

SOMMARIO	7
LA RETE DI MONITORAGGIO OPERANTE SUL TERRITORIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO	8
MONOSSIDO DI CARBONIO	11
DESCRIZIONE	11
ESAME DEI DATI	11
BIOSSIDO D'AZOTO	13
DESCRIZIONE	13
ESAME DEI DATI	13
ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI BIOSSIDO DI AZOTO IN DUE SITI DI TRAFFICO E DI FONDO URBANO.	17
BIOSSIDO DI ZOLFO.....	20
DESCRIZIONE	20
ESAME DEI DATI	20
OZONO	23
DESCRIZIONE	23
ESAME DEI DATI	24
ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI OZONO IN DUE SITI FONDO URBANO E RURALE.	29
BENZENE.....	31
DESCRIZIONE	31
ESAME DEI DATI	31
PARTICOLATO SOSPESO	33
DESCRIZIONE	33
ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI PARTICOLATO IN DUE SITI URBANI DI TRAFFICO E DI BACKGROUND.	38
L'ANDAMENTO ORARIO DEL PARTICOLATO IN DUE SITI URBANI DI TRAFFICO E DI BACKGROUND.....	42
SIMULTANITÀ DEI SUPERAMENTI DEL VALORE LIMITE GIORNALIERO DI PM10 IN PIANURA PADANA NEL TRIENNIO 2014-2016	46
PARTICELLE SOSPENSE TOTALI.....	50
MUTAGENICITÀ DEL PM2,5.....	52
DESCRIZIONE	52
ESAME DEI DATI	53
CONSIDERAZIONI FINALI.....	58
STUDIO DELLA CONCENTRAZIONE NUMERICA DI PARTICELLE ULTRAFINI NELL'AREA METROPOLITANA TORINESE – RISULTATI ANNO 2017 ED ANALISI DELLA SERIE STORICA	60
INTRODUZIONE	60
ESAME DEI DATI RELATIVI ALL'ANNO 2017.....	60
ANALISI DELLA SERIE STORICA	66
CONCLUSIONI	68
METALLI	69
DESCRIZIONE	69
ESAME DEI DATI	70
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI.....	76
DESCRIZIONE	76
ESAME DEI DATI	76
GLI EFFETTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA DEGLI INCENDI BOSCHIVI DEL MESE DI OTTOBRE 2017	82
INTRODUZIONE	82
ESAME GENERALE DEI DATI DI QUALITÀ DELL'ARIA RILEVATI DURANTE GLI INCENDI BOSCHIVI.....	82
STIMA DEL CONTRIBUTO DEGLI INCENDI BOSCHIVI ALLE CONCENTRAZIONI DI PARTICOLATO AERODISPERSO	86
VALUTAZIONE DELL'INFLUENZA DEGLI INCENDI BOSCHIVI SUGLI INDICATORI DI PM10 E PM2,5	93
CONCLUSIONI	95

CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2017	97
IL CLIMA DEL 2017	97
I DATI METEO MISURATI NEL 2017	110
L'INDICE "NUMERO DI GIORNI FAVOREVOLI ALL'ACCUMULO DI PM10"	115
EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE	117
I LIMITI DI EMISSIONE DEI VEICOLI A MOTORE.....	117
IL PARCO VEICOLARE NELLA CITTA' METROPOLITANA DI TORINO	118
I TEST EMISSIVI DELLE AUTO	122

SOMMARIO

I dati rilevati nel 2017 confermano la nota criticità del territorio, in particolare dell'area urbana torinese, a rispettare i valori limite e obiettivo per la protezione della salute umana.

Dei 12 inquinanti per i quali sono stabiliti valori di riferimento, 7 - monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), benzene e metalli (Pb, As, Cd, Ni) - rispettano ampiamente i rispettivi valori limite e obiettivo su tutto il territorio metropolitano.

Il superamento del valore limite annuale del PM10 è avvenuto in 5 stazioni su 18, mentre quello del valore limite giornaliero in 14 stazioni su 18. Per il PM2,5 il valore limite annuale di 25 µg/m³ è superato ovunque con l'eccezione delle stazioni di Ceresole Reale e Ivrea. I dati rilevati nel 2017 presentano un netto peggioramento rispetto all'anno precedente motivato principalmente dalle condizioni di dispersione atmosferica più sfavorevoli. Il contributo degli incendi boschivi del mese di ottobre ha provocato un incremento molto significativo delle concentrazioni di PM10 e PM2,5 nei cinque giorni più critici (23-27 ottobre), non ha però modificato in maniera sostanziale gli indicatori di legge su base annuale, il cui peggioramento complessivo rispetto al 2016 si sarebbe verificato anche in assenza di incendi - si veda il capitolo relativo agli effetti sulla qualità dell'aria degli incendi boschivi del mese di ottobre 2017.

Nel 2017 il valore limite annuo del biossido di azoto (NO₂) (40 µg/m³) è stato superato in 5 stazioni su 19. Medie orarie superiori al valore di 200 µg/m³ sono state misurate solo in alcune stazioni da traffico e il valore limite orario è stato superato solo nella stazione di To-Rebaudengo. Le medie annuali di benzo(a)pirene mostrano nell'area urbana torinese una generale stabilità rispetto agli anni precedenti. Il valore obiettivo viene superato in 2 stazioni di traffico. L'ozono (O₃) conferma la sua criticità nei mesi estivi su tutto il territorio metropolitano. Il valore obiettivo per la protezione della salute è stato superato in tutti i punti di misura.

I dati rilevati nel 2017 continuano a mostrare la difficoltà del nostro territorio a rispettare i valori limite e valori obiettivo per 5 dei 12 inquinanti normati. Tutte le criticità rilevate negli anni precedenti sono confermate e per alcuni parametri, PM10, PM2,5 e NO₂ il 2017 è stato un anno particolarmente critico. La variabilità meteorologica, riassunta nell'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo degli inquinanti" descritto nel capitolo relativo all'analisi meteorologica, giustifica in modo abbastanza esauriente la variabilità osservata nel 2017 rispetto agli anni precedenti. Ciononostante l'analisi delle serie storiche evidenzia, negli ultimi 5/6 anni, un rallentamento della tendenza alla riduzione delle concentrazioni, elemento che deve far riflettere sulla necessità di nuove misure di risanamento della qualità dell'aria.

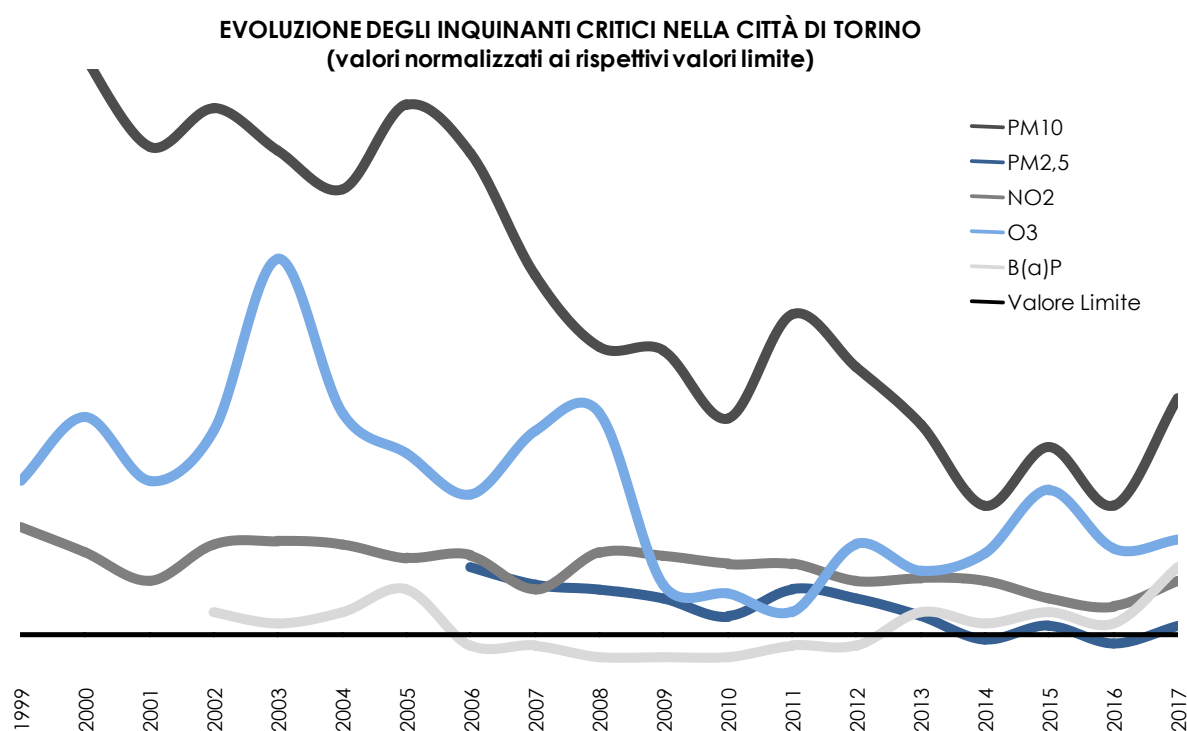


FIGURA 1: evoluzione degli inquinanti nella città di Torino.

LA RETE DI MONITORAGGIO OPERANTE SUL TERRITORIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

F. Romeo, F. Lollobrigida (Arpa Piemonte, Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest)

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria, operante sul territorio della Città metropolitana di Torino e gestita da Arpa Piemonte, è composta da 18 postazioni fisse di proprietà pubblica, da 3 stazioni fisse di proprietà privata e da un mezzo mobile per la realizzazione di campagne di rilevamento dei parametri chimici di qualità dell'aria. Tutte le postazioni fisse sono collegate attraverso linee telefoniche al centro di acquisizione dati e trasmettono con cadenza oraria i risultati delle misure effettuate, permettendo un costante controllo dei principali fattori che influenzano la qualità dell'aria. L'elenco delle stazioni di misura, la loro ubicazione e i parametri misurati sono riportati in TABELLA 1.

Nella TABELLA 1 dopo PM10/PM2,5 si trova in alcuni casi l'indicazione "beta (β)" in relazione al metodo di misura utilizzato.

Ciò sta a indicare che la misura è effettuata tramite un analizzatore automatico, per cui il dato di concentrazione media di PM10 o PM2,5 riferita a un determinato giorno dell'anno è disponibile nella giornata immediatamente successiva; con questo tipo di analizzatori non è però possibile determinare quei componenti del particolato, in particolare idrocarburi policiclici aromatici e metalli, per i quali la normativa, in relazione alla loro rilevanza tossicologica, prevede specifici valori limite.

Quando invece non vi è alcuna indicazione la misura è effettuata mediante il prelievo del particolato su appositi filtri e una successiva determinazione di laboratorio, per cui il dato è disponibile alcuni giorni dopo il termine del prelievo. Le procedure interne di Arpa Piemonte prevedono che il dato di PM10 o PM2,5 sia disponibile entro 12 giorni dal prelievo nel periodo novembre-aprile e entro 18 giorni dal prelievo negli altri mesi. Questo tipo di determinazione, a differenza della prima, permette l'analisi della composizione del particolato.

La collocazione sul territorio delle postazioni di misura (FIGURA 2) è un fattore fondamentale per effettuare un efficace monitoraggio della qualità dell'aria. I luoghi prescelti devono essere rappresentativi della tipologia di sito individuato. Una corretta collocazione dei punti di misura permette così di ottenere indicazioni estremamente rappresentative sulla qualità dell'aria. Un aumento dei punti di monitoraggio porterebbe quasi sicuramente all'effettuazione di misure ridondanti e, visti gli elevatissimi costi di acquisto e di gestione delle reti di monitoraggio, comporterebbe una spesa difficilmente sostenibile dalle amministrazioni pubbliche e sicuramente non giustificata in relazione ai risultati ottenuti.

La rete di monitoraggio è completata da una stazione mobile di rilevamento, la cui peculiarità risiede nella possibilità di poter essere collocata ovunque si ritenga necessario realizzare brevi campagne di monitoraggio, permettendo di effettuare valutazioni sulla qualità dell'aria in tutte quelle zone non direttamente interessate dalla rete fissa. Il laboratorio mobile fornisce, in questo senso, un valido supporto nella valutazione dello stato ambientale, in previsione della costruzione di nuovi insediamenti produttivi o di modifiche della rete viaria, offrendo significativi elementi per una corretta pianificazione delle opere strutturali o per la definizione di interventi volti alla riduzione dell'intensità dei fenomeni di inquinamento.

Tutti i siti monitorati sono oggetto di specifiche relazioni tecniche curate dal Dipartimento ARPA di Torino; copia delle relazioni è disponibile sia presso tale Dipartimento che presso l'Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria della Città Metropolitana di Torino e sono scaricabili via internet agli indirizzi:

<http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/rete-monitoraggio/relazioni-campagne-rilevamento>

<http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/aria/relazioni-mezzo-mobile/elenco-relazioni-qualita-aria>

STAZIONE	INDIRIZZO	PARAMETRI	TIPOLOGIA
Baldissero (GDF) (1)	Str. Pino Torinese, 1 – Baldissero	NO _x , O ₃ , CO, PM10 _B , Deposimetro IPA	Fondo-rurale
Beinasco (TRM) (1)	Via San Giacomo c/o giardino pubblico Aldo Mei - Beinasco	NO _x , PM10, PM10 _B , PM2,5 _B , BTX, Campionatore PCDD/DF, Deposimetro Metalli/IPA, Deposimetro Hg, Deposimetro PCDD/DF, Misuratore mercurio gassoso	Fondo-suburbano
Borgaro	Via Italia c/o Giardini dei Caduti Borgaresi – Borgaro	NO _x , O ₃ , PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	Fondo-suburbano
Carmagnola	P.zza I Maggio– Carmagnola	NO _x , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-urbano
Ceresole Reale	c/o cent. Idroelettrica - Ceresole	NO _x , O ₃ , PM10 _B , PM2,5 _B , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-rurale
Chieri	c/o Scuola Infanzia B.go Venezia Via Bersezio– Chieri	NO _x , O ₃ , PM2,5	Fondo-suburbano
Collegno	C.so Francia, 137 - Collegno	NO _x , PM10	Traffico-urbano
Druento	parco La Mandria c/o cascina Peppinella – Druento	NO _x , O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo rurale
Ivrea	Viale della Liberazione, 1 – Ivrea	NO _x , O ₃ , PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-suburbano
Leini (GDF) (1)	Via Vittime di Bologna, 12 - c/o Grande Torino - Leini	NO _x , O ₃ , CO, PM10 _B , PM2,5 _B	Fondo-suburbano
Mezzo Mobile		NO _x , O ₃ , CO, SO ₂ , PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	
Orbassano	Via Gozzano – Via Riesi c/o Complesso Sportivo Comunale – Orbassano	NO _x , O ₃	Fondo-suburbano
Oulx	Via Roma angolo via Des Moines – Oulx	NO _x , CO, PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-suburbano
Pinerolo	P.zza III Alpini, 1 – Pinerolo	PM10 _B	Fondo-urbano
Settimo T.se	Via Milano, 31 – Settimo	NO _x , PM10, PM2,5, BTX, B(a)P	Traffico-urbano
Susa	P.zza della Repubblica – Susa	NO _x , O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-suburbano
To-Consolata	Via Consolata, 10 – Torino	NO _x , CO, SO ₂ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PTS	Traffico-urbano
To-Grassi	Via P.Veronese ang. via Reiss Romoli c/o ITIS Grassi – Torino	PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-urbano
To-Lingotto	Viale Augusto Monti, 21 zona Lingotto – Torino	NO _x , O ₃ , PM10-PM10 _B , PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	Fondo-urbano
To-Rebaudengo	P.zza Rebaudengo, 23 - Torino	NO _x , CO, SO ₂ , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 _B , PM2,5 _B	Traffico-urbano
To-Rubino	Via Edoardo Rubino c/o giardini Rubino - Torino	NO _x , O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 _B orario, PM2,5 _B orario	Fondo-urbano
Vinovo	via Garibaldi ang. via Volontari Italiani – Vinovo	NO _x , O ₃ , BTX	Fondo-suburbano

(1) stazione di proprietà di Ente privato gestita da Arpa Piemonte

TABELLA 1: elenco delle stazioni di monitoraggio, ubicazione e parametri misurati.

CODICE PARAMETRO	DESCRIZIONE
As-Cd-Ni-Pb	Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo
B(a)P	Benzo(a)pirene
BTX	Benzene, toluene, xilene
CO	Monossido di carbonio
NO _x	Ossidi di azoto
O ₃	Ozono
PM10	Particolato sospeso < 10 µm
PM10 _B	Particolato sospeso < 10 µm metodo automatico a radiazione β
PM2,5	Particolato sospeso < 2,5 µm
PM2,5 _B	Particolato sospeso < 2,5 µm metodo automatico a radiazione β
PTS	Polveri totali sospese
SO ₂	Biossido di zolfo

TABELLA 2: descrizione dei codici dei parametri.

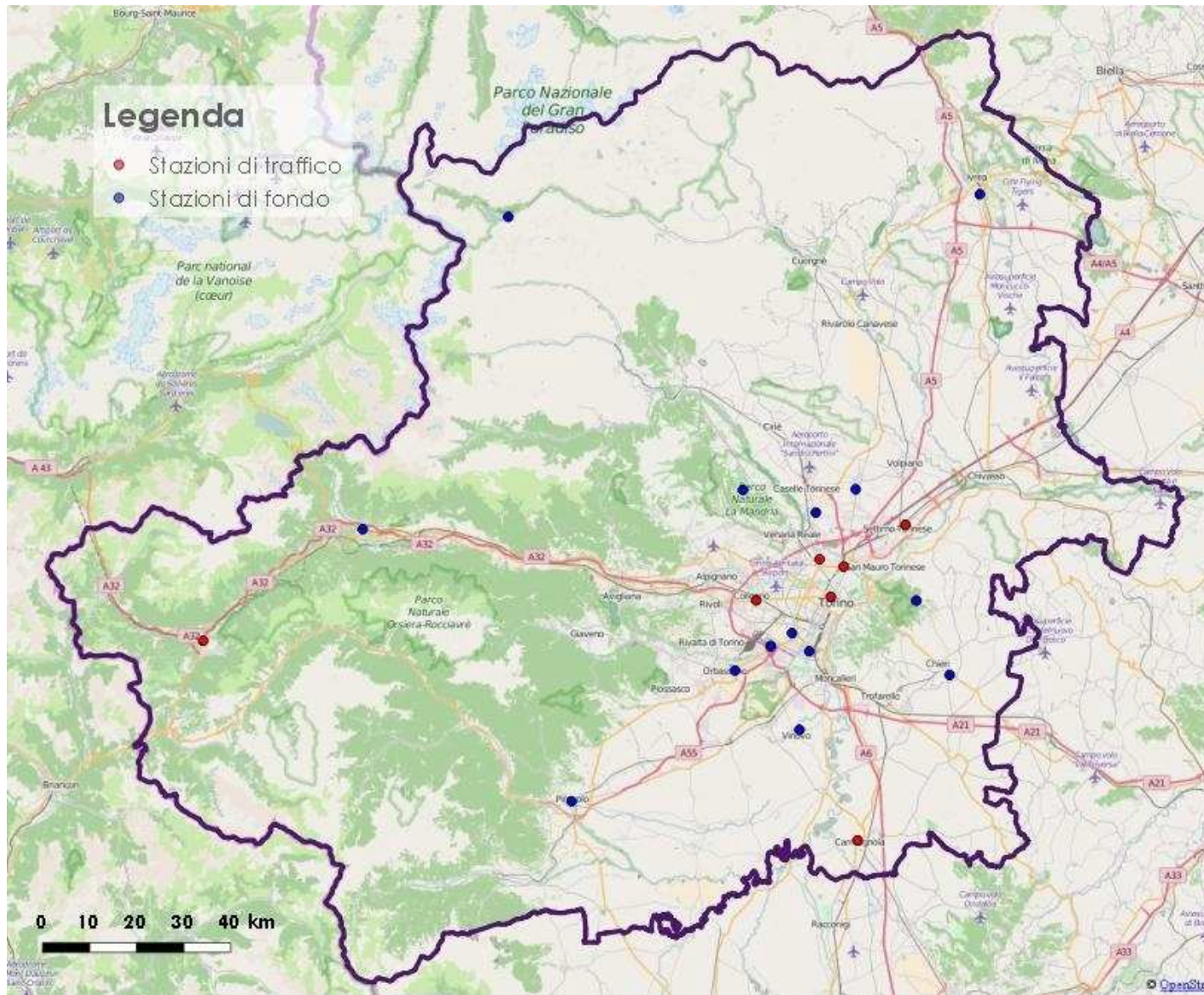


FIGURA 2: disposizione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

MONOSSIDO DI CARBONIO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

DESCRIZIONE

Il carbonio, legandosi all'ossigeno, forma due composti (ossidi): il monossido di carbonio (CO) ed il biossido di carbonio (CO₂).

E' un elemento molto comune in natura, sia allo stato elementare sia allo stato combinato negli idrocarburi, nel calcare, nella dolomite e nei carboni fossili.

Il CO è l'unico inquinante gassoso per il quale l'unità di misura con la quale si esprimono le concentrazioni è il milligrammo al metro cubo (mg/m³), a differenza degli altri parametri inquinanti misurati in µg/m³ o in ng/m³ in quanto presenti in minore concentrazione in aria ambiente.

Il monossido di carbonio è un gas inodore ed incolore ed è prodotto principalmente dalla combustione incompleta dei combustibili organici (carbone, olio, legno, carburanti).

La principale sorgente di CO è rappresentata dai gas di scarico dei veicoli a benzina funzionanti a regimi di motore al minimo ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato.

Il CO ha la proprietà di fissarsi all'emoglobina del sangue impedendo il normale trasporto dell'ossigeno nelle varie parti del corpo ed ha nei confronti dell'emoglobina un'affinità 220 volte maggiore rispetto all'ossigeno. Il composto che si genera (carbossi-emoglobina) è estremamente stabile. Gli organi più colpiti sono il sistema nervoso centrale ed il sistema cardiovascolare, soprattutto nelle persone affette da cardiopatie.

Concentrazioni elevatissime di CO possono anche condurre alla morte per asfissia.

I valori limite definiti dalla normativa vigente sono riportati nella TABELLA 3.

Periodo di mediazione	VALORE LIMITE ¹	
	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
Media massima giornaliera su 8 ore	10 mg/m ³	1 gennaio 2005

TABELLA 3: D.Lgs. 155/2010, valori limite per il monossido di carbonio.

ESAME DEI DATI

I dati relativi al 2017 evidenziano concentrazioni medie annuali comprese fra 0,4 e 1,4 mg/m³.

Viene confermato il rispetto del limite di protezione della salute umana di 10 mg/m³, calcolato come media mobile trascinata su otto ore (D.Lgs. 155/2010). Il valore massimo della media calcolata su 8 ore è di 4,5 mg/m³ e si attesta ben al di sotto del valore limite.

A partire dai primi anni '80 fino al 2007 le misurazioni di CO evidenziano concentrazioni medie nella stazione di To-Rebaudengo, che rappresenta un hot spot di traffico, in nettissimo calo (FIGURA 3). Questa riduzione è dovuta allo sviluppo della tecnologia dei motori per autotrazione ad accensione comandata e all'introduzione del trattamento dei gas esausti tramite i convertitori catalitici.

Negli ultimi 10 anni di monitoraggio (TABELLA 4) le concentrazioni medie annuali misurate nella stazione di To-Rebaudengo sono sostanzialmente stabili e oscillano fra valori compresi tra 1,1 e 1,6 mg/m³. Non si sono registrati negli ultimi 10 anni superamenti del valore limite per la protezione della salute umana.

¹ Valore limite: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, incluse quelle relative alle migliori tecnologie disponibili, al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato (D.Lgs 13 agosto 2010, n. 155 - Art.2, comma 1, lett. h)

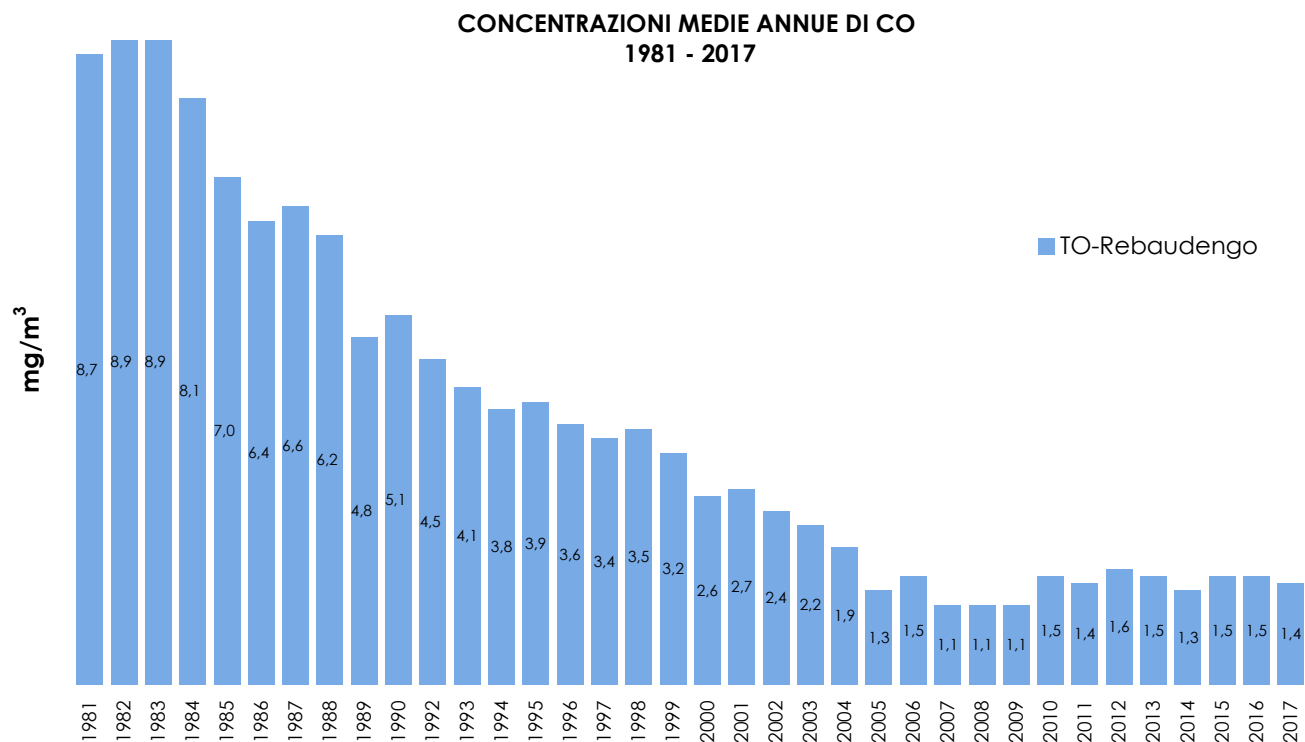


FIGURA 3: parametro CO, concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di To-Rebaudengo dal 1981 al 2017.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2016 (% dati validi)	Media Annuale mg/m³										Valore limite Numero di giorni con la media massima calcolata su 8 ore superiore a 10 mg/m³							Valore massimo delle medie calcolate su 8 ore mg/m³												
		'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17
Baldissero	99%	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	1,1	1,3	1,4	1,3	1,1	1	1,2	1,1	1,1
Leinì	96%	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6	3	2,3	2,4	2,5	2,3	2,1	2	1,9	1,7
Oulx	92%	0,4*	0,4	0,5*	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0*	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	1,1*	1,2	1,5*	1,7	1,7	1,9	1,8	1,8	1,5	2,3
To-Consolata	94%	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,5	1,2	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4,6	3,6	5,1	4,4	3	3,4	3,8	3,3	4,5
To-Rebaudengo	92%	1,1	1,1	1,5	1,4	1,6	1,5	1,3	1,5	1,5	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1	3,9	4,6	4,8	4,4	4	3,2	3,1	3,6	4,0

*La percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal D.Lgs. 155/2010 (90%)

TABELLA 4: dati relativi alle stazioni di monitoraggio del monossido di carbonio.

BIOSSIDO D'AZOTO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

M. Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest

DESCRIZIONE

Gli ossidi di azoto (N₂O, NO, NO₂ ed altri) sono generati in tutti i processi di combustione (veicoli, centrali termiche, riscaldamento domestico) quando viene utilizzata aria come comburente (in relazione alla reazione tra ossigeno e azoto ad alta temperatura) e quando i combustibili contengono azoto come nel caso delle biomasse.

Il biossido di azoto (NO₂) 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 che portano alla formazione di sostanze inquinanti (ad esempio l'ozono), complessivamente indicate con il termine di "smog fotochimico".

Un contributo fondamentale all'inquinamento da biossido di azoto e derivati fotochimici è dovuto, nelle città, ai fumi di scarico degli autoveicoli.

Il biossido di azoto è un gas tossico, irritante per le mucose, ed è responsabile di specifiche patologie a carico dell'apparato respiratorio con diminuzioni delle difese polmonari (bronchiti, allergie, irritazioni). Recenti studi effettuati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità hanno associato eventi quali mortalità, ricoveri ospedalieri e sintomi respiratori, con l'esposizione a breve e lungo termine al biossido di azoto in concentrazioni pari o al di sotto degli attuali valori limite UE.

Gli ossidi di azoto contribuiscono alla formazione delle piogge acide e favoriscono l'accumulo di nitrati nel suolo che possono provocare alterazione di equilibri ecologici ambientali.

I valori limite, il livello critico e la soglia di allarme definiti dalla normativa vigente per NO₂ e NO_x sono riportati nella TABELLA 5.

VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	(293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore limite
1 ora	200 µg/m ³ NO ₂ da non superare più di 18 volte per anno civile	1 gennaio 2010
Anno civile	40 µg/m ³ NO ₂	1 gennaio 2010
LIVELLO CRITICO ²		
Periodo di mediazione	(293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del livello critico
Anno civile	30 µg/m ³ NO _x	19 luglio 2001
SOGLIA DI ALLARME ³		
400 µg/m ³ (293°K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 km ² oppure una zona o un agglomerato completi, se tale zona o agglomerati sono meno estesi.		

TABELLA 5: D.Lgs. 13 agosto 2010, n. 155, valori limite per gli ossidi di azoto.

ESAME DEI DATI

I dati misurati nel corso del 2017 mostrano che il valore limite annuale per la protezione della salute è stato superato in 5 stazioni su 19. Delle 5 stazioni che non rispettano il limite annuale 4 sono collocate nell'area urbana torinese e una è un sito di traffico con flussi veicolari significativi (S.R. 20) nel comune di Carmagnola. Relativamente alla verifica del rispetto del valore limite orario, i risultati dei monitoraggi evidenziano che tale limite è stato superato, come già avvenuto negli anni passati, nella sola stazione di To-Rebaudengo, stazione caratterizzata da un traffico intenso e che storicamente rappresenta il punto di misura con i valori più elevati di tutto il territorio metropolitano. In relazione a questo indicatore i mesi più critici sono stati ottobre e novembre rispettivamente con 7 e 11 superamenti.

La FIGURA 4 presenta l'andamento storico delle concentrazioni a Torino nel periodo 1991 al 2017, sono riportate le medie annuali misurate in due stazioni del capoluogo, To-Lingotto, stazione di fondo urbano, e To-Rebaudengo, caratterizzata da intenso traffico veicolare. Si rileva una

² Livello critico: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, oltre il quale possono sussistere effetti negativi diretti su recettori quali gli alberi, le altre piante o gli ecosistemi naturali, esclusi gli esseri umani (D.Lgs 13 agosto 2010, n. 155 - Art.2, comma 1, lett. i);

³ Soglia di allarme: livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per la popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di adottare provvedimenti immediati (D.Lgs 13 agosto 2010, n. 155 - Art.2, comma 1, lett. n);

generale tendenza alla diminuzione della concentrazione di NO₂ che però sembra arrestarsi negli ultimi anni con concentrazioni medie che oscillano intorno al valore di 70 µg/m³ nella stazione di traffico e in prossimità del valore limite nel valore limite (40 µg/m³) nella stazione di fondo.

In generale il decremento del NO₂ non è equivalente a quello registrato per altri inquinanti quali, CO, benzene, piombo e in misura minore PM₁₀, per i quali la riduzione è stata molto più consistente. La diffusione dei veicoli diesel e i problemi emissivi di questa motorizzazione, che non sembra essere in grado di rispettare nelle condizioni di guida reali gli standard di omologazione, è sicuramente la causa principale del perdurare della situazione di criticità di questo inquinante.

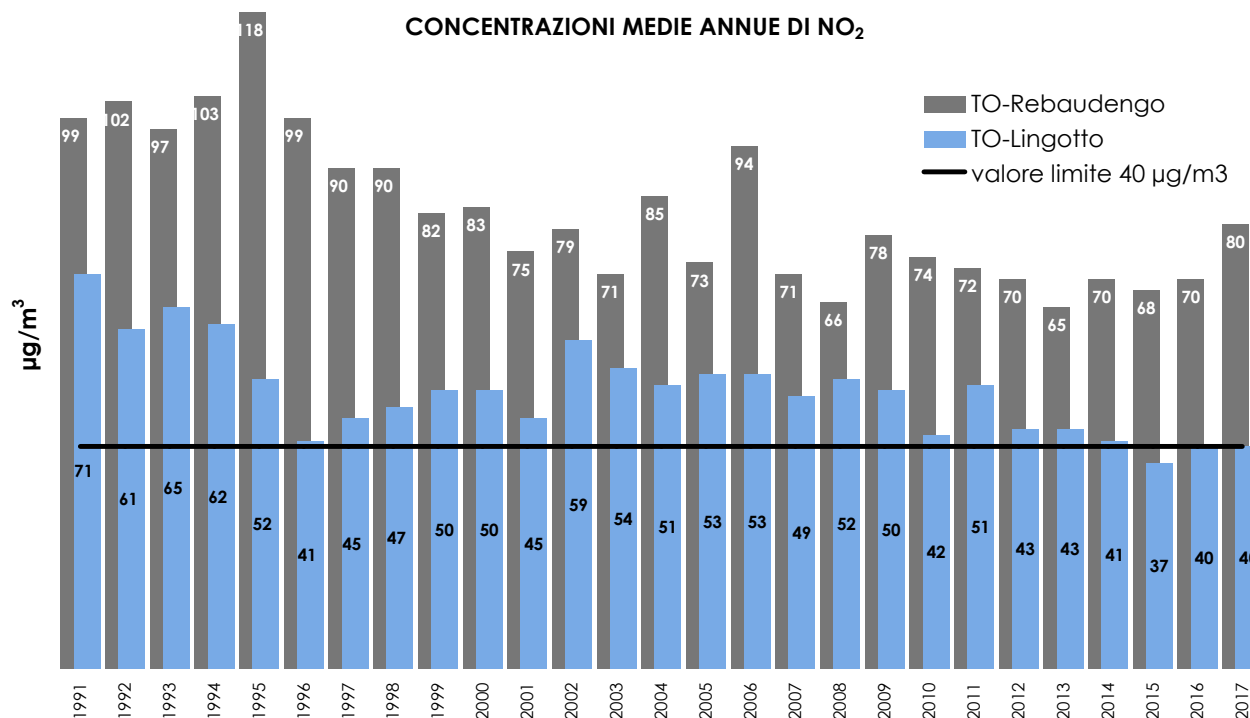


FIGURA 4: parametro NO₂, andamento storico delle medie annuali, stazioni di To-Lingotto e To-Rebaudengo.

Quello che inoltre si osserva dal grafico è una significativa differenza fra le concentrazioni medie annue misurate all'interno della città capoluogo, che di fatto possono quasi raddoppiare fra quanto misurato in un parco urbano e in prossimità di una strada molto trafficata. Per fornire una rappresentazione più approfondita di questa variabilità nelle figure successive (FIGURA 5, FIGURA 6 e FIGURA 7 si riportano gli andamenti storici dei valori massimi, minimi e medi misurati rispettivamente in tutte le stazioni operanti nella città metropolitana di Torino, in quelle dell'agglomerato urbano (Torino e prima cintura), e in quelle esterne all'area urbana torinese.

La variabilità sul territorio provinciale è assolutamente evidente con concentrazioni medie annue che oscillano fra il valore minimo di 5 µg/m³ e valori massimi oltre 70 µg/m³. La stessa tipologia di grafico suddivisa fra stazioni dell'agglomerato urbano e stazioni esterne ci consegna una rappresentazione molto diversa, un agglomerato con valori alti e mediamente al di sopra del valore limite di 40 µg/m³ e un'area esterna che, con poche eccezioni riconducibili a siti di traffico intenso, rispetta invece i limiti normativi.

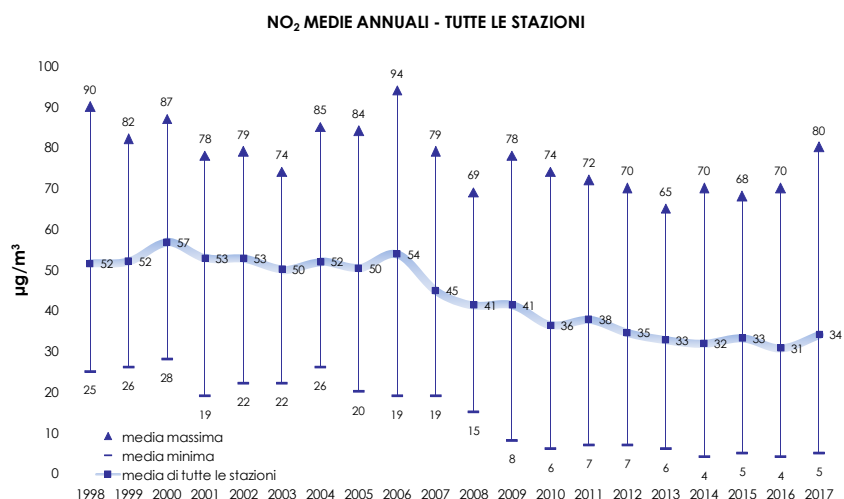


FIGURA 5: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le stazioni operanti nella città metropolitana di Torino.

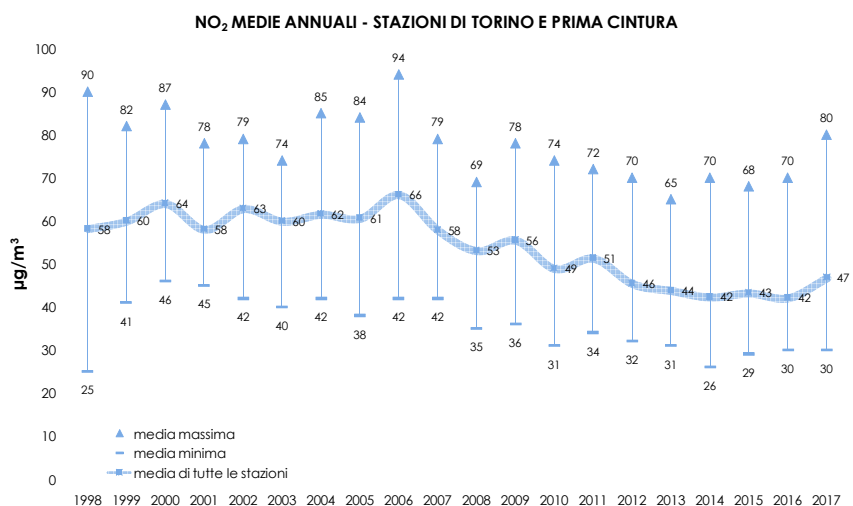


FIGURA 6: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le stazioni operanti nella città di Torino e nella prima Cintura.

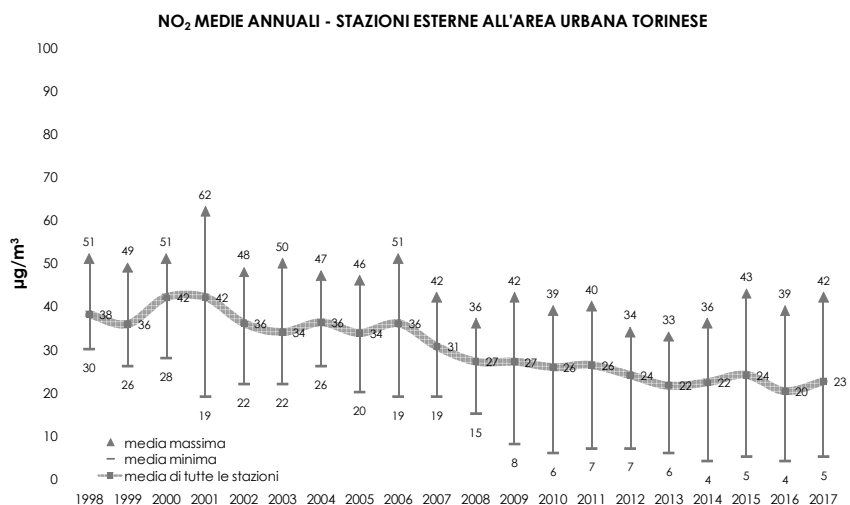


FIGURA 7: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le stazioni esterne all'area urbana Torinese.

Un'ulteriore ripartizione fra stazioni di traffico FIGURA 8 e stazioni di fondo FIGURA 9 del capoluogo evidenzia in modo ancora più chiaro la situazione. Le aree direttamente interessate da traffico veicolare sono stabilmente posizionate al di sopra del valore limite, le aree residenziali e di fondo presentano valori molto omogenei e con medie prossime valore limite. Quest'ultimo aspetto è il più preoccupante in quanto evidenzia che l'inquinamento da biossido di azoto non è limitato alle sole aree prossime alle maggiori arterie viarie ma diffuso su tutta la conurbazione torinese. In relazione all'elevato numero di popolazione esposta e necessario che le misure di risanamento previste dalla pianificazione regionale, in particolare limitazione della circolazione dei veicoli più inquinanti e installazione di generatori di calore a basse emissioni, siano adottate tempestivamente e in modo omogeneo e diffuso su tutta l'area urbana torinese.

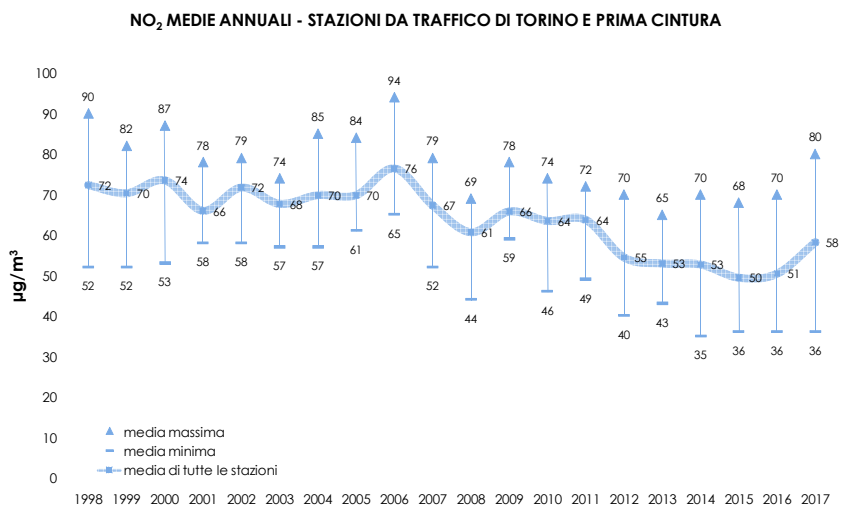


FIGURA 8: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le di traffico della conurbazione torinese.

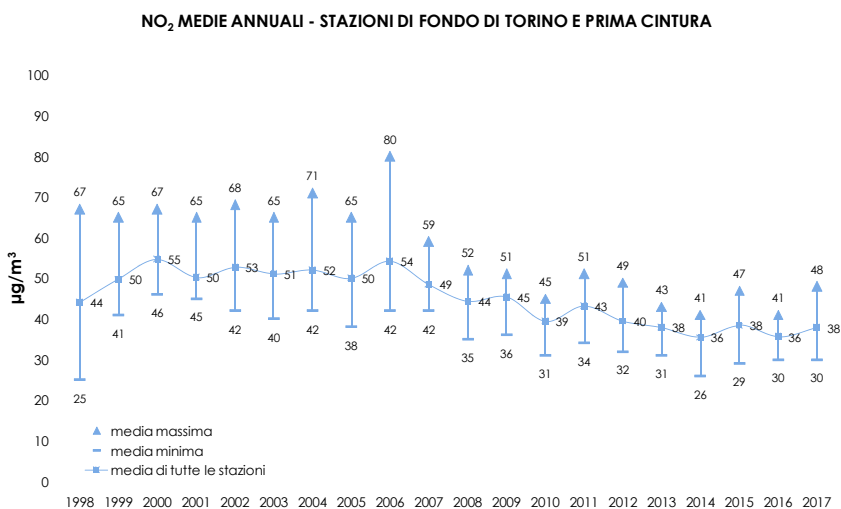


FIGURA 9: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le di traffico della conurbazione torinese.

ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI BIOSSIDO DI AZOTO IN DUE SITI DI TRAFFICO E DI FONDO URBANO.

Per stimare numericamente un trend e la sua significatività con un approccio di tipo statistico è stato scelto il metodo Theil-Sen^{4,5}, utilizzato nel pacchetto software openair⁶, il cui vantaggio è che produce intervalli di confidenza accurati anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e in caso di varianza dell'errore non costante. Inoltre, è un metodo robusto rispetto agli outliers (eventuali valori anomali).

Le serie storiche di dati orari scelte per poter effettuare la stima sono quelle di To-Lingotto, stazione di fondo urbano collocata in un parco nella periferia sud di Torino, e di To-Rebaudengo, stazione di traffico che registra i più alti valori di biossido di azoto a livello regionale. Il trend è stato valutato dopo avere rimosso la componente stagionale dalla serie di dati.

L'analisi di trend evidenzia una riduzione nelle concentrazioni di NO₂ per entrambi i siti, con elevata significatività statistica a To-Lingotto ($p < 0,001$), meno buona a To-Rebaudengo ($p < 0,01$); la riduzione è più elevata per To-Lingotto, che mostra un trend complessivo di $-1,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, mentre per la stazione di To-Rebaudengo la riduzione è limitata a $-0,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno.

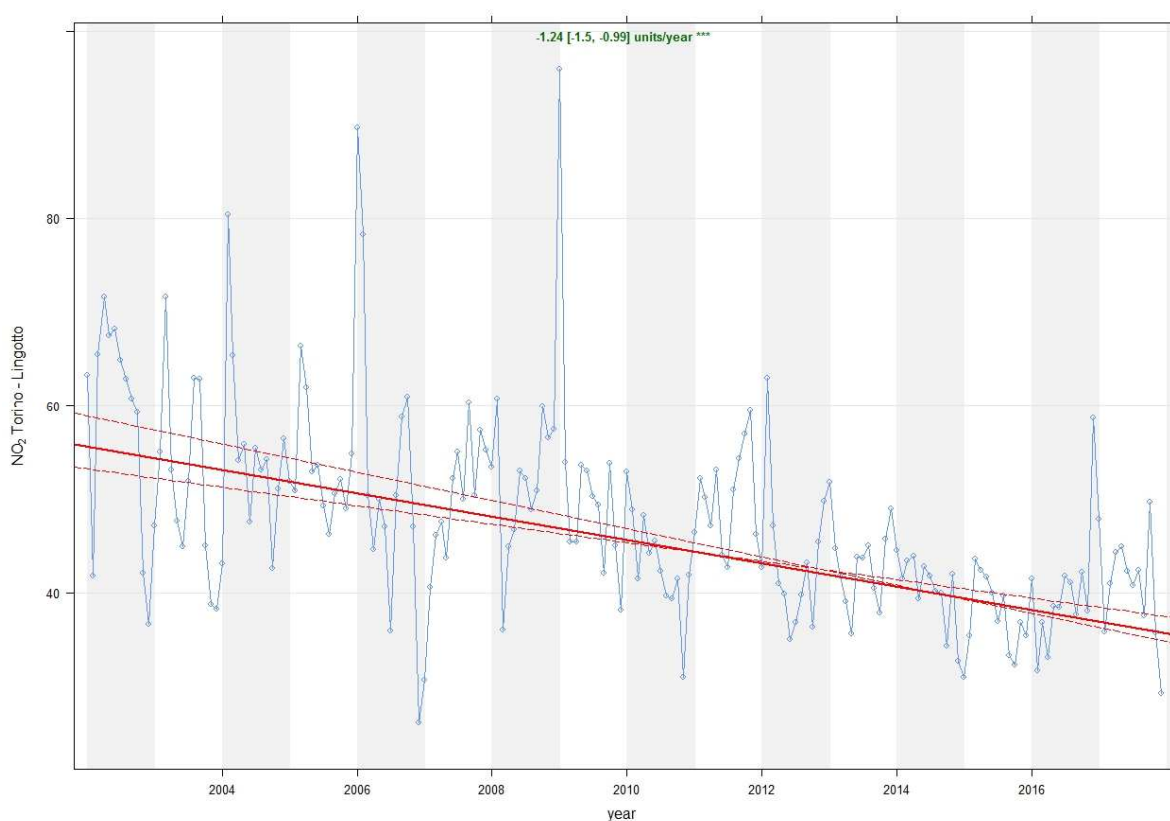


FIGURA 10: stima del trend dal 2002 al 2017 delle concentrazioni orarie di biossido di azoto, per la stazione di Torino - Lingotto (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

⁴ Theil, H., 1950. "A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, i, ii, iii." Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A - Mathematical Sciences 53, 386-392, 521-525, 1397-1412.

⁵ Sen, P. K., 1968. "Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau." Journal of the American Statistical Association 63(324).

⁶ Carlaw DC and Ropkins K (2012). "openair — An R package for air quality data analysis." Environmental Modelling & Software, 27–28(0), pp. 52–61. ISSN 1364-8152. doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.008.

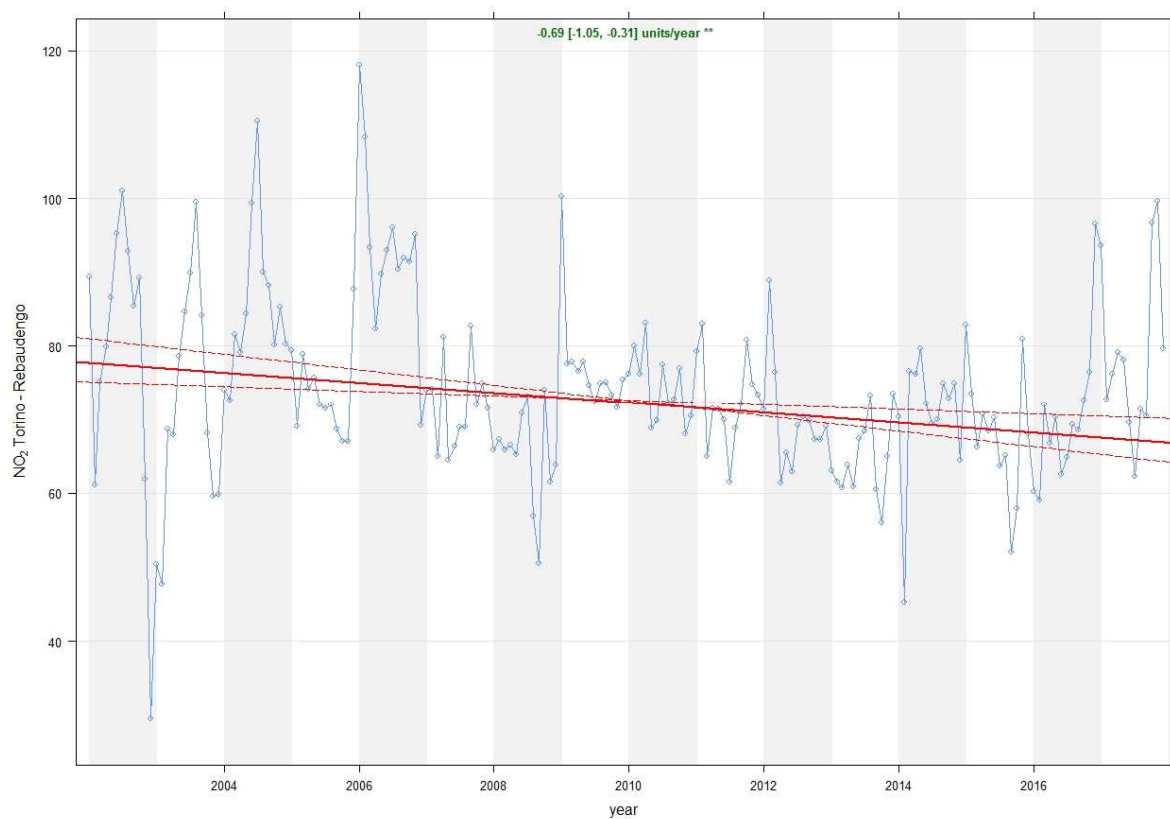


FIGURA 11: stima del trend dal 2002 al 2017 delle concentrazioni orarie di biossido di azoto, per la stazione di To-Rebaudengo (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

STAZIONE	Rendimento strumentale 2016 (% dati validi)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/m³) Media Annuale (µg/m³)										Valore limite orario per la protezione della salute Numero di superamenti del valore di 200 µg/m³ come media oraria									
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		Baldissero	98%	19	19	20	20	16	12	14	14	12	15	0	0	0	1	0	0	0	0
Beinasco TRM(6)	98%						41	38	47	41	48					0	0	0	0	0	0
Borgaro	94%	35	36	31	34	32	31	26	29	30	30	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0
Carmagnola	100%					79		36	38	39	42				7		0	0	1	0	0
Ceresole reale	94%		8*	6	7	7	6	4	5	4	5		0*	0	0*	0	0	0	0	0	0
Chieri(1)	93%	34	42	39	39	33	28	23	25	19	23	1	7	0	0	0	0	1	0	0	0
Collegno	96%					40*	44	47	36	46	58				0*	5	0	0	4	6	6
Druento	93%	15	18*	16	18	18	12	14	16	11	12	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	0
Ivrea	97%	27	28	26	29	25	25	24	26	23	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leini	91%	31	32	32	30	28	33	31	31	24	32	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0
Orbassano	96%	37	39	37	39	35	32	32	35	32	34	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Oulx	95%	22	20	21	20	21	21	21	20	18	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settimo	98%	44	59	46	49	49*	43	35	41	36	36	4	125	2	3*	12*	0	0	0	0	0
Susa	96%	21	22	24	23	22	19	20	22	20	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
To-Consolata	96%	69*	68	65	65	59	60	59	53	50	59	19	13	5	5	3	5	1	1	0	1
To-Lingotto	94%	52	50	42	51	43*	43	41	37	40	40	2	18	0	4	0*	0	0	0	5	0
To-Rebaudengo	95%	66	78	74	72	70	65	70*	68	70	80	16	76	15	10	13	31	0*	21	28	25
To-Rubino	87%	48	50	44	50	49	42	39	44	35	37*	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0*
Vinovo	94%	36	36	35	40	34	31	30	43	33	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(1) stazione spostata da corso Buozzi a via Bersezio il 21/12/2011

* La percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (90%)

TABELLA 6: dati relativi alle stazioni di monitoraggio che rilevano il biossido di azoto.

BIOSSIDO DI ZOLFO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

DESCRIZIONE

Il biossido di zolfo (SO₂) è il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono allo stato ridotto. È un gas incolore, di odore pungente ed è molto irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie; per inalazione può causare edema polmonare ed una prolungata esposizione può portare alla morte.

La principale fonte di inquinamento è costituita dall'utilizzo di combustibili fossili (carbone e derivati del petrolio) in cui lo zolfo è presente come impurezza. Viene inoltre emesso in atmosfera durante le eruzioni vulcaniche e quando raggiunge la stratosfera si trasforma in acido solforico.

L'acido solforico contribuisce all'acidificazione delle precipitazioni con effetti fitotossici sui vegetali e corrosivi sui materiali da costruzione.

La concentrazione di biossido di zolfo presenta valori massimi nella stagione invernale in concomitanza con le peggiori condizioni dispersive (es.: fenomeni di inversione termica) ed il funzionamento degli impianti termici industriali e domestici.

Tuttavia, a partire dal 1980, le emissioni antropiche (produzione di energia e traffico) sono notevolmente diminuite grazie al crescente utilizzo del metano e alla diminuzione del tenore di zolfo contenuto nel gasolio ed in altri combustibili liquidi.

I valori limite, il livello critico e la soglia di allarme definiti dalla normativa vigente sono di seguito riportati.

VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	(293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore limite
1 ora	350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile	1 gennaio 2005
24 ore	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile	1 gennaio 2005
LIVELLO CRITICO		
Periodo di mediazione	(293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del livello critico
anno civile e inverno (1° ottobre – 31 marzo)	20 µg/m ³	19 luglio 2001
SOGLIA DI ALLARME		
500 µg/m ³ (293°K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 km ² oppure una zona o un agglomerato completi, se tale zona o agglomerati sono meno estesi		

TABELLA 7: D.Lgs. 155/2010, valori limite per il biossido di zolfo.

ESAME DEI DATI

I due siti oggetto di monitoraggio (To-Consolata e To-Rebaudengo) presentano valori che rispettano ampiamente i limiti previsti dalla normativa.

Sia i massimi valori orari che le medie giornaliere sono notevolmente inferiori rispetto ai limiti stabiliti sulle rispettive basi temporali.

Il livello critico per la protezione degli ecosistemi, 20 µg/m³ calcolato come valore medio nei mesi freddi dell'anno, è ampiamente rispettato anche nelle stazioni di riferimento che sono posizionate in siti di traffico urbano.

Anche se nel corso dei prossimi anni è consigliabile mantenere attivo il monitoraggio per controllare il conseguimento dei risultati raggiunti, si può affermare che il parametro SO₂ non rappresenti più una criticità per il territorio della città metropolitana di Torino.

Va comunque considerato che le emissioni di ossidi di zolfo contribuiscono alla formazione di particolato attraverso il processo secondario di trasformazione del biossido di zolfo in solfati, i quali sul territorio metropolitano costituiscono in media tra il 5 e il 10% della massa totale di PM10. Per tale ragione occorre continuare a garantire un adeguato monitoraggio delle concentrazioni di SO₂ e mantenere in vigore le misure che ne hanno ridotto la presenza in atmosfera.

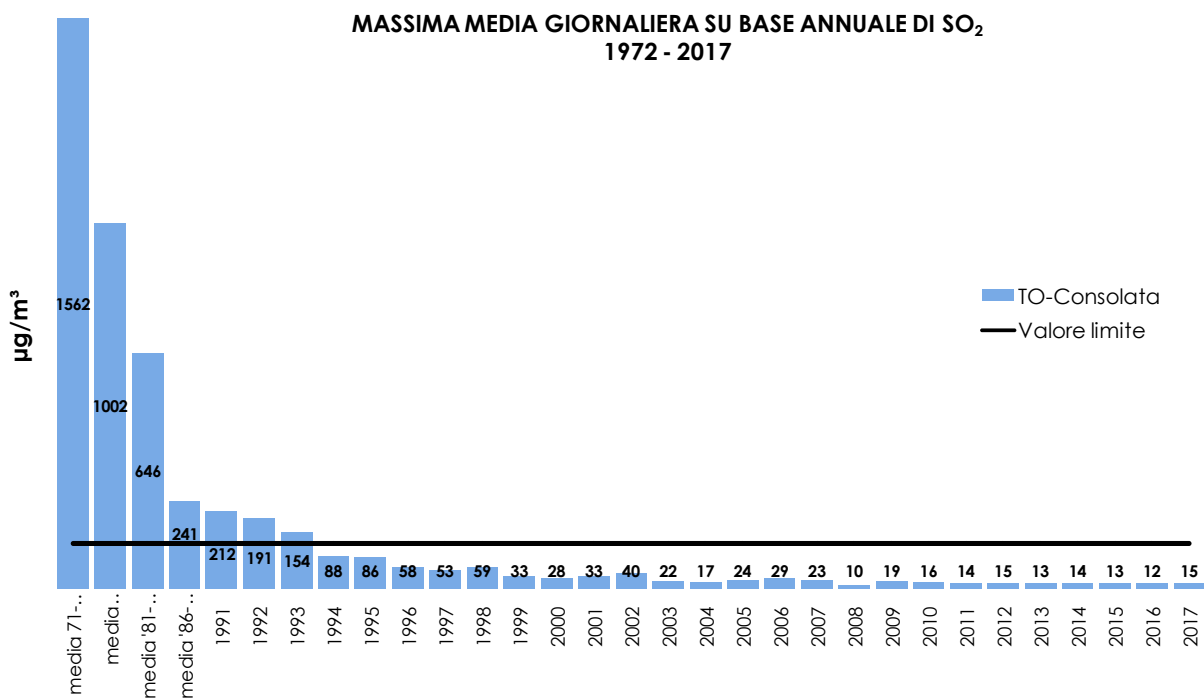


FIGURA 12: parametro SO₂, massima media giornaliera su base annuale rilevata nell'ultimo trentennio nella stazione di To-Consolata.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2017 (% dati validi)	Media Annuale $\mu\text{g}/\text{m}^3$										Valore limite orario per la protezione della salute umana 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte nell'anno civile Numero di superamenti										Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 volte nell'anno civile Numero di superamenti									
		'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17
To-Consolata	91%	4*	6*	6	6	6	6	7	7	6	7	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0	0
To-Rebaudengo	94%	5	9	8*	7	7	6	7	6	7	8	0	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	0	0

STAZIONE	Rendimento Strumentale 2017 (% dati validi)	Valore limite per la protezione degli ecosistemi 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Media calcolata sul periodo di riferimento 1 gen - 31 mar e 1 ott - 31 dic										Soglia di allarme 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Numero di superamenti										Massimo orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$									
		'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17
To-Consolata	91%	6*	7*	7	10	7	7	9	7	7	9	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	33*	23*	23	19	23	15	19	19	19	21
To-Rebaudengo	94%	7	11	10*	14	9	7	9	5	8	10	0	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	44	62	48*	34	33	26	24	17	25	39

*La percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal D.Lgs. 155/2010 (90%)

TABELLA 8: dati delle stazioni di monitoraggio che rilevano il biossido di zolfo.

OZONO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

Annalisa Bruno, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

DESCRIZIONE

L'ozono è un gas altamente reattivo dotato di un elevato potere ossidante, di odore pungente e ad elevate concentrazioni di colore blu.

Negli strati alti dell'atmosfera terrestre (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla Terra, creando uno scudo che filtra i raggi ultravioletti del Sole. L'ozono presente nella troposfera (lo strato atmosferico compreso fra il livello del mare e i 10 km di quota), ed in particolare nelle immediate vicinanze della superficie terrestre, è invece un componente dello "smog fotochimico" che si origina soprattutto nei mesi estivi in concomitanza di un intenso irraggiamento solare e di un'elevata temperatura.

VALORE OBIETTIVO PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA		
Periodo di mediazione	Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore obiettivo
Media massima giornaliera su 8 ore (a)	120 µg/m ³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni (b)	Il raggiungimento del valore obiettivo è valutato nel 2013, con riferimento al triennio 2010-2012.
VALORE OBIETTIVO PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE		
Periodo di mediazione	Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore obiettivo
AOT 40(c), calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18000 µg/m ³ *h come media su 5 anni (b)	Il raggiungimento del valore obiettivo è valutato nel 2015, con riferimento al triennio 2010-2014.
OBIETTIVO A LUNGO TERMINE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA		
Periodo di mediazione	Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore obiettivo
Media massima giornaliera su 8 ore (a)	120 µg/m ³ per anno civile	Non definita
OBIETTIVO A LUNGO TERMINE PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE		
Periodo di mediazione	Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore obiettivo
AOT 40(c), calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	6000 µg/m ³ *h	Non definita
SOGLIA DI INFORMAZIONE		
Periodo di mediazione	Valore soglia (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore soglia
1 ora	180 µg/m ³	9 marzo 2002
SOGLIA DI ALLARME		
Periodo di mediazione	Valore soglia (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore soglia
1 ora (d)	240 µg/m ³	9 marzo 2002
<p>(a) La massima concentrazione media giornaliera su 8 ore sarà determinata analizzando le medie consecutive su 8 ore, calcolate in base a dati orari e aggiornate ogni ora. Ogni media su 8 ore così calcolata sarà assegnata al giorno nel quale finisce; in pratica la prima fascia di calcolo per ogni singolo giorno sarà quella compresa fra le ore 17:00 del giorno precedente e le ore 01:00 del giorno stesso; l'ultima fascia di calcolo per ogni giorno sarà quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00 del giorno stesso.</p> <p>(b) Se non è possibile calcolare la media su 3 o 5 anni in base ad una serie intera e consecutiva di dati annui, la valutazione della conformità ai valori obiettivo si può riferire, come minimo, ai dati relativi a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - per il valore obiettivo per la protezione della salute umana: dati validi relativi ad un anno - per il valore obiettivo per la protezione della vegetazione: dati relativi a tre anni <p>(c) Per AOT40 (espresso in µg/m³*h) s'intende la somma della differenza fra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ (=40 ppb) e 80 µg/m³ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari medi rilevati ogni giorno tra le 08:00 e 20:00, ora dell'Europa centrale.</p> <p>(d) Per l'attuazione dei piani di azione a breve termine, previsti all'art. 10 comma 1 del D.Lgs 155/2010, il superamento della soglia deve essere misurato o previsto per tre ore consecutive.</p>		

TABELLA 9: D. Lgs. 13/08/10 n. 155 – ozono - valori obiettivo, obiettivo a lungo termine, e soglie di informazione ed allarme.

L'ozono troposferico non ha sorgenti dirette, ma si forma all'interno di un ciclo di reazioni fotochimiche che coinvolgono composti, quali ossidi di azoto e composti organici volatili, immessi in atmosfera dalle attività umane.

L'ozono è un inquinante sostanzialmente ubiquitario e, a differenza di quanto avviene per gli inquinanti di tipo primario, situazioni critiche possono riscontrarsi anche in zone distanti dai grossi centri urbani e in aree ad altitudini elevate.

Concentrazioni relativamente basse di ozono provocano effetti quali irritazioni alla gola, alle vie respiratorie e bruciore agli occhi; concentrazioni superiori possono portare alterazioni delle funzioni respiratorie. L'ozono è responsabile anche di danni alla vegetazione, con relativa scomparsa di alcune specie arboree dalle aree urbane.

I valori obiettivo e le soglie di informazione e di allarme in vigore nella UE e in Italia sono riportati nella TABELLA 9.

Le soglie di informazione e di allarme indicano il livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata da parte dei gruppi più sensibili della popolazione (informazione) e di tutta la popolazione (allarme). I valori obiettivo, invece, indicano i livelli di concentrazione al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente. Gli obiettivi a lungo termine stabiliscono il livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate, al fine di assicurare un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente.

Si ricorda infine che l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nell'ultimo aggiornamento delle linee guida sulla qualità dell'aria⁷ ha ridotto il valore guida per l'ozono da 120 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, come media massima su 8 ore. Nonostante alcune evidenze sperimentali dimostrino che anche l'esposizione a lungo termine può avere effetti cronici sulla salute, l'OMS non ha per ora ritenuto di raccomandare un valore limite annuale per l'ozono.

ESAME DEI DATI

L'ozono, insieme al PM10 e al biossido di azoto, è uno degli inquinanti di maggiore rilevanza in Europa, con un gradiente che aumenta da nord a sud del continente e le cui concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni di monitoraggio dell'area mediterranea. In contrasto con gli altri parametri, le concentrazioni di ozono sono generalmente maggiori d'estate e nelle località rurali, minori d'inverno e nelle stazioni urbane e soprattutto in quelle di traffico⁸. Ciò dipende principalmente dalle modalità di formazione dell'ozono, influenzata positivamente da alcune variabili meteorologiche quali l'elevata radiazione solare e le alte temperature, e dalla concentrazione dei suoi precursori di origine antropica (es. benzene e toluene) o naturale (terpeni, alcani, alcheni etc.). Nelle stazioni di traffico il processo dominante è invece rappresentato dall'interazione tra ozono e ossidi di azoto; in particolare la reazione tra NO e ozono con formazione di NO₂ – la cosiddetta "NO_x titration" – contribuisce a diminuire la concentrazione di questo inquinante nei siti urbani maggiormente influenzati dal traffico veicolare.

Il rapporto dell'EEA uscito nel 2018 - riferito tuttavia agli anni fino al 2015 -, evidenzia che in generale le concentrazioni di ozono sono il risultato di valori di background emisferico combinati con il bilancio tra formazione e distruzione dell'ozono a partire dalle emissioni dei precursori su scala locale e regionale, dato a sua volta fortemente influenzato dalla meteorologia. Si possono quindi verificare casi in cui anche stazioni urbane facciano registrare alte concentrazioni di ozono a seguito di episodi di irraggiamento solare e temperatura elevati. Proprio a causa della combinazione di tutti questi fattori non si è assistito negli ultimi anni ad una diminuzione evidente delle concentrazioni di ozono in Europa, ma è stato possibile osservare solo un leggero trend in diminuzione per le stazioni di tipo rurale.

In riferimento alla città metropolitana di Torino in TABELLA 10 sono riportati i superamenti della soglia di informazione - concentrazione oraria di 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - degli ultimi 10 anni. Dall'analisi dei dati si rileva che tutte le stazioni di misura hanno presentato nel 2017 almeno un superamento della soglia di informazione, anche stazioni che negli anni passati (Ivrea, Ceresole, Chieri) non ne avevano fatto registrare alcuno. I superamenti sono stati consistenti per le stazioni di Druento e soprattutto Orbassano dove sono praticamente raddoppiati rispetto al 2016, raggiungendo il valore più alto mai registrato negli ultimi 10 anni, 79 superamenti. Doppia cifra di superamenti anche per la

⁷ WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide - Global update 2005

⁸ EEA Air quality in Europe – 2017 report, 38-40

L'aumento del numero di giorni di superamento del valore obiettivo mediato su tre anni è quindi dovuto soprattutto al peggioramento dei dati relativi al 2017 e vale anche le stazioni di fondo rurale, dove fino al 2016 era stato possibile individuare un leggero trend in diminuzione del valore mediato sui tre anni di misure.

Se si prendesse in considerazione con scopo puramente descrittivo il parametro "soglia del valore obiettivo" e cioè che il numero di superamenti del limite di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non debba essere superato più di 25 giorni nel corso di un unico anno solare, nel 2017 nessuna stazione di misura lo rispetterebbe. D'altronde il fatto che più del 25% dei superamenti si sia concentrato nei 6 giorni dell'ondata di calore di agosto dimostra che pochi giorni di condizioni meteorologiche sfavorevoli possono influire pesantemente sul numero di superamenti annui fatti registrare in una stazione di monitoraggio. Di fatto alle nostre latitudini, spesso caratterizzate da estati calde e lunghi periodi di alta pressione, il limite normativo per la protezione della salute umana rappresenta ancora una sfida importante con cui le amministrazioni locali e nazionali devono confrontarsi.

La media degli ultimi cinque anni dell'AOT40 - valore obiettivo per la protezione della vegetazione - diminuisce leggermente o rimane pressoché invariata rispetto al quinquennio 2012-2016 per le stazioni di misura considerate: Baldissero, Ceresole e Druento. In generale comunque le concentrazioni rimangono piuttosto stabili negli anni e i valori sono sempre notevolmente superiori al limite stabilito dalla normativa italiana ed europea - $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$.

Si ricorda che l'Allegato VIII del D.Lgs. 155/2010 stabilisce che le stazioni per la misura dell'ozono, per ciò che concerne la verifica del rispetto del valore obiettivo per la protezione della vegetazione, siano ubicate in siti suburbani e rurali e ne stabilisce la rappresentatività spaziale; tra le stazioni in cui viene effettuata la misura dell'ozono, in questo capitolo sono state selezionate per il calcolo dell'AOT40 quelle classificate come fondo rurale, ubicate in aree con presenza significativa di ecosistemi naturali. Si specifica tuttavia che la Regione Piemonte con la D.G.R. 41-855 del 29 dicembre 2014 ha individuato come stazione di fondo in sito rurale per la misurazione dell'ozono la sola stazione di Dernice, in Provincia di Alessandria. Le considerazioni precedenti relative alle stazioni di Baldissero, Ceresole e Druento hanno quindi un puro valore indicativo.

STAZIONE	Valore obiettivo per la protezione della salute umana										
	Numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	MEDIA 2015-2017
Baldissero	72	116	97	94	74	88	51	62	60	72	65
Borgaro	31	35	52	46	41	27	10	71	51*	40	56
Ceresole	-	-	82(1)	70	77	58	26	57	40	38	45
Chieri	14	27	0	-	53*(3)	36	41	73	52	56*	63*
Druento	29	52	59	93	87	72	21	59	59	54	57
Ivrea	-	-	53(2)	39	42	31*	19	61	24	48	44
Leini	56	61	62	70	37	34	8	39	45	34	39
Orbassano	30	68	36	60	65	66	34	74	78	83	78
Susa	53	42	31	36	45	38	5	20	46	56	41
To-Lingotto	74	36	34	30	45	39*	43	57	44	38	46
To-Rubino	-	-	-	-	-	-	18 (4)	53	52	43	49
Vinovo	44	86	37	71	64	47	13	31	42*	52	42

(1) serie storica disponibile a partire dal 2010 (2) strumento operativo dal 25/01/10
(3) strumento operativo dal 17/02/12 (4) strumento operativo dal 23/05/2013
* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (90%)

TABELLA 11: ozono, confronto con i valori bersaglio per la protezione della salute umana.

STAZIONE	DECRETO LEGISLATIVO n. 155/ del 13/08/2010										
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione										
	AOT 40 ($18000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	MEDIA 2013-2017
Baldissero	31118	44921	40260	30317	30256	38576	28525	36285	23327	32186	31780
Druento	18936	25433	32365	31022	38098	32780	23341	36839	27031	33531	30704
Ceresole	-	-	43125	27976	35311	30089	23159	32688	23285	25714	26987

* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (90%)

TABELLA 12: ozono, confronto degli ultimi 5 anni con i valori bersaglio per la protezione della vegetazione.

In FIGURA 13 è riportata, per l'anno 2017, la distribuzione mensile dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per tre stazioni: To-Lingotto, rappresentativa del fondo urbano, Baldissero Torinese e Ceresole, poste più in quota e rappresentative del fondo

rurale. Il numero di giorni di superamento del limite dei $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ segue l'andamento della temperatura media mensile registrata nella stazione di To-Consolata. I superamenti cominciano nelle stazioni rurali a marzo, mese molto caldo rispetto alla media del periodo di riferimento ($+3,8^\circ\text{C}$) come si può osservare anche dal leggero picco nell'andamento della temperatura. Per tutte e tre le stazioni di misura il numero di giorni in cui si registrano superamenti del valore obiettivo raggiunge il massimo ad agosto in corrispondenza dell'ondata di calore dei primi giorni del mese per poi scomparire nei mesi successivi per To-Lingotto e Ceresole, mentre per Baldissero si registrano ancora pochi superamenti a settembre, ottobre e novembre. In generale le alte temperature dei mesi di giugno e agosto hanno portato alla formazione di ozono troposferico e quindi ad un elevato numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana soprattutto nella stazione rurale di Baldissero, situata a circa 450 metri di altitudine; non altrettanto si è verificato nella stazione rurale di Ceresole, dove, data l'elevata altitudine, non sono state raggiunte le stesse temperature elevate della collina torinese.

Ottobre in particolare rappresenta un'anomalia climatica dell'area provinciale di Torino: temperature miti e assenza di precipitazioni, non solo hanno fatto registrare alcuni superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana, ma hanno favorito insieme al forte vento la propagazione degli incendi boschivi che hanno pesantemente segnato alcune valli alpine nell'ultima decade del mese.

In definitiva il 2017 a differenza del 2016 è stato un anno più estremo dal punto di vista meteorologico (FIGURA 14); la temperatura media del periodo aprile-settembre è stata di $21,6^\circ\text{C}$ e cioè di $0,6^\circ\text{C}$ superiore alla media dei 10 anni precedenti. Il 2017 è stato anche un anno estremamente secco, le precipitazioni complessive del semestre caldo ammontano a soli 336 millimetri, quasi la metà del valore mediato nel periodo 2007-2016, quando in media sono caduti da aprile a settembre 609 millimetri di pioggia.

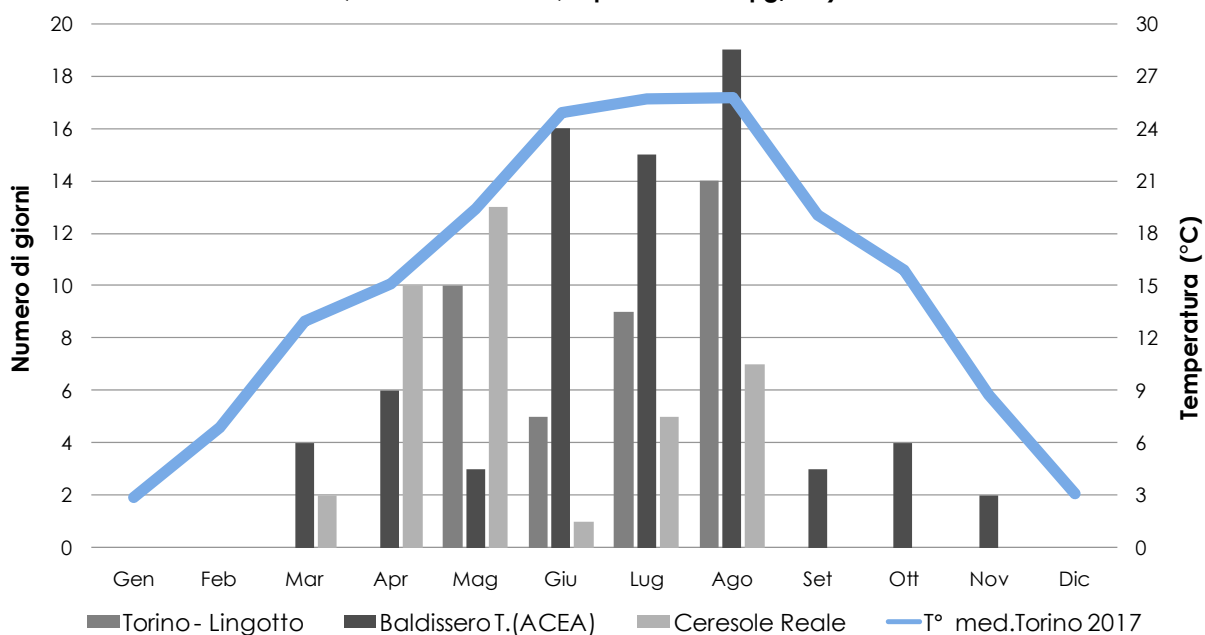
La FIGURA 15 mostra infine l'andamento delle concentrazioni di ozono nelle stazioni di To-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole durante il semestre caldo degli anni dal 2007 al 2017. Per la stazione di Baldissero la concentrazione media del periodo aprile-settembre è di $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore di poco superiore al dato del 2016; si interrompe quindi il leggero trend in discesa che era cominciato nel 2013. Anche per la stazione di To-Lingotto la concentrazione estiva media di ozono aumenta rispetto all'anno precedente, anche se di un solo microgrammo, e raggiunge i $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$; d'altronde è da più di 10 anni che le concentrazioni medie annue di ozono nel comune di Torino rimangono stabili, oscillando sempre intorno al valore di $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ senza mostrare alcun reale andamento in diminuzione. La stazione di fondo rurale di Ceresole invece è l'unica a mostrare un leggero trend in diminuzione dal 2010 - primo anno di misurazioni complete - al 2017. Si conferma quindi quanto affermato dall'EEA nel suo report del 2016⁹, che negli ultimi anni di misura evidenziava un leggero e generalizzato calo nelle concentrazioni di ozono nelle stazioni rurali situate sul territorio europeo.

L'analisi delle serie storiche delle concentrazioni di ozono rilevate in più di 10 anni di misurazioni (FIGURA 15) mostra nel complesso una sostanziale stabilità dei valori di questo inquinante, in special modo nelle aree urbane dove maggiore è la produzione di precursori. La variabilità dei valori annuali pare piuttosto legata alla situazione meteorologica del singolo anno. Si conferma quindi il ruolo fondamentale delle condizioni meteorologiche nell'influenzare le concentrazioni di ozono a livello della troposfera, sia per il verificarsi di condizioni che favoriscono episodi di accumulo e che portano ai cosiddetti "episodi di ozono" (elevata insolazione, alte temperature, condizioni di alta pressione), sia per il ruolo che la radiazione solare ha nei meccanismi di reazione di formazione dell' O_3 in presenza di COV (composti organici volatili) e NO_x (ossidi di azoto).

La criticità per l'ozono, inquinante ubiquitario e dalla genesi complessa, rimane dunque alta per la città metropolitana di Torino e per tutto il nord Italia in generale, come riconosciuto dalla stessa Agenzia Europea dell'Ambiente. Purtroppo a differenza di altri inquinanti, per i quali le politiche ambientali mirate hanno portato ad una diminuzione delle concentrazioni nel corso degli anni, nel caso dell'ozono gli effetti delle politiche volte alla riduzione dei precursori sono ancora poco evidenti.

⁹ EEA Air quality in Europe – 2016 report, 34-39

O₃ - Confronto temperatura* e distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana (numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m³) - anno 2017



*Temperatura misurata nella stazione di Torino sita in via della Consolata.

FIGURA 13: ozono - distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per le stazioni di To-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole, anno 2017.

TEMPERATURA MEDIA E SOMMA DELLE PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE (periodo aprile-settembre) ANNI 2007-2017

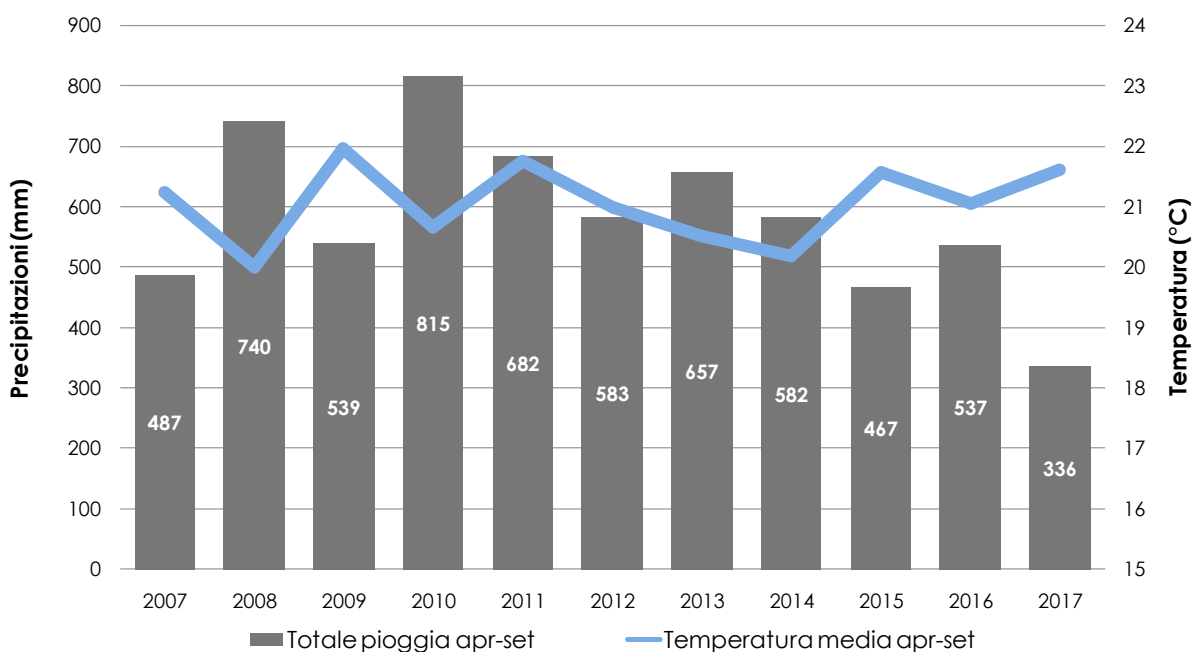


FIGURA 14: temperatura media e somma delle precipitazioni atmosferiche, nel periodo aprile-settembre, anni 2007-2017, stazione di To-Consolata.

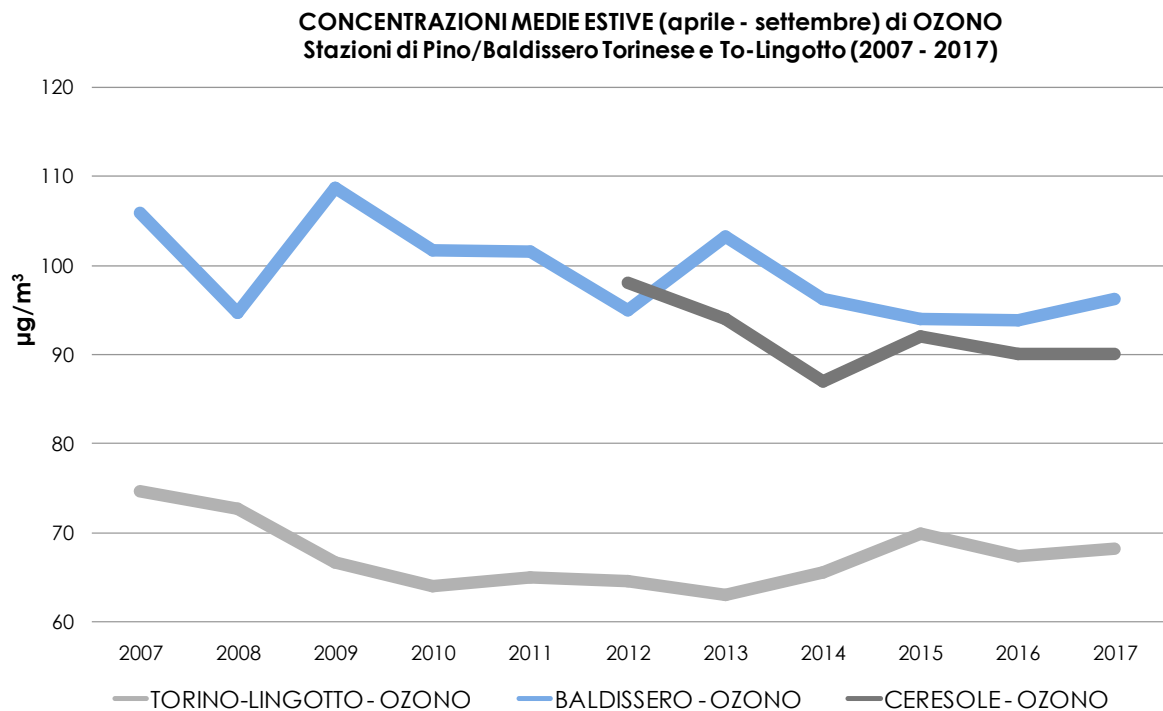


FIGURA 15: ozono, medie del periodo aprile-settembre dal 2007 al 2017 (dall'anno 2008 i valori considerati sono quelli registrati presso la stazione di Baldissero Torinese).

ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI OZONO IN DUE SITI FONDO URBANO E RURALE.

Per stimare numericamente un trend e la sua significatività con un approccio di tipo statistico è stato scelto il metodo Theil-Sen^{10,11}, utilizzato nel pacchetto software openair¹², il cui vantaggio è che produce intervalli di confidenza accurati anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e in caso di varianza dell'errore non costante. Inoltre, è un metodo robusto rispetto agli outliers (eventuali valori anomali).

Le serie storiche di dati orari scelte per poter effettuare la stima sono quelle di To-Lingotto, stazione di fondo nella periferia sud di Torino, e di Ceresole, stazione di fondo rurale collocata in altura, non direttamente esposta a sorgenti emmissive. Il trend è stato valutato dopo avere rimosso la componente stagionale dalla serie di dati.

Le medie mensili destagionalizzate dell'ozono sono rappresentate in FIGURA 16 per la stazione di To-Lingotto (periodo 2002-2017) e in FIGURA 17 per la stazione di Ceresole Reale (periodo dal 2010 al 2017). La linea rossa continua indica il trend stimato e le due linee rosse tratteggiate l'intervallo di confidenza al 95%. Il valore complessivo del trend, in µg/m³ per anno, è indicato in alto e tra parentesi è l'intervallo di confidenza.

L'analisi non evidenzia alcun trend statisticamente significativo per i dati di Torino-Lingotto (FIGURA 16), mentre c'è una riduzione nelle concentrazioni di ozono per il sito di Ceresole con elevata significatività statistica ($p < 0.001$); la riduzione per Ceresole mostra un trend complessivo di -1,31 µg/m³ dall'anno (FIGURA 17).

¹⁰ Theil, H., 1950. "A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, i, ii, iii." Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A - Mathematical Sciences 53, 386-392, 521-525, 1397-1412.

¹¹ Sen, P. K., 1968. "Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau." Journal of the American Statistical Association 63(324).

¹² Carlaw DC and Ropkins K (2012). "openair — An R package for air quality data analysis." Environmental Modelling & Software, 27-28(0), pp. 52-61. ISSN 1364-8152, doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.008.

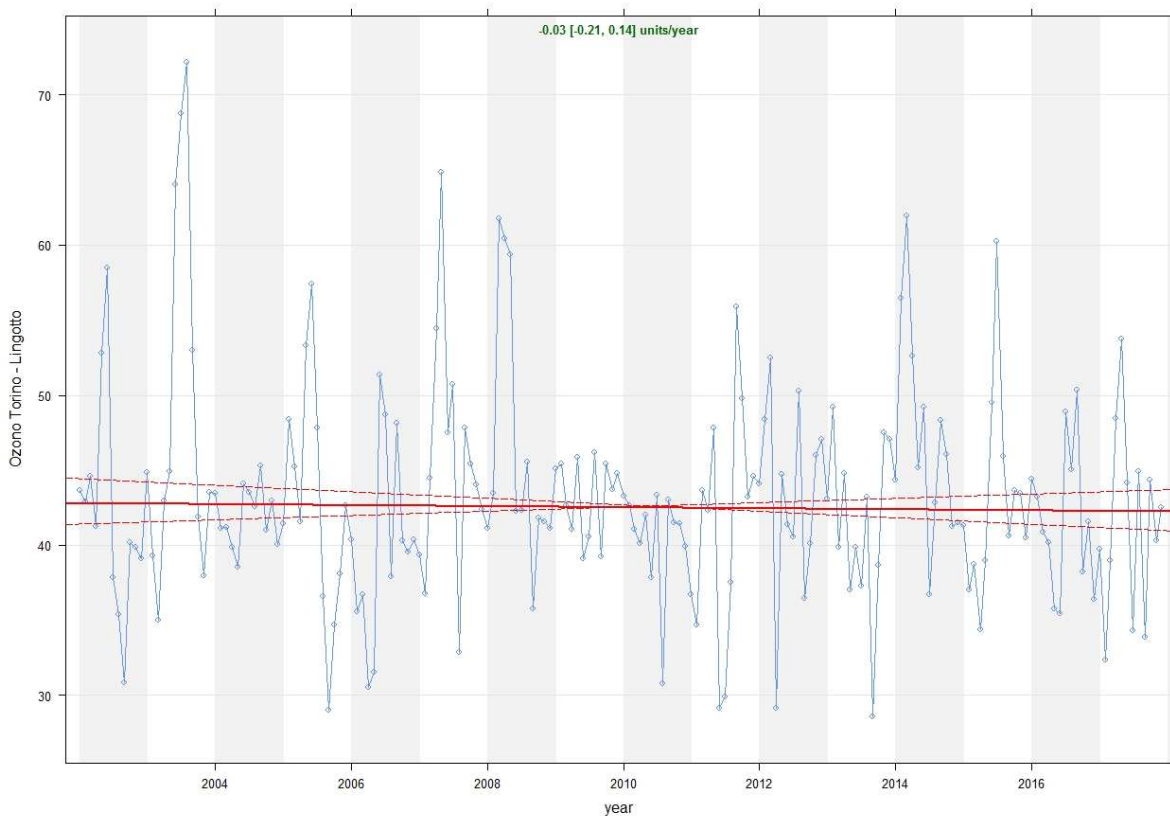


FIGURA 16: stima del trend dal 2002 al 2017 delle concentrazioni orarie di Ozono, per la stazione di Torino – Lingotto (significatività statistica: $p < 0.001 = ***$, $p < 0.01 = **$, $p < 0.05 = *$ e $p < 0.1 = +$)

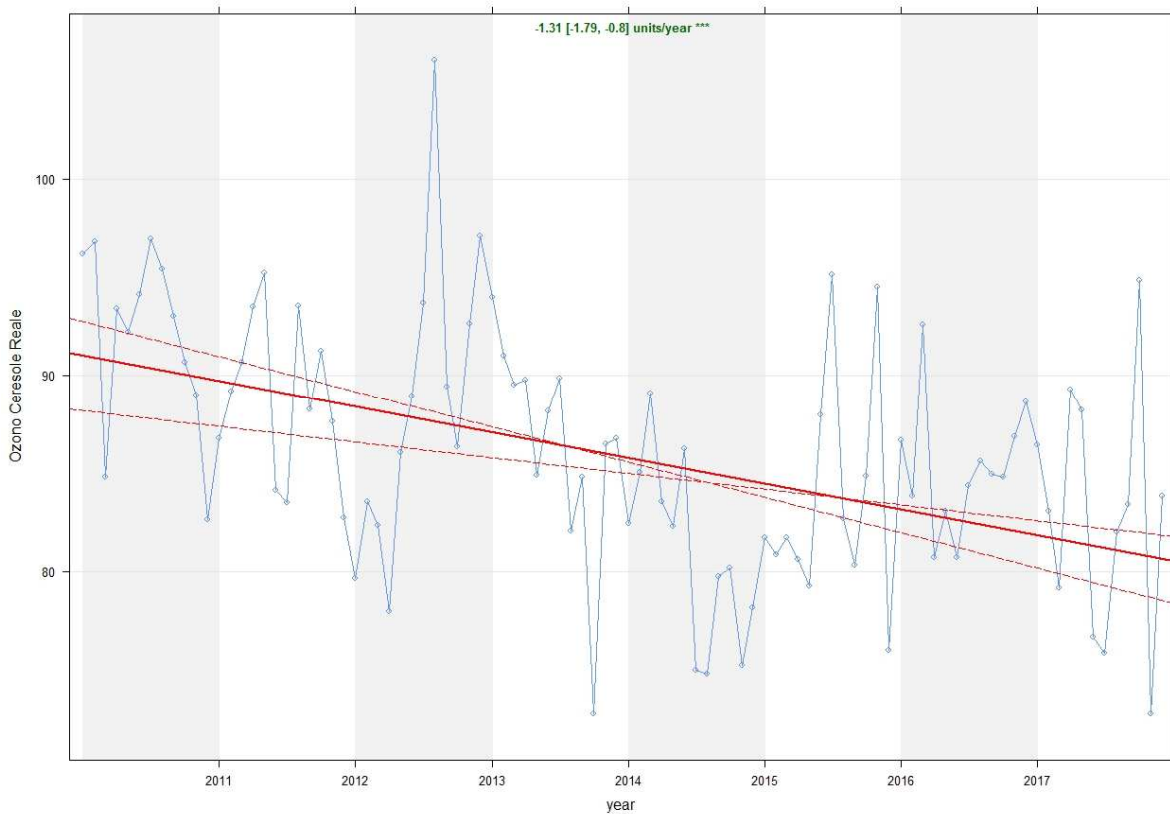


FIGURA 17: stima del trend dal 2010 al 2017 delle concentrazioni orarie di Ozono, per la stazione di Ceresole Reale (significatività statistica: $p < 0.001 = ***$, $p < 0.01 = **$, $p < 0.05 = *$ e $p < 0.1 = +$)

BENZENE

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

DESCRIZIONE

Il benzene (C₆H₆) è un composto chimico che a temperatura ambiente e pressione atmosferica si presenta allo stato liquido.

Viene sintetizzato a partire da diversi composti chimici presenti nel petrolio ed impiegato come antidetonante nella benzina. Si produce inoltre durante la combustione a partire soprattutto da altri idrocarburi aromatici. Stime effettuate dall'Unione Europea attribuiscono alle emissioni dei veicoli a benzina più del 70% del totale delle emissioni di benzene.

La maggior fonte di esposizione per la popolazione deriva pertanto dai gas di scarico dei suddetti autoveicoli.

La normativa italiana in vigore fissa, a partire dal 1 luglio 1998, il tenore massimo di benzene nelle benzine 1%.

Il benzene è una sostanza classificata:

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

Studi di mutagenesi evidenziano inoltre che il benzene agisce sul bagaglio genetico delle cellule.

Con esposizione a concentrazioni elevate, superiori a milioni di ppb, si osservano danni acuti al midollo osseo. Un'esposizione cronica può provocare la leucemia (casi di questo genere sono stati riscontrati in lavoratori dell'industria manifatturiera, dell'industria della gomma e dell'industria petrolifera).

Stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità indicano che, a fronte di un'esposizione a 1 µg/m³ di benzene per l'intera vita, quattro persone ogni milione sono sottoposte al rischio di contrarre la leucemia.

VALORE LIMITE		
Periodo medio	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore limite
Anno civile	5 µg/m ³	1 gennaio 2010

TABELLA 13: D.lgs. 155/2010, valori limite per il benzene.

ESAME DEI DATI

La FIGURA 18 mostra, a partire dal 1996, i valori medi annui di Benzene misurati dalle stazioni di To-Consolata. Dal 2004 il valore limite (pari a 5 µg/m³ come media annuale) è rispettato anche grazie all'introduzione, da luglio 1998, del limite dell'1% del tenore di benzene nelle benzine ed al progressivo aumento del numero di auto catalizzate sul totale degli autoveicoli circolanti.

La TABELLA 14 evidenzia che le medie annuali del 2017 misurate in tutte le centraline della rete di monitoraggio sono ampiamente sotto il limite di legge, i valori misurati negli ultimi 5 anni sono sostanzialmente stabili e si attestano su concentrazioni inferiori alla metà del valore limite. I siti di traffico Settimo T.se, To-Consolata, e To-Rebaudengo mostrano concentrazioni lievemente più elevate e con maggiore variabilità rispetto ai siti di fondo che si attestano su valori compresi fra 1,3 e 1,5 µg/m³ e non mostrano differenze fra i siti urbani e quelli sub-urbani. I dati misurati negli ultimi 6 anni confermano che il parametro benzene sia efficacemente sotto controllo.

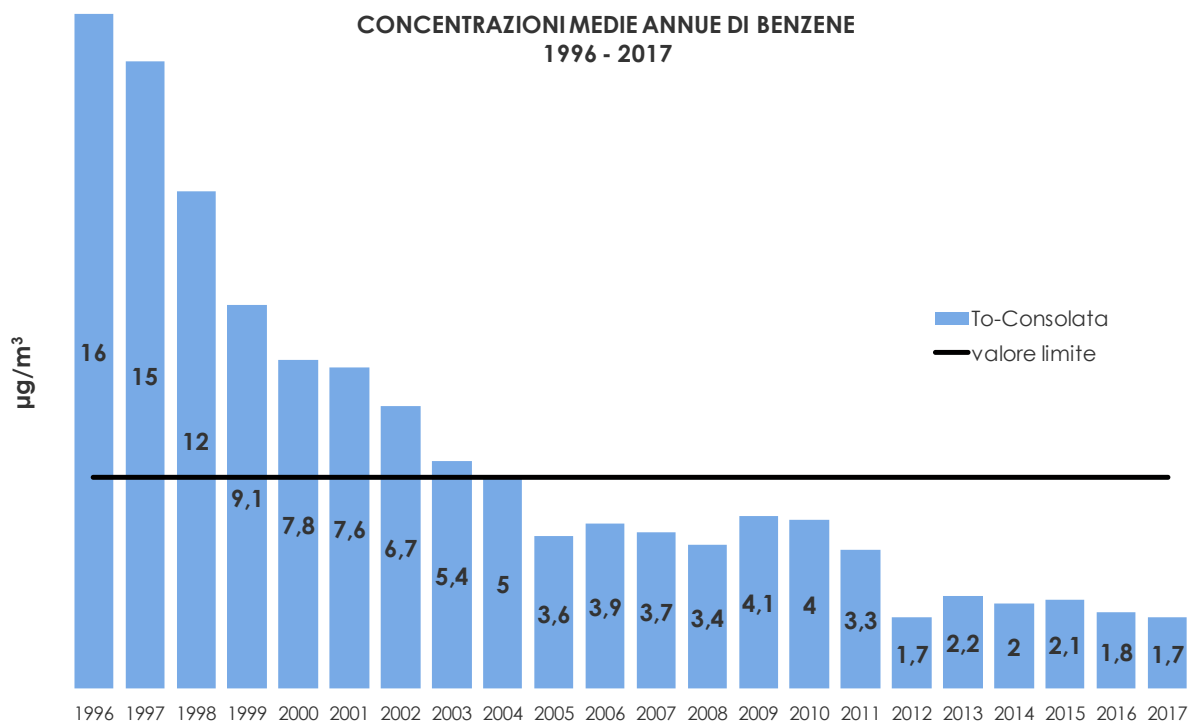


FIGURA 18: concentrazioni medie annue di benzene rilevate negli anni 1996-2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2017 (% dati validi)	VALORE MEDIO ANNUO Valore limite annuale: 5 µg/m³									
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco (TRM)	92%						2,2*	2,1*	1,3	1,3	1,3
Borgaro T.se	96%						1,5	1,4	1,3	1,2	1,3
Settimo T.se	82%						2,0	2,1	2,3	2,1*	1,6*
To-Consolata	96%	3,4	4,1	4	3,3	1,7	2,2	2,0	2,1	1,8	1,7
To-Lingotto	79%					1,3	1,2*	1,0	1,1*	1,1*	1,1*
To-Rebaudengo	94%					2,0	2,0	2,4*	2,6	2,1	2,3
To-Rubino	94%			3,3	2,7	2,6	2,5	2,2	2,1*	1,6	1,3
Vinovo	96%					1,2	1,7*	1,2*	1,6	1,4	1,5

* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (90%)

TABELLA 14: dati relativi alle stazioni di monitoraggio che rilevano il benzene.

PARTICOLATO SOSPESO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

M. Sacco, F. Lollobrigida, ARPA Piemonte, Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest.

DESCRIZIONE

Il particolato sospeso è costituito dall'insieme di tutto il materiale non gassoso, generalmente solido, in sospensione nell'aria. La natura delle particelle aerodisperse è molto varia: ne fanno parte le polveri sospese, il materiale organico disperso dai vegetali (pollini e frammenti di piante), il materiale inorganico prodotto da agenti naturali (vento e pioggia), dall'erosione del suolo o dei manufatti (frazione più grossolana), etc. Nelle aree urbane il materiale particolato di natura primaria può avere origine da lavorazioni industriali (cantieri edili, fonderie, cementifici), dall'usura dell'asfalto, degli pneumatici, dei freni, delle frizioni e dalle emissioni di scarico degli autoveicoli, in particolare quelli dotati di motore a ciclo diesel. Una componente significativa del particolato di minori dimensioni ha inoltre origine da processi secondari, che comportano la trasformazione in particelle di inquinanti originariamente emessi in forma gassosa.

Gli studi epidemiologici hanno mostrato una correlazione tra le concentrazioni di polveri in aria e la manifestazione di malattie croniche alle vie respiratorie, in particolare asma, bronchiti ed enfisemi. A livello di effetti indiretti, inoltre, il particolato fine agisce da veicolo di sostanze ad elevata tossicità, quali ad esempio gli idrocarburi policiclici aromatici e i metalli.

Il rischio sanitario legato alle sostanze presenti in forma di particelle sospese nell'aria dipende, oltre che dalla loro concentrazione, anche dalla dimensione delle particelle stesse. Le particelle di dimensioni inferiori costituiscono un pericolo maggiore per la salute umana, in quanto possono penetrare in profondità nell'apparato respiratorio. In prima approssimazione:

- le particelle con diametro superiore ai 10 µm si fermano nelle prime vie respiratorie;
- le particelle con diametro tra i 5 e i 10 µm raggiungono la trachea e i bronchi;
- le particelle con diametro inferiore ai 5 µm possono raggiungere gli alveoli polmonari.

I valori limite sono riportati nella TABELLA 15.

PM10 VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data di entrata in vigore del valore limite
24 ore	50 µg/m ³ PM10 non superare più di 35 volte per anno civile	1 gennaio 2005
Anno civile	40 µg/m ³ PM10	1 gennaio 2005
PM2,5 FASE 1 ¹³ - VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data di entrata in vigore del valore limite
Anno civile	25 µg/m ³ PM2,5	1 gennaio 2015

TABELLA 15: D.Lgs. 13/8/2010 n. 155, valori limite per il PM10 e il PM2,5.

FRAZIONE PM10 E PM2,5

Nel 2017 i valori medi annuali aumentano rispetto all'anno precedente, così anche il numero di superamenti del valore limite di 24 ore. Dal punto di vista climatico l'anno 2017 in Piemonte è stato il 3° più caldo degli ultimi 60 anni, con un'anomalia termica di circa +1,5 °C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000. Nel 2017 inoltre sono caduti circa 700 mm di precipitazione in Piemonte, con un deficit pluviometrico di 351 mm (pari al 33%) nei confronti della norma 1971-2000, e l'anno è risultato così il 4° più secco degli ultimi 60 anni.¹⁴

Il numero di occorrenze di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 nel 2017 è stato pari a 119 giorni, più alto rispetto all'anno precedente, ma comunque tra i più bassi degli ultimi anni; soprattutto il mese di gennaio e il mese di ottobre si collocano sui valori superiori distribuzione del periodo 2006-2016. In FIGURA 19 si osserva che il valore limite annuale di 40 µg/m³ non viene rispettato nelle stazioni di To-Grassi, To-Rebaudengo, To-Consolata, ed al di fuori di Torino, nelle stazioni di Carmagnola e Settimo, con un notevole peggioramento rispetto al 2016, in cui il limite era superato

¹³ Il Decreto Legislativo 155/2010, che ha sostituito il DM 60/2002, ha poi previsto una fase 2 per il PM2,5, da raggiungere entro il 2020, con un valore limite più restrittivo che sarà stabilito con successivo decreto, tenuto conto del valore indicativo di 20 µg/m³ e delle verifiche effettuate dalla Commissione Europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri.

¹⁴ Arpa Piemonte Sistemi Previsionali, Il clima in Piemonte - Anno 2017

solo nella stazione di To-Grassi. Considerando l'insieme delle stazioni metropolitane esistenti e con dati validi in entrambi gli anni 2016-2017, si osserva un aumento delle concentrazioni medie del 19% rispetto al 2016.

In FIGURA 20 sono riportate le medie mensili per tre stazioni rappresentative della rete metropolitana; le concentrazioni maggiori si misurano in inverno, periodo in cui si aggiungono le emissioni degli impianti di riscaldamento e contemporaneamente si verificano le condizioni meteorologiche più sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti. Nel 2017 i mesi più critici sono stati gennaio ed ottobre, non a caso i due mesi più siccitosi dell'anno, ottobre addirittura con precipitazioni nulle. Nei mesi da aprile a settembre prevalgono condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti, per cui anche nelle stazioni più critiche i valori medi mensili risultano al di sotto dei 30 µg/m³.

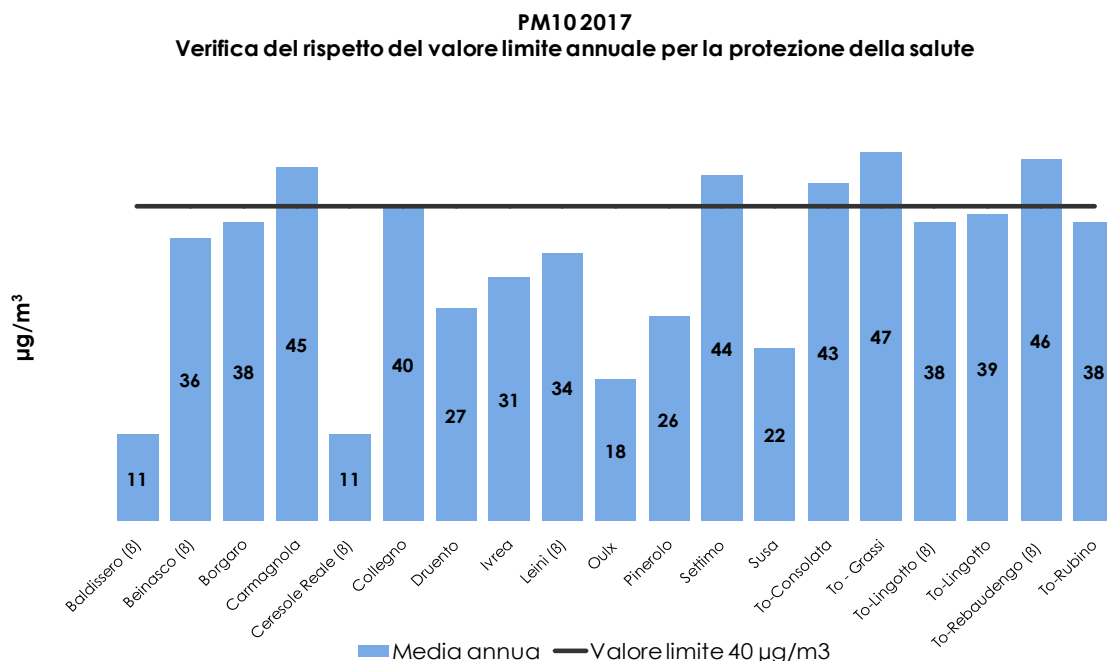


FIGURA 19: valore medio annuale misurato presso le stazioni di monitoraggio metropolitane.

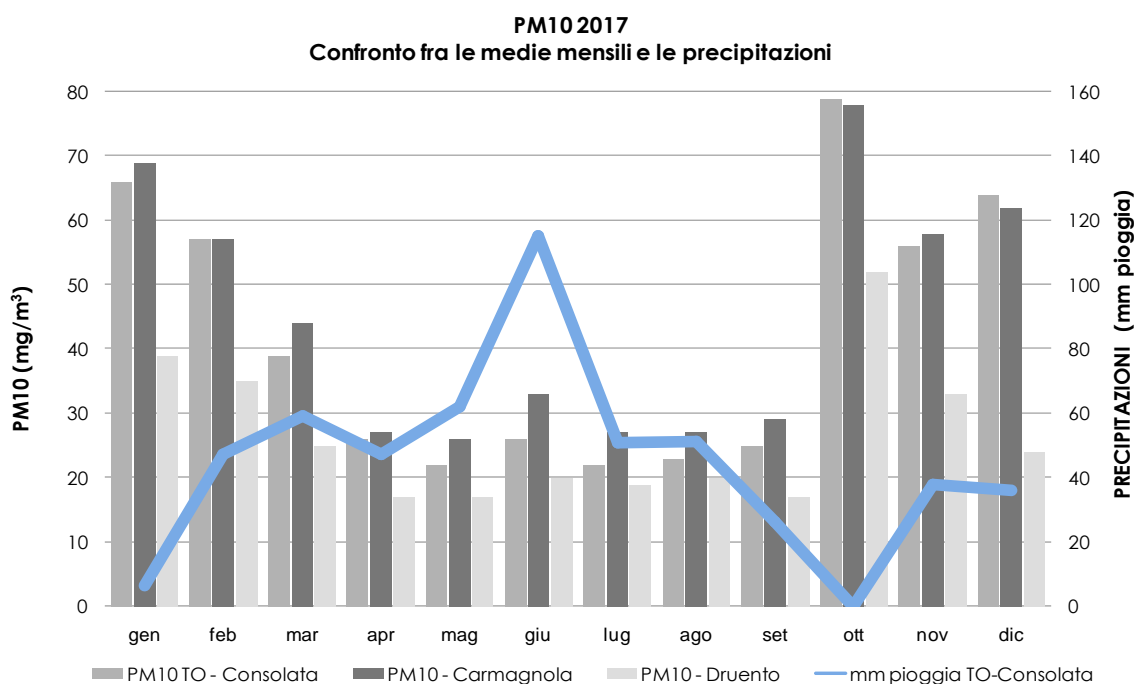


FIGURA 20: andamento delle precipitazioni atmosferiche e delle concentrazioni di PM10 in alcune stazioni della città metropolitana di Torino nell'anno 2017.

Il Decreto Legislativo 155/2010 stabilisce anche un limite giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e un numero massimo di superamenti di tale valore nel corso dell'anno, pari a 35. Tale limite risulta più stringente di quello annuale¹⁵ e pertanto nella maggior parte delle stazioni non è rispettato (FIGURA 21). Il numero maggiore di superamenti del limite giornaliero si è verificato a Carmagnola ed è stato pari a 122, seguita da To-Rebaudengo con 118 superamenti, entrambe stazioni di traffico, ma anche nelle stazioni di fondo urbano di To-Lingotto e To-Rubino la situazione si mostra critica con 92 e 97 superamenti rispettivamente. La stazione di monitoraggio di Carmagnola si trova in un sito influenzato dall'intenso traffico veicolare di due arterie stradali importanti, la SR 20 e SP129, nel quale è rilevante la circolazione di veicoli pesanti. I veicoli pesanti sono alimentati quasi esclusivamente dal carburante diesel, la cui combustione è la principale sorgente di PM10 primario derivante da traffico veicolare, pertanto questo ha determinato concentrazioni di particolato molto elevate. Un contributo rilevante può derivare inoltre dal particolato secondario originato da ammoniaca e composti organici volatili non metanici, le emissioni dei quali a Carmagnola sono tra le maggiori nel territorio provinciale¹⁶.

Oltre Carmagnola, al di fuori della città di Torino le stazioni più critiche sono quelle di Collegno (102 superamenti) e di Settimo Torinese (99 superamenti).

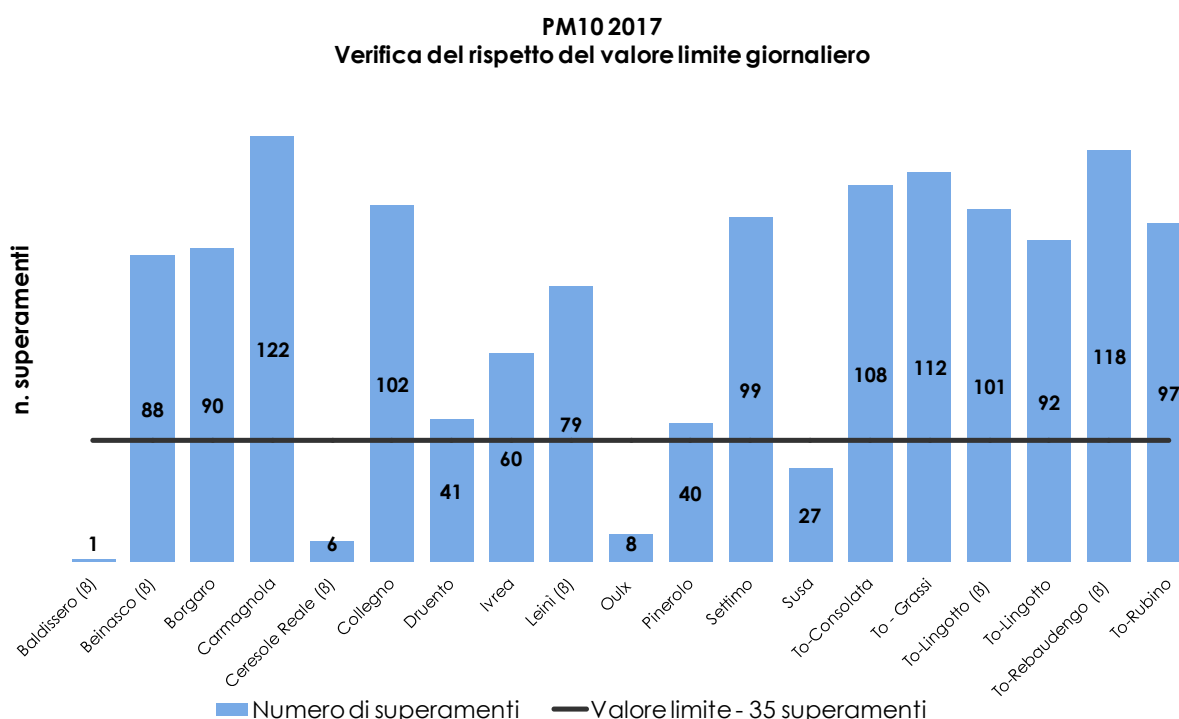


FIGURA 21: parametro PM10, numero di superamenti del limite di 24 ore per la protezione della salute ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera).

Negli ultimi anni la normativa ha preso in considerazione anche le particelle di minori dimensioni e il Decreto Legislativo 155/2010 ha introdotto un valore limite per il PM2,5 (la cosiddetta frazione fine del particolato) pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annua da raggiungere entro il 1 gennaio 2015. La direttiva europea sulla qualità dell'aria ambiente ha inoltre stabilito un obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione umana per il PM2,5 basato sull'indicatore di esposizione media (IEM), valido a livello nazionale. L'IEM è un livello medio di concentrazioni (sulla base di 3 anni di dati), misurato in stazioni di monitoraggio di fondo urbano (rappresentanti dell'esposizione della popolazione urbana in generale) selezionate in ogni Stato Membro. Il DM 13.3.2013 ha scelto 23 stazioni tra le quali anche quella di To-Lingotto per valutare se l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione è stato raggiunto. L'IEM serve anche per stabilire se l'obbligo di concentrazione dell'esposizione, stabilito a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da raggiungere entro l'anno 2015, sia stato rispettato.

¹⁵ Si veda il capitolo Analisi del rapporto di correlazione fra media annuale e numero di superamenti del valore limite per il particolato pm10 – la situazione nella città metropolitana di torino nel quadro europeo, Uno sguardo all'aria 2014

¹⁶ IREA - Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (<http://www.sistemapiemonte.it/cms/privati/ambiente-e-energia/servizi/474-irea-inventario-regionale-delle-emissioni-in-atmosfera>)

La rete della città metropolitana di Torino nel corso degli anni è stata arricchita di numerosi campionatori, infatti oltre a quelli "storici" delle stazioni di To-Lingotto e Leini, attivi da dodici anni, attualmente il monitoraggio del PM2,5 avviene in ulteriori sette siti, scelti per rappresentare varie situazioni emissive (TABELLA 16). Da settembre 2012 inoltre Arpa Piemonte gestisce la stazione di Beinasco-Aldo Mei, di proprietà TRM, installata per monitorare la zona di massima ricaduta dell'inceneritore. Dal 2014 si è aggiunta la stazione di To-Rebaudengo.

Rispetto al 2016 la concentrazione media di PM2,5 su base annuale è aumentata e il valore limite è stato superato in tutte le stazioni, tranne in quelle di Ivrea e Ceresole Reale. Il trend su lungo periodo è tuttavia decrescente per tutte le stazioni. La stazione di Ceresole invece rappresenta un'area rurale non soggetta ad emissioni antropiche e pertanto ha valori minimi.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2017 (% giorni validi)	PM2,5 - VALORE MEDIO ANNUO									
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco – TRM (β)	94%	-	-	-	-	38*	25	23	26	23	26
Borgaro	95%	-	-	25*	33	31	27	23	26	23	27
Ceresole Reale (β)	91%	-	-	-	-	5*	5*	4	6*	7	9
Chieri	93%	-	-	-	-	43*	28	22	24	22	27
Ivrea	96%	-	-	-	28*	27	24*	19*	24	20	24
Leini (β)	88%	35*	34*	29*	29*	29*	26	22	30	24	26*
Settimo	98%	-	-	-	-	37	33	26	31	26	30
To-Lingotto	93%	35	33	29	35	33	29	24	27*	23	27
To-Rebaudengo	96%	-	-	-	-	-	-	25*	27*	29*	33

(*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 16: parametro PM2,5, valutazione statistica anni 2008-2017.

In FIGURA 22 sono riportati i valori mensili di PM2,5 a confronto con quelli di PM10 a To-Lingotto, prendendo in considerazione solo i giorni in cui entrambi gli strumenti erano funzionanti.

In questa stazione, ed in generale in quelle di fondo urbano, la frazione più fine incide mediamente in maniera maggiore nei mesi freddi, mentre nei mesi estivi è percentualmente meno alta rispetto al PM10. Nel 2017 nella stazione di To-Lingotto il PM2,5 costituisce in media circa il 69% del PM10 nel semestre freddo e il 63% nel semestre caldo.

PM10 E PM2,5 CONFRONTO DELLE MEDIE MENSILI
Stazione di Torino Lingotto - anno 2017

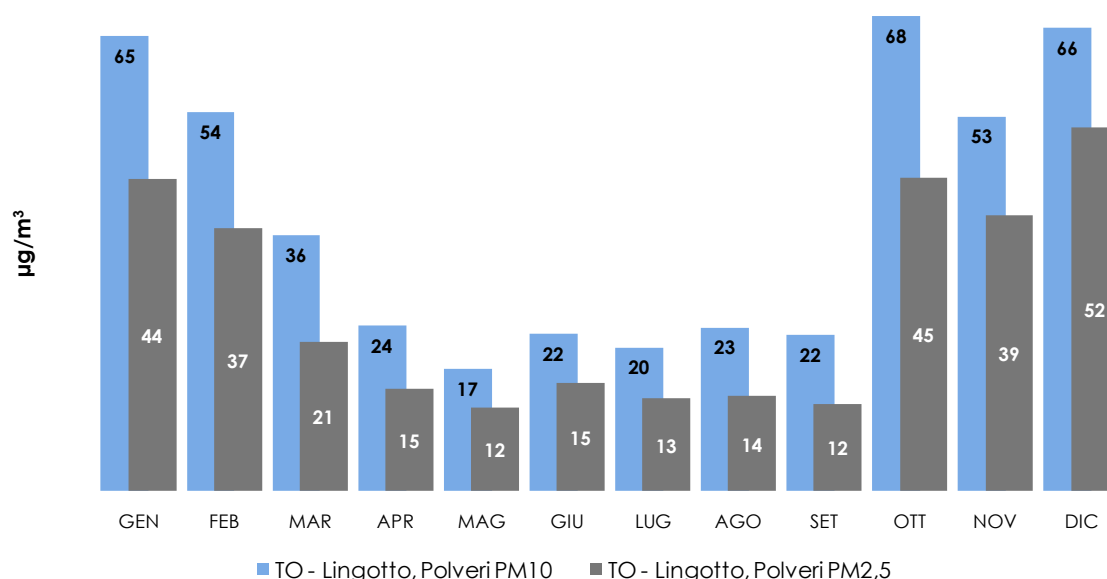


FIGURA 22: confronto tra PM2,5 e PM10 presso la stazione di Torino – Lingotto.

Tale fenomeno, confermato dalle analisi sulla serie storica, è attribuibile al fatto che la componente secondaria del particolato si concentra maggiormente nella frazione PM2,5 ed è maggiore in periodo invernale rispetto a quello estivo. Da analisi eseguite in un sito urbano

nell'area metropolitana torinese è risultato che nel periodo freddo la componente secondaria rappresenta il 61 % del PM_{2,5}, mentre nel periodo caldo cala al 49,5%¹⁷.

La formazione secondaria del particolato a partire da sostanze gassose (i "precursori") è favorita dall'irraggiamento solare, ma occorre considerare che nei mesi freddi la concentrazione al suolo degli inquinanti precursori (idrocarburi, ossidi di azoto, ecc.) è maggiore sia a causa delle condizioni meteorologiche di stabilità atmosferica sia per il contributo degli impianti di riscaldamento.

Ciò vale in particolare nel caso dei nitrati, che sono una delle componenti principali del particolato secondario. Come evidenziato dai risultati del progetto iMonitraf!, descritti nell'edizione 2011 di "Uno sguardo all'aria", i nitrati si concentrano maggiormente nelle frazioni inferiori a 1,5 µm e nei mesi freddi arrivano a costituire circa il 25% in massa del PM₁₀. Il nitrato d'ammonio, che è la forma prevalente, è un composto semivolatile, per cui in condizioni di bassa temperatura (in autunno-inverno) è favorita la sua condensazione in fase particolato¹⁸. Nei mesi freddi aumenta inoltre l'emissione di ossidi di azoto a causa dell'accensione degli impianti di riscaldamento e sono meno intensi i processi di fotolisi dell'acido nitrico aerodisperso, la cui presenza è necessaria alla formazione dei nitrati in fase particellare.

Un altro fattore che può risultare rilevante sulla distribuzione dimensionale delle particelle è la velocità del vento, che mediamente aumenta da marzo ad agosto e quindi può incrementare il risollevarsi della frazione più grossolana del particolato nel periodo estivo.

Il ruolo dell'irraggiamento solare quale fattore influenzante la formazione del particolato più fine è più evidente nella stazione di Ceresole Reale, lontana da fonti di emissione e posta a una quota più elevata dell'altezza dello strato rimescolato invernale, da cui hanno origine le elevate concentrazioni del particolato misurate in pianura durante i mesi freddi. In questa stazione si osserva che l'andamento delle medie mensili è opposto a quello delle stazioni collocate in ambiti urbani di pianura: mentre in queste ultime i valori massimi di PM₁₀ e PM_{2,5} si registrano in inverno, a Ceresole i valori mensili massimi solitamente si verificano nella stagione estiva, in corrispondenza della massima insolazione. L'anno 2017 è stato anomalo per Ceresole, in quanto la media mensile di ottobre è stata molto elevata (30 µg/m³), quando la massima media mensile finora era stata di 8 µg/m³, a causa degli incendi verificatisi nella seconda metà del mese, come si può osservare in FIGURA 23, dove è rappresentato un confronto con le medie mensili registrate negli anni 2010-2016. In ottobre, inoltre, si sono verificati 6 superamenti del valore limite giornaliero, evento mai avvenuto da quando è misurato il particolato a Ceresole, con un picco massimo di 179 µg/m³ registrato il 30 ottobre. Ulteriori approfondimenti riguardo l'incidenza degli incendi si possono trovare al capitolo sugli effetti sulla qualità dell'aria degli incendi boschivi del mese di ottobre 2017.

¹⁷ Arpa Piemonte, Dipartimento Provinciale di Torino "Progetto di studio delle sorgenti di inquinamento atmosferico nel territorio circostante la centrale termoelettrica di IRIDE "Torino Nord", maggio 2013

¹⁸ Perrone Maria Grazia et al, Seasonal variations in chemical composition and in vitro biological effects of fine PM from Milan, March 2010, Chemosphere, Volume 78, Issue 11, pag 1368-1377

**PM10 (Beta) - MEDIE MENSILI A CERESOLE REALE
CONFRONTO ANNO 2017 CON ANNI 2000-2016**

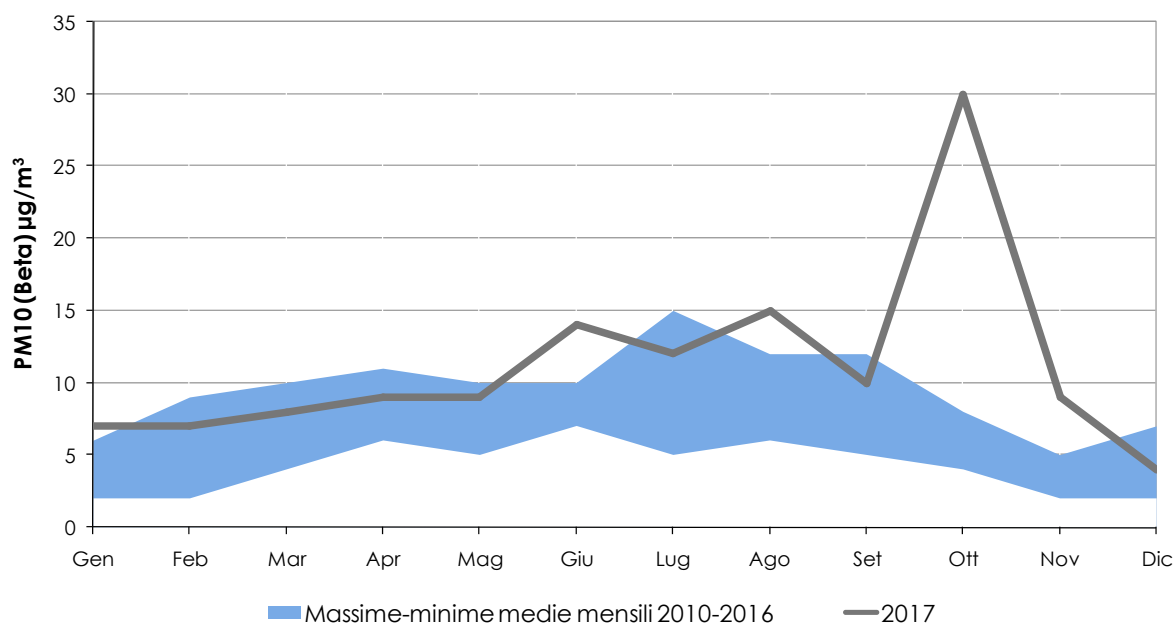


FIGURA 23: confronto tra le medie mensili di PM10 nel 2017 con le medie 2010-2016 presso la stazione di Ceresole Reale.

ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI PARTICOLATO IN DUE SITI URBANI DI TRAFFICO E DI BACKGROUND.

E' possibile osservare, da un punto di vista qualitativo, un andamento decrescente delle medie annuali nelle stazioni di monitoraggio provinciali più critiche, per le quali la serie storica è quasi ventennale (dal 2000, FIGURA 24), ma un approccio di tipo statistico consente di stimare numericamente un trend e la sua significatività. Per questo è stato scelto il metodo Theil-Sen^{19,20}, utilizzato nel pacchetto software openair²¹, il cui vantaggio è che produce intervalli di confidenza accurati anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e in caso di varianza dell'errore non costante. Inoltre, è un metodo robusto rispetto agli outliers (eventuali valori anomali).

Le serie storiche di dati giornalieri scelte per poter effettuare la stima sono quelle di To-Consolata, stazione di traffico nel centro di Torino, e di Borgaro, stazione di fondo collocata in un'area di verde pubblico, non direttamente esposta a sorgenti emmissive, e quindi rappresentativa dell'esposizione media della popolazione agli inquinanti atmosferici. Il trend è stato valutato dopo avere rimosso la componente stagionale dalla serie di dati.

Le medie mensili destagionalizzate del PM10 sono rappresentate in FIGURA 25 per la stazione di To-Consolata (periodo 2000-2017) e in FIGURA 26 per la stazione di Borgaro Torinese (periodo dal 2002 al 2017). La linea rossa continua indica il trend stimato e le due linee rosse tratteggiate l'intervallo di confidenza al 95%. Il valore complessivo del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per anno, è indicato in alto e tra parentesi è l'intervallo di confidenza.

L'analisi di trend evidenzia una riduzione nelle concentrazioni di PM10 per entrambi i siti, con elevata significatività statistica ($p < 0,001$); la riduzione più marcata è per To-Consolata, che mostra un trend complessivo di $-1,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, mentre per la stazione di Borgaro la riduzione è limitata a $0,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno.

¹⁹ Theil, H., 1950. "A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, i, ii, iii." Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A - Mathematical Sciences 53, 386-392, 521-525, 1397-1412.

²⁰ Sen, P. K., 1968. "Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau." Journal of the American Statistical Association 63(324).

²¹ Carlsaw DC and Ropkins K (2012). "openair — An R package for air quality data analysis." Environmental Modelling & Software, 27-28(0), pp. 52-61. ISSN 1364-8152, doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.008.

PM10 - ANDAMENTO STORICO DEL VALORE MEDIO ANNUALE
stazioni di TO-Consolata e TO-Grassi (To-Rebaudengo per l'anno 2015)

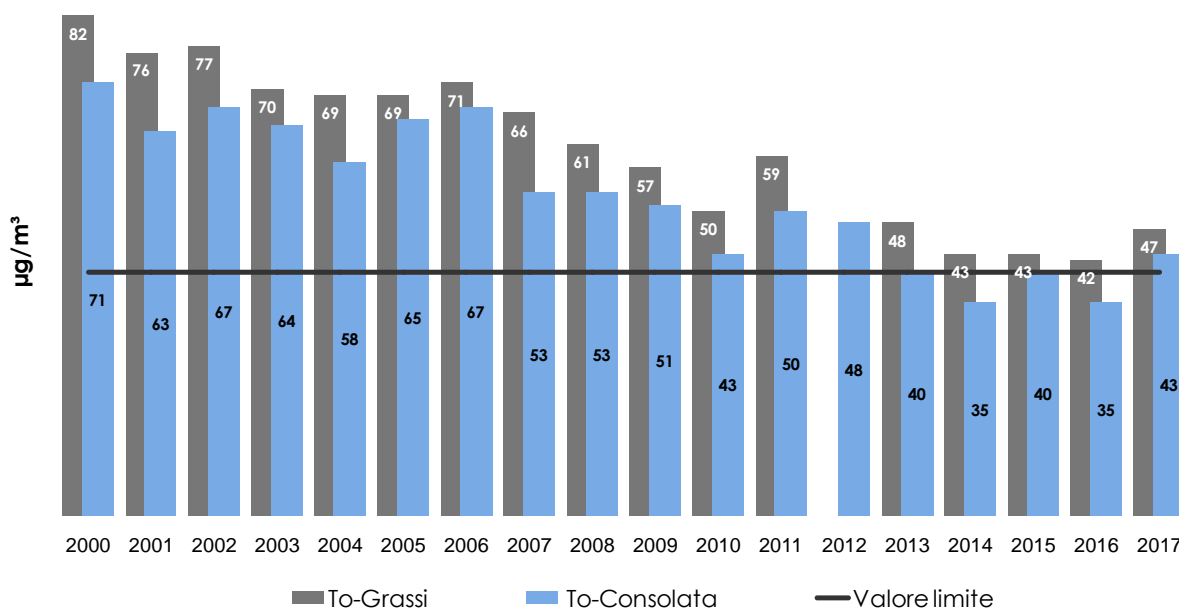


FIGURA 24: parametro PM10, concentrazioni medie annue rilevate nella città di Torino nel periodo 2000-2017 (per l'anno 2015 il dato è relativo a To-Rebaudengo).

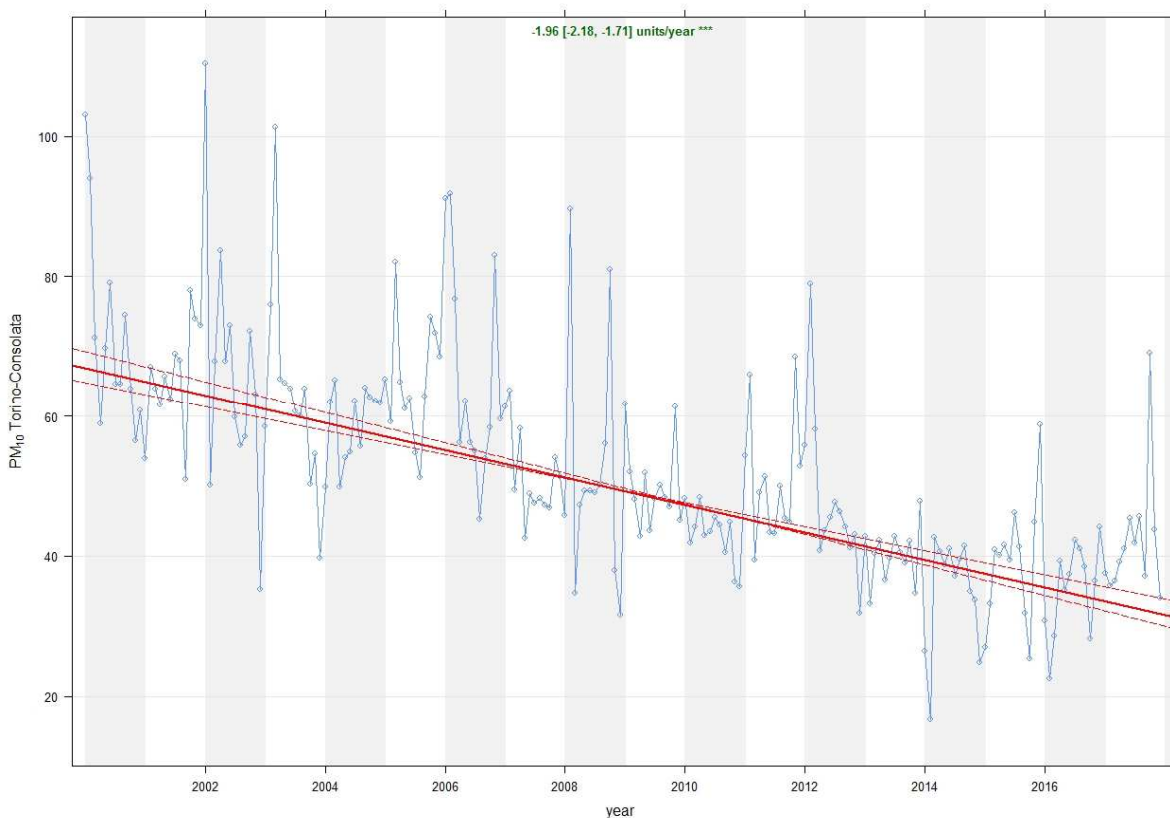


FIGURA 25: stima del trend dal 2000 al 2017 delle concentrazioni giornaliere di PM10, per la stazione di To_Consolata (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

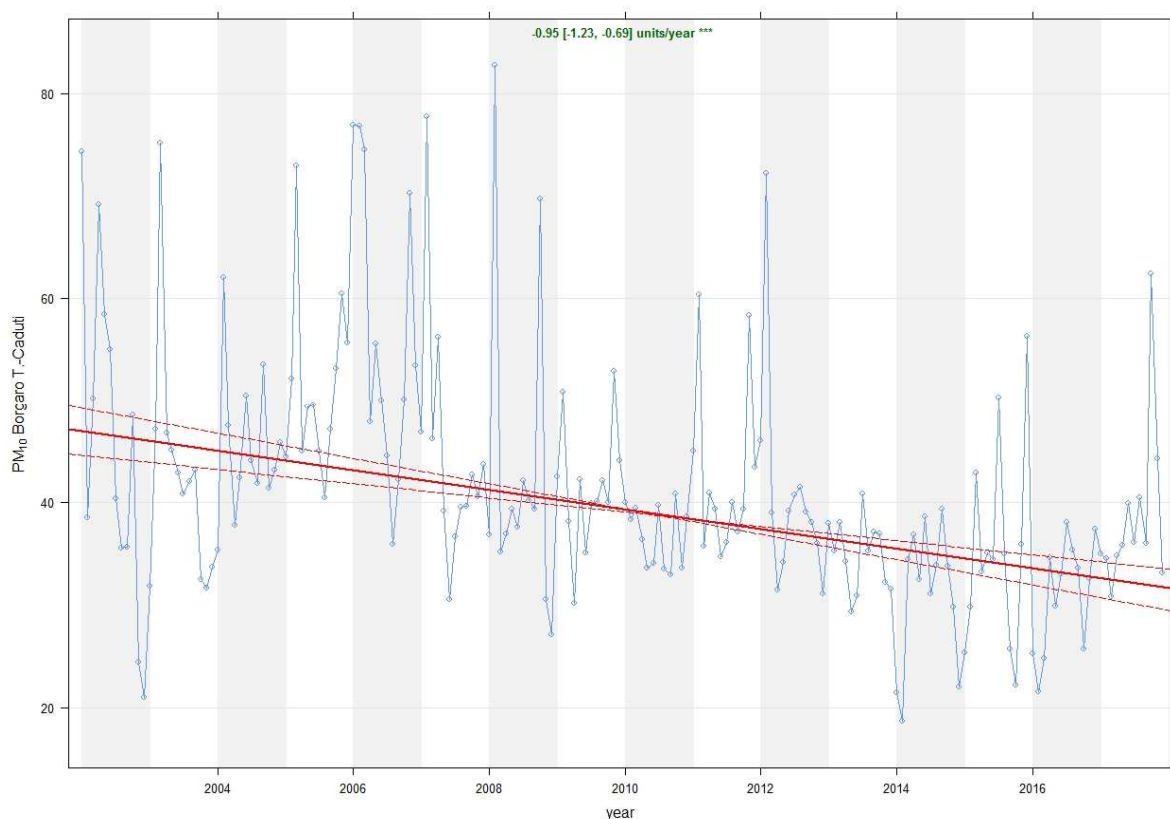


FIGURA 26: stima del trend dal 2002 al 2017 delle concentrazioni giornaliere di PM10, per la stazione di Borgaro Torinese (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

Per quanto riguarda il numero di superamenti annui del limite giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM10, il calcolo del trend con il metodo Theil-Sen indica una riduzione statisticamente significativa sia per la stazione di To-Consolata sia per Borgaro Torinese. Per To-Consolata (FIGURA 27) la variazione annua è stimata in $-8,2$ superamenti/anno con un intervallo di confidenza al 95% compreso tra $[-10,2 -6,2]$ superamenti/anno, mentre per Borgaro la variazione è $-5,0$ superamenti/anno, con un intervallo di confidenza al 95% compreso tra $[-8,5, -2,8]$ superamenti/anno (FIGURA 28).

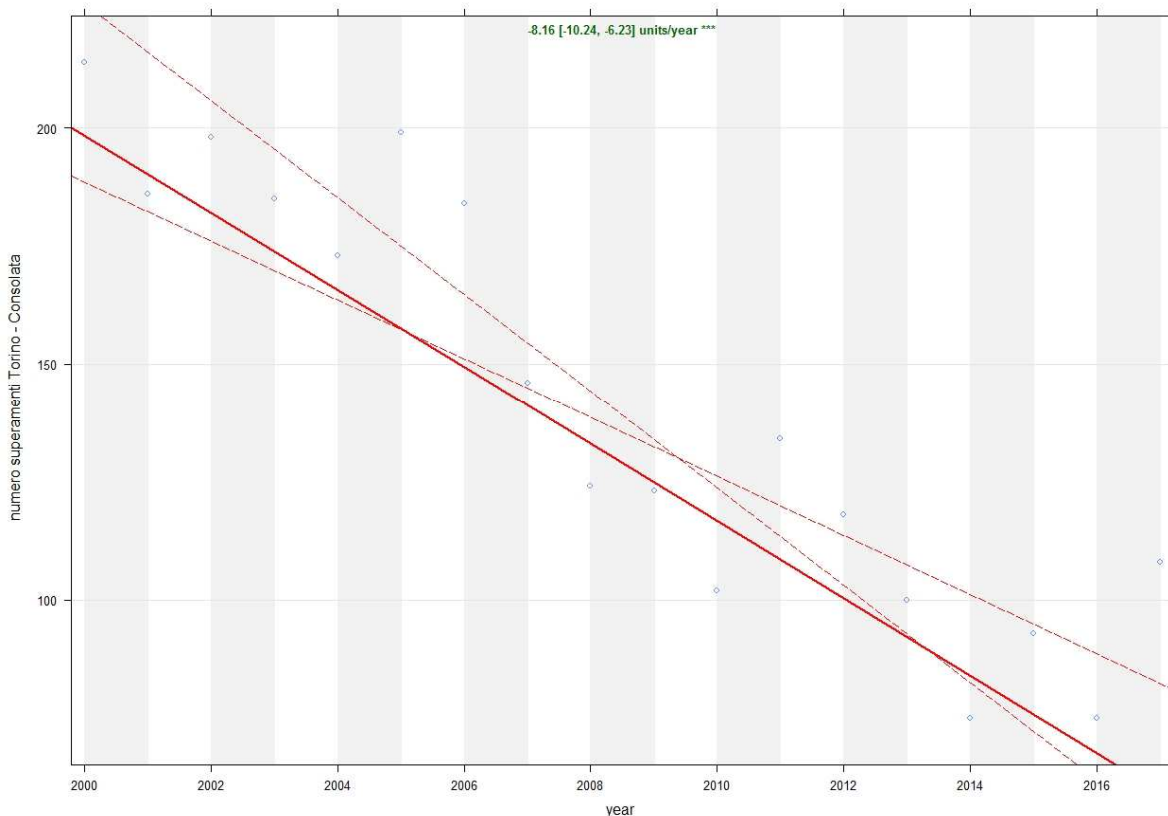


FIGURA 27: stima del trend dal 2000 al 2017 del numero di superamenti del limite giornaliero di PM10, per la stazione di Torino - Consolata (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

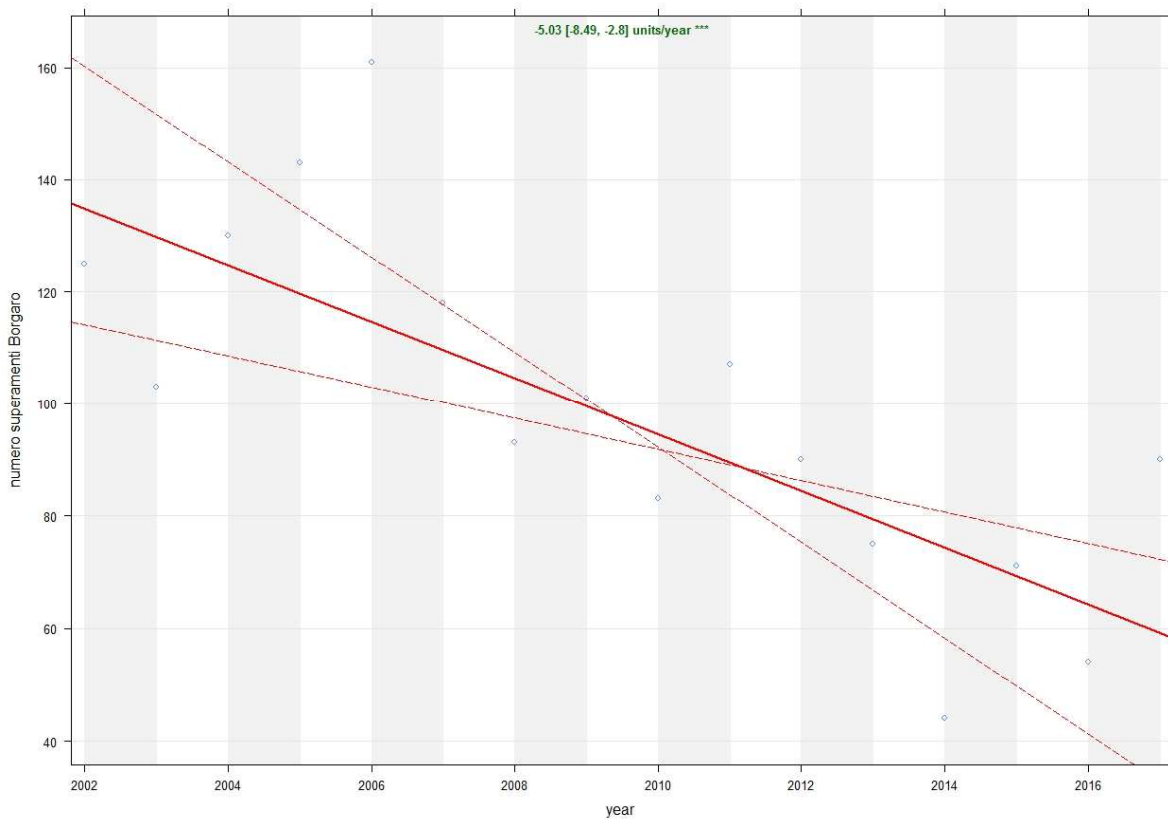


FIGURA 28: stima del trend dal 2002 al 2017 del numero di superamenti del limite giornaliero di PM10, per la stazione di Borgaro Torinese (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

L'ANDAMENTO ORARIO DEL PARTICOLATO IN DUE SITI URBANI DI TRAFFICO E DI BACKGROUND.

La misura del particolato con dettaglio orario non ha rilevanza in merito al rispetto dei limiti, che fanno riferimento alla concentrazione media giornaliera, ma è utile al fine di valutare le prestazioni dei modelli di dispersione e trasformazione degli inquinanti (che ricostruiscono le serie temporali orarie) e per approfondire le dinamiche di formazione del particolato aerodisperso. A questo scopo nel maggio 2013 è stato installato nella stazione di To-Rubino uno strumento che fornisce la misura del PM10 e PM2,5 su base oraria in modo automatico (con un analizzatore a raggi beta).

I dati sono stati confrontati con quelli provenienti dalla stazione di To-Rebaudengo, dove dal 2013 è presente uno strumento che stima la concentrazione oraria in massa di PM10 e PM2,5 a partire dalle concentrazioni numeriche delle particelle rilevate da un contatore ottico. Le due stazioni di monitoraggio hanno caratteristiche diverse: quella in piazza Rebaudengo rappresenta situazioni emissive di picco, visto il notevole traffico veicolare circolante nella piazza, mentre la stazione in via Rubino rappresenta un valore tipico di fondo urbano, non essendo direttamente soggetta a fonti di emissione.

Il valore di PM10 ottenuto dall'analizzatore beta in via Rubino è stato mediato a livello giornaliero e confrontato con le concentrazioni ottenute utilizzando il campionatore di riferimento europeo, che si basa sulla pesata in laboratorio dei filtri campionati. I risultati del 2017, come nei tre anni precedenti, indicano un'ottima correlazione dei dati giornalieri e confermano la validità del dato acquisito dall'analizzatore automatico (FIGURA 29), seppure a fronte di una sottostima delle concentrazioni dell'ordine del 5%²².

In FIGURA 30 si possono confrontare gli andamenti delle medie orarie di PM10 e PM2,5 nel giorno tipo annuale. Come si può osservare, l'andamento del PM10 in piazza Rebaudengo presenta due massimi alle 10 del mattino e alle 22 con valori intorno ai 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I minimi si hanno intorno alle 5-6 del mattino, quando le emissioni sono meno intense, e tra le 15 e le 16, quando per la maggiore temperatura atmosferica si verifica il maggiore rimescolamento delle masse d'aria atmosferica e quindi la maggiore diluizione degli inquinanti. Il PM2,5 presenta un andamento analogo con picchi alle 9 e alle 21-22, pari a 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'andamento del biossido di azoto, anch'esso inquinante di natura prevalentemente secondaria, presenta i massimi anticipati di un'ora rispetto al particolato (FIGURA 31). Inoltre il massimo assoluto si registra in ore serali, quando in assenza di radiazione solare, è sfavorita la fotolisi del biossido di azoto a monossido e le condizioni atmosferiche sono di maggiore stabilità. Invece per il particolato il picco mattutino è leggermente superiore a quello serale (FIGURA 32), come avvenuto nel 2016, ma non nel 2015, quando i due picchi mattutino e serale presentavano una concentrazione praticamente identica. La presenza di valori alti notturni è strettamente dipendente dalle condizioni di stabilità atmosferica; quando si verificano frequenti inversioni termiche notturne e se l'inversione avviene anche nelle ore diurne può capitare che i picchi serali siano superiori a quelli mattutini. Il fenomeno è stato particolarmente evidente nell'ultimo trimestre dell'anno 2015.

Come detto la stazione di To-Rubino è meno soggetta a fonti primarie di emissione, e questo si manifesta nei valori di particolato misurati, che sono inferiori a quelli di To-Rebaudengo. C'è inoltre una certa differenza nel profilo del giorno tipo, che presenta massimi di PM10 e PM2,5 alle 9 del mattino e dalle 21 alle 22. Si può notare, inoltre, nel profilo del PM10, che i valori dall'una alle 7 del mattino sono molto simili nelle due stazioni, nonostante la citata differenza nell'ubicazione delle stesse. Una possibile spiegazione al fenomeno sulla persistenza di alti valori notturni può essere il meccanismo di accrescimento delle particelle, che di notte aumentano la propria dimensione in conseguenza della condensazione sulla propria superficie dei precursori gassosi, favorita dalla diminuzione della temperatura. Inoltre, come descritto nel capitolo "La concentrazione numerica di particelle ultrafini nell'area metropolitana torinese", il numero di particelle progressivamente diminuisce a seguito della coagulazione per collisione tra loro, mentre aumenta la loro massa e quindi aumentano i valori di PM2,5 misurati, soprattutto in condizioni di alta stabilità atmosferica.

I minimi orari per il PM10 e il PM2,5 di To-Rubino (32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per entrambi) si verificano nel pomeriggio alle 15-16 in corrispondenza alle ore di maggiore rimescolamento atmosferico e rappresentano concentrazioni di fondo urbano che è molto difficile ridurre, se non con interventi drastici per il contenimento delle emissioni di particolato primario e dei precursori gassosi del particolato.

²² Nelle condizioni di misura tipiche della Pianura Padana, in cui gli episodi di picco di particolato aerodisperso sono caratterizzati da una elevata componente secondaria, gli analizzatori a radiazione beta possono presentare sottostime del valore di PM10 a causa della perdita di composti semivolatili (in particolare nitrato d'ammonio) dovuta al riscaldamento dello strumento. Poiché di norma tali composti sono tanto più presenti quanto maggiore è il valore di concentrazione, la sottostima risulta percentualmente maggiore in presenza di concentrazioni più elevate.

Interessante inoltre confrontare i valori di PM10 nel periodo freddo (gennaio-marzo e ottobre-dicembre) e quello caldo (aprile-settembre), che nel seguito chiameremo "inverno" ed "estate".

I valori invernali di PM10 e PM2,5 sono circa il doppio di quelli estivi; la differenza maggiore tra estate ed inverno si verifica per il PM2,5 di To-Rebaudengo, dove i valori invernali sono 2,8 volte quelli estivi. Il giorno tipo del PM2,5 e PM10 in piazza Rebaudengo presenta un andamento pressoché identico nei due periodi e mostra infatti il classico doppio picco mattutino e serale, come quanto riscontrato l'anno precedente.

Per quanto riguarda il giorno tipo di To-Rubino si nota una sostanziale costanza dei valori estivi di PM10 e PM2,5, mentre nel periodo invernale i valori notturni (dalle 19 alle 3 di notte) sono più alti della media, in conseguenza della maggiore stabilità atmosferica notturna (FIGURA 33).

In conclusione l'analisi dei dati orari di PM10 e PM2,5, pur non avendo una valenza normativa, costituisce un ulteriore strumento a supporto delle politiche di risanamento, in quanto permette di approfondire la conoscenza dei fenomeni di formazione del particolato e dell'interconnessione degli stessi con le proprietà meteo-dispersive dell'atmosfera.

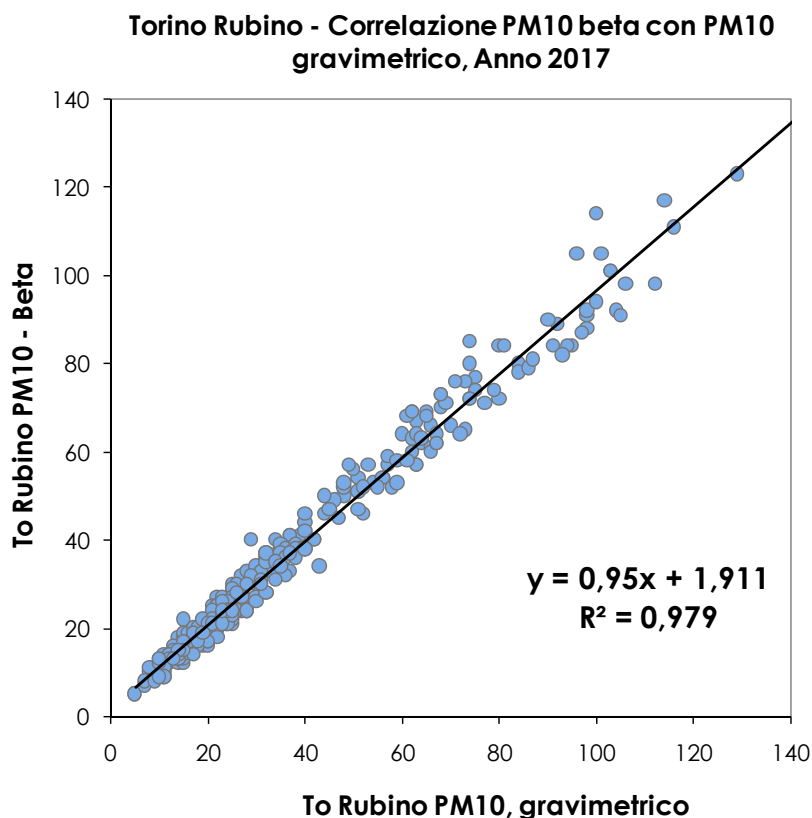


FIGURA 29: correlazione tra i dati giornalieri del PM10 di Torino – Rubino misurati con tecnica gravimetrica e analizzatore a raggi beta.

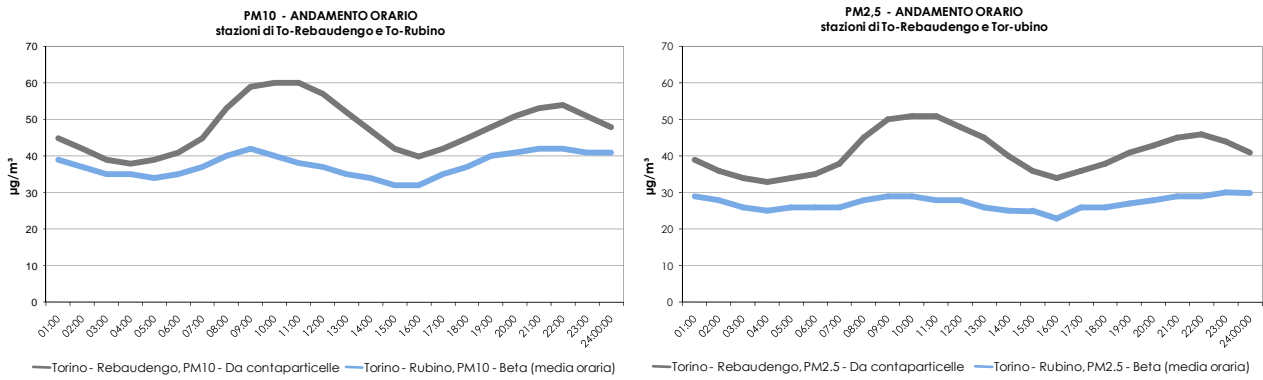


FIGURA 30: giorno tipo annuale di PM10 e PM2,5 a Torino - Rebaudengo e Torino - Rubino, anno 2017.

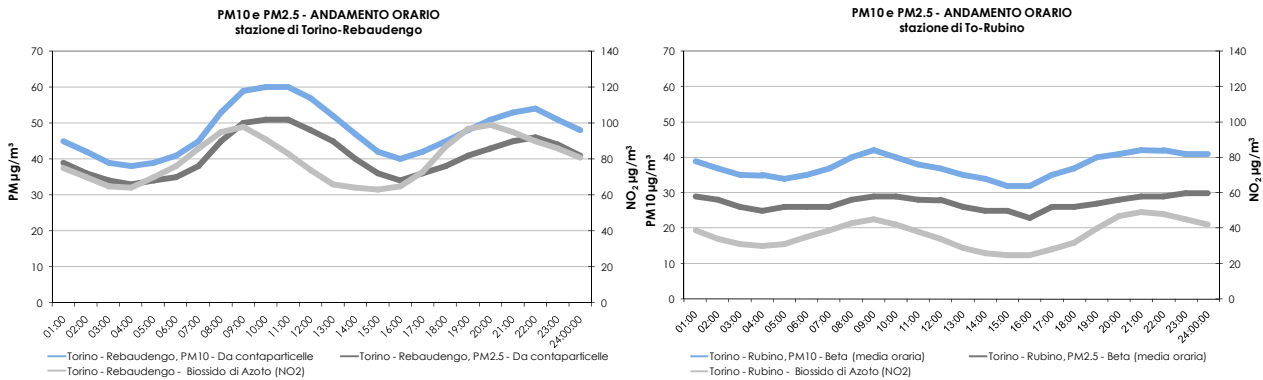


FIGURA 31: giorno tipo annuale di PM10 e PM2,5 a Torino - Rebaudengo e Torino - Rubino, confronto con le medie di NO₂, anno 2017.

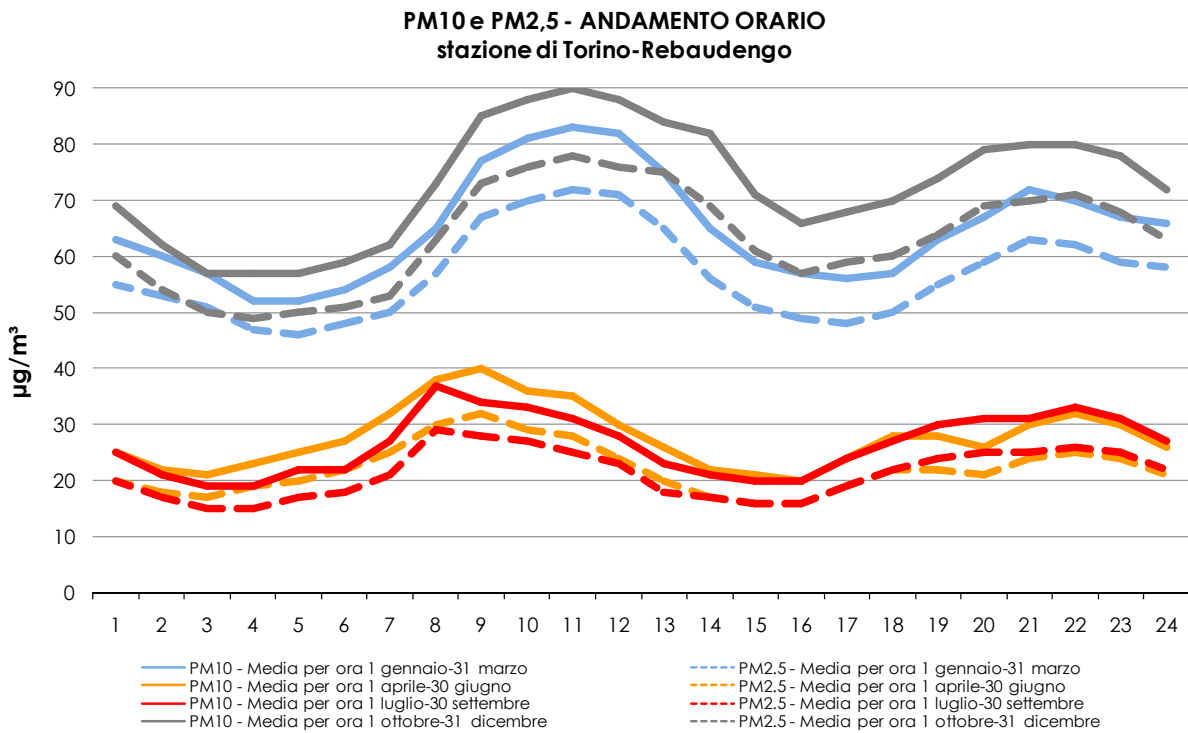


FIGURA 32: giorno tipo per trimestri di PM10 e PM2,5 a Torino - Rebaudengo, anno 2017.

PM10 e PM2.5 - ANDAMENTO ORARIO
stazione di Torino-Rubino

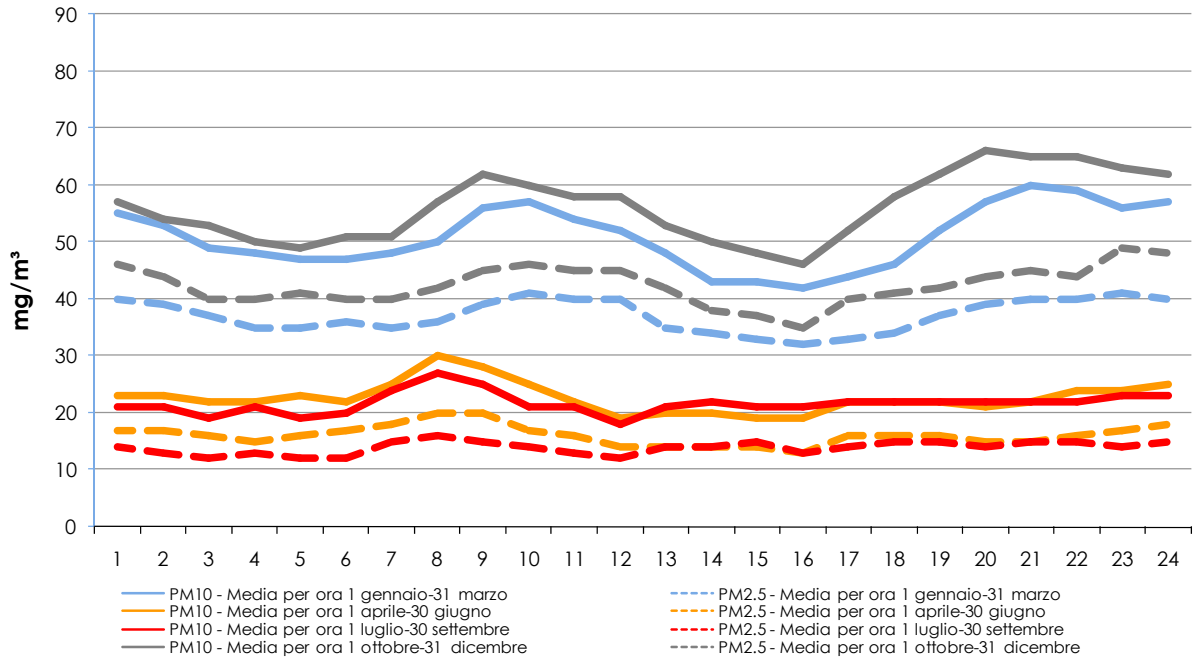


FIGURA 33: giorno tipo per trimestri di PM10 e PM2,5 a Torino - Rubino, anno 2017.

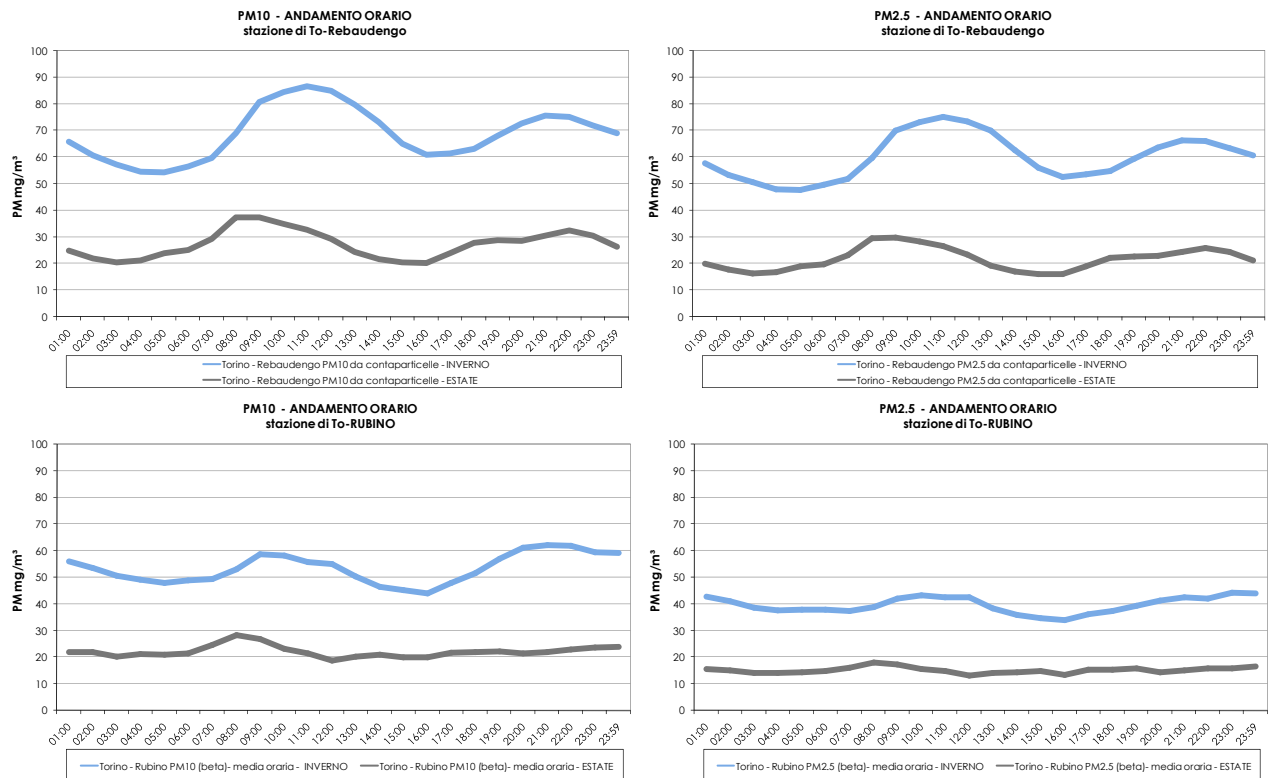


FIGURA 34: PM10 e PM2,5 orari confronto tra il giorno medio invernale ed estivo - anno 2017.

SIMULTANEITÀ DEI SUPERAMENTI DEL VALORE LIMITE GIORNALIERO DI PM10 IN PIANURA PADANA NEL TRIENNIO 2014-2016

L'omogeneità spaziale delle concentrazioni di PM10 in pianura padana è un dato consolidato e legato alla particolare rilevanza dei fenomeni di formazione della componente secondaria, i quali per loro natura interessano aree vaste e vanno quindi contrastati alla stessa scala spaziale²³ come peraltro previsto dagli accordi tra le Regioni del bacino padano sottoscritti nel 2013 e nel 2017.

Per verificare in che misura tale omogeneità implichi una simultaneità delle giornate di superamento o non superamento del valore limite giornaliero di PM10 sono state prese in considerazione le concentrazioni medie giornaliere del triennio 2014-2016 di sei stazioni di fondo urbano - Torino Lingotto, Milano Pascal, Mantova Ariosto, Parma Cittadella, Ferrara Villa Fulvia, Padova Mandria - distribuite sull'intera pianura padana e collocate in città di dimensioni e popolazione significativamente diverse e con distanze in linea d'aria che vanno da 66 km tra Ferrara e Padova a 330 Km tra Torino e Padova (FIGURA 35)

Le serie di medie giornaliere sono state ricavate dai database messi a disposizione dalle Agenzie regionali per l'Ambiente e elaborate con due diverse modalità:

1. Per ogni coppia di punti di misura sono state estratte dalla base dati complessiva le giornate in cui sono disponibili entrambe le medie giornaliere validate di PM10; la percentuale di coppie di dati estratte risulta ampiamente rappresentativa poiché è compresa tra 80% e 94% del totale teorico nel caso dell'intera annualità e tra 82% e 97% se si considera solo il semestre freddo.

Per ogni coppia di serie di dati estratti è stata calcolata la r di Pearson e la percentuale di giorni in cui entrambi i punti di misura superano o entrambi non superano il valore limite giornaliero di PM10 (percentuale di giornate "concordi").

2. Dalla base dati complessiva di tutti i punti di misura sono state estratte le giornate in cui è presente il dato validato per tutte e sei le stazioni e almeno una di esse supera il valore limite di PM10.

Sui dati estratti è stata calcolata la percentuale di giornate in cui un numero "n" di stazioni supera il valore limite e il CV% per ogni giornata come indicatore di dispersione dei dati.

Le elaborazioni in entrambe le modalità sono state effettuate considerando sia l'intera annualità che il solo semestre freddo (ottobre-marzo), il più critico per il PM10.



FIGURA 35: posizione delle sei stazioni di fondo urbano oggetto dello studio

²³ [1] AA.VV., a cura di I. Allegrini e F. Romeo (2012). Gruppo di lavoro per l'individuazione delle misure per la riduzione dell'inquinamento atmosferico - Attività tecniche e proposte - MATT

I risultati evidenziano che :

- tutte le coppie di stazioni, oltre a presentare una correlazione elevata (FIGURA 36), mostrano un'elevata percentuale di giornate "concordi" (tra 83% e 93% sull'intera annualità e tra 70% e 89% per il semestre freddo, vedi FIGURA 37);
- la percentuale di giornate "concordi" non presenta una dipendenza significativa dalla distanza in linea d'aria tra i due punti di misura (FIGURA 38). In particolare la percentuale di giornate "concordi" tra il sito di Torino e quello più vicino (Milano, 125 km) è la stessa che tra Torino e il sito più lontano (Padova, 330 km);
- in più del 60% dei casi il superamento riguarda in contemporanea almeno tre punti di misura e nel semestre freddo - quello più critico per il PM10 - la percentuale di giornate di superamento simultaneo è maggiore che sull'intera annualità (FIGURA 39);
- in più del 60% delle giornate in cui almeno una stazione supera il valore limite giornaliero la deviazione standard relativa (CV%) delle misure di PM10 sulle sei stazioni è minore o uguale al 30% e quindi i dati, tenendo conto della vastità dell'area geografica considerata, risultano relativamente poco dispersi.

L'insieme dei risultati, oltre a confermare la nota omogeneità delle concentrazioni di PM10 nel bacino padano, evidenzia che a tale caratteristica spaziale corrisponde anche un elevato grado di simultaneità temporale degli eventi di superamento o non superamento del valore limite giornaliero, a conferma della necessità di attuare politiche di risanamento coordinate a livello di bacino.

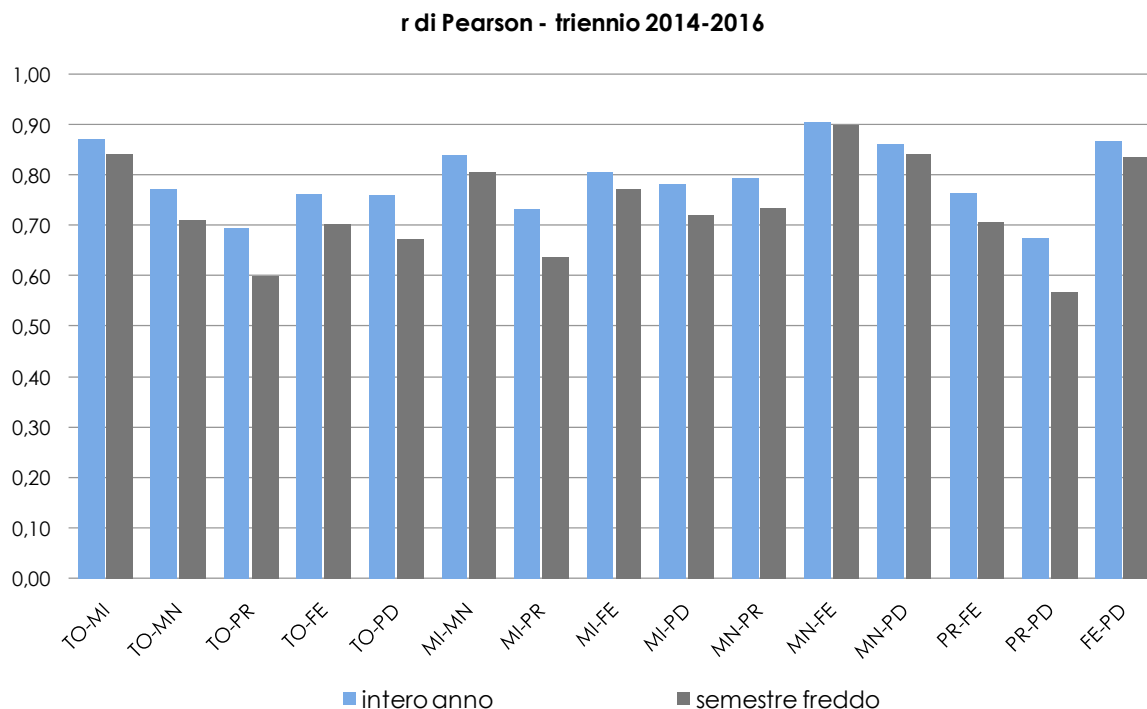


FIGURA 36: r di Pearson per tutte le coppie di serie di dati delle sei stazioni.

% giornate concordi - triennio 2014-2016

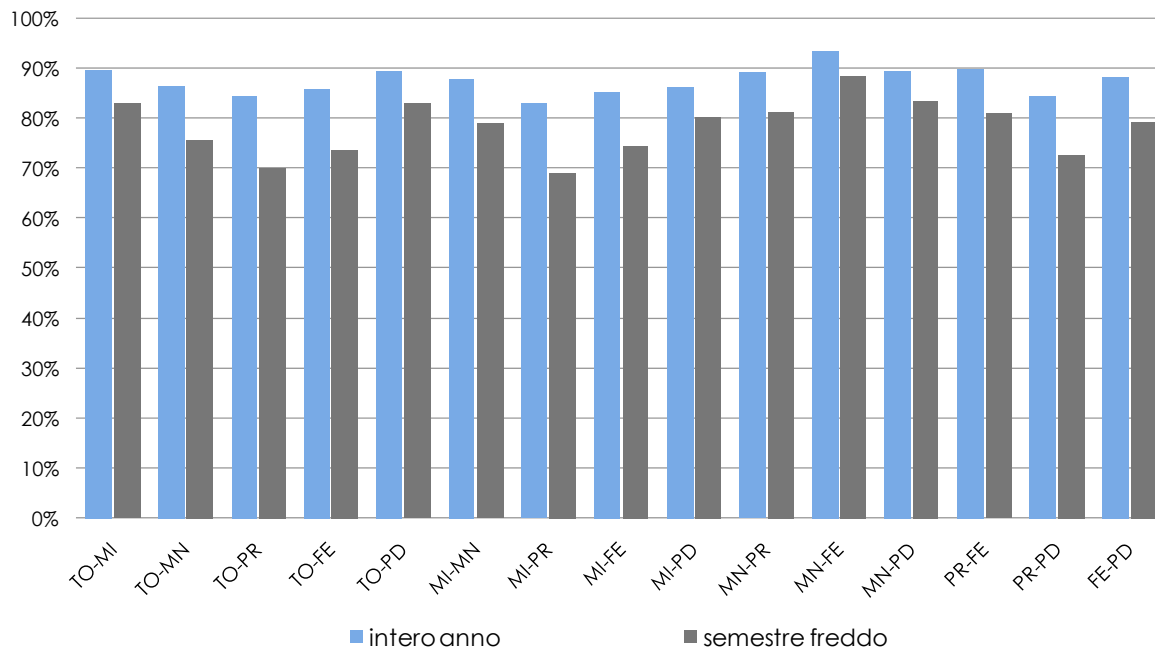


FIGURA 37: percentuale di giornate "concordi" per tutte le copie di serie di dati

Correlazione percentuale giornate concordi - distanza tra le stazioni

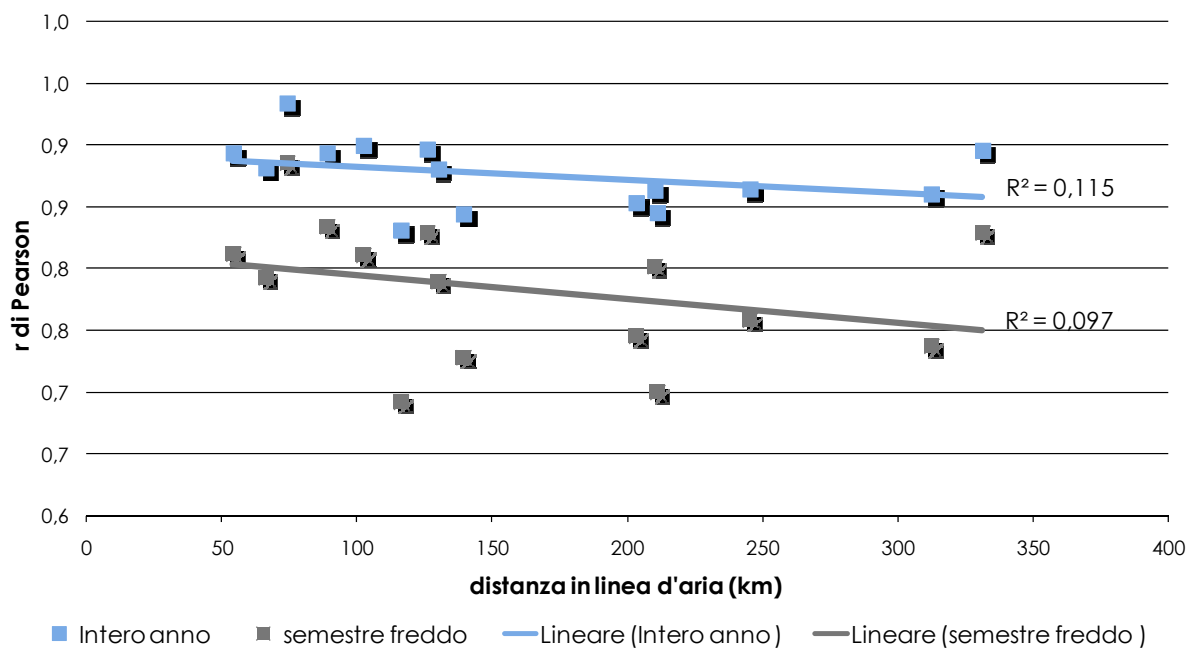


FIGURA 38: correlazione tra r di Pearson e distanza tra le stazioni di monitoraggio

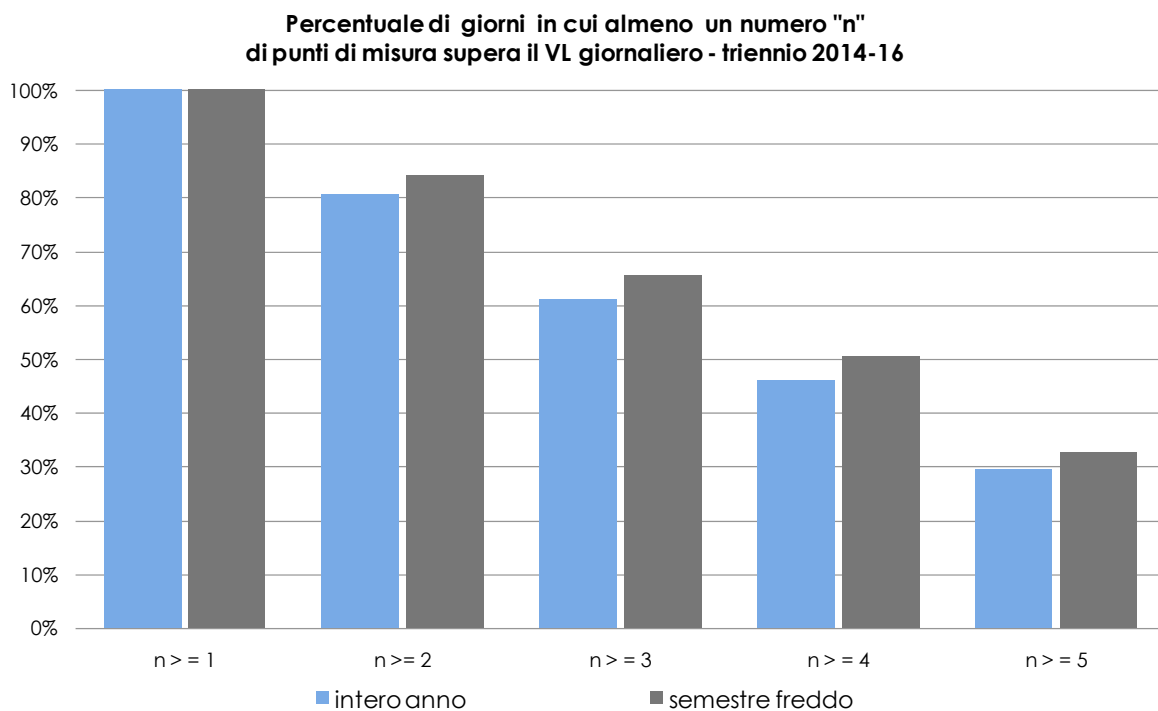


FIGURA 39: Percentuale di giorni in cui almeno un numero "n" di punti di misura supera il VL giornaliero

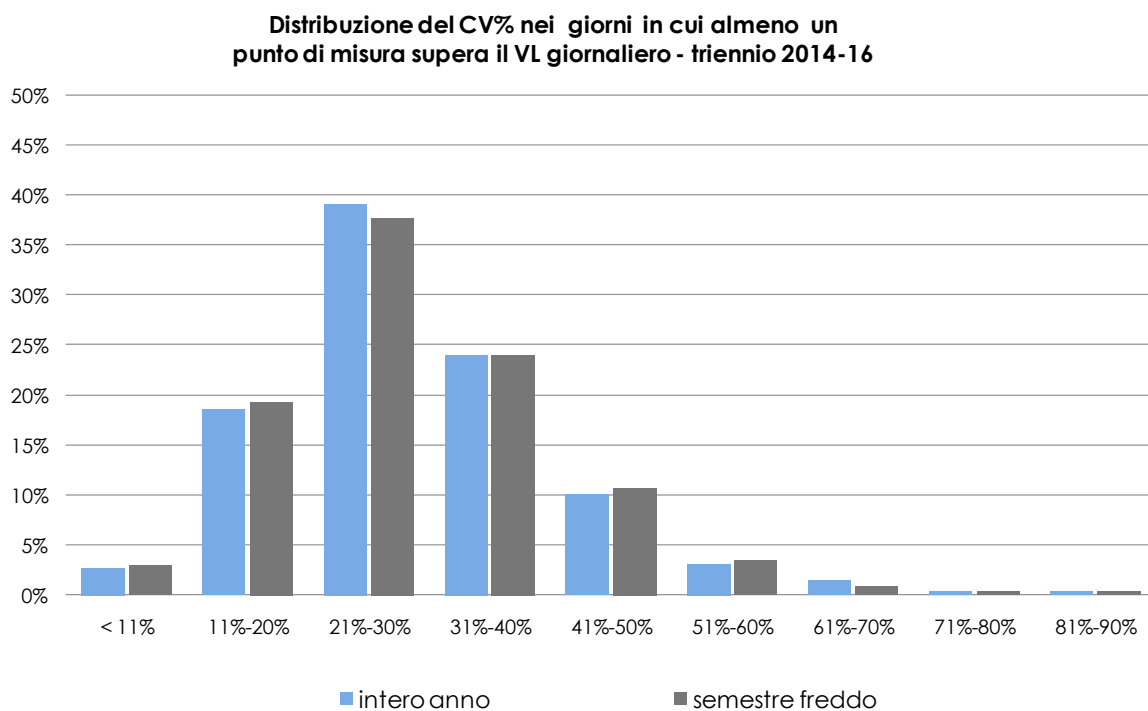


FIGURA 40: distribuzione del CV% delle sei stazioni nei giorni in cui almeno una supera il valore limite giornaliero.

PARTICELLE SOSPESSE TOTALI

L'attenzione normativa si è incentrata negli ultimi anni sulla frazione di particolato PM10 e PM2,5, in quanto gli studi tossicologici ed epidemiologici hanno evidenziato che le particelle di minori dimensioni sono quelle più dannose per la salute umana. Le particelle sospese totali, che precedentemente al recepimento delle Direttive Europee costituivano il parametro di riferimento di legge, sono ancora misurate presso la stazione in via Consolata a Torino. L'esame dell'andamento della concentrazione delle polveri totali, vista la lunga serie storica di dati, è utile per avere un'indicazione del trend relativo al PM10 anche in periodi nei quali questo parametro non veniva misurato. Infatti, come si osserva in FIGURA 41 nella quale per la stazione di To-Consolata sono riportate le medie annuali di PTS e PM10, il PM10 costituisce circa il 70% delle polveri totali.

In FIGURA 41 per il PTS sono riportate le concentrazioni medie annue rilevate in quasi 40 anni di monitoraggio. I valori che si misurano oggi sono molto minori rispetto agli anni '80; dal 1999 al 2006 si sono stabilizzati intorno ai 100 µg/m³, mentre, dopo una serie di valori intorno ai 60 µg/m³ registrati dal 2012 al 2015, si è toccato il minimo storico proprio nel 2016 in cui la media annuale è stata di 43 µg/m³, confermando il trend in miglioramento su lungo periodo.

La diminuzione registrata rispetto ai primi anni di rilevamento è stata ottenuta grazie al trasferimento all'esterno dell'area metropolitana e alla chiusura di alcuni impianti industriali di notevole impatto ambientale, alla progressiva sostituzione con il metano di combustibili altamente inquinanti, quali l'olio combustibile e il carbone, alla diminuzione del biossido di zolfo, precursore del particolato e ai miglioramenti tecnologici nelle emissioni degli autoveicoli.

CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUE DI PARTICOLATO TOTALE SOSPESO
Stazioni di Torino (1980-2017)

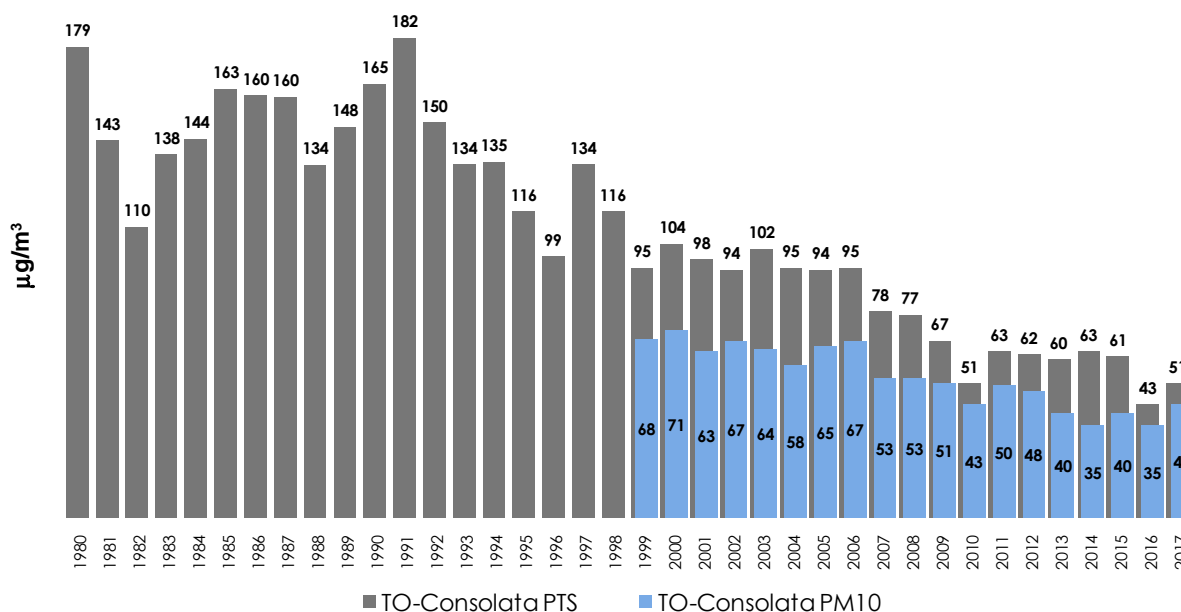


FIGURA 41: parametro PTS, medie annuali misurate nelle stazioni di Torino dal 1980 al 2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% giorni validi)	PM10 – VALORE MEDIO ANNUO Valore limite annuale: 40 µg/m3										PM10- NUMERO DI SUPERAMENTI del valore limite di 24 ore (50 µg/m3)									
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Baldissero (B)	93%	22	19	20	23	21	17	14*	17	14	11	31	16	13	33	17	9	6*	8	1	1
Beinasco-TRM (B)	94%	-	-	-	-	48*	33	30	33	29	36	-	-	-	-	37*	70	47	68	52	88
Borgaro	94%	43	41	37	43	42*	35*	31*	35*	31	38	93	101	83	107	90*	75*	44*	71*	54	90
Carmagnola	98%	48	50	44	49	50	42	36	41	37	45	124	131	118	130	137	109	82	107	73	122
Ceresole Reale (B)	92%	-	-	6*	7*	7	6*	5	7	9	11	-	-	0*	0*	0	0*	0	0	0	6
Collegno	94%	-	-	-	-	33*	36	32	36	32	40	-	-	-	-	50*	83	61	81	61	102
Druento	98%	32	32*	27	31	28	24	19	23	21	27	56	52*	38	63	45	29	11	23	22	41
Ivrea	89%	34	33	28	35	34	27	23	28	26	31*	73	71	53	82	71	52	30	55	41	60*
Leini (B)	93%	44*	39*	35*	36*	33	29	25	36	30	34	94*	81*	61*	74*	66	59	35	84	57	79
Oulx	94%	20*	18	19	20	17	18	17*	18*	16	18	18*	3	7	11	3	6	5*	7*	0	8
Pinerolo	98%	36	32*	28*	32	29	26	-	21	23	26	66	61*	29*	57	54	33	-	11	15	40
Settimo	78%	-	-	-	-	44	39	34	39	35	44*	-	-	-	-	111	88	81	98	70	99*
Susa	98%	25	21	22	23	21	18	16	18	17	22	39	16	21	24	15	10	1	11	10	27
To-Consolata	95%	53	51	43	50	48	40	35	40	35	43	124	123	102	134	118	100	75	93	75	108
To-Grassi	95%	61	57	50	59	60*	48	43*	52*	42	47	150	151	131	158	103*	126	77*	75*	89	112
To-Lingotto (B)	96%	43	41	34	48*	41*	34	31	36	32	38	90	92	72	95*	90*	69	56	85	60	101
To-Lingotto	90%	-	-	36	44	42	38	32	38	34	39	-	-	80	106	94	89	59	86	62	92
To-Rebaudengo	98%	-	-	-	-	-	37*	40	43	37	46	-	-	-	-	-	53*	94	101	74	118
To-Rubino	97%	43	44*	39	47	40*	35	31	36	32	38	90	96*	83	111	83*	87	58	84	65	97

(*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 17: parametro PM10, valutazione statistica anni 2007-2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% giorni validi)	PTS – VALORE MEDIO ANNUO									
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
To-Consolata,	86%	77*	67*	51	63	62*	60*	63*	61*	43	51*

(*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 18: parametro polveri totali (PTS), valutazione statistica anni 2007-2016.

MUTAGENICITÀ DEL PM2,5

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

D. Marangon - Laboratorio Specialistico Nord-Ovest.

DESCRIZIONE

Il particolato atmosferico, in particolare nella sua frazione più fine, è una complessa miscela di composti chimici di differente tossicità per l'uomo sia considerati singolarmente, sia soprattutto in relazione al loro potenziale effetto sinergico. Sebbene la definizione quali-quantitativa dei livelli di concentrazione delle specie chimiche estratte dalle particelle solide rappresenti un approccio valutativo significativo, è possibile sottoporre una matrice così complessa a dei test che non si limitino a valutare solo la concentrazione di una o più specie chimiche, ma al contrario riescano a valutarne la complessità nel suo insieme considerando eventuali effetti sinergici od antagonisti delle varie specie chimiche presenti.

Quest'ultimo aspetto è soddisfatto dai test biologici che prevedono l'utilizzo di batteri, cellule animali e/o vegetali o organismi pluricellulari per valutare la tossicità e/o la genotossicità di matrici complesse come le matrici ambientali. Tali test sono utilizzati da anni nei laboratori di ricerca e di controllo.

Come negli anni precedenti, nel 2017 è stata condotta una campagna di monitoraggio della mutagenicità del PM2,5 a livello regionale. La frazione del particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm rappresenta, infatti, la componente più pericolosa per la salute essendo in grado di superare le prime vie respiratorie e raggiungere i distretti polmonari più profondi. Si è scelto di utilizzare il test di reversione genica in *Salmonella typhimurium*, sia in relazione alla tipologia di inquinanti atmosferici presenti sul particolato atmosferico e alla precedente esperienza maturata nella valutazione della mutagenicità del PM10, sia sulla base di pubblicazioni che indicano lo stesso come migliore test in vitro per la valutazione del particolato atmosferico da un punto di vista della mutagenicità.

Il test di routine utilizza due ceppi di *Salmonella* geneticamente modificati, il TA98 e il TA100, che con un differente meccanismo di azione sono in grado di rilevare la maggior parte dei composti mutageni. Nel presente studio sono stati utilizzati due ulteriori ceppi, il TA98NR e l'YG1021, particolarmente adatti nell'evidenziare la presenza di nitro composti (nitro-IPA), sostanze ad azione mutagena diretta.

Allo scopo di rilevare anche le sostanze pro-mutagene, in grado cioè di causare un danno al DNA dopo l'azione degli enzimi detossificanti del fegato, sono stati utilizzati estratti microsomiali epatici di ratto (S9) che forniscono un'attivazione metabolica esogena.

Lo studio è stato eseguito sulle stazioni Torino Lingotto (fondo urbano), Settimo Vivaldi (Traffico) e Alessandria Dernice (bianco).

I prelievi del particolato atmosferico sono stati eseguiti su filtri in quarzo, diametro 47 mm, tramite campionatore a basso volume per particolato PM2,5; la durata del campionamento è stata di 24 ore effettuato quotidianamente. I filtri del mese sono stati uniti e analizzati con il test descritto in precedenza, secondo la procedura indicata da Maron e Ames (1983).

Il risultato è stato espresso come rapporto di mutagenicità (MR) riferito a 20 m³ di aria (quantità media respirata quotidianamente da un adulto). Il rapporto di mutagenicità confronta la risposta del campione con quella ottenuta su un controllo negativo. I campioni sono considerati positivi quando la risposta del campione è doppia rispetto al controllo, ciò si osserva con un rapporto di mutagenicità pari a 1. Inoltre all'aumentare della dose testata si deve osservare un proporzionale aumento della risposta del microorganismo indicatore.

Allo scopo di fornire un dato di mutagenicità complessivo, i valori di MR ottenuti con i ceppi TA98 e TA100 in presenza e in assenza di attivatore metabolico, sono stati sommati a costituire il Fattore di Genotossicità (FG).

ESAME DEI DATI

I risultati evidenziano la costante presenza di sostanze mutagene, mostrando un tipico andamento stagionale, con picchi di massima attività mutagena nel periodo invernale per raggiungere valori minimi nel periodo estivo (FIGURA 42 e FIGURA 43). La stazione di Dernice (FIGURA 44) pur mostrando lo stesso andamento stagionale, mostra valori ridotti durante tutto il periodo di indagine.

I diversi ceppi utilizzati, in presenza o assenza di attivatore metabolico, hanno risposto positivamente fornendo un quadro articolato. In particolare, il ceppo TA98 ha fornito risultati di mutagenicità più elevati durante l'intero periodo di monitoraggio e in tutte le stazioni analizzate.

La risposta ottenuta con il ceppo TA98 in assenza di attivatore metabolico è complessivamente maggiore di quella ottenuta in presenza di attivatore metabolico S9, indicando una prevalenza di mutageni che agiscono sul DNA con un meccanismo d'azione diretto (ad esempio i nitro-IPA).

Il ceppo TA100 ha fornito una risposta complessiva più bassa, anche se il trend è sovrapponibile a quello riscontrato con il ceppo TA98.

Si sono riscontrati elevati valori di mutagenicità nel mese di ottobre in particolare nella stazione di Settimo-Vivaldi (FIGURA 42). Si registra un significativo incremento di tali valori rispetto a quelli ottenuti l'anno precedente nelle stesse stazioni (FIGURA 45). Tale incremento è probabilmente da attribuire agli inquinanti aerodispersi derivanti dagli incendi boschivi che hanno flagellato la regione Piemonte durante il mese di ottobre.

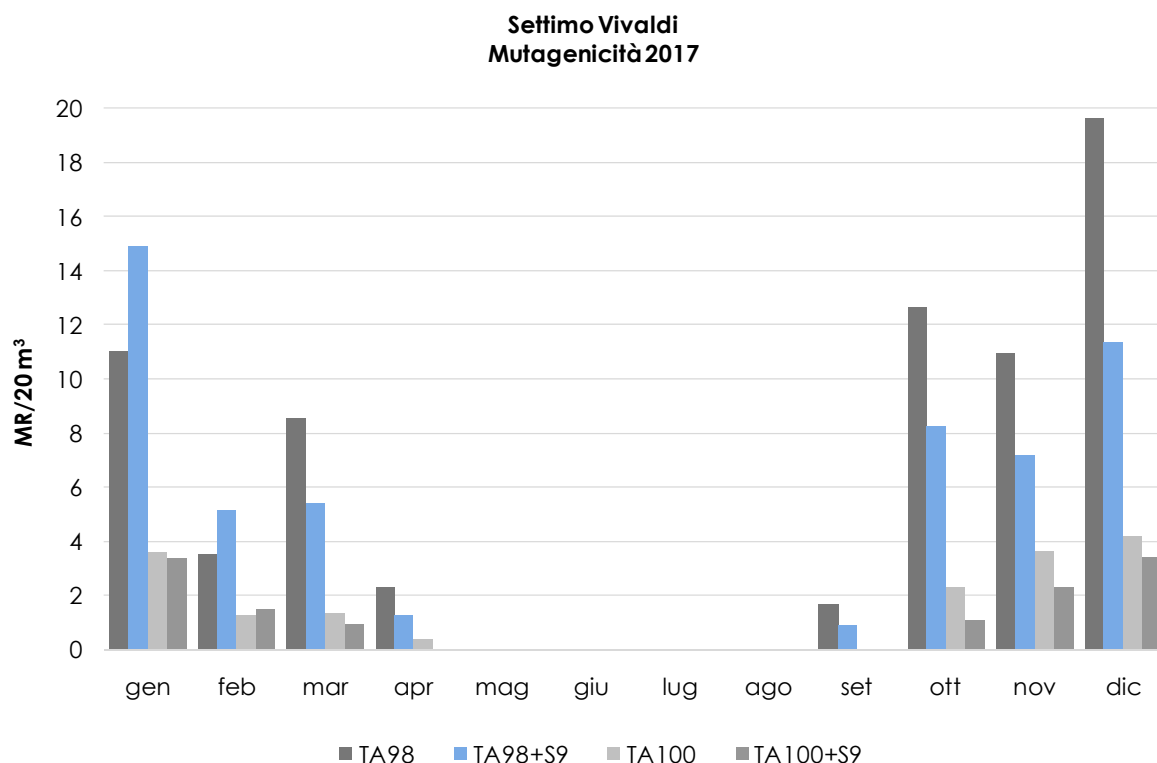


FIGURA 42: mutagenicità rilevata nella stazione di Settimo Vivaldi

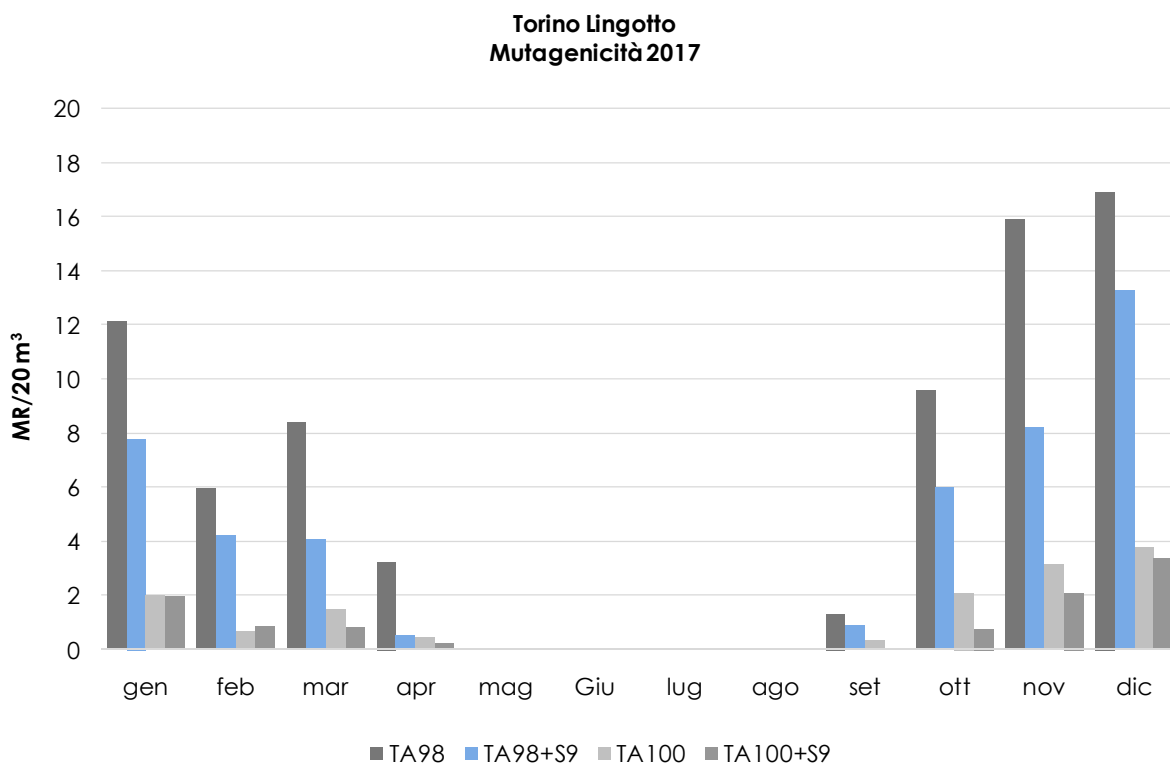


FIGURA 43: mutagenicità rilevata nella stazione di Torino Lingotto

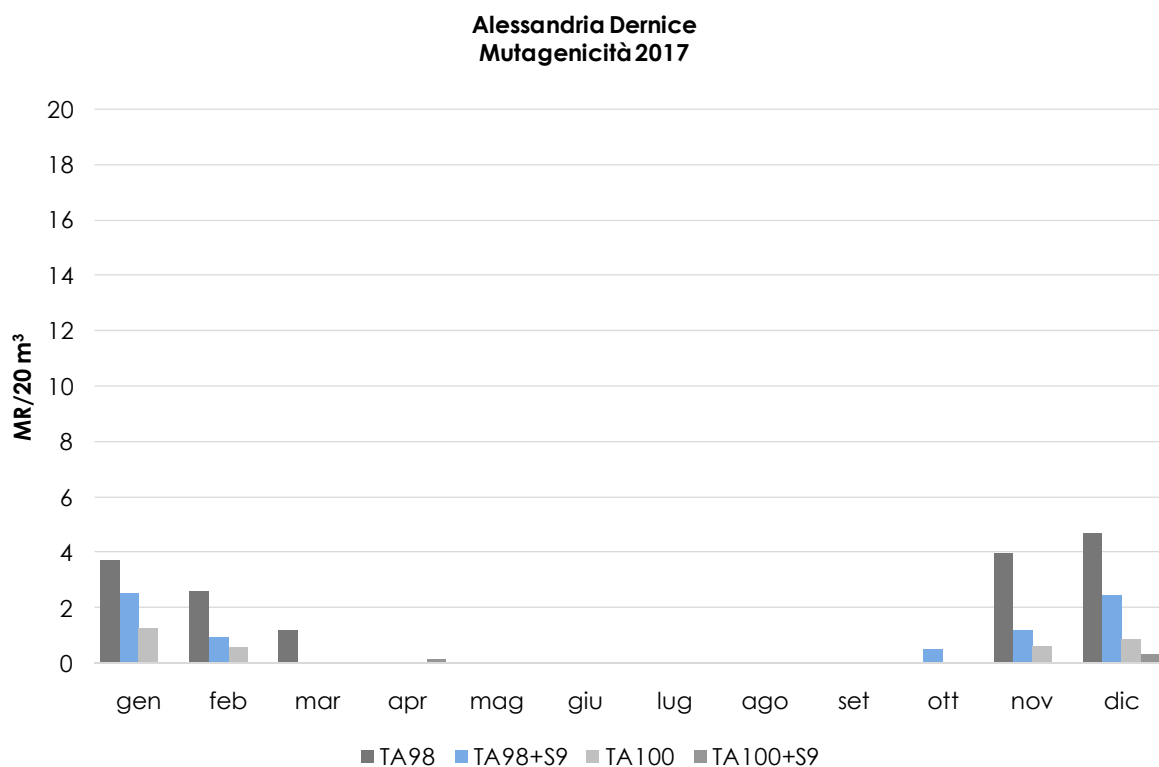


FIGURA 44: mutagenicità rilevata nella stazione di Alessandria Dernice. I valori sono significativamente più bassi rispetto alle due stazioni precedenti, non si evidenziano particolari criticità.

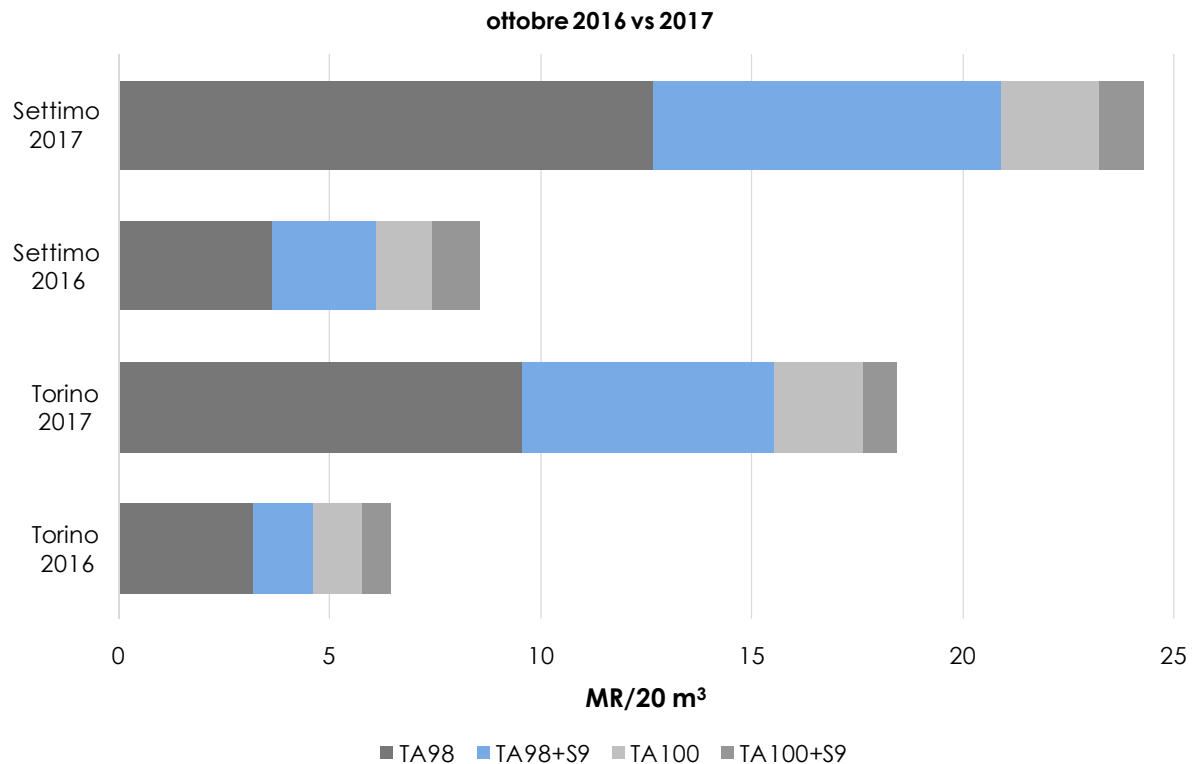


FIGURA 45: mutagenicità ottobre 2016 vs 2017. I valori riscontrati nel mese di ottobre nelle stazioni di To-Lingotto e Settimo-Vivaldi sono raddoppiati rispetto a quelli riscontrati nello stesso periodo l'anno precedente.

I dati in nostro possesso, sono stati aggregati per costruire Indici di Qualità Ambientali (IQA). Ci siamo serviti di curve di qualità ambientale che sono descritte da equazioni, che permettono di passare rapidamente dai valori dei parametri ambientali rilevati (MR, FG) a valori di qualità espressi da un Indice di Qualità Ambientale.

Tale indice assume valori compresi tra 0 e 1 ai quali viene convenzionalmente assegnato rispettivamente il significato di qualità ambientale pessima (IQA=0) e qualità ambientale ottimale (IQA=1).

La tabella 1 mostra la situazione complessiva ottenuta adottando tali indici.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Torino	0,42	0,44	0,44	0,72	0,92	1,00	1,00	1,00	0,86	0,52	0,23	0,08
Settimo	0,16	0,21	0,37	0,76	0,82	0,95	1,00	1,00	0,66	0,46	0,22	0,03
Dernice	0,48	0,59	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,53	0,46

TABELLA 19: IQA stazioni di Torino Lingotto, Settimo Vivaldi e Alessandria Dernice.

Il grafico seguente (FIGURA 46), costruito con i dati mostrati in tabella 1, mostra l'andamento annuale della mutagenicità complessiva, consentendo un confronto tra i siti in esame.

Le attività di controllo della mutagenicità del PM10 eseguite in passato dal laboratorio di Grugliasco sulla stazione di via della Consolata a Torino rendono possibili confronti con i valori ottenuti sul PM2,5 nel 2016 e 2017. Considerando che il PM10 'contiene' anche la frazione <2,5µm e che quest'ultima è quasi interamente responsabile della mutagenicità del PM si ritiene possibile tale confronto.

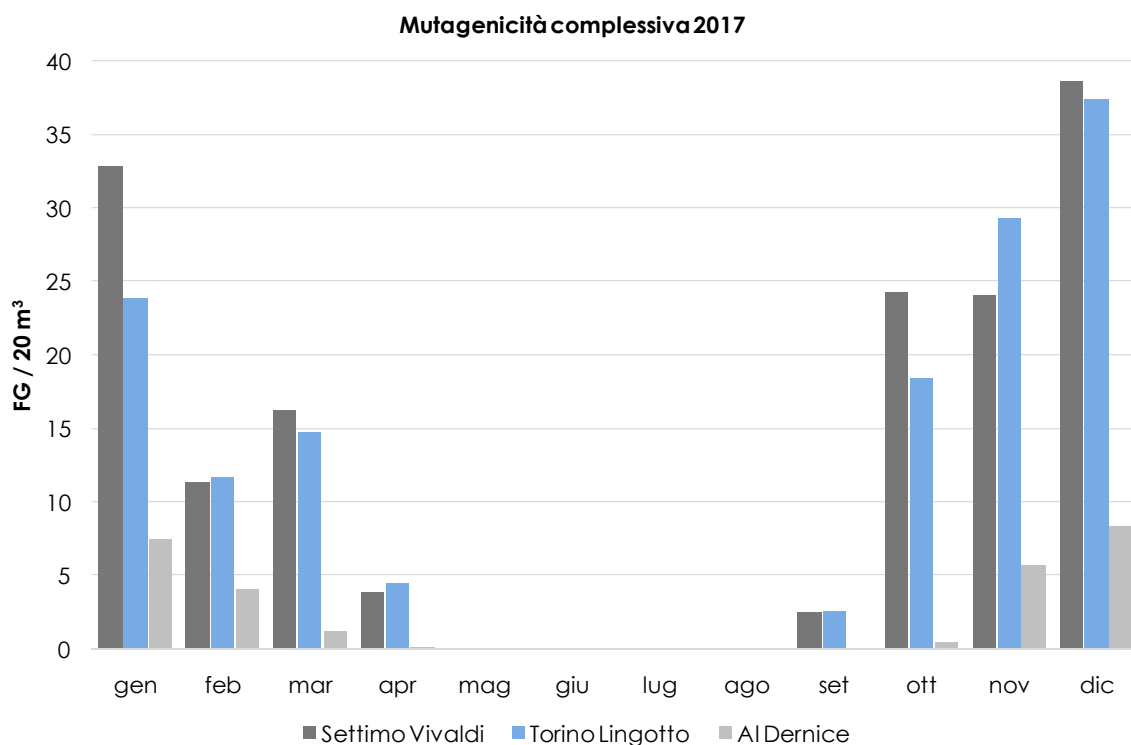


FIGURA 46: Mutagenicità complessiva - confronto tra le stazioni in esame. Non si riscontrano significative differenze nella mutagenicità complessiva delle stazioni di To-Lingotto e Settimo-Vivaldi. Nella stazione di Dernice non si evidenziano particolari criticità.

Il grafico seguente (FIGURA 47) mostra i risultati ottenuti nel 2007 sul PM10 della stazione di To-Consolata e i valori ottenuti sulle stazioni di Settimo e To-Lingotto nel 2016 e nel 2017.

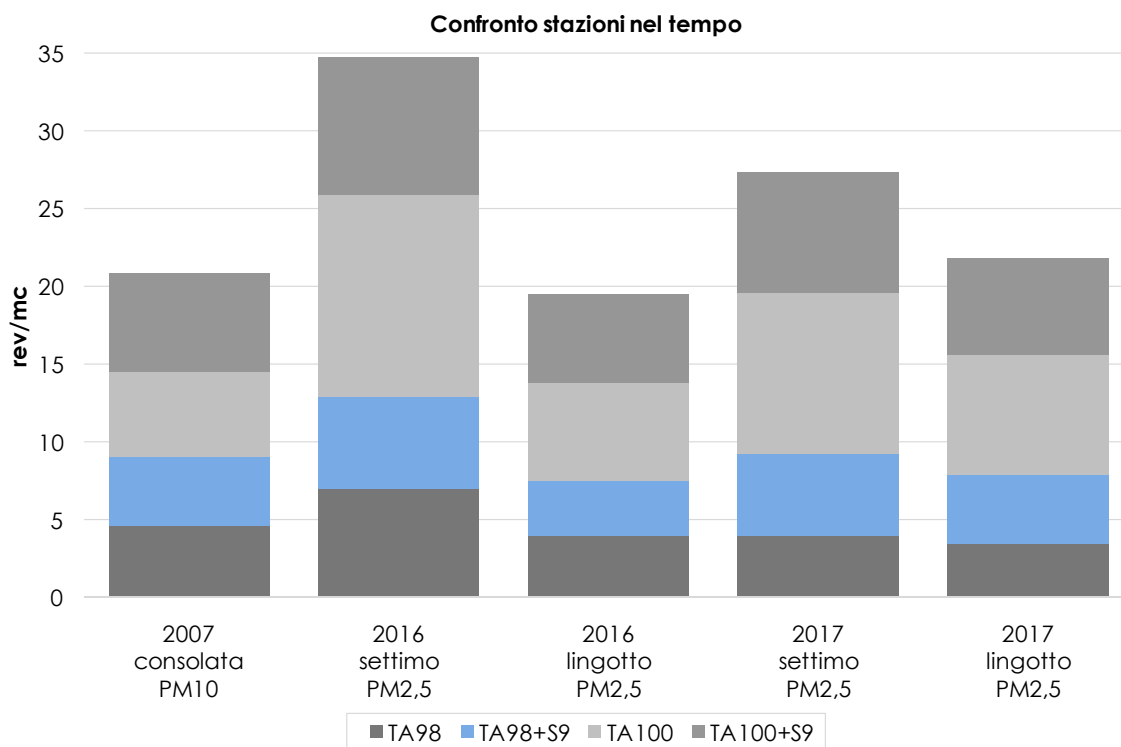


FIGURA 47: confronto dati storici. La mutagenicità complessiva dell'anno 2017 è comparabile a quella riscontrata nelle stesse stazioni nell'anno precedente e nel 2007 nella stazione di To-Consolata (

FIGURA 48).

La presenza di nitro composti (mutageni diretti) nel PM2,5 è stata valutata mediante l'utilizzo dei ceppi TA98NR e YG1021. Tali ceppi hanno fornito risposte rispettivamente inferiori e superiori al ceppo TA98 indicando un buon contributo dei nitro composti alla mutagenicità totale riscontrata (figure 7, 8, 9).

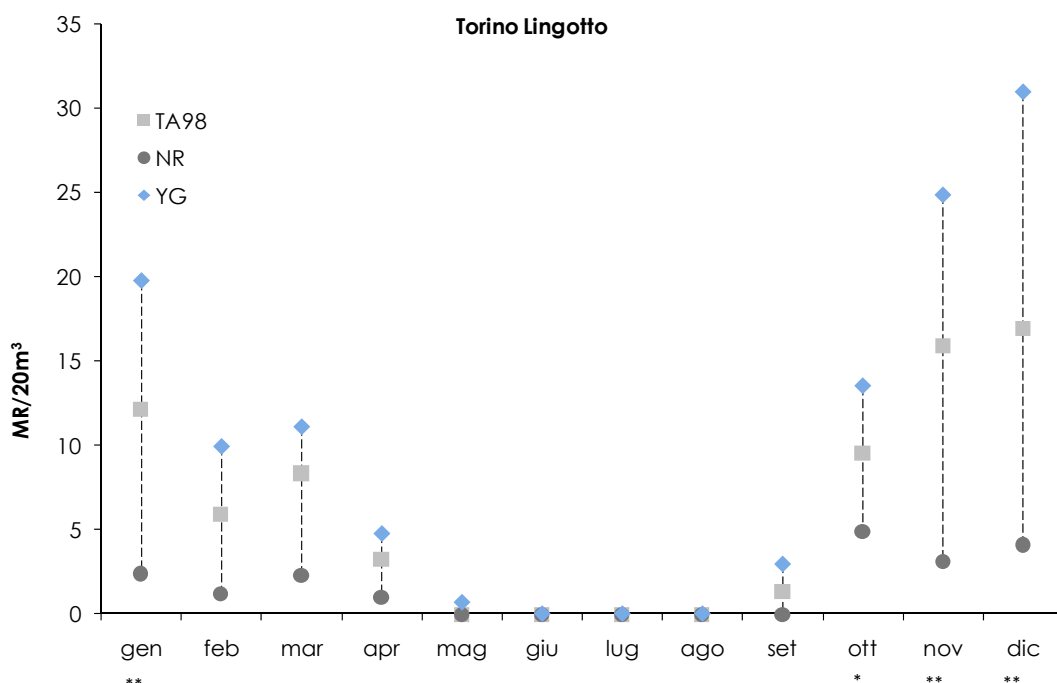


FIGURA 48: valutazione di nitro composti nella stazione di To-Lingotto. La risposta ottenuta con i ceppi TA98NR e YG1021 nel periodo invernale, differisce significativamente da quella ottenuta con il ceppo TA98 (** $p < 0,01$ * $p < 0,05$).

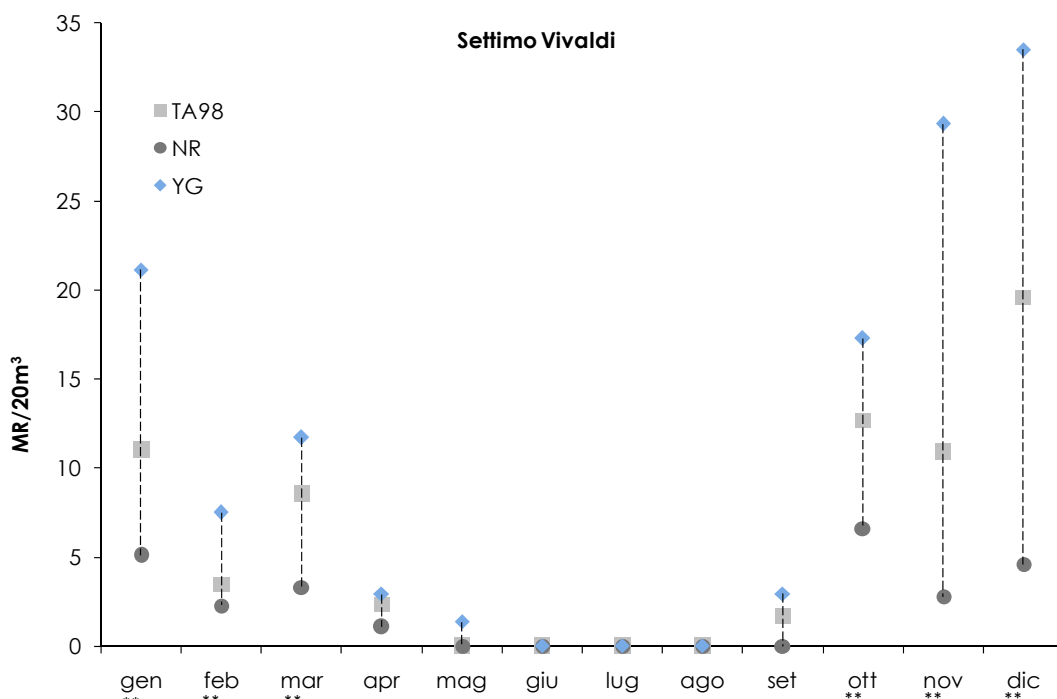


FIGURA 49: valutazione di nitro composti nella stazione di Settimo Vivaldi. La risposta ottenuta con i ceppi TA98NR e YG1021 nel periodo invernale, differisce significativamente da quella ottenuta con il ceppo TA98 (** $p < 0,01$).

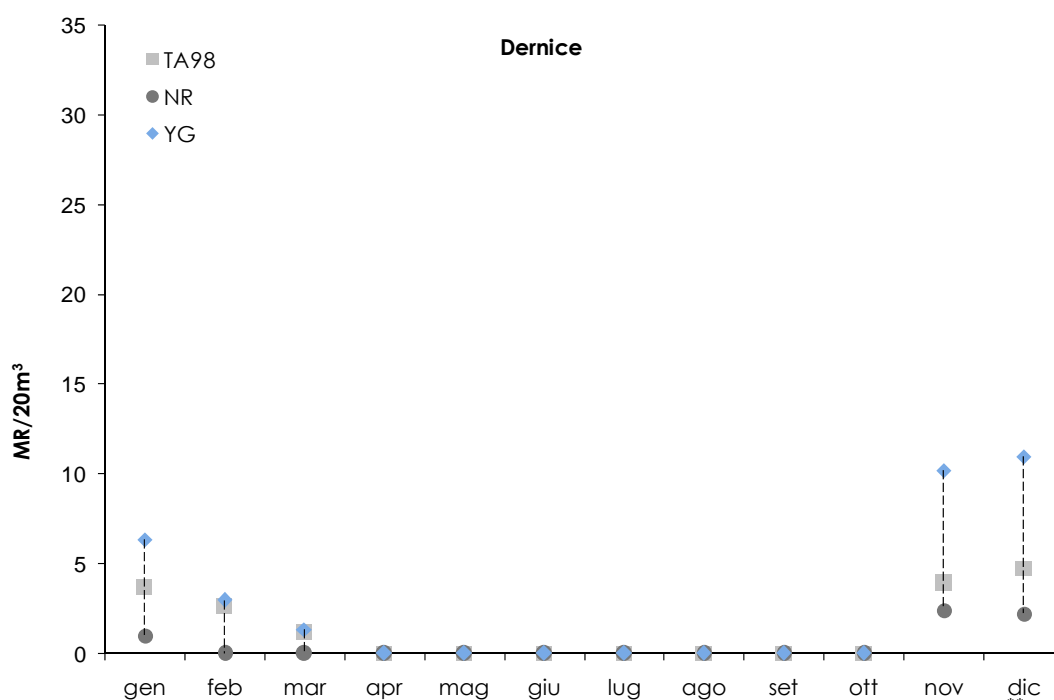


FIGURA 50: valutazione di nitro composti nella stazione di Dernice. La risposta ottenuta con i ceppi TA98NR e YG1021 differisce significativamente da quella ottenuta con il ceppo TA98 (** p<0,01) solo nel mese di dicembre.

CONSIDERAZIONI FINALI

La maggior parte dei campioni analizzati nel corso del 2017 ha fornito risultati positivi.

I dati di mutagenesi mostrano lo stesso andamento stagionale evidenziato negli anni precedenti, con valori particolarmente elevati nel periodo invernale. Le condizioni di stabilità atmosferica che si verificano durante il periodo invernale con il conseguente scarso ricambio dei composti inquinanti favoriscono l'assorbimento degli stessi sulle polveri; nello stesso periodo le emissioni dovute al riscaldamento domestico tendono ad incrementare la concentrazione di sostanze genotossiche nell'ambiente.

La frazione del particolato con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm è la più significativa ai fini della stima del danno per la salute, non solo in considerazione del potere di penetrazione e della persistenza biologica, ma anche in conseguenza delle specie chimiche presenti. Sono infatti numerosi i composti chimici presenti nel PM2,5 che possiedono una riconosciuta capacità genotossica. L'articolata risposta ottenuta con tutti i ceppi, con e senza attivazione metabolica, conferma la complessità della matrice analizzata. In particolare il ceppo TA98 ha risposto maggiormente evidenziando la presenza di composti mutageni ad azione diretta sul DNA con un meccanismo di azione per inserzione o delezione di basi azotate.

La stazione di fondo urbano To-Lingotto non mostra significative differenze con quella di traffico urbano Settimo-Vivaldi. Viceversa la stazione di fondo rurale Dernice, si conferma fornire bassi livelli di mutagenicità, significativamente differenti dalle due stazioni precedenti.

Si segnala la forte risposta ottenuta con il test di Ames in entrambe le stazioni cittadine nel mese di ottobre. I valori ottenuti, sono più che raddoppiati rispetto all'anno precedente, Tale incremento è probabilmente da attribuire agli inquinanti aerodispersi derivanti dagli incendi boschivi che hanno flagellato la regione Piemonte durante il mese di ottobre.

Le comparazioni con i dati di genotossicità ottenuti in passato, non evidenziano significativi miglioramenti della qualità dell'aria.

La risposta ottenuta con i ceppi TA98NR e YG1021 giustifica la maggiore risposta del ceppo TA98 senza attivazione metabolica e pone l'accento sul contributo dei nitro composti alla mutagenicità complessiva del particolato atmosferico. I nitro-IPA sono infatti composti mutageni diretti, non necessitano cioè di attivazione metabolica per esplicare la loro azione genotossica.

Fra i numerosi test di mutagenesi ambientale disponibili, quello di Ames (test di reversione genica in *Salmonella typhimurium*) è sicuramente il più utilizzato anche grazie alla sua relativa semplicità di

esecuzione, rapidità, economicità, e soprattutto dal buon valore predittivo nei confronti della potenziale cancerogenicità di miscele complesse come le matrici ambientali. Infatti, l'interesse rivolto ai test di mutagenesi a breve termine si basa sul presupposto che vi sia una correlazione tra evento mutagenetico e cancerogenetico per le sostanze genotossiche.

In considerazione del fatto che le polveri sottili sono state recentemente incluse nel gruppo 1 IARC (sostanze cancerogene per l'uomo), il monitoraggio della qualità dell'aria con i test di mutagenesi rappresenta dunque un valido strumento per la valutazione della qualità dell'aria.

STUDIO DELLA CONCENTRAZIONE NUMERICA DI PARTICELLE ULTRAFINI NELL'AREA METROPOLITANA TORINESE – RISULTATI ANNO 2017 ED ANALISI DELLA SERIE STORICA

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

Milena Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

INTRODUZIONE

Cos'è il particolato? Gli studi europei ed internazionali da anni stanno cercando di indagare sulla composizione e sulla dimensione di questo complesso inquinante, che è in realtà una somma di sostanze e presenta varie forme e dimensioni. L'eterogeneità del particolato e la sua diffusione su area vasta ha determinato e continua a determinare l'estrema difficoltà nell'adozione di strumenti politici pianificatori per la diminuzione delle sue concentrazioni in atmosfera ed il raggiungimento degli obiettivi europei.

Gli studi tossicologici hanno osservato effetti attribuibili soprattutto alle polveri ultrafini in relazione alla elevata superficie specifica e alla capacità di penetrare in profondità negli alveoli polmonari e di raggiungere il circolo ematico. Nel nostro paese, ma anche in ambito europeo, sono ancora relativamente pochi gli studi sulla concentrazione numerica di particelle ultrafini in aria ambiente, in particolare se si fa riferimento a campagne di lungo periodo che tengano conto della variabilità stagionale delle condizioni di formazione/rimozione del particolato e della conseguente variabilità delle condizioni di esposizione della popolazione. La tematica è inoltre di particolare rilevanza in un'area come la conurbazione torinese che è notoriamente una delle più critiche d'Europa in relazione al particolato atmosferico.

Dal 2009 Arpa e la Città Metropolitana di Torino hanno promosso uno specifico progetto di indagine basato su misure di lungo periodo che ha raggiunto i seguenti obiettivi:

- costruire una prima base dati dei valori di concentrazione numerica di particelle ultrafini nell'area urbana di Torino, sulla base di misure di lungo periodo rappresentative delle diverse condizioni meteorologiche. Sono state quindi effettuate misure sia in prossimità del suolo che in quota, in relazione ai fenomeni di confinamento degli inquinanti atmosferici negli strati più bassi della troposfera che sono caratteristici della pianura padana. Le misure in quota sono state condotte da ottobre 2009 a giugno 2012, all'ultimo piano del grattacielo sede della Città Metropolitana di Torino, in Corso Inghilterra 7/9, ad un' altezza di 50 m. Da ottobre 2012 le misure sono condotte al suolo nella stazione di monitoraggio di To-Lingotto;
- confrontare la base dati con analoghe misure effettuate in altre aree urbane italiane e europee;
- analizzare la correlazione dei dati di concentrazione numerica rilevati con gli inquinanti atmosferici tradizionali e con i principali parametri meteorologici.

Una sintesi dei dati raccolti è stata oggetto di uno specifico capitolo all'interno delle edizioni dal 2009 al 2016 (escluso il 2012) della relazione "Uno sguardo all'aria".

ESAME DEI DATI RELATIVI ALL'ANNO 2017

Lo strumento utilizzato è un Ultrafine Particle Monitor modello 3031 della TSI Incorporated ed è in grado di misurare la concentrazione numerica di particelle da un diametro di 20 nm fino a 1 micron su 6 classi dimensionali (20-30 nm, 30-50 nm, 50-70 nm, 70-100 nm, 100-200 nm, 200-1000 nm). Da ottobre 2012 lo strumento è posto nella stazione di monitoraggio di fondo urbano di To-Lingotto.

In TABELLA 20 sono riportati i valori medi dell'anno 2017, calcolati come media delle medie orarie.

Il valore medio del periodo è $8700 \cdot 10^6$ particelle/m³ con massimi giornalieri di $31300 \cdot 10^6$ particelle/m³. I massimi medi giornalieri si sono misurati tutti nel mese di dicembre, ad eccezione della classe 200-1000 nm, per la quale il massimo è avvenuto il 27 ottobre. Come si può osservare in FIGURA 51 la frazione più rilevante di particelle è quella con diametro compreso tra i 30 e i 50 nm (circa il 23%), mentre la classe numericamente inferiore è quella più grossolana (200-1000 nm), che rappresenta circa il 5% del totale. Complessivamente le particelle ultrafini (al di sotto dei 100 nm) rappresentano il 76 % del totale.

	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	200-1000 nm	Totale
Minima media giornaliera	330*10 ⁶	260*10 ⁶	140*10 ⁶	100 *10 ⁶	80*10 ⁶	20*10 ⁶	930*10 ⁶
Massima media giornaliera	4800*10 ⁶	7100*10 ⁶	5800*10 ⁶	5500*10 ⁶	5600*10 ⁶	2200*10 ⁶	31300*10 ⁶
Media delle medie giornaliere	1600*10 ⁶	2000*10 ⁶	1500*10 ⁶	1500*10 ⁶	1700*10 ⁶	440*10 ⁶	8700*10 ⁶
Giorni validi	364	364	364	364	364	364	
Percentuale giorni validi	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Media dei valori orari	1600*10 ⁶	2000*10 ⁶	1500*10 ⁶	1500*10 ⁶	1700*10 ⁶	450*10 ⁶	8700*10 ⁶
Massima media oraria	22400*10 ⁶	22400*10 ⁶	11000*10 ⁶	8900*10 ⁶	8700*10 ⁶	4200*10 ⁶	77600*10 ⁶
Ore valide	8726	8726	8726	8726	8726	8726	
Percentuale ore valide	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Distribuzione percentuale rispetto al totale	18%	23%	17%	17%	19%	5%	

TABELLA 20: elaborazioni statistiche anno 2017.

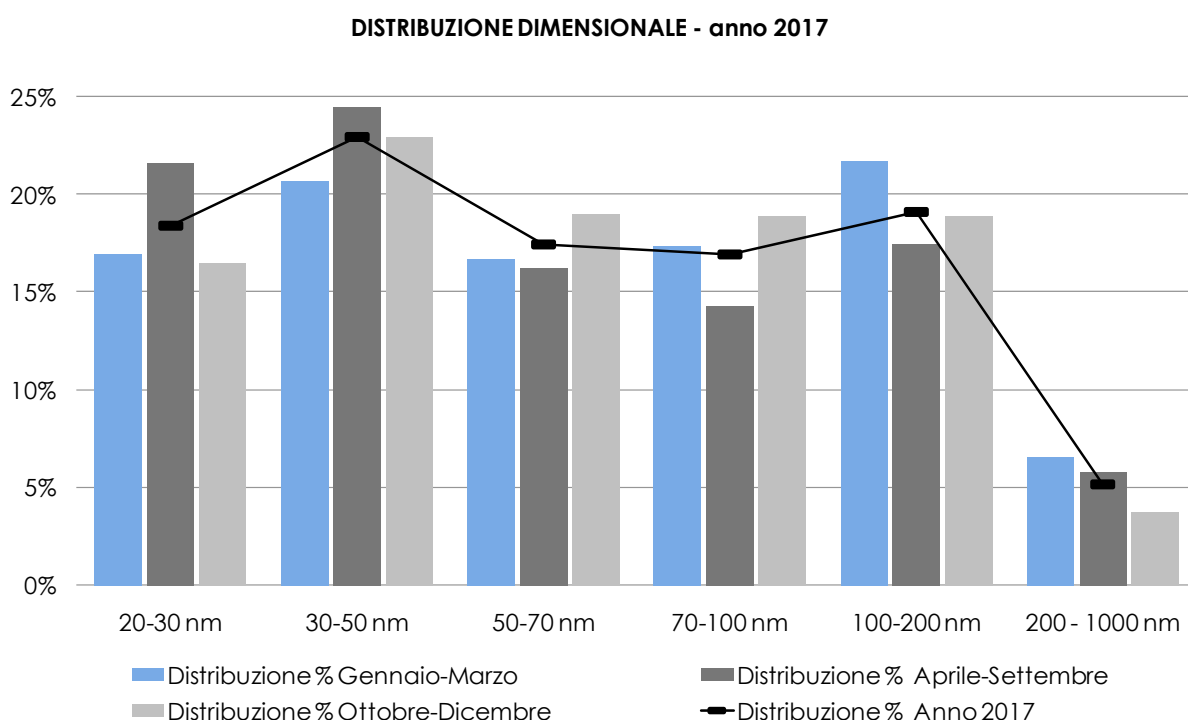


FIGURA 51: distribuzione dimensionale delle particelle – Anno 2017.

Per quanto riguarda i valori assoluti di concentrazione, in assenza di riferimenti normativi può essere utile un confronto con misure condotte in altri siti di fondo urbano europei, che hanno fornito i seguenti risultati (tra parentesi l'intervallo dimensionale di misura dello strumento):

- Barcellona²⁴ (5-1000 nm): 17000 * 10⁶ particelle/m³
- Lugano²⁵ (7-1000 nm): 15000 * 10⁶ particelle/m³
- Nord Kensington UK² (7-1000 nm): 12000 * 10⁶ particelle/m³
- Roma²⁶ (7-1000 nm): 25000 * 10⁶ particelle/m³ (Marconi et al 2007)
- Bologna²⁷ (5,6 - 560 nm): 9000 * 10⁶ particelle/m³
- Piacenza²⁸ (7nm – 10 µm, strumento identico a quello in esame): 5000-11000 * 10⁶ particelle/m³
- Leicester²⁹ (strumento identico a quello in esame): 8000* 10⁶ particelle/m³

²⁴ Reche et al, New considerations for PM, Black Carbon e and particle number concentration for air quality monitoring across different European cities, Atmos. Chem. Phys., 11 6207-6227, 2011

²⁵ Reche et al, New considerations for PM, Black Carbon e and particle number concentration for air quality monitoring across different European cities, Atmos. Chem. Phys., 11 6207-6227, 2011

²⁶ Marconi et al, Two Years of fine and ultrafine particles measurements in Rome, Italy, J Toxicol Environ Health, 70, 213-21, 2007

²⁷ Poluzzi Vanes, Ricciardelli Isabella, Ferrari Silvia, Aerosol size distribution: aspetti teorici e primi risultati di monitoraggio effettuati da Arpa Emilia-Romagna, in Qualità dell'Ambiente Urbano VII Rapporto Annuale -Focus su La Qualità dell'Aria, 2011, ISPRA

²⁸ Ozgen S., Lonati G., Progetto UPUPA: i rilevamenti ambientali, Convegno Progetto UPUPA, Piacenza, 22/1/2014

- Londra⁶ (strumento identico a quello in esame): $8000 \cdot 10^6$ particelle/m³
- Anversa³⁰ (strumento identico a quello in esame): $8000 \cdot 10^6$ particelle/m³ (stazione suburbana), $11000 \cdot 10^6$ particelle/m³ (stazione in parco pubblico)
- Dresda³¹ (10-100 nm): $4700 \cdot 10^6$ particelle/m³
- Praga⁷(10-100 nm): $8200 \cdot 10^6$ particelle/m³

In Italia la serie storica più completa disponibile in area urbana è quella prodotta presso il sito di misura dell'Istituto Superiore di Sanità di Viale Regina Elena a Roma³² dotata di una apparecchiatura in grado di determinare le particelle di dimensioni tra 7 nm e 10 µm. Il sito in questione è caratterizzato da un traffico veicolare più elevato di quello del sito di Torino (dell'ordine di 25.000 veicoli/giorno). Il dato relativo al 2006 è dell'ordine di $30.000 \cdot 10^6$ particelle/m³ e quindi circa sette volte maggiore nel sito di viale Augusto Monti.

Analizzando le medie per classe dimensionale per i tre periodi "estivo" (aprile-settembre) ed "invernale" (trimestri da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre), osservabili in FIGURA 52, si evidenzia come siano notevolmente più alte le medie del terzo trimestre rispetto al primo (mediamente 1,6 volte, ma nel caso delle particelle 30-50 nm si arriva al doppio). Negli anni 2015-2016 il fenomeno era avvenuto, ma non con la stessa entità (nel 2015 il numero di particelle di gennaio era 1,2 volte quello di ott-dic, mentre nel 2016 1,1 volte). In generale, comunque, a partire dalle dimensioni di 50 nm i valori invernali ed estivi si allontanano sempre più tra di loro (i valori del trimestre gennaio-marzo arrivano ad essere 1,8 volte quelli estivi per le particelle tra i 100 e i 200 nm, mentre nel trimestre ottobre-dicembre la massima differenza si riscontra nell'intervallo 70-100 nm, per il quale i valori di ottobre-dicembre sono 3,1 volte quelli di aprile-settembre). Sembra pertanto che in periodo invernale sia favorita l'agglomerazione delle particelle in particelle più grandi (soprattutto nell'intervallo 100-200 nm) e la condensazione di gas semivolatili su particelle preesistenti; inoltre si deve ricordare che nel periodo invernale si aggiungono alle usuali fonti di traffico anche il riscaldamento civile ed industriale. Questi ultimi oltre ad essere emettitori diretti di particolato, sono sorgenti di inquinanti quali ossidi di azoto e zolfo, i quali nelle condizioni atmosferiche tipiche dell'inverno in pianura padana danno origine a nitrato e solfato d'ammonio in fase particolata.

Nel 2017 il mese in cui le particelle di dimensioni superiori ai 100 nm hanno rappresentato la maggioranza rispetto al totale è stato ottobre. Bisogna ricordare che nell'ottobre 2017 si è aggiunta un'altra fonte rispetto alle usuali, che sicuramente ha inciso sul numero di particelle, vale a dire gli incendi boschivi sviluppatisi nelle valli piemontesi.

A livello annuale la variabilità del corso della giornata è più ampia per le classi dai 20 ai 200 nm rispetto alle classi con dimensioni maggiori di 200 nm, che presentano un andamento più costante, in accordo con altri dati in letteratura³³.

In estate si evidenzia un andamento con un massimo assoluto alle 8 del mattino ed un picco serale meno pronunciato intorno alle 23 (FIGURA 54), che permane fino alle prime ore notturne per tutte le classi (invece per la classe superiore ai 200 nm l'andamento temporale non presenta variazioni significative). La concentrazione diminuisce nell'arco delle ore più calde della giornata, in corrispondenza dell'innalzamento dello strato rimescolato. Si verifica un lieve incremento intorno alle ore 14-15 in periodo estivo per le particelle dai 20 a 30 nm, imputabile presumibilmente alla formazione di aerosol secondario a seguito di nucleazione per reazioni fotochimiche in atmosfera. Risultati analoghi sono stati ottenuti a San Vittore del Lazio³⁴. La forte radiazione solare rende disponibile il radicale ossidrilico OH che ossida l'SO₂ disponibile ad acido solforico, che porta poi alla formazione di particolato. Tale incremento si ha in corrispondenza del minimo della umidità relativa dell'aria, mentre rispetto al picco della radiazione solare ci sono 2-3 ore di ritardo (FIGURA 53).

²⁹ Progetto INTERREG North-West Europe Joaquin, Ultrafine particles in Joaquin cities, www.joaquin.eu

³⁰ Progetto INTERREG North-West Europe Joaquin, Intra-urban variability of ultrafine particles in Antwerp (February and October 2013), VMM (2014)

³¹ Handbook UFIREG Project, www.ufireg-central.eu

³² Marconi et al. – Livelli di materiale particolato ultrafine nell'atmosfera e la loro relazione con il traffico auto veicolare, Atti del Seminario "Le emissioni industriali e le immissioni- I nuovi problemi posti dalle particelle ultrafini - Rimini 2007

³³ Aalto, Hameri et al., Aerosol particle number concentration measurements in five European cities using TSI-3022 condensation particle counter over a three-year period during health effects of air pollution on susceptible subpopulations", J Air Waste Manag Assoc. 2005 Aug;55(8):1064-76.

³⁴ Buonanno, Fuoco, Stabile, Viola, La misura dell'esposizione alle polveri aerodisperse: dal PM10 alle nano particelle, 2011, Libellula Edizioni

La variabilità delle concentrazioni è molto più ampia nel periodo invernale piuttosto che quello estivo e aumenta in generale con la diminuzione della dimensione delle particelle. Mentre in estate i rapporti massimo/minimo hanno valori compresi tra 1,5 e 1,9, in inverno variano da 1,5 per le particelle maggiori di 200 nm a 3 per le particelle di dimensione 20-30 nm. In inverno il picco serale si presenta più pronunciato rispetto a quello mattutino per le particelle al di sopra dei 70 nm, per le quali mediamente i valori notturni sono superiori a quelli diurni (FIGURA 54).

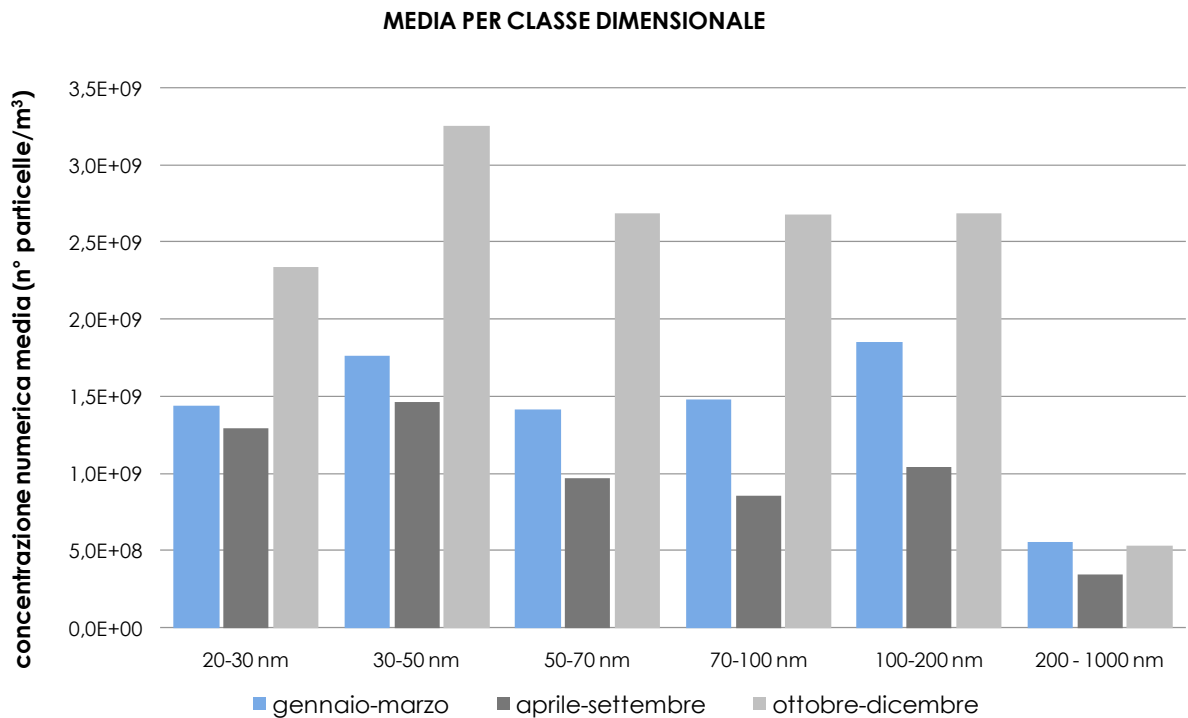


FIGURA 52: media per classe dimensionale.

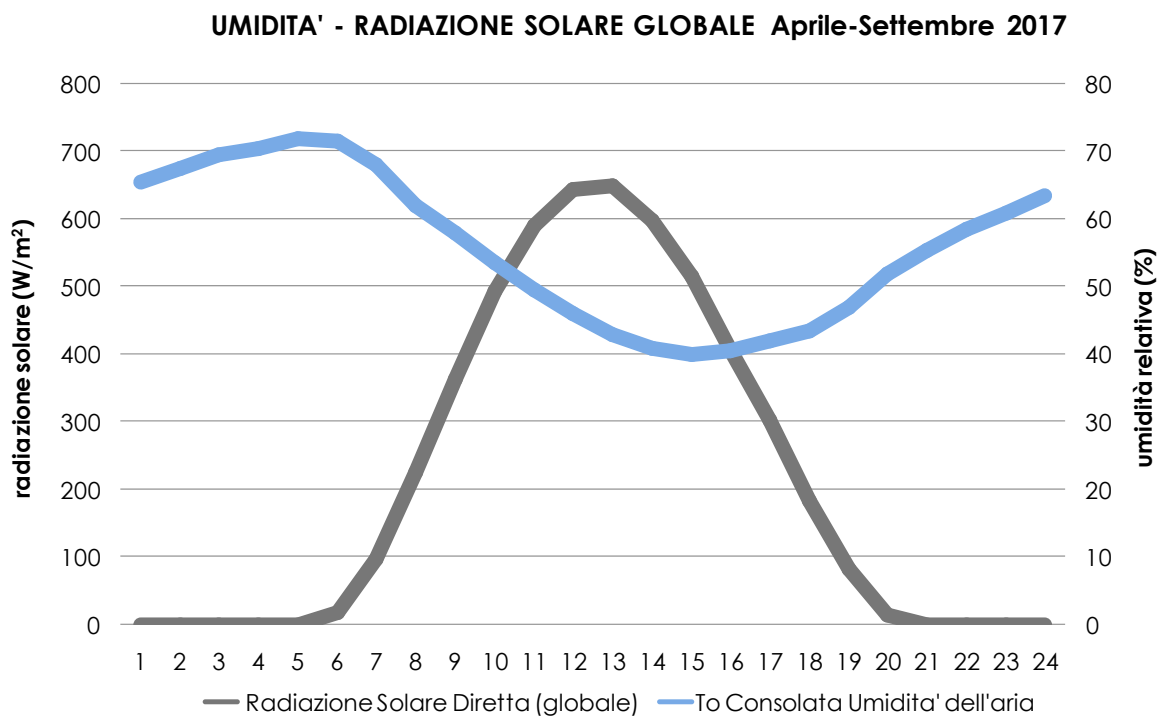


FIGURA 53: giorno medio Umidità relativa e radiazione solare – Aprile-Settembre 2017.

A tale proposito si può ipotizzare che il fenomeno sia determinato dalla coagulazione delle particelle più fini in particelle di maggiori dimensioni e dalla condensazione di gas semivolatili, a causa della stabilità notturna e della minore temperatura, oltreché della maggiore umidità relativa. Quest'ultima favorisce le reazioni acquose in fase eterogenea, dando origine a formazione secondaria di nitrato e solfato d'ammonio³⁵.

In generale per tutte le classi dimensionali il picco serale nel periodo più freddo si verifica alle ore 20-21 rispetto alle ore 22-23 dell'estate, presumibilmente a causa del posticipo delle condizioni di stabilità notturna nel periodo caldo rispetto a quello freddo; mediamente infatti dall'analisi dei profili di temperatura con l'altezza risulta che l'ora di inizio dell'inversione termica in inverno si registra alle 19.30, mentre in aprile-settembre alle 21.00.

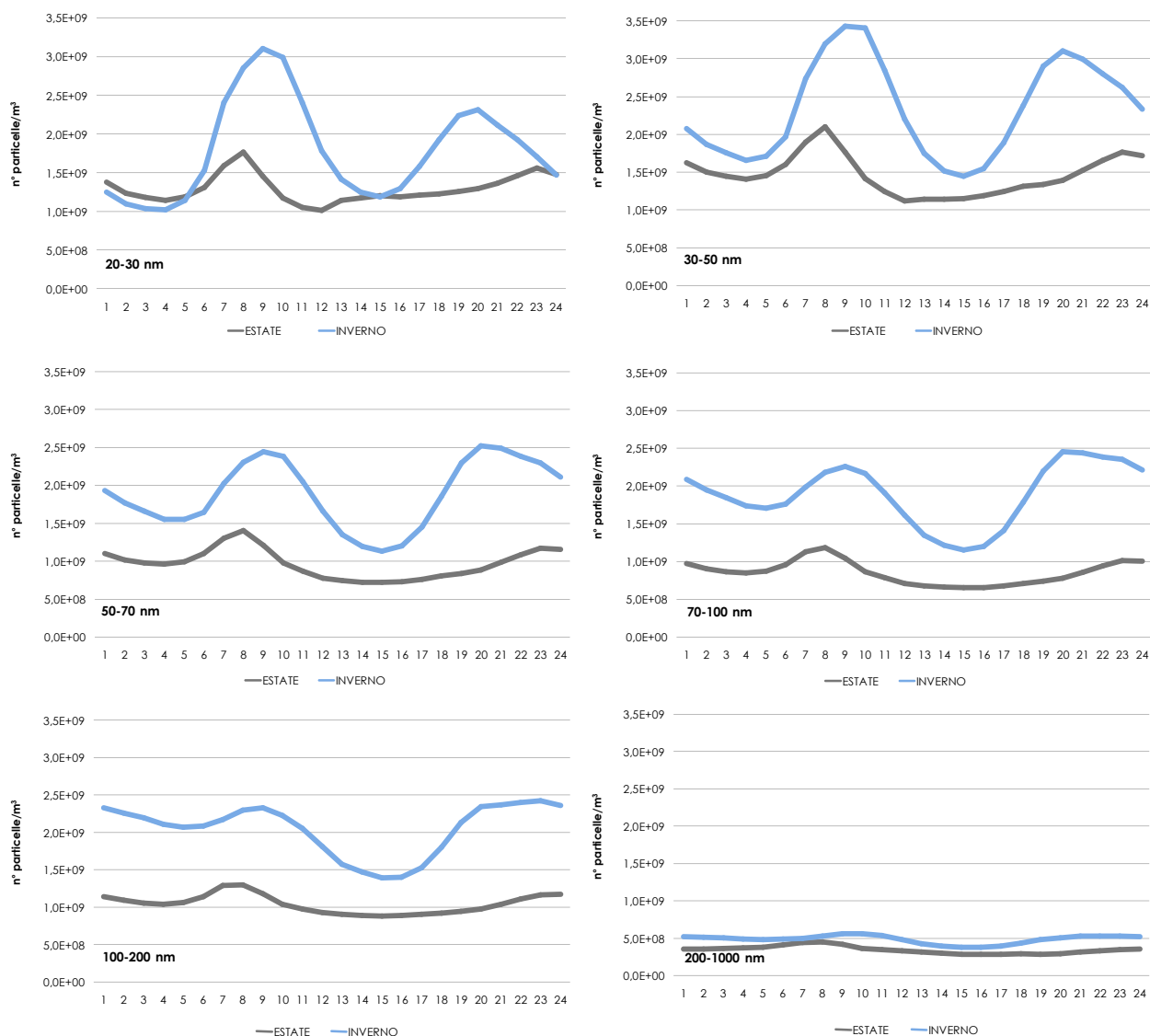


FIGURA 54: andamento giorno medio, confronto per classe dimensionale.

Per quanto riguarda gli andamenti di lungo periodo, in FIGURA 55 è rappresentato l'andamento delle concentrazioni medie mensili totali di particelle relative all'anno 2017.

Si osserva che i massimi assoluti si collocano nel periodo invernale, come per le concentrazioni in massa di PM10 e PM2,5. Per le particelle inferiori ai 50 nm, però, la differenza tra concentrazioni estive ed invernali è più bassa, mentre a partire dai 70 nm ed in particolare per la frazione 100-200 nm aumenta la differenza tra le concentrazioni, che segue l'andamento del PM2,5. La frazione 100-200 nm è quindi quella che maggiormente contribuisce alla massa del particolato ed

³⁵ Wang et al, The secondary formation of inorganic aerosols in the droplet mode through heterogeneous aqueous reactions under haze conditions., Atmospheric Environment 63 (2012) 68-76

aumenta in maniera significativa nel periodo invernale quando si incrementano le emissioni in atmosfera ma anche l'aggregazione/condensazione delle frazioni più fini in frazioni più grossolane. Nel 2017 è particolarmente evidente il picco di particelle tra i 100 e i 200 nm e quelle tra 200-1000 nm avvenuto in ottobre, causato dagli incendi in Val di Susa ed aggravato dalla completa assenza di piogge nel mese. Infatti il picco massimo di particelle nel mese è avvenuto il 24 ottobre per le classi 20-30 nm e 30-50 nm; per le particelle 50-70 nm il picco si è verificato il 25 ottobre, mentre per quelle tra i 70 e i 200 nm il 26 ottobre. Per le particelle più grandi, al di sopra dei 200 nm, il massimo è avvenuto il 27 ottobre. C'è stato pertanto un progressivo aumento in dimensioni delle particelle emesse dagli incendi, per i fenomeni di aggregazione delle particelle e condensazione in atmosfera dei composti organici semivolatili.

Per quanto riguarda la correlazione con gli altri inquinanti misurati nelle stazioni al suolo, l'elaborazione statistica dei dati a livello di medie giornaliere è stata effettuata separatamente per il periodo aprile-settembre (periodo detto "estivo") e gennaio-marzo più ottobre-dicembre (periodo "invernale").

In estate (TABELLA 21) la correlazione con gli altri inquinanti misurati presso la stessa stazione è in generale scarsa, soprattutto con inquinanti primari come il monossido di azoto e il benzene. Sono invece ben correlate le concentrazioni di PM10 e PM2,5 al suolo con le particelle superiori ai 100 nm, che hanno una maggiore massa rispetto alle parti celle più fini.

ANDAMENTO MEDIE MENSILI - Anno 2017

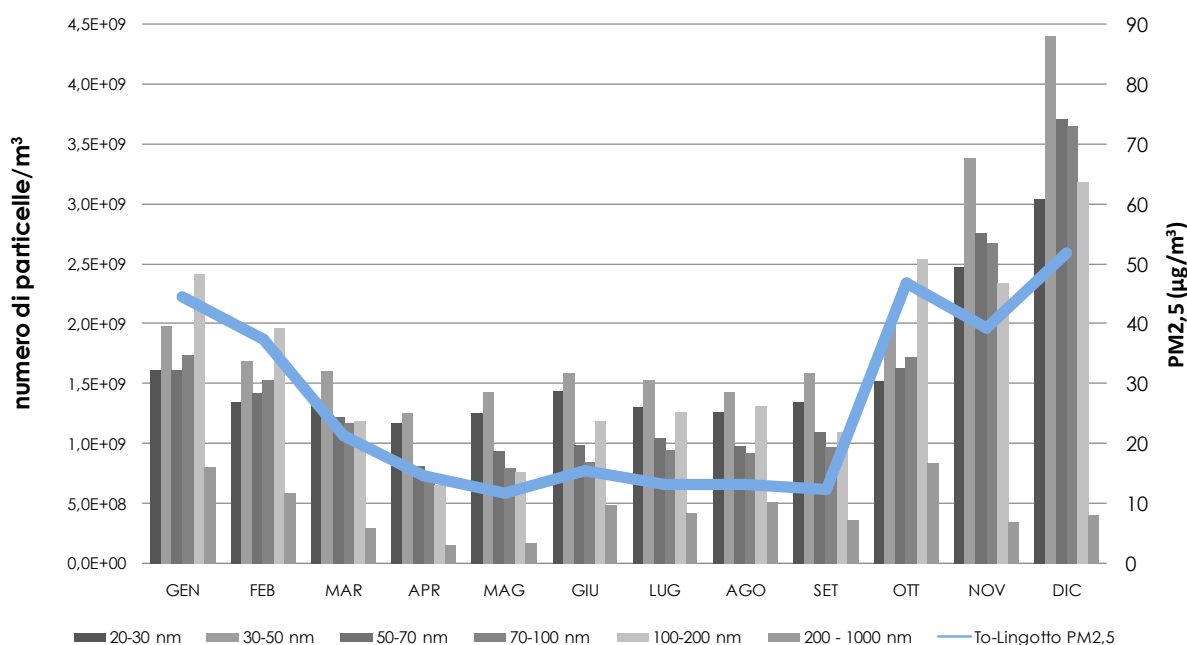


FIGURA 55: medie mensili del numero di particelle.

Nel periodo più freddo invece, come riportato in TABELLA 22, la correlazione delle particelle dai 50 ai 100 nm è buona anche con gli inquinanti di origine primaria, come il monossido di azoto e il benzene. Una possibile spiegazione è legata al fatto che la maggiore stabilità atmosferica e la maggiore frequenza di episodi di inversione termica fa sì che gli inquinanti si accumulino in maniera più omogenea negli strati atmosferici prossimi al suolo. La correlazione tra PM10 e PM2,5 al suolo e le particelle superiori ai 100 nm è ottima, con coefficienti superiori a 0,8. Le particelle con dimensione inferiore ai 30 nm invece risultano scarsamente o per nulla correlate con la concentrazione degli altri gas inquinanti, tranne che con il monossido di azoto e il benzene, dove la correlazione è circa 0,6. Dalla fine del 2016 nella stazione di To-Lingotto si è iniziato a misurare l'ammoniaca (NH₃), precursore del particolato soprattutto in periodo invernale, in quanto contribuisce alla formazione di solfato e nitrato d'ammonio. La correlazione con il numero di particelle, a differenza dell'anno 2016, è però scarsa sia in periodo estivo che in quello invernale.

R di Pearson	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	200-1000 nm
Torino - Lingotto, PM10 - Basso Volume	-0,28	-0,26	0,00	0,33	0,60	0,83
Torino - Lingotto, PM2,5 - Basso Volume	-0,33	-0,33	-0,09	0,29	0,64	0,89
Torino Lingotto, O ₃	-0,23	-0,13	0,06	0,34	0,58	0,22
Torino Lingotto, NO	0,14	0,11	0,15	0,14	0,05	0,24
Torino Lingotto, NO ₂	0,22	0,25	0,39	0,39	0,22	0,36
Torino Lingotto, Benzene	0,12	0,02	0,11	0,15	0,02	0,34
Torino Lingotto, NH ₃	-0,14	-0,12	0,02	0,20	0,39	0,42

TABELLA 21: correlazioni con i principali parametri chimici nel periodo aprile-settembre 2017.

R di Pearson	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	200-1000 nm
Torino - Lingotto, PM10 - Basso Volume	0,26	0,34	0,45	0,58	0,87	0,82
Torino - Lingotto, PM2,5 - Basso Volume	0,28	0,36	0,48	0,60	0,88	0,77
Torino Lingotto, O ₃	-0,40	-0,45	-0,51	-0,55	-0,55	-0,32
Torino Lingotto, NO	0,66	0,68	0,74	0,78	0,78	0,40
Torino Lingotto, NO ₂	0,30	0,30	0,35	0,42	0,63	0,64
Torino Lingotto, Benzene	0,58	0,65	0,73	0,80	0,83	0,38
Torino Lingotto, NH ₃	0,10	0,15	0,24	0,33	0,43	0,17

TABELLA 22: correlazioni con i principali parametri chimici nel periodo gennaio-marzo più ottobre-dicembre 2017.

ANALISI DELLA SERIE STORICA

Il monitoraggio è stato condotto in quota (a 50 m) da ottobre 2009 fino a luglio 2012. In FIGURA 56 si evidenzia l'andamento dal 2010 al 2017, escludendo il 2009 in quanto sono stati misurati solo dati invernali. La concentrazione numerica delle particelle è stata messa a confronto con la media del PM2,5 nello stesso periodo di monitoraggio. Il 2010, il 2014 ed il 2016 sono stati caratterizzati da una meteorologia molto favorevole alla dispersione delle polveri PM10, in quanto sono stati rilevanti i fenomeni di precipitazione in termini di mm di pioggia caduti e numero di giorni piovosi. In particolare il 2014 ed il 2016 hanno registrato il superamento del valore limite annuale del PM10 esclusivamente nella stazione di To-Grassi in tutto il territorio provinciale, fenomeno mai avvenuto in precedenza. Nel 2015 il numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 è stato di poco superiore all'anno precedente, ma sono stati particolarmente critici i mesi di novembre e dicembre, mentre i primi dieci mesi dell'anno ricadono nella media (o addirittura al di sotto, come ottobre) del periodo 2006-2015. Il 2016 è stato l'anno che ha registrato il minor numero di giorni favorevoli all'accumulo da quando è iniziato il monitoraggio del numero di particelle, ma se il PM10 in Torino e provincia ha registrato i valori tra i più bassi mai misurati da sempre, il numero di particelle è stato il quarto più alto mai rilevato da quando ne è iniziata la misura. L'andamento complessivo del numero di particelle non rispecchia quindi quello della concentrazione in massa del particolato, fenomeno evidente soprattutto nei primi quattro anni di monitoraggio.

Scendendo nel dettaglio della distribuzione del numero di particelle per classe dimensionale (FIGURA 57), si osserva che nel 2010 è stata molto maggiore la presenza di particelle nelle classi più fini (dai 20 ai 50 nm sono il 65% del totale) rispetto a quelle più grandi a confronto con i valori registrati negli anni successivi dal 2011 al 2013, che si attestano al 25% rispetto al totale delle particelle. Nel quadriennio 2014-2017 aumenta nuovamente la percentuale delle particelle sotto i 50 nm, che raggiungono il 37 % del totale. Queste differenze, più che essere specifiche del sito di misura, sembrano maggiormente attribuibili alle caratteristiche meteorologiche verificatesi negli anni in esame, in quanto lo strumento è rimasto in quota a 50 m dal 2009 al 2012 e solo nel 2013 è stato spostato al suolo. Inoltre, a supporto di tale ipotesi, nel 2010 in periodo invernale sono state confrontate misure di PM2,5 in quota e al suolo dalle quali è emerso come l'andamento e i valori assoluti siano molto simili, per cui si può ipotizzare che queste altezze stiano all'interno dello strato rimescolato e quindi non ci siano notevoli differenze.

In alcuni casi, come negli anni 2010 e 2014, la maggiore presenza in percentuale di particelle più fini potrebbe essere attribuita proprio alle alte precipitazioni che si sono verificate, poiché la pioggia abbatte in maniera più efficace le particelle di dimensioni maggiori, come già evidenziato nel 2013 (vedasi in Sguardo all'aria 2013 il capitolo "Studio della concentrazione numerica di particelle ultrafini nell'area metropolitana torinese – Risultati Anno 2013 e confronto con misure in quota"). Allora si è valutato complessivamente che le precipitazioni avevano ridotto le

concentrazioni numeriche di circa il 20% per la classe più fine (20-30 nm), mentre per la classe di maggiori dimensioni (200-1000 nm) l'abbattimento arrivava al 50%. L'anno 2015 è stato anomalo, in quanto nei primi dieci mesi dell'anno le precipitazioni sono assolutamente confrontabili con quelle verificatesi nel 2014 (903 contro 859 mm di pioggia del 2014), ma nel novembre-dicembre a Torino non è piovuto, pertanto nelle statistiche complessive il 2015 risulta in deficit pluviometrico rispetto alla norma 1971-2000. Il numero di particelle sotto i 50 nm nel 2015 è il 34%, quindi molto simile al 35% del 2014. Il 2016 è stato più piovoso rispetto all'anno precedente, sia in termini di precipitazioni totali, sia in termini di numero di giorni piovosi (il mese con meno precipitazioni è risultato gennaio, con un solo giorno di pioggia); in questo caso il numero di particelle sotto i 50 nm è aumentato rispetto al 2015, confermando la giustificazione riguardo la maggiore efficacia di abbattimento delle particelle più grandi da parte della pioggia. Nel 2017 le precipitazioni sono state le più scarse dal 2010, ma sono aumentate le particelle sotto i 50 nm, che hanno rappresentato il 41 % del totale. L'andamento quindi è in contrasto con quanto appena illustrato, ma si deve considerare l'anomalia del periodo ottobre-dicembre, nel quale il numero di particelle è notevolmente aumentato rispetto ai mesi precedenti. Il numero di particelle del quarto trimestre 2017 ha rappresentato circa il 41% delle particelle misurate nell'anno, fenomeno che si può ricondurre anche alla presenza degli incendi in Piemonte nel mese di ottobre.

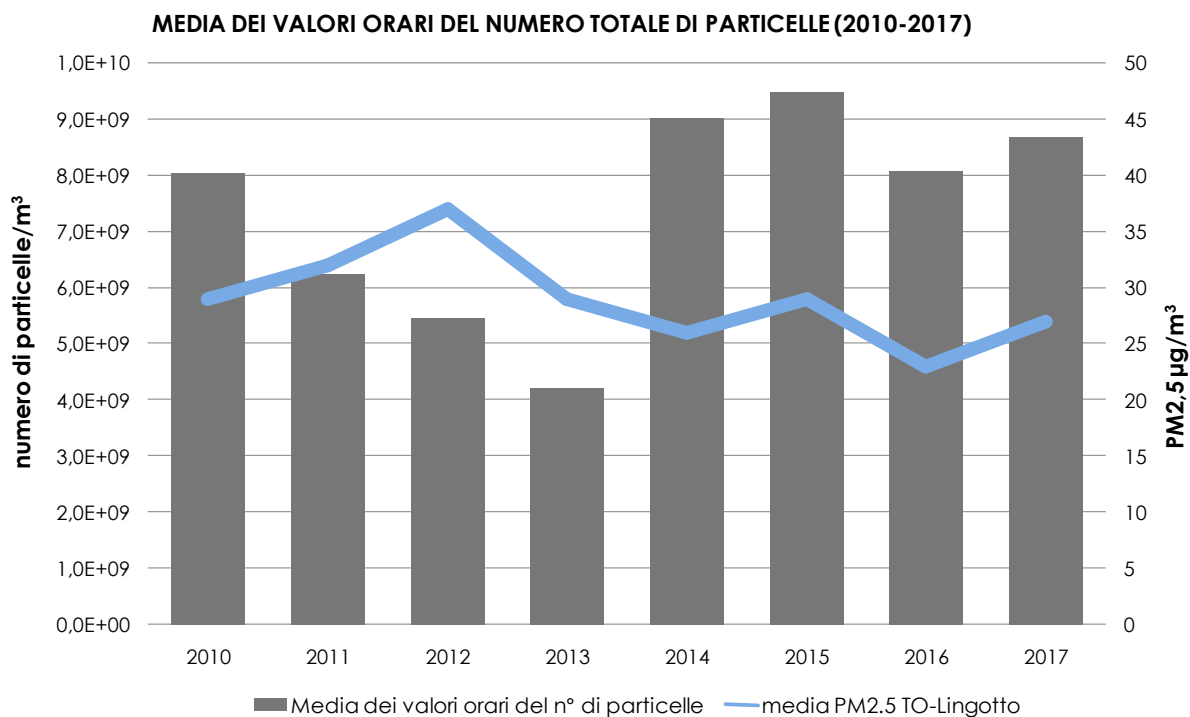


FIGURA 56: andamento dei valori medi annuali del numero di particelle e del PM2,5 dal 2010 al 2017.

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE RISPETTO AL TOTALE

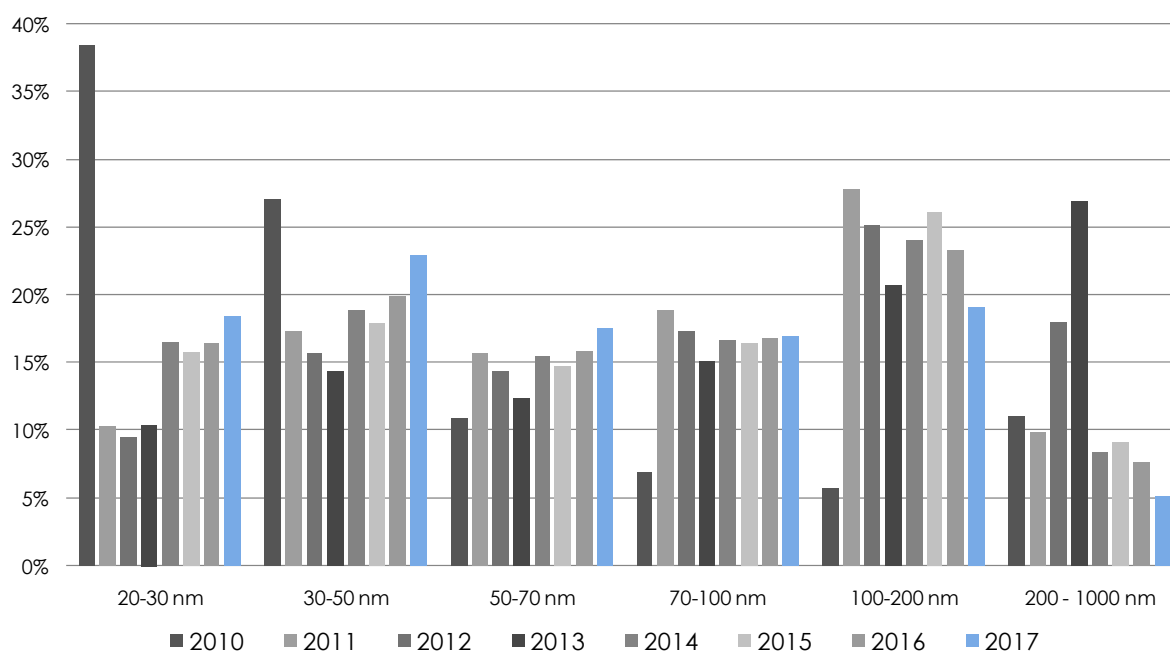


FIGURA 57: andamento della distribuzione percentuale nelle varie classi del numero di particelle.

CONCLUSIONI

Vi è una buona correlazione di lungo periodo con le misure in massa di PM10-PM2,5 effettuate nella stessa stazione soltanto per le particelle superiori ai 100 nm, mentre non si presenta correlazione significativa con le particelle di dimensioni più fini. L'andamento temporale di lungo periodo delle medie mensili, da un punto di vista qualitativo, presenta analogie con l'andamento del PM10-PM2,5 per le particelle superiori ai 50 nm.

Incrementi notevoli nel numero totale di particelle possono verificarsi in corrispondenza di diverse condizioni meteorologiche:

- quando si verificano periodi di almeno due-tre giorni consecutivi di stabilità atmosferica in condizioni di alta pressione, bassa temperatura ed inversione termica al suolo (tipicamente le giornate assolate invernali). In questo caso l'aumento nel numero di particelle avviene per tutte le classi dimensionali tranne quella più fine (20-30 nm), che mantiene valori molto più costanti;
- in presenza di giornate con umidità persistente, bassa temperatura ed in condizioni di cielo coperto (ad esempio in giorni di nebbia). Questa situazione favorisce la formazione delle particelle più grandi (100-1000 nm) per le reazioni acquose in fase eterogenea, che danno origine a nitrato e solfato d'ammonio;
- nelle giornate di alta radiazione e bassa umidità relativa (tipicamente giornate estive assolate e senza nubi), nelle quali si innalzano le particelle più fini (20-30 nm), in conseguenza alla nucleazione di nuove particelle attraverso processi di natura fotochimica.

METALLI

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

E. Calderaro e L. Milizia, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

DESCRIZIONE

I metalli pesanti costituiscono una classe di sostanze inquinanti estremamente diffusa nelle varie matrici ambientali. La loro presenza in aria, acqua e suolo può derivare da fenomeni naturali (erosione, eruzioni vulcaniche), ai quali si sommano gli effetti derivanti da tutte le attività antropiche.

Riguardo l'inquinamento atmosferico i metalli che maggiormente preoccupano sono generalmente 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 ed organi.

L'avvelenamento da zinco si manifesta con disturbi al sistema nervoso centrale, anemia, febbre e pancreatite. Il rame, invece, produce alterazioni della sintesi di emoglobina e del tessuto connettivo osseo oltre a promuovere epatiti, cirrosi e danni renali. L'intossicazione da cobalto provoca un blocco della captazione dello iodio a livello tiroideo con conseguente gozzo da ipotiroidismo, alterazioni delle fibre muscolari cardiache e disturbi neurologici. Cromo e nichel, sono responsabili, in soggetti predisposti, di dermatiti da contatto e di cancro polmonare. L'enfisema polmonare (per deficit di $\alpha 1$ antitripsina) è la principale manifestazione dell'intossicazione cronica da cadmio, cui generalmente si accompagnano danni ai tubuli renali e osteomalacia. Sia il piombo, che l'arsenico, inoltre, sono responsabili di numerose alterazioni organiche. L'avvelenamento cronico da piombo (saturnismo), ad esempio, è responsabile di anemia emolitica e danni neurologici.

Tra i metalli che sono più comunemente monitorati nel particolato atmosferico, quelli di maggiore rilevanza sotto il profilo tossicologico sono il nichel, il cadmio e il piombo. I composti del nichel e del cadmio sono classificati dalla Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro come cancerogeni per l'uomo; l'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che, a fronte di una esposizione ad una concentrazione di nichel nell'aria di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per l'intera vita, quattro persone su diecimila siano a rischio di contrarre il cancro. Nella TABELLA 23 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.

PIOMBO (Pb)		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
Anno civile	$0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 gennaio 2005
ARSENICO (As)		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	$6 \text{ ng}/\text{m}^3$	31 dicembre 2012
CADMIO (Cd)		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	$5 \text{ ng}/\text{m}^3$	31 dicembre 2012
NICHEL (Ni)		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	$20 \text{ ng}/\text{m}^3$	31 dicembre 2012

TABELLA 23: D.Lgs. 13/8/2010 n. 155, valori limite e valori obiettivo per i metalli.

ESAME DEI DATI

I dati riportati nelle tabelle che seguono si riferiscono alle concentrazioni medie annuali di arsenico, cadmio, nichel e piombo determinate nel materiale particolato aerodisperso PM10, campionato in 14 stazioni ubicate in provincia di Torino (dal mese di settembre questo campionamento è stata condotta anche presso la stazione di Settimo T.se). Nel 2017 la determinazione dei metalli è stata effettuata solo sulla frazione con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

In ottemperanza al piano regionale di revisione della rete di monitoraggio e alle prescrizioni relative all'autorizzazione del termovalorizzatore di Torino vi sono state alcune variazioni, per cui a partire dal 2013 la determinazione di tali parametri è effettuata anche nella stazione di Oulx e nella stazione privata di Beinasco – TRM gestita da Arpa.

Le concentrazioni di As, Cd e Ni sono espresse in ng/m³, quelle relative al piombo in µg/m³.

I limiti previsti dal D.Lgs. 155 del 13/8/2010 sono rispettati per tutti i parametri in tutti i siti monitorati e mostrano un generale decremento nel corso del 2017 rispetto al 2016, ad eccezione del nichel che registra un aumento in quasi tutti i siti di misura.

La presenza di arsenico nelle polveri inalabili negli ultimi anni di osservazione risulta generalmente trascurabile, con valori dell'ordine del limite di quantificazione del metodo in tutte le stazioni, anche in siti caratterizzati da traffico veicolare o presenza di attività industriali.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2017 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di ARSENICO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³)										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco-TRM	94%							0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Borgaro	94%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7	0,7
Carmagnola	98%	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Ceresole Reale	92%			0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Druento	98%	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Ivrea	89%	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*
Oulx	94%							0,7	0,7*	0,7*	0,7	0,7
Settimo	30%											0,7*
Susa	98%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
To-Consolata	95%	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
To-Grassi	95%	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7	0,7
To-Lingotto PM10	90%	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
To-Rebaudengo	98%						0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
To-Rubino	97%	0,7*	0,9	0,7*	0,7	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 24: concentrazioni medie annuali di arsenico determinate sul Particolato Atmosferico, 2007-2017.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2017 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di CADMIO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³)										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco-TRM	94%							0,20	0,10	0,20	0,20	0,20
Borgaro	94%	0,40	0,25	0,19	0,17	0,30	0,21	0,17	0,12	0,16	0,15	0,14
Carmagnola	98%	0,49*	0,33	0,22	0,18	0,27	0,19	0,15	0,11	0,13	0,12	0,13
Ceresole Reale	92%			0,12*	0,07*	0,07*	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Druento	98%	0,28	0,21	0,14*	0,10	0,19	0,11	0,10	0,07	0,09	0,08	0,08
Ivrea	89%	0,36*	0,28	0,17	0,16	0,29	0,18	0,12	0,13	0,14	0,12	0,11
Oulx	94%							0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Settimo	30%											0,30
Susa	98%	0,25	0,11	0,10	0,07	0,12	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
To-Consolata	95%	0,53*	0,38	0,25	0,19	0,32	0,28	0,24	0,15	0,17	0,14	0,15
To-Grassi	95%	0,69	0,38	0,31	0,23	0,52	0,39	0,28	0,21	0,36	0,22	0,23
To-Lingotto PM10	90%	0,36*	0,30*	0,25	0,19	0,31	0,26	0,19	0,14	0,17	0,15	0,13
To-Rebaudengo	98%						0,42	0,33	0,27	0,38	0,26	0,26
To-Rubino	97%	0,41*	0,29*	0,23*	0,17	0,27	0,23	0,19	0,13	0,16	0,15	0,15

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 25: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico, 2007-2017.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2017 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di NICHEL nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³)										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco-TRM	94%							2,9	2,7	3,0	2,2	2,7
Borgaro	94%	8,2	6,1	6,2	4,3	5,2	4,7*	3,4*	3,0*	4,3*	2,4	4,2
Carmagnola	98%	7,2*	4,2	5,0	4,0	5,1*	3,9	3,2	2,5	3,0	1,9	2,9
Ceresole Reale	92%			1,9*	1,3*	1,6*	1,0*	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9
Druento	98%	7,3	4,2	4,4*	3,5	4,0	3,2	1,6	1,5	3,8	1,1	2,6
Ivrea	89%	6,3*	4,5	5,1	3,7	4,4	3,2	2,4	2,2	3,0	1,6	2,2*
Oulx	94%							1,4	1,8*	1,7*	1,3	2,0
Settimo	30%											4,0*
Susa	98%	3,8	2,5	2,8	2,5	3,4	2,2	1,1	1,9	2,7	1,4	1,4
To-Consolata	95%	12,2	8,2	9,3	8,3	8,3	7,3	4,9	4,8	5,3	3,7	3,7
To-Grassi	95%	11,0	8,2	9,4	7,6	8,7	7,9*	5,8*	5,0*	5,5*	3,9	4,8
To-Lingotto PM10	90%	11,5*	4,1*	5,7	5,1	5,6	4,8	3,5	3,2	3,3	2,2	2,5
To-Rebaudengo	98%						7,2	5,2	4,5	4,6	3,0	3,0
To-Rubino	97%	9,0*	5,6	6,1*	4,7	5,2	4,8	3,0	3,2	3,4	2,0	2,8

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 26: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico, 2007-2017.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2017 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di PIOMBO nel materiale particolato aerodisperso (µg/m ³)										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco-TRM	94%							0,009	0,008	0,008	0,007	0,006
Borgaro	94%	0,015	0,013	0,011	0,010	0,013	0,009*	0,009*	0,006*	0,009*	0,007	0,007
Carmagnola	98%	0,014*	0,011	0,010	0,009	0,011	0,008	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005
Ceresole Reale	92%			0,002*	0,002*	0,002*	0,001*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
Druento	98%	0,011	0,007	0,008*	0,007	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
Ivrea	89%	0,014*	0,010	0,010	0,010	0,010	0,006	0,006	0,004	0,005	0,004	0,006*
Oulx	94%							0,002	0,002*	0,002*	0,002	0,002
Settimo	30%											0,015*
Susa	98%	0,014	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004
To-Consolata	95%	0,025	0,016	0,016	0,013	0,015	0,013	0,01	0,008	0,01	0,008	0,009
To-Grassi	95%	0,028*	0,020	0,018	0,017	0,020	0,018*	0,012*	0,012*	0,02*	0,011	0,011
To-Lingotto PM10	90%	0,020*	0,010*	0,012	0,011	0,012	0,009	0,007	0,007	0,009	0,007	0,007
To-Rebaudengo	98%						0,020	0,019	0,015	0,021	0,013	0,016
To-Rubino	97%	0,017*	0,011	0,012*	0,011	0,011	0,010	0,009	0,007	0,008	0,006	0,007

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 27: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2007-2017.

Per il cadmio in tutti i siti la concentrazione è significativamente inferiore rispetto al valore obiettivo di 5 ng/m³. Nel 2017 si osserva una generale stabilità rispetto all'anno precedente.

Nel corso del 2017 il cadmio è stato analizzato anche presso la stazione di Settimo T.se e il valore relativamente elevato è ascrivibile al fatto che l'analisi dei metalli è stata condotta a partire dal mese di settembre (percentuale di giorni validi pari a 30%).

I livelli di cadmio più bassi sono stati rilevati presso le stazioni di Ceresole, Druento e Susa, analogamente agli anni precedenti. Nelle altre stazioni del territorio comunale e provinciale i livelli di cadmio risultano piuttosto uniformi con valori compresi tra 0,07 e 0,26 ng/m³ (escludendo il valore registrato a Settimo determinato su un numero di giorni non rappresentativi).

A livello di composizione percentuale (TABELLA 28) si osserva una riduzione della presenza di tale metallo nelle polveri campionate in tutti i siti o una situazione omogenea rispetto all'anno precedente come nelle stazioni Carmagnola, Oulx e To-Grassi. Nel caso di Ceresole la presenza in percentuale di cadmio nelle polveri PM10 non è stata calcolata in quanto nel corso di tutto l'anno le concentrazioni sono risultate inferiori al limite di quantificazione del metodo.

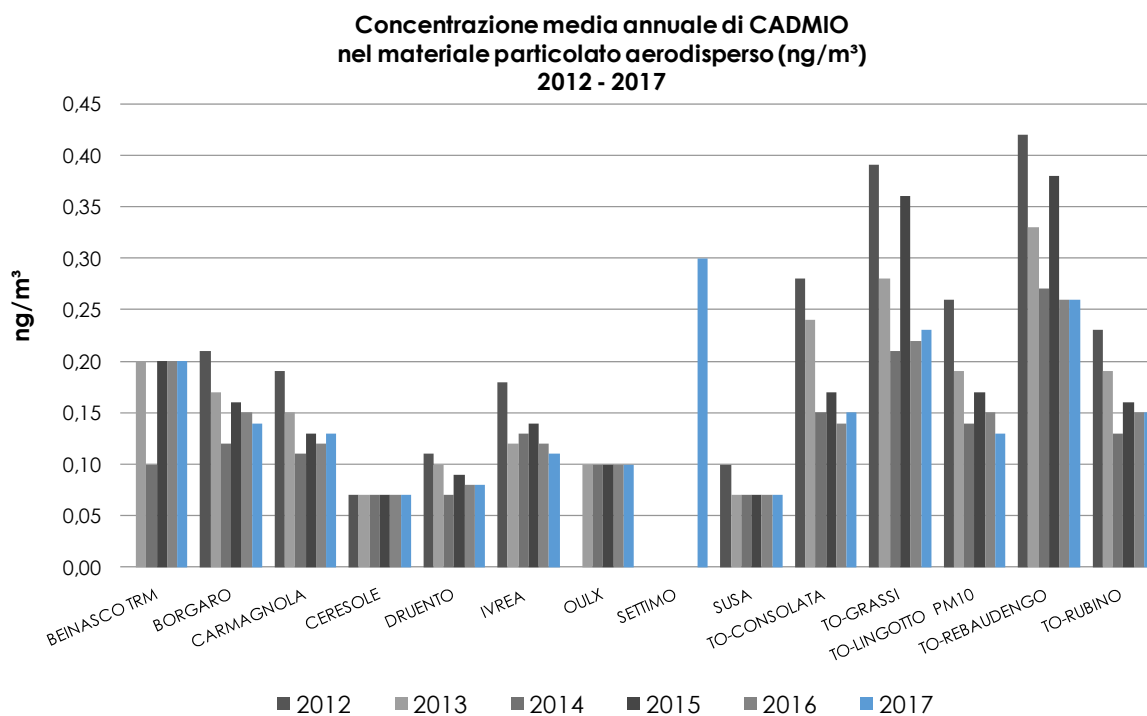


FIGURA 58: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico 2012-2017.

Per il niche si osserva un generale peggioramento delle concentrazioni rispetto all'anno 2016, anno in cui le condizioni meteorologiche hanno favorito l'accumulo degli inquinanti; ad eccezione di poche stazioni il cui valore rimane invariato. I valori si confermano ampiamente al di sotto del valore obiettivo previsto dal D.Lgs. n. 155/2010 (20 ng/m³). I valori maggiori vengono registrati nelle stazioni di traffico dell'area metropolitana di To-Grassi, To-Consolata e To-Rebaudengo nonché presso la stazione di Borgaro che registra un aumento del 43% rispetto al 2016.

Analogamente a tutti gli altri parametri la concentrazione più bassa di nichel è stata rilevata nel sito montano di Ceresole con un valore pari a 0,9 ng/m³, mentre nelle altre stazioni della provincia le concentrazioni sono al di sotto dei 5 ng/m³.

A livello di presenza percentuale di nichel nelle polveri PM10 si osserva un generale stabilità rispetto agli anni precedenti, a conferma che l'aumento rilevato rispetto al 2016 è legato alle condizioni meteorologiche più critiche registrate nell'ultimo anno.

Il valore piuttosto elevato riscontrato presso la stazione di Settimo T.se nel 2017 è ascrivibile al fatto che l'analisi dei metalli è stata condotta a partire dal mese di settembre e questo determina una percentuale di giorni validi su base annuale pari a 30%.

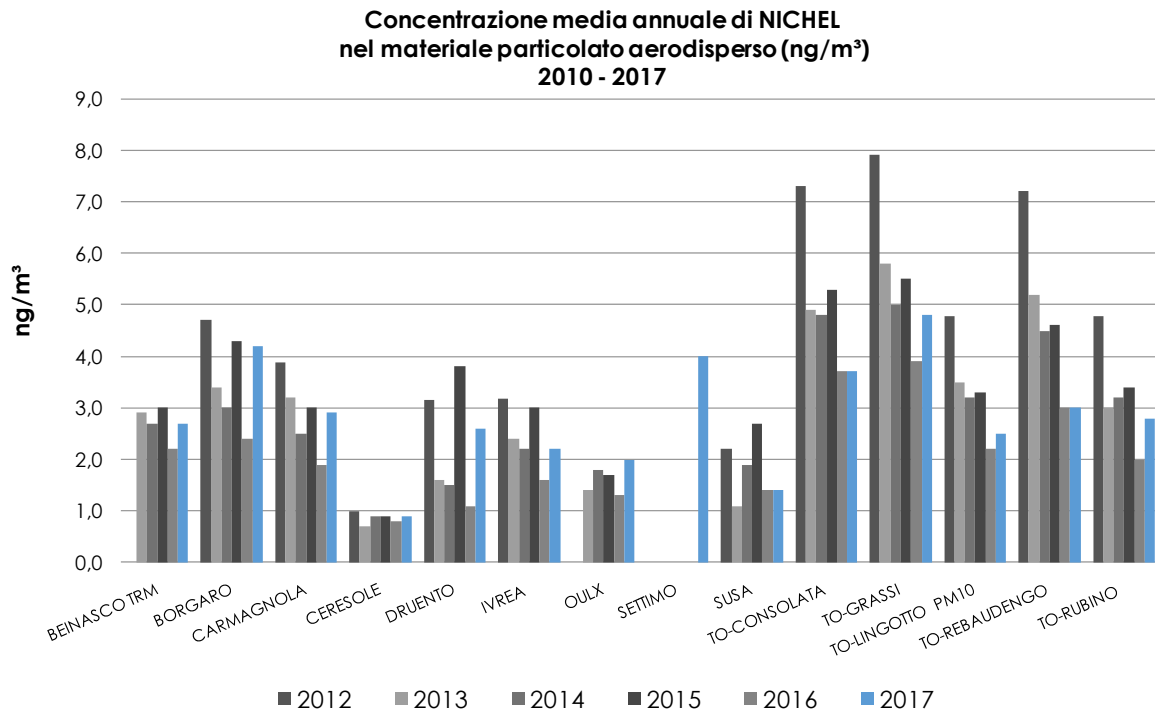


FIGURA 59: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico – 2012-2017

Per quanto riguarda il piombo in FIGURA 60 è riportata la serie storica a partire dagli anni '70. Attualmente i livelli di piombo sono due ordini di grandezza inferiori rispetto ai rilevamenti dei primi anni di monitoraggio. Già a partire dal 2001 le medie annuali sono di un ordine di grandezza inferiori al limite previsto dalla normativa (0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Anche per il piombo, si osservano gli andamenti descritti per gli altri metalli: rispetto al 2016 si registra una generale stabilità.

La stazione con il valore maggiore, registrato nel 2017, è quella di P.zza Regaudengo dove si è rilevata una concentrazione di piombo pari a 0,016 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (nel 2016 era pari a 0,013 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) anche il livello di composizione percentuale è superiore rispetto alle altre stazioni dell'area metropolitana.

Tuttavia, per tutti i siti i livelli risultano ampiamente al di sotto del valore limite e le concentrazioni risultano particolarmente basse nelle stazioni di Ceresole e Susa. Presso tali siti si evidenzia l'aumento, seppur contenuto, della concentrazione media annuale su cui pesa la media registrata nel mese di novembre, realisticamente imputabile agli incendi boschivi che hanno interessato le valli piemontesi tra la fine di ottobre e inizio novembre.

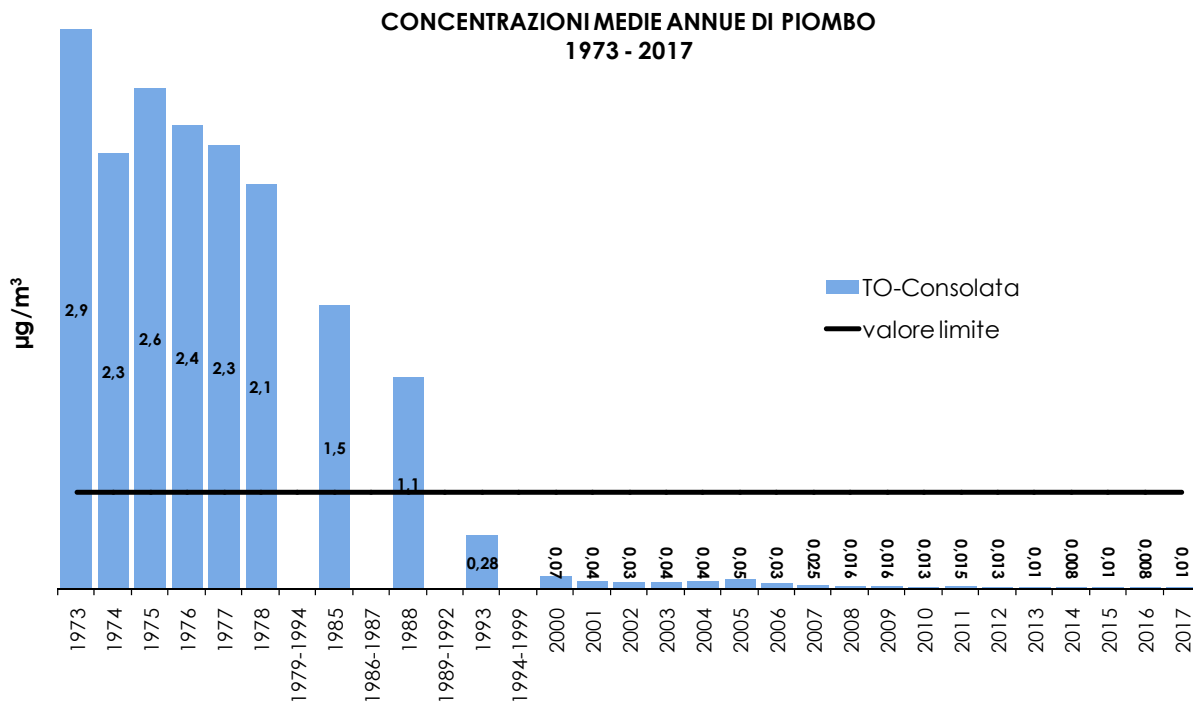


FIGURA 60: parametro piombo, medie annuali misurate presso la stazione di TO-Consolata nel periodo 1973 – 2017.

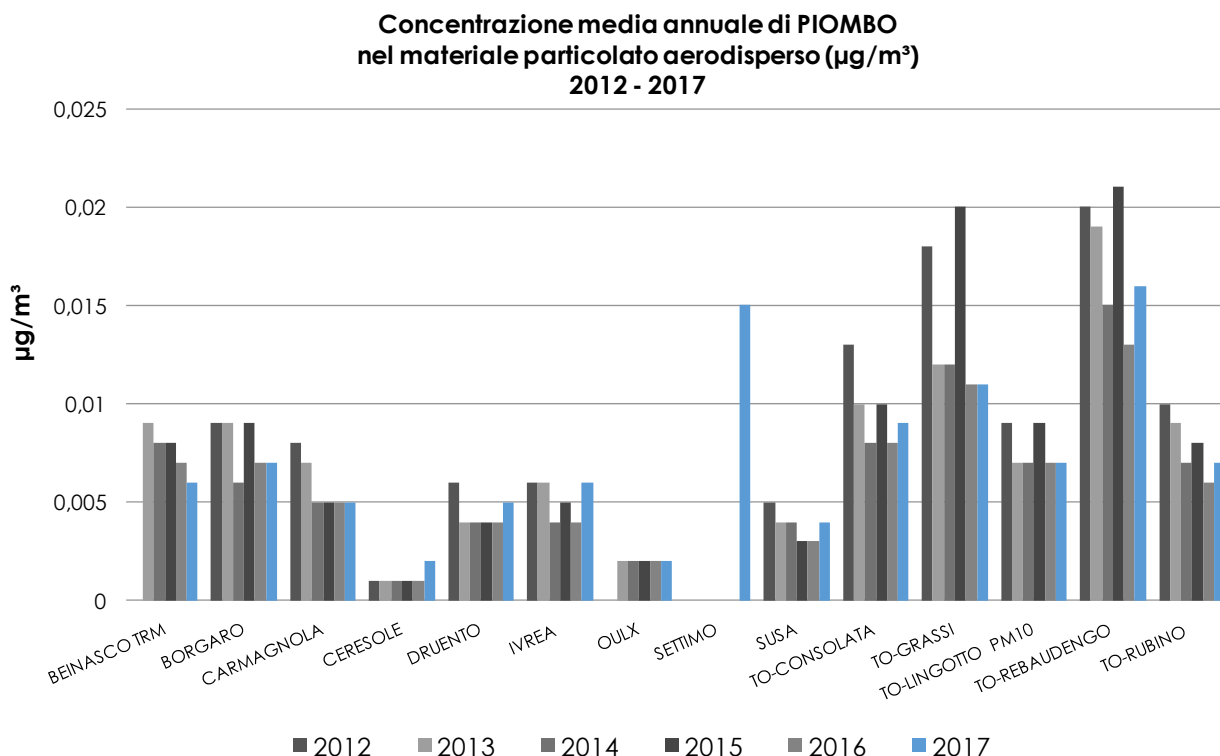


FIGURA 61: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico – 2012-2017.

STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato										
	%Cd										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco-TRM							0,0006	0,0003	0,0006	0,0007	0,0006
Borgaro	0,0009	0,0006	0,0005	0,0005	0,0007	0,0005*	0,0005	0,0004	0,0005*	0,0005	0,0004
Carmagnola	0,0008*	0,0005	0,0004	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Ceresole Reale			0,0013*	0,001*	0,0009*	0,0008	n.c.	n.c.	n.c.	0,0008	0,0006
Druento	0,0009	0,0007	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
Ivrea	0,0009*	0,0008	0,0005*	0,0006	0,0008	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004
Oulx							0,0006	0,0006	0,0006*	0,0006	0,0006
Settimo											0,0007
Susa	0,0011	0,0004	0,0005	0,0003	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
To-Consolata	0,001*	0,0007	0,0005	0,0004	0,0006	0,0006	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
To-Grassi	0,0010	0,0006	0,0005	0,0005	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,0007*	0,0005	0,0005
To-Lingotto PM10	0,0006*	0,0007*	0,0006	0,0005	0,0007	0,0006	0,0005	0,0004	0,0005	0,0004	0,0003
To-Rebaudengo							0,0009	0,0007	0,0009	0,0007	0,0006
To-Rubino	0,0009*	0,0007*	0,0005*	0,0004	0,0006	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004	0,0005	0,0004
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato										
	%Ni										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco-TRM							0,009	0,009	0,009	0,008	0,008
Borgaro	0,018	0,014	0,015	0,012	0,012	0,011	0,010	0,010	0,012*	0,008	0,011
Carmagnola	0,030	0,015	0,010	0,009	0,010	0,008	0,008	0,007	0,007	0,005	0,006
Ceresole Reale			0,021	0,018	0,020	0,011	0,012	0,018	0,013	0,009	0,008
Druento	0,023	0,013	0,014	0,013	0,013	0,011	0,007	0,008	0,017	0,005	0,010
Ivrea	0,016	0,013	0,015	0,013	0,013	0,009	0,009	0,010	0,011	0,006	0,007
Oulx							0,008	0,011	0,009*	0,008	0,011
Settimo											0,009
Susa	0,017	0,010	0,013	0,011	0,015	0,011	0,006	0,012	0,015	0,008	0,006
To-Consolata	0,023	0,015	0,018	0,019	0,017	0,015	0,012	0,014	0,013	0,011	0,009
To-Grassi	0,017	0,013	0,017	0,015	0,015	0,013	0,012	0,012	0,011*	0,009	0,010
To-Lingotto PM10	0,019	0,010	0,014	0,014	0,013	0,011	0,009	0,010	0,009	0,006	0,006
To-Rebaudengo							0,014	0,011	0,011	0,008	0,007
To-Rubino	0,019	0,013	0,014	0,012	0,011	0,012	0,009	0,010	0,009	0,006	0,007
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato										
	%Pb										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco-TRM							0,027	0,027	0,024	0,024	0,017
Borgaro	0,033	0,030	0,027	0,027	0,030	0,021	0,026	0,019	0,026*	0,023	0,018
Carmagnola	0,045	0,033	0,020	0,020	0,020	0,016	0,017	0,014	0,012	0,014	0,011
Ceresole Reale			0,022	0,029	0,025	0,011	0,017	0,020	0,014	0,011	0,018
Druento	0,034	0,022	0,025	0,026	0,026	0,021	0,017	0,021	0,017	0,019	0,019
Ivrea	0,036	0,029	0,030	0,036	0,029	0,018	0,022	0,017	0,018	0,015	0,019
Oulx							0,011	0,012	0,011*	0,013	0,011
Settimo											0,034
Susa	0,064	0,036	0,038	0,032	0,026	0,024	0,022	0,025	0,017	0,018	0,018
To-Consolata	0,047	0,030	0,031	0,030	0,030	0,027	0,025	0,023	0,025	0,023	0,021
To-Grassi	0,042	0,033	0,032	0,034	0,034	0,030	0,026	0,028	0,038*	0,026	0,023
To-Lingotto PM10	0,033	0,023	0,029	0,031	0,027	0,021	0,018	0,022	0,025	0,021	0,018
To-Rebaudengo							0,051	0,038	0,049	0,035	0,035
To-Rubino	0,036	0,026	0,027	0,028	0,023	0,025	0,026	0,023	0,022	0,019	0,018

TABELLA 28: concentrazioni medie annuali di cadmio, nichel e piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2007-2017.

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

L.Milizia, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

DESCRIZIONE

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%³⁶. 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 notevolmente maggiore di quella emessa da un impianto alimentato con combustibile liquido (kerosene, gasolio da riscaldamento, ecc.); l'aggiornamento del 2016 del "emep-eea-guidebook" stima un fattore di emissione di oltre 1000 volte superiore³⁷.

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

I dati ricavati da test su animali di laboratorio indicano che molti IPA hanno effetti sanitari rilevanti che includono l'immunotossicità, la genotossicità e la cancerogenicità. Va comunque sottolineato che, da un punto di vista generale, la maggiore fonte di esposizione a IPA, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, non è costituita dall'inalazione diretta ma dall'ingestione di alimenti contaminati a seguito della deposizione del particolato atmosferico al suolo. In particolare il benzo(a)pirene, produce tumori a livello di diversi tessuti sugli animali da laboratorio ed è inoltre l'unico idrocarburo policiclico aromatico per il quale sono disponibili studi approfonditi di tossicità per inalazione, dai quali risulta che questo composto induce il tumore polmonare in alcune specie.

L'International Agency for Research on Cancer (IARC)³⁸ 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". Il valore obiettivo per il benzo(a)pirene è riportato nella TABELLA 29.

VALORE OBIETTIVO		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	1 ng/m ³	31 dicembre 2012

TABELLA 29: benzo(a)pirene, valori di riferimento e normativa in vigore.

ESAME DEI DATI

La TABELLA 30 riassume le concentrazioni medie annuali rilevate a partire dal 2006 sul territorio provinciale di Benzo(a)Pirene. Le medie annuali indicate in tabella per ogni stazione sono ottenute partendo dalle medie giornaliere, e possono presentare leggere differenze rispetto al valore ricavabile a partire dalle medie mensili a causa del diverso peso statistico dei diversi mesi. Tutti i dati sono confrontabili in quanto in tutti i siti sono state adottate frequenze di prelievo e metodiche analitiche omogenee. In ottemperanza al piano regionale di revisione della rete di monitoraggio e alle prescrizioni relative all'autorizzazione del termovalorizzatore di Torino, vi sono state alcune

³⁶ European Commission Ambient air pollution by PAH –Position Paper , pag 8

³⁷ EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook – 2016 Part. 1.A.4. Small Combustion Tab. 3-5 e Tab. 3-6

³⁸ International Agency for Research on Cancer (IARC) –Agents reviewed by the IARC monographs Volumes 1-100A last updated 2 april 2009

variazioni, per cui a partire dal 2013 la determinazione di tali parametri è effettuata nelle stazioni di Oulx e in quella privata di Beinasco TRM, gestita da Arpa.

Nel 2017 la determinazione degli IPA è stata effettuata solo sulla frazione con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2017 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Benzo(a)pirene nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³)											
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Beinasco-TRM	94%								0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
Borgaro	94%	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8*	0,7*	0,7*	0,9*	0,8	0,8
Carmagnola	98%	1,0	0,8*	0,7	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
Ceresole Reale	92%				0,2*	0,1*	0,1*	0,1*	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Druento	98%	0,4	0,4	0,4	0,5*	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
Ivrea	89%		0,9*	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	1,1	0,8	0,9*
Oulx	94%								0,5	0,5*	0,5*	0,3	0,3
Settimo	30%							1,0	1,2	1,3	1,4	1,1	1,3*
Susa	98%	1,0	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
To-Consolata	95%	1,1	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7
To-Grassi	95%	0,9*	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	1,1*	1,1*	1,0*	1,7*	0,9	1,0
To-Lingotto PM10	90%	0,6 *	0,7	0,6*	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8
To-Rebaudengo	98%							0,9	1,2	1,1	1,2	1,1	1,6
To-Rubino	97%		0,4	0,5	0,6*	0,5	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 30: concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene rilevate sul Particolato Atmosferico- 2006-2017.

I dati raccolti nel corso del 2017 mostrano valori in alcuni casi equivalenti a quelli dell'anno precedente ed in alcuni casi si nota un decremento rispetto al 2016 che rimane però all'interno dell'incertezza di misura. La stazione To-Rebaudengo è quella che ha presentato una media annuale di B(a)P più elevata con superamento del valore obiettivo (1 ng/m³) (la stazione di di Settimo T.se che registra un valore pari a 1,3 presenta una percentuale di dati validi inferiore a 90% per cui il dato di media annuale non risulta rappresentativo). A conferma di ciò in FIGURA 62, in si riporta il confronto tra le medie mensili registrate presso la stazione di Torino – Rebaudengo e i valori medi, minimi e massimi registrati in tutto il territorio comunale e provinciale.

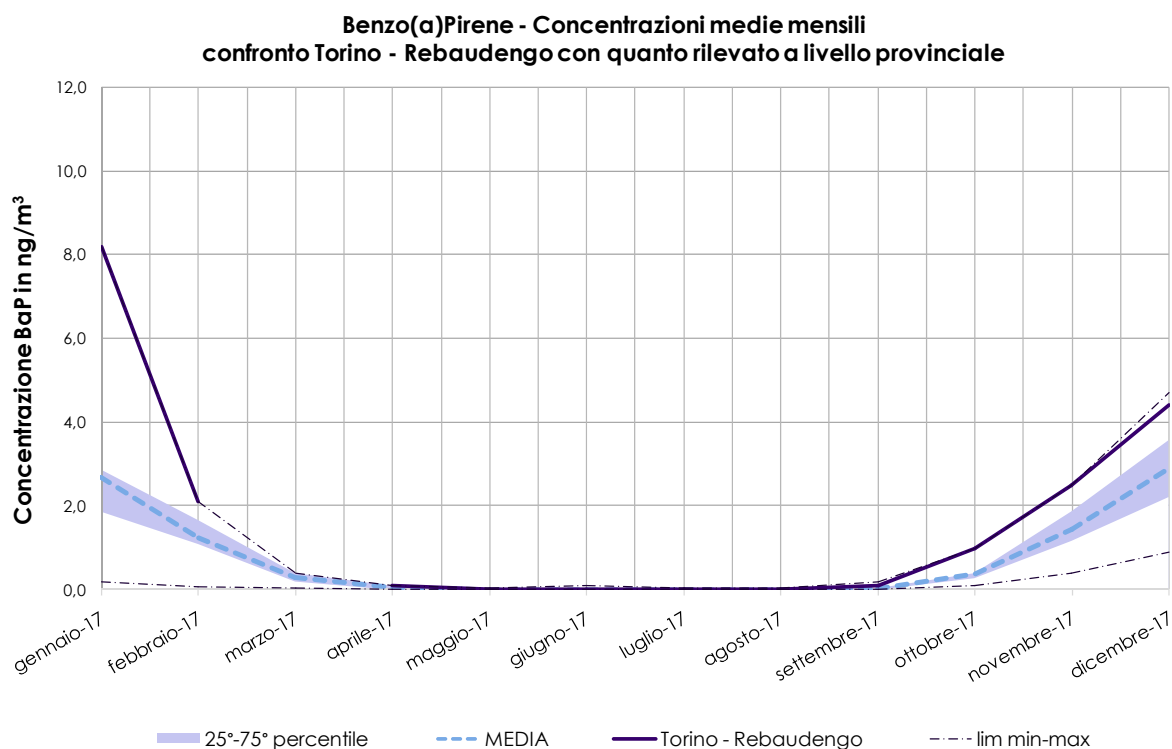
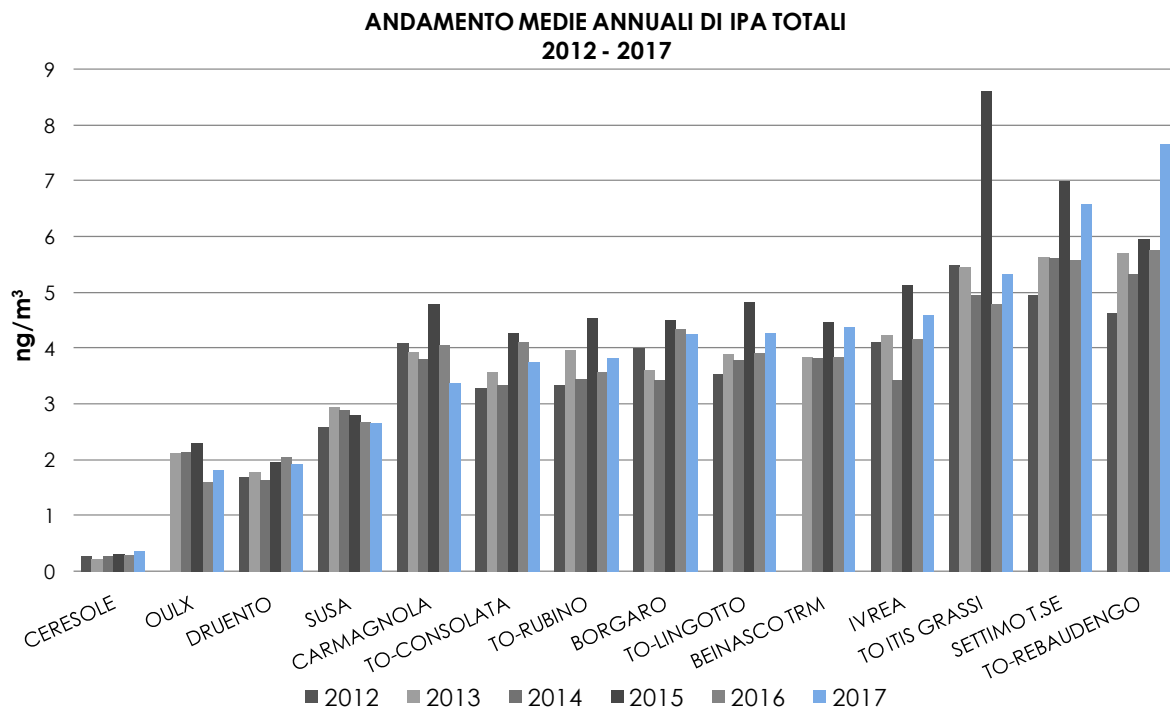


FIGURA 62: benzo(a)pirene presso To-Rebaudengo

Nel periodo tra il 2006 e 2012 non si era verificato sul territorio provinciale alcun superamento del valore obiettivo, tuttavia l'analisi della serie storica risulta complicata dal fatto che nelle stazioni di Settimo T.se e To-Rebaudengo prima del 2012 la determinazione degli IPA non era prevista e la stazione di To-Grassi, che risulta la più simile ad esse per tipologia, negli ultimi anni ha mostrato un rendimento strumentale non sufficiente per una corretta valutazione, ad eccezione degli ultimi due anni, per cui la media annuale ritorna ad attestarsi intorno a quella registrata tra il 2007 e il 2011. Di fatto si osserva che le stazioni caratterizzate da fonti emmissive significative a partire dal 2013 hanno registrato il superamento del valore obiettivo per il B(a)P.

La stazione con le concentrazioni più basse di Benzo(a)Pirene si conferma quella di Ceresole, nella quale spesso i livelli mensili risultano dell'ordine del limite di quantificazione del metodo, in quanto si trova lontano da fonti di inquinamento antropogenico e a causa dell'elevata altitudine non risente del confinamento al suolo degli inquinanti legato alle condizioni di stabilità invernali tipiche della pianura.



In
sono riportate le medie annuali degli IPA totali determinate negli ultimi sei anni. La stazione caratterizzata dal superamento del limite annuale, To-Rebaudengo, è quella che registra anche i livelli più elevati di IPA totali.

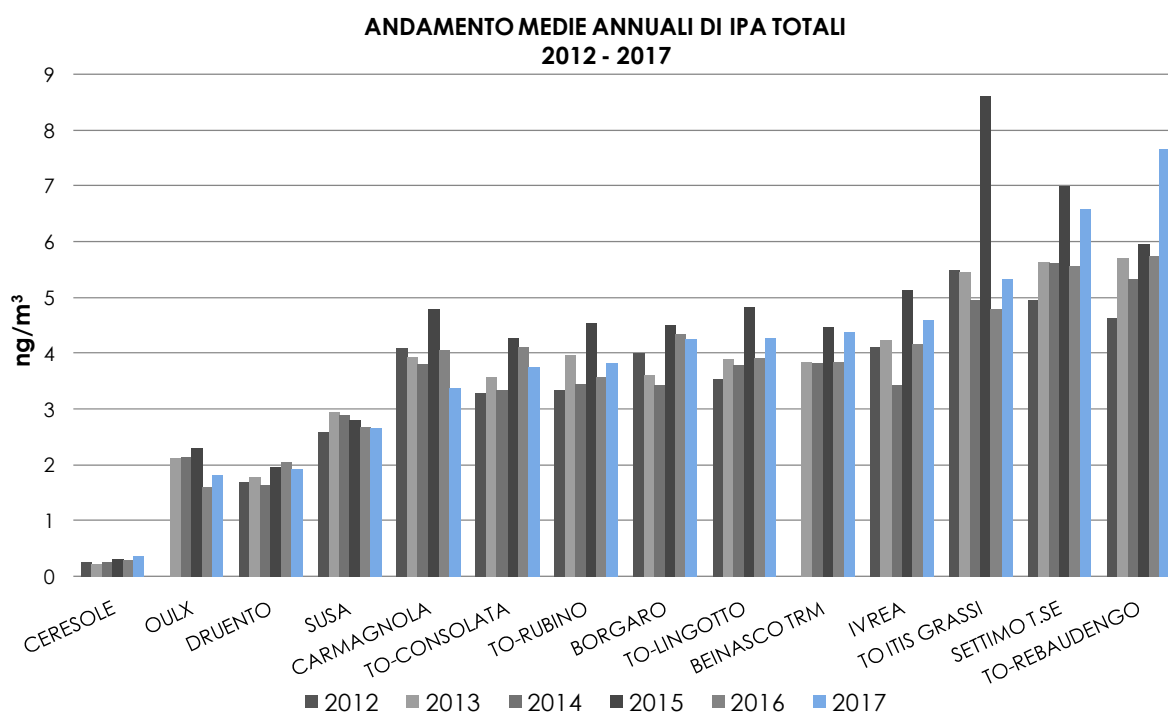


FIGURA 63: andamento medie annuali IPA totali periodo 2012-2017 – Benzo(a)Pirene + Benzo(a)Antracene + Benzo(b,j,k)Fluorantene + Indeno(1,2,3-cd)Pirene.

Le medie annuali registrate per la stazione di To-Grassi nel 2012 e nel 2015 e per Settimo T.se nel 2017 sono calcolate su un numero di dati validi inferiore al 90% pertanto non rappresentative dell'intero anno solare.

Ad eccezione di Susa, in cui il valore di IPA totali risulta pressochè costante, in 9 stazioni su 14 si registra un generale peggioramento rispetto al 2016.

Presso la stazione di qualità dell'aria denominata Beinasco-TRM, prevista ed installata a seguito del progetto di costruzione e avvio del termovalorizzatore di rifiuti urbani della provincia di Torino (zona Gerbido) si osserva una situazione di peggioramento rispetto al 2016 attestandosi al livello già registrato nel 2015.

L'aumento rispetto all'anno precedente, può essere in parte imputabile al fatto che il 2017 ha presentato condizioni di stabilità atmosferica più accentuate che hanno favorito l'accumulo degli inquinanti al suolo. Va però sottolineato che il generale trend in aumento della concentrazione di IPA non è spiegabile solo dalle considerazioni di tipo meteorologico, ma va attribuito ad un aumento delle emissioni di questi inquinanti. L'ipotesi già richiamata che una delle cause principali del fenomeno sia costituita dall'aumentata combustione di biomasse a fini di riscaldamento è suffragata da quattro considerazioni principali³⁹:

- i superamenti del valore obiettivo annuale di Benzo(a)Pirene sono causati da valori molto elevati nei mesi invernali;
- In base all'Inventario regionale delle emissioni la combustione di biomassa è diventata la principale fonte di PM10 primario;
- come evidenziato nel seguito tra la percentuale di IPA nel PM10 è più elevata nei siti suburbani (per esempio in Val di Susa) che nell'area urbana di Torino;
- composti marcatori della combustione di biomasse (ad esempio il levoglucosano) si ritrovano nel PM10 nei siti sia urbani che suburbani.

Oltre all'informazione relativa alla quantità totale di IPA rilevata nei vari siti, è interessante conoscere in quale percentuale essi sono presenti nelle polveri campionate⁴⁰.

³⁹ Si ricorda che sin dal 2012 il Gruppo di lavoro per l'individuazione delle misure di riduzione dell'inquinamento atmosferico istituito dal MATT aveva individuato la combustione di biomasse come uno dei settori di intervento, evidenziandone la rilevanza anche in termini di emissione di sostanze tossicologicamente importanti, come il Benzopirene

⁴⁰ Le percentuali utilizzate nelle figure, in riferimento alla media dei mesi freddi e a quella dei mesi caldi, sono calcolate sulla base delle concentrazioni medie giornaliere di IPA e PM10 misurate, rispettivamente, nei mesi di gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre, dicembre (semestre freddo) e in quelli aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre (semestre caldo).

Dalla FIGURA 64 si evidenzia la notevole differenza stagionale nella composizione delle polveri relativamente a questo parametro; da aprile a settembre, infatti, prevalgono condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti ed inoltre la radiazione solare contribuisce notevolmente alla degradazione degli IPA per cui si osservano percentuali molto basse e uniformi nei vari siti. Nei mesi invernali le polveri risultano maggiormente arricchite di questi composti e, come osservato negli anni precedenti, questo fenomeno risulta particolarmente evidente in alcuni siti extraurbani come Susa ed Ivrea che sono tra le stazioni con percentuali maggiori di IPA nelle polveri.

Tra le stazioni torinesi il livello percentuale di IPA sul PM10 risulta piuttosto omogeneo con valori nettamente più elevati per To-Rebaudengo che, a differenza degli anni precedenti, presenta una percentuale di IPA nel PM10 confrontabile con Susa e Ivrea.

La stazione di Ceresole si conferma il sito con i livelli di IPA più bassi sia come valori assoluti sia come presenza percentuale sul PM10.

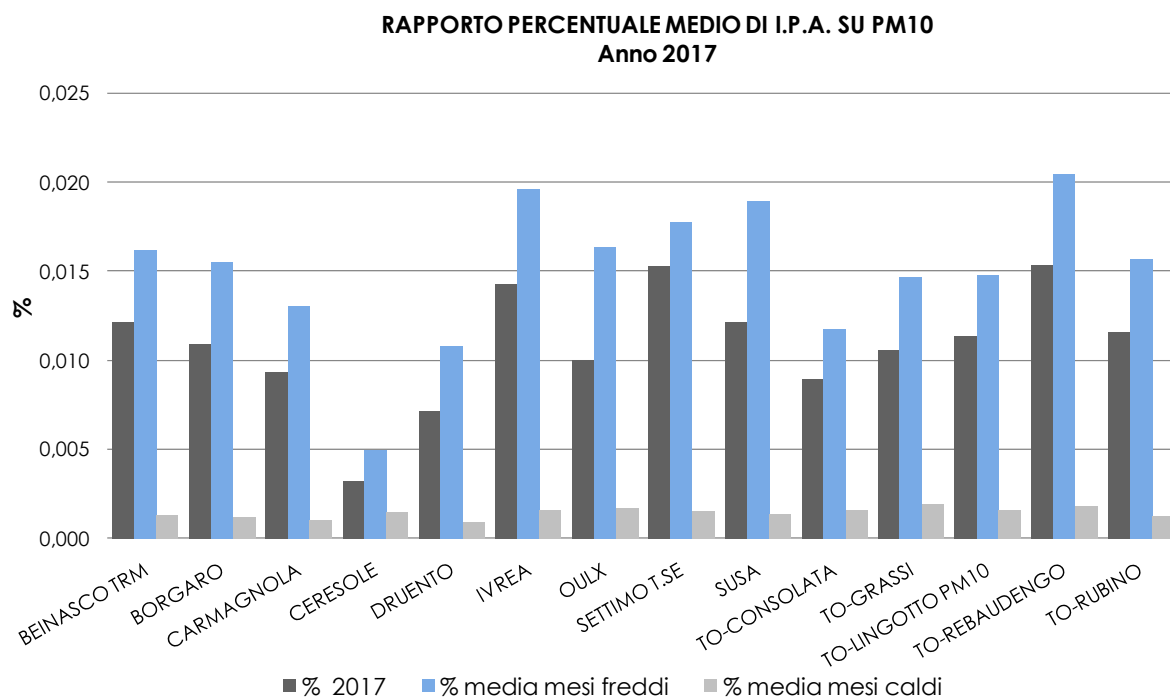


FIGURA 64: percentuale di IPA totali nel PM10 – anno 2017.

Nella FIGURA 65 per le stazioni di Druento, Susa e To-Consolata, che rappresentano diverse situazioni territoriali, sono riportati i contenuti percentuali di IPA differenziati per mese di campionamento. Si conferma il basso contenuto percentuale nei mesi caldi con valori equivalenti nelle varie aree territoriali che risultano più significative nel periodo freddo. In particolare a Susa la percentuale di IPA nel particolato atmosferico risulta, nei mesi invernali (maggiormente evidente a dicembre), molto più elevata rispetto a Druento e To-Consolata confermando l'ipotesi che tra le cause principali della presenza in atmosfera di IPA ci sia l'aumentata combustione di biomasse per riscaldamento domestico, accompagnata alle condizioni meteo climatiche che sfavoriscono la dispersione degli inquinanti stessi.

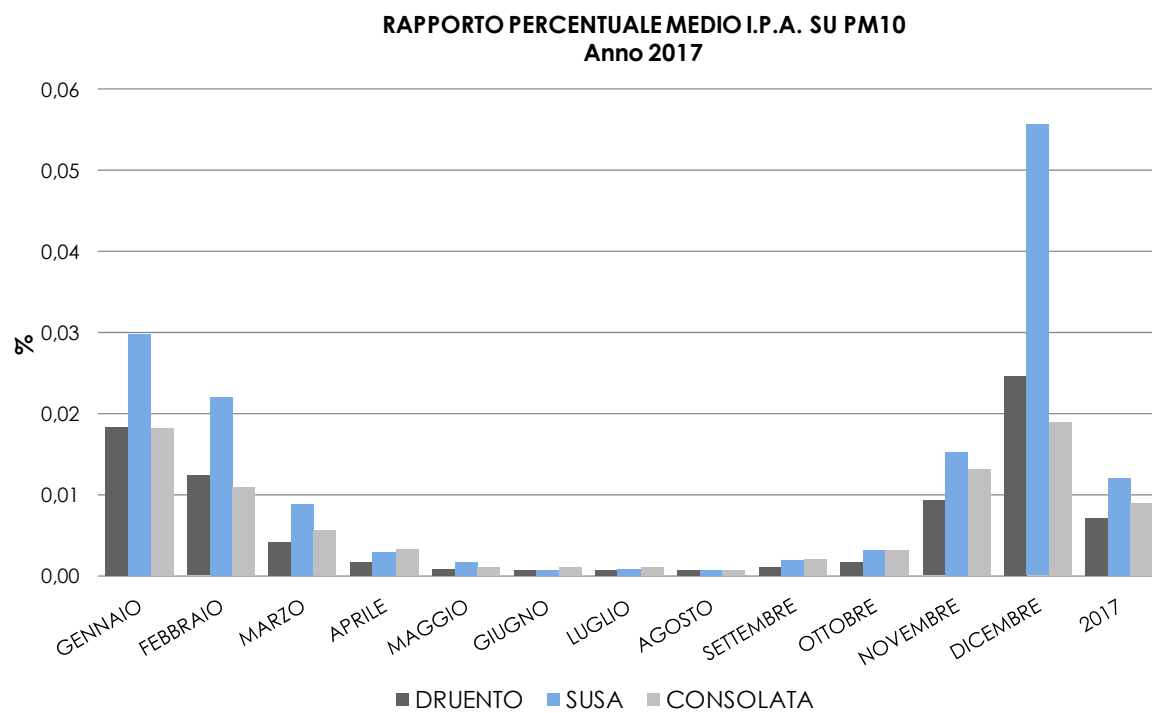


FIGURA 65: percentuale IPA totali nel PM10 – Andamento delle medie mensili – anno 2017.