

DIPARTIMENTO PROVINCIALE DI TORINO
Struttura semplice “Attività di Produzione”

**Progetto di studio delle sorgenti di inquinamento atmosferico
 nel territorio circostante la centrale termoelettrica di IRIDE “Torino Nord “**

**Analisi comparata dei dati di PM₁₀, PM_{2.5} e biossido di azoto
 nei periodi precedente e successivo all’entrata in esercizio dell’impianto**



Redazione	Funzione: Collaboratore Tecnico Professionale	Data:	Firma:
	Nome: Annalisa Bruno		
	Funzione: Collaboratore Tecnico Professionale	Data:	Firma:
Nome: Stefano Buratto			
Verifica e approvazione	Funzione: Collaboratore Tecnico Professionale	Data:	Firma:
	Nome: Fabio Pittarello		
Verifica e approvazione	Funzione: Dirigente con incarico professionale presso la S.S. di Produzione	Data:	Firma:
	Nome: Francesco Lollobrigida		

Arpa Piemonte

Codice Fiscale - Partita IVA 07176380017

Dipartimento Provinciale di Torino

Struttura Semplice Attività di Produzione

Via Pio VII n°9 - 10135 Torino - Tel. 01119680 350/351 - Fax 01119681441 – e-mail: produzione.to@arpa.piemonte.it

Sommario

Premessa.....	3
Obiettivi dell'analisi e impostazione metodologica generale	4
Scelta della stazione fissa di riferimento	5
Metodologia utilizzata per il confronto delle medie giornaliere	9
Risultati del confronto delle medie giornaliere.....	13
<i>Biossido di azoto</i>	15
<i>PM₁₀ e PM_{2.5}</i>	16
<i>Analisi dei dati</i>	17
Metodologia utilizzata per il confronto delle medie annuali	24
Risultati del confronto delle medie annuali.....	26
<i>Biossido di azoto</i>	26
<i>PM₁₀</i>	28
<i>PM_{2.5}</i>	30
Conclusioni	32
Bibliografia	33

Premessa

All'interno del progetto di studio delle sorgenti di inquinamento atmosferico nel territorio circostante la centrale termoelettrica di IRIDE "Torino Nord" sono state effettuate quattro campagne di monitoraggio ante operam e quattro campagne post operam, distribuite nelle diverse stagioni in modo da garantire la rappresentatività temporale della base dati.

La stazione mobile è stata posizionata presso il Centro Civico "Margherita Bonavero" di Via Boves nel comune di Collegno. Il sito è stato individuato, in accordo con l'Amministrazione Comunale, nell'area a carattere residenziale di potenziale massima ricaduta dell'impianto, la quale è la più adatta a evidenziare eventuali variazioni della qualità dell'aria conseguenti alle emissioni dell'impianto stesso. Tale area è stata individuata sulla base dell'analisi modellistica di dispersione delle emissioni dell'impianto che è stata svolta all'interno dello Studio di Impatto Ambientale.

Nel complesso i giorni di campionamento sono stati 108 nella fase ante operam (dicembre 2010-ottobre 2011) e 109 in quella post operam (gennaio-ottobre 2012).

Il presente documento costituisce la relazione preliminare di fine progetto e contiene il confronto di dettaglio relativo a tutti i dati rilevati prima e dopo l'entrata in esercizio della centrale "Torino Nord". L'analisi è stata focalizzata su biossido di azoto, PM10 e PM2.5, vale a dire i tre parametri:

- che presentano una elevata criticità nell'area urbana torinese in termini di superamento dei valori limite di qualità dell'aria;
- per i quali una sorgente di combustione come la centrale "Torino Nord" può fornire un contributo aggiuntivo in aria ambiente, in termini sia di emissioni primarie sia di emissioni di precursori di particolato secondario.

In questa ottica non è stato preso in considerazione l'ozono che, pur presentando nei mesi estivi un numero elevato di superamenti dei valori di riferimento della normativa, non è in alcun modo considerabile un tracciante di inquinamento industriale.

Come comunicato con lettera prot. 120064 del 23/11/2012, l'analisi della composizione del particolato e la simulazione modellistica prevista dal progetto saranno oggetto di una successiva relazione. Si ricorda che la simulazione modellistica, come previsto dal piano di progetto, produrrà una stima accurata del contributo percentuale alle concentrazioni in aria ambiente da parte delle diverse tipologie di sorgenti presenti nell'area di studio, (traffico della tangenziale di Torino, traffico locale, impianti di riscaldamento domestico e centrale "Torino Nord") per quanto riguarda ossidi di azoto e particolato primario e fornirà quindi un'informazione di dettaglio sulla rilevanza percentuale delle diverse fonti di inquinamento atmosferico.

La presente relazione è stata predisposta grazie al supporto scientifico fornito dall'Area Funzionale Tecnica di Arpa Piemonte e in particolare del dott. Stefano Buratto. Le informazioni relative al funzionamento delle centrali "Torino Nord" e "Vallette" sono state fornite dal Servizio territoriale di Tutela e Vigilanza del Dipartimento Arpa di Torino mentre i profili verticali di vento utilizzati nel paragrafo relativo all'analisi dei dati giornalieri sono stati messi a disposizione dal Dipartimento Sistemi previsionali di Arpa Piemonte.

Obiettivi dell'analisi e impostazione metodologica generale

Gli obiettivi del presente documento sono i seguenti :

1. verificare se, per i tre inquinanti citati in premessa, siano individuabili una o più giornate che presentano variazioni statisticamente significative delle concentrazioni in aria ambiente nel periodo successivo all'entrata in esercizio della centrale termoelettrica "Torino Nord" rispetto al periodo precedente;
2. verificare con un'analisi di dettaglio se le eventuali variazioni rilevate ai punti precedenti possano essere ricondotte al contributo della centrale "Torino Nord". Questa analisi si rende necessaria in quanto l'elaborazione statistica, per sua natura, non può evidenziare relazioni di causa - effetto tra una determinata sorgente e una variazione dello stato di qualità dell'aria;
3. stimare per i tre inquinanti citati in premessa e sulla base dei dati delle campagne di monitoraggio le concentrazioni medie annuali nei periodi precedente e successivo all'entrata in esercizio della centrale termoelettrica "Torino Nord" e verificare se nel periodo post operam la media annuale evidenzia una variazione significativa rispetto al periodo ante operam.

Dal punto di vista della metodologia di lavoro è importante sottolineare che per gli obiettivi 1 e 2 **non risulta corretto un semplice confronto numerico tra le concentrazioni rilevate in aria ambiente prima e dopo l'entrata in esercizio dell'impianto**. L'inquinamento atmosferico è, infatti, fortemente influenzato dalla meteorologia e quindi l'aumento o la diminuzione delle concentrazioni rilevate in un determinato anno rispetto al precedente sono spesso imputabili, rispettivamente, a una maggiore o minore criticità delle condizioni meteorologiche.

Naturalmente va considerato che le concentrazioni degli inquinanti atmosferici mutano nel tempo anche in funzione delle evoluzioni del quadro emissivo relativo a fonti diverse da quella di cui si vuole studiare l'impatto, in conseguenza di fattori quali le politiche di risanamento messe in atto dagli organismi competenti, il mutamento delle abitudini di mobilità, l'evoluzione nell'uso dei combustibili ecc.. In particolare nel caso in esame la centrale "Vallette" è rimasta parzialmente in funzione sino ad aprile 2011¹. Di norma però questi mutamenti di natura socio-economica hanno per loro natura una scala temporale pluriennale, per cui quando si confrontano due annate successive l'effetto di gran lunga prevalente è quello della meteorologia.

A titolo di esempio si consideri che nella città di Torino – con un quadro emissivo sostanzialmente stabile - si è assistito nel 2011 a un significativo aumento delle concentrazioni di biossido di azoto, PM10 e PM2.5 rispetto al 2010, a causa di condizioni di maggiore stabilità atmosferica e minore piovosità dei mesi freddi dell'anno, quelli più critici per gli inquinanti considerati².

Per tenere conto delle differenti condizioni – in particolare, come descritto, di tipo meteorologico - in cui sono stati svolti i monitoraggi ante operam e post operam, nella presente analisi si è scelto di utilizzare come migliore riferimento una delle stazioni fisse di monitoraggio della qualità dell'aria ubicate nelle aree non soggette alle ricadute della centrale "Torino Nord" e per la quale di conseguenza la variazione delle concentrazioni nel tempo non è imputabile all'impianto. La procedura con cui è stata selezionato il miglior riferimento è descritta nel capitolo seguente.

¹ Nel caso in esame i principali mutamenti del quadro emissivo a breve e medio termine sono relativi alla progressiva eliminazione di impianti di riscaldamento civile in conseguenza dell'estensione della rete di teleriscaldamento e allo spegnimento nell'aprile 2011 della centrale "Vallette", fenomeni entrambi collegati all'autorizzazione all'esercizio della centrale "Torino Nord". Le simulazioni modellistiche effettuate all'interno dello Studio di Impatto Ambientale, però, mostrano che il sito di Collegno-Savonera è interessato in misura minima dalle ricadute di tali impianti.

² Per una trattazione dettagliata del fenomeno descritto si rimanda ai capitoli relativi al particolato e al biossido di azoto nella pubblicazione: "Uno sguardo all'aria 2011" a cura di Provincia di Torino- e Arpa Piemonte, disponibile all'indirizzo <http://www.provincia.torino.gov.it/ambiente/inquinamento/eventi/sguardo>.

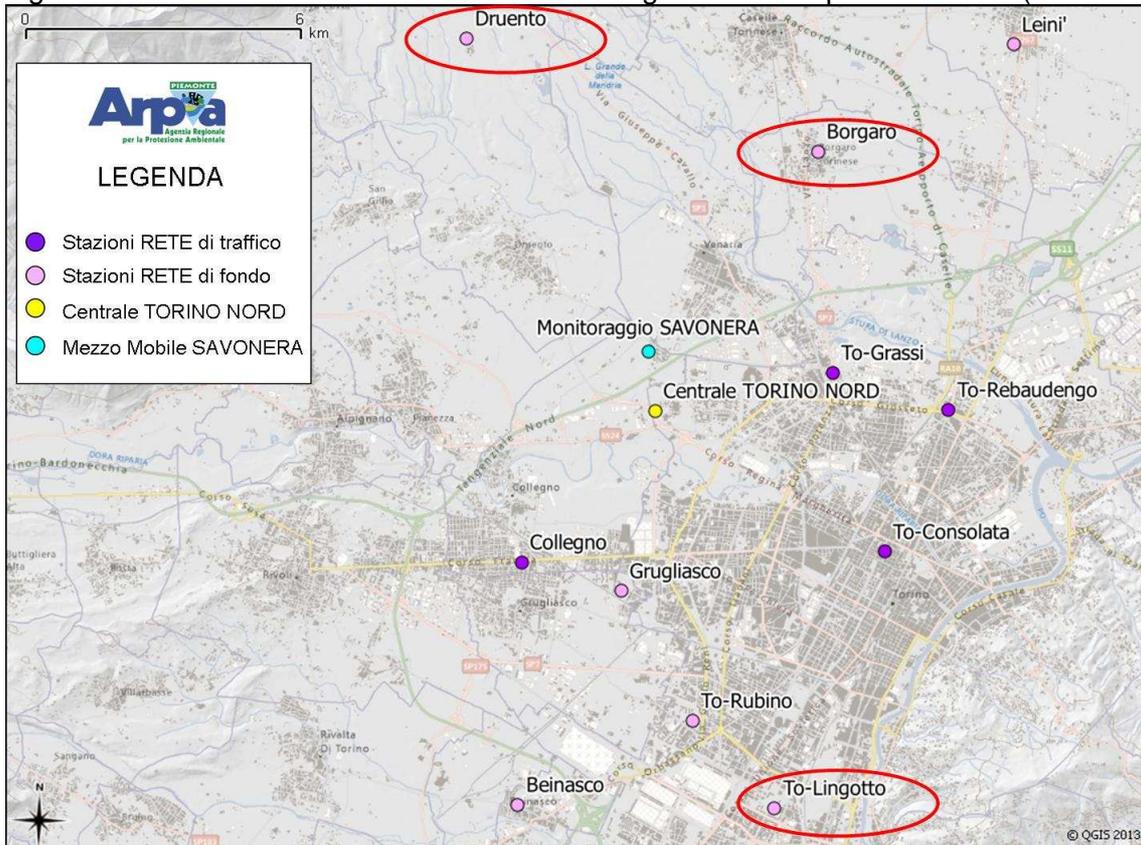
Sceita della stazione fissa di riferimento

Quando per un sito di indagine si ha l'obiettivo di confrontare anni successivi di misurazioni per diversi parametri inquinanti è bene cercare di minimizzare il più possibile l'influenza delle condizioni al contorno, in particolare la meteorologia, che può essere molto diversa da un anno all'altro. Per questo si è deciso di scegliere una stazione della rete di Monitoraggio Regionale della qualità dell'aria come riferimento per il sito di misura ante e post operam della centrale Torino Nord.

Nel processo di scelta si è utilizzato in primis un critério geografico-descrittivo che doveva soddisfare i seguenti requisiti:

- la stazione di riferimento doveva essere sufficientemente vicina al sito oggetto di indagine, ma non tanto da trovarsi nell'area di ricaduta degli inquinanti, così come individuata dallo Studio di Impatto Ambientale;
- La stazione doveva avere caratteristiche di fondo, e non essere direttamente soggetta a fonti primarie di emissioni, quali presenza di assi viari a traffico intenso e aree industriali specifiche;
- Nella stazione di elezione doveva essere previsto il monitoraggio dei principali inquinanti impattanti: NO₂, PM₁₀ e PM_{2,5}, o almeno di NO₂ e PM₁₀.

Figura 1: Distribuzione delle stazioni della rete regionale della qualità dell'aria (Prov. To)



Quasi tutte le stazioni dell'area metropolitana di Torino sono state escluse sia perché presenti nell'area di ricaduta degli inquinanti sia perché si trattava prevalentemente di stazioni di traffico. In definitiva solo tre stazioni della rete provinciale presentavano tutti i requisiti geo-descrittivi richiesti:

- **Torino Lingotto** – stazione di fondo urbano. Collocata in area a carattere residenziale non direttamente soggetta a fonti primarie di emissioni. Vi si svolge, tra gli altri, il monitoraggio di NO₂, PM₁₀ e PM_{2.5}.
- **Druento / Parco regionale della Mandria** – stazione di fondo rurale. Collocata in area remota in una zona non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Vi si svolge il monitoraggio di NO₂ e PM₁₀.
- **Borgaro** – stazione di fondo suburbana. Collocata in area suburbana a carattere residenziale non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Vi si svolge il monitoraggio di NO₂, PM₁₀ e PM_{2.5}.

Ristretta la rosa delle stazioni di monitoraggio candidate, si è proceduto con la selezione della stazione migliore da utilizzare come riferimento, avvalendosi di un critério statistico basato sulla correlazione delle serie di misure svolte durante l'anno 2011.

Per gli inquinanti NO₂ e PM₁₀ sono state confrontate le misure svolte nelle quattro campagne ante operam del 2011 nel sito di Savonera con le concentrazioni misurate negli stessi periodi dell'anno in ogni stazione candidata ed è stata valutata la correlazione di ciascuna coppia di stazioni.

Come si osserva dai grafici di correlazione riportati in Figura 2 e Figura 3, il sito di monitoraggio di Savonera presenta la correlazione migliore con la stazione di Borgaro sia per NO₂ sia per PM₁₀: per la coppia di stazioni Savonera – Borgaro, infatti, la dispersione è minima e il coefficiente R di Pearson è il più alto tra le coppie di stazioni considerate. Si evidenzia inoltre che il parametro PM₁₀ è in genere più correlato del biossido di azoto, in accordo con il suo carattere maggiormente ubiquitario.

Nei grafici di Figura 2 e Figura 3, è stato mostrato anche il risultato dell'analisi dei cluster applicata alle serie di dati di NO₂ e PM₁₀ per le stazioni candidate e il sito di monitoraggio di Savonera. Si tratta di una tecnica di analisi multivariata attraverso la quale è possibile rilevare la somiglianza tra più gruppi di elementi. Nel caso particolare è stato utilizzato il clustering di tipo gerarchico che ha evidenziato la maggiore similitudine dei valori di Borgaro e Savonera rispetto alle altre coppie di stazioni considerate. Ciò è vero soprattutto per il biossido di azoto.

Figura 2: NO₂ correlazioni e analisi cluster per le stazioni candidate e il sito di Savonera

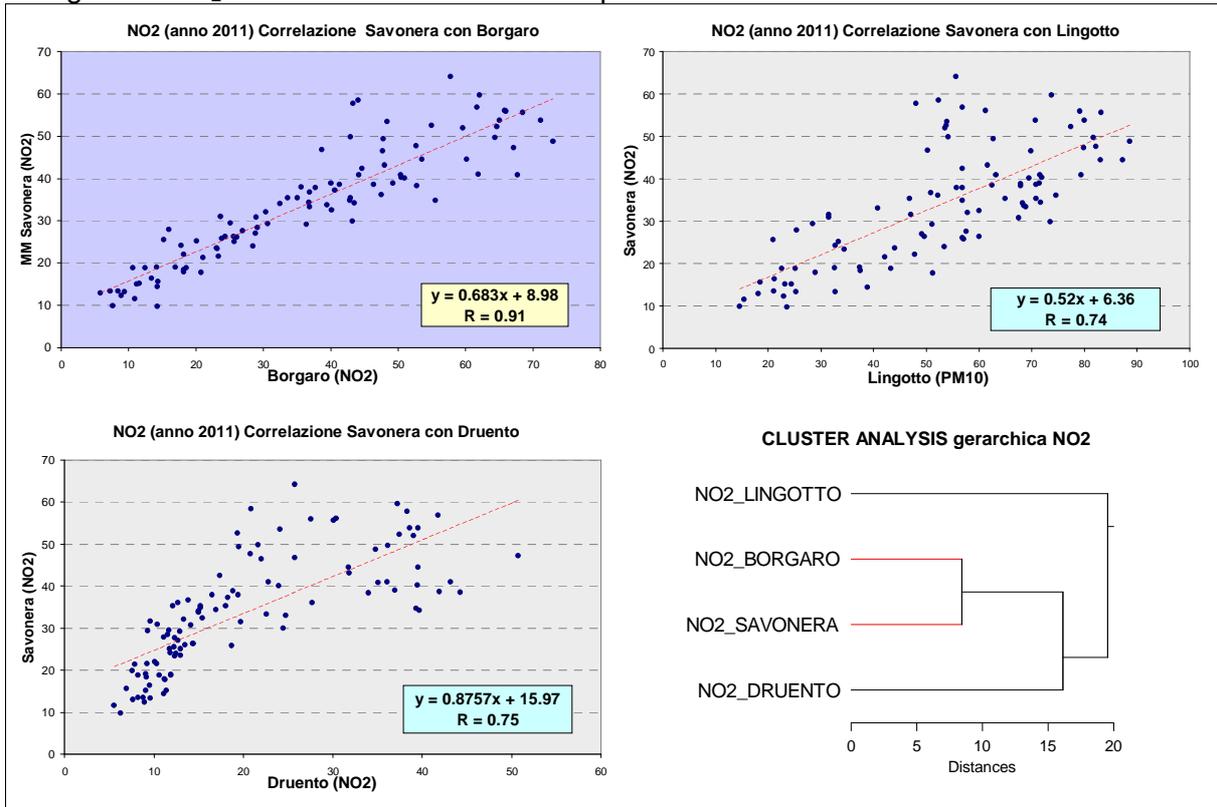
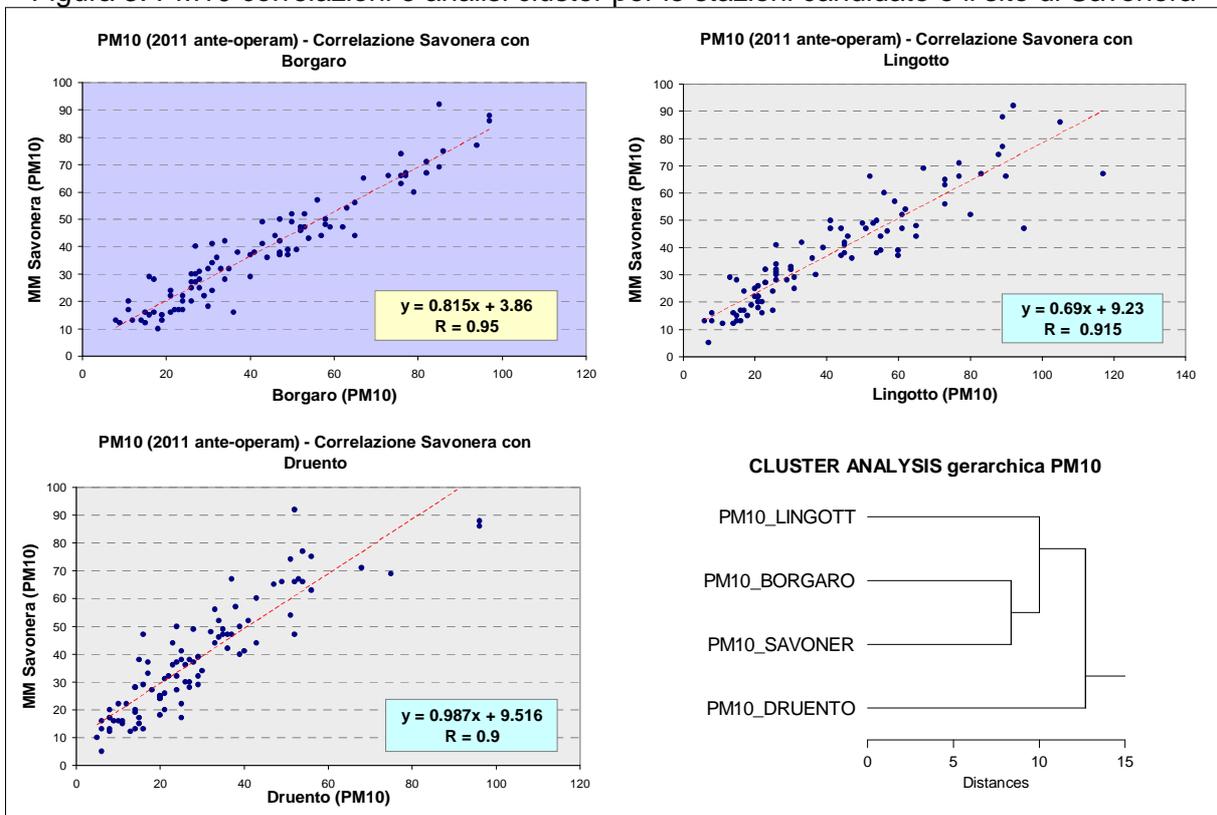


Figura 3: PM₁₀ correlazioni e analisi cluster per le stazioni candidate e il sito di Savonera

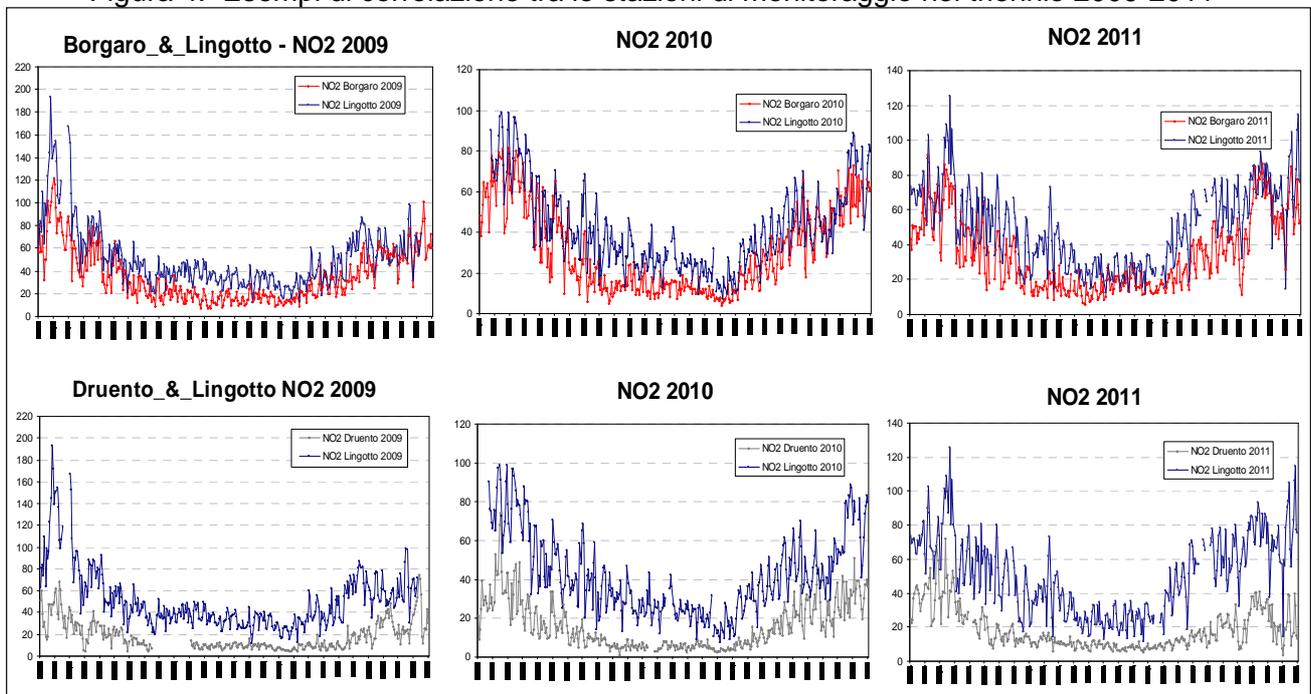


In base alle analisi statistiche svolte si è quindi deciso di scegliere come riferimento per il sito di Savonera la stazione della rete di monitoraggio di **Borgaro Torinese**.

Una conferma indiretta della stabilità del riferimento scelto e che la buona correlazione trovata tra Savonera e Borgaro non fosse frutto di un comportamento casuale verificatosi nel solo 2011, è stata ottenuta verificando il mantenimento nel tempo delle interrelazioni reciproche tra le tre stazioni della rete di monitoraggio candidate.

Nel triennio 2009-2011, infatti, sia per il PM_{10} sia per il biossido di azoto le somiglianze e le differenze tra gli andamenti delle concentrazioni misurate nelle stazioni candidate rimangono inalterate. Le coppie di stazioni ben correlate nel 2011 – ad esempio. Borgaro vs Lingotto per il parametro NO_2 - mantengono lo stesso tipo di correlazione anche nel 2010 e nel 2009; mentre la bassa correlazione della coppia Druento/Lingotto per l' NO_2 rimane inalterata nel triennio 2009-2011 (Vedi Figura 4).

Figura 4: Esempi di correlazione tra le stazioni di monitoraggio nel triennio 2009-2011



Metodologia utilizzata per il confronto delle medie giornaliere

Le eventuali variazioni significative delle concentrazioni in aria ambiente tra il periodo successivo all'entrata in esercizio della centrale e il periodo precedente possono venire evidenziate dal confronto delle medie giornaliere dei due suddetti periodi nell'ipotesi non realistica che le condizioni meteo climatiche si presentano inalterate. Di conseguenza, nella necessità di dover minimizzare l'impatto delle differenti condizioni meteorologiche caratterizzanti i due periodi, si è cercato di individuare un modello statistico-matematico per relazionare l'escursione (range) "ammissibile" delle concentrazioni di PM10, PM2.5 e NO₂ presso la stazione di monitoraggio mobile (Collegio) alle concentrazioni rilevabili presso la stazione di riferimento (Borgaro).

In particolare, considerata l'alta significatività della correlazione lineare tra le stazioni "mobile" e "riferimento" per tutti e tre gli inquinanti, il modello scelto si basa sulla individuazione delle curve previsionali di livello di probabilità del 95% (probabilità di inclusione $p=0.95$), secondo i passaggi logici descritti di seguito.

Per ciascuno dei tre inquinanti è stato individuato il modello, specifico, che esprime la relazione standard tra i punti "mobile" e "riferimento". Tutti i modelli sono stati ottenuti con i dati disponibili del periodo ante-operam, ovvero le quattro campagne di misura estese da fine 2010 a tutto il 2011.

La prima attività svolta è consistita nel verificare la significatività del modello di regressione lineare tra le concentrazioni del punto mobile (Y) e quelle del punto di riferimento (X) e tale modello è risultato molto significativo.

Le tabelle seguenti riepilogano l'esito dei test ANOVA e la valutazione della significatività dei parametri -"pendenza" e "intercetta"- di ciascun modello. Si conclude che le relazioni lineari tra le misure in Y e le misura nel riferimento X sono altamente significative sia per PM10, che per NO₂, che PM2.5.

Tabella 1: PM10 - esiti del test ANOVA

Regression Estimates PM10					
Paramater	Estimates	Std.Error	T-values	p-values	
intercept	3.856	1.323	2.914	0.0045	
PM10_Borgaro_2011	0.815	0.0272	29.95	1.378E-48	
Test ANOVA					
Source of Variation	SS	DOF	MS	F-Value	P-Value
Regression	32349	1	32349	897.1	0
Error	3246	90	36.06		
Total	35595	91			
R ² = 0.909 / Adjusted R ² = 0.908					

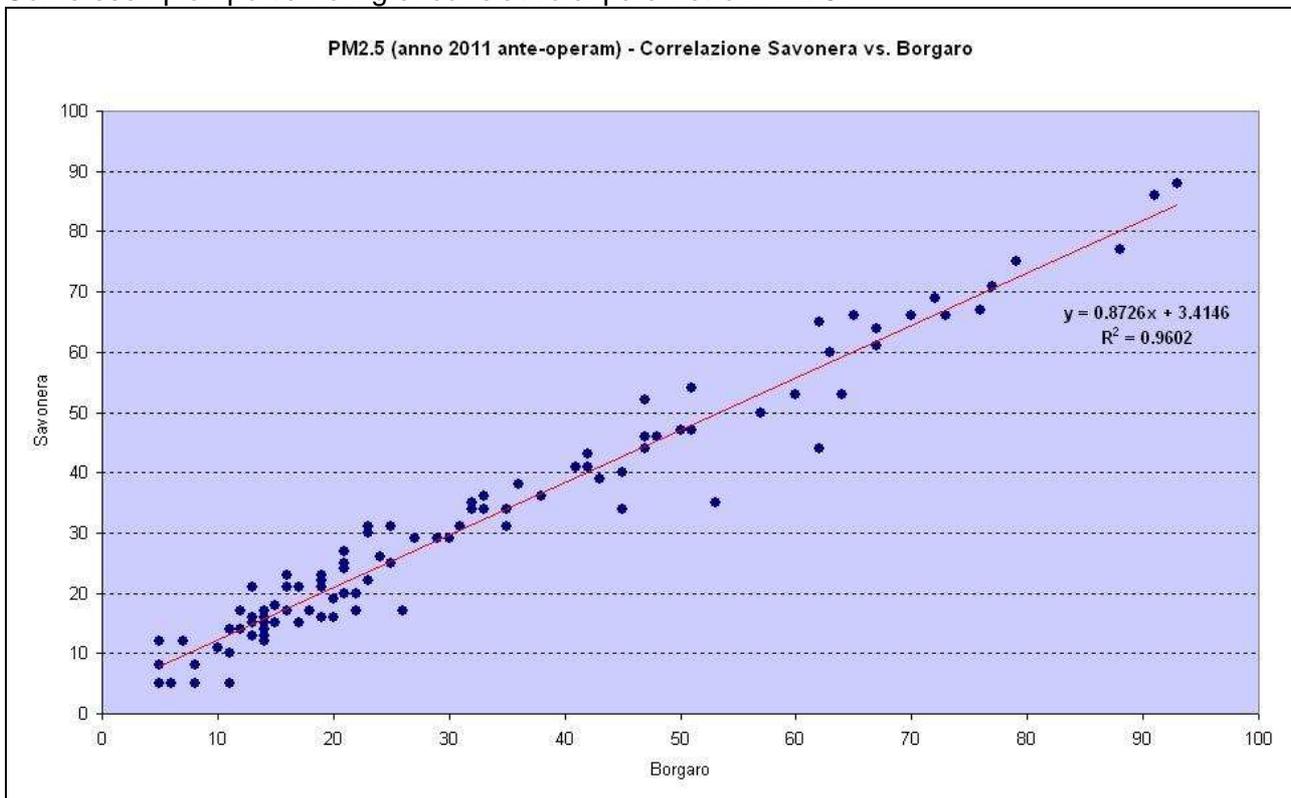
Tabella 2: PM2.5 - esiti del test ANOVA

Regression Estimates PM2.5					
Paramater	Estimates	Std.Error	T-values	p-values	
intercept	3.415	0.702	4.864	4.34E-06	
PM25_Borg_2011	0.873	0.0179	48.87	4.01E-71	
Test ANOVA					
Source of Variation	SS	DOF	MS	F-Value	P-Value
Regression	37798	1	37798	2389	0
Error	1567	99	15.82		
Total	39365	100			
R ² = 0.96 / Adjusted R ² = 0.96					

Tabella 3: NO₂ - esiti del test ANOVA

Regression Estimates NO ₂					
Parameter	Estimates	Std.Error	T-values	p-values	
intercept	8.982	1.268	7.083	2.251E-10	
NO ₂ _Borgaro_2011	0.683	0.0314	21.75	4.37E-39	
Test ANOVA					
Source of Variation	SS	DOF	MS	F-Value	P-Value
Regression	15289	1	15289	473.1	0
Error	3134	97	32.31		
Total	18423	98			
$R^2 = 0.83$ / Adjusted $R^2 = 0.828$					

Come esempio riportiamo il grafico relativo al parametro PM 2.5:



Successivamente, verificata la validità delle ipotesi fondamentali del modello lineare regressivo per mezzo dell'analisi dei residui, si sono implementate le curve previsionali di livello di probabilità del 95%.

Tali curve, spesso note con il termine di "iperboli previsionali" non devono essere assolutamente confuse con le iperboli fiduciali. Queste ultime infatti esprimono l'intervallo in cui ci si aspetta di trovare la media della variabile Y in relazione ai valori X_k della variabile X, mentre le curve previsionali stimano l'intervallo in cui ci si aspetta di trovare i singoli valori di Y in funzione di X.

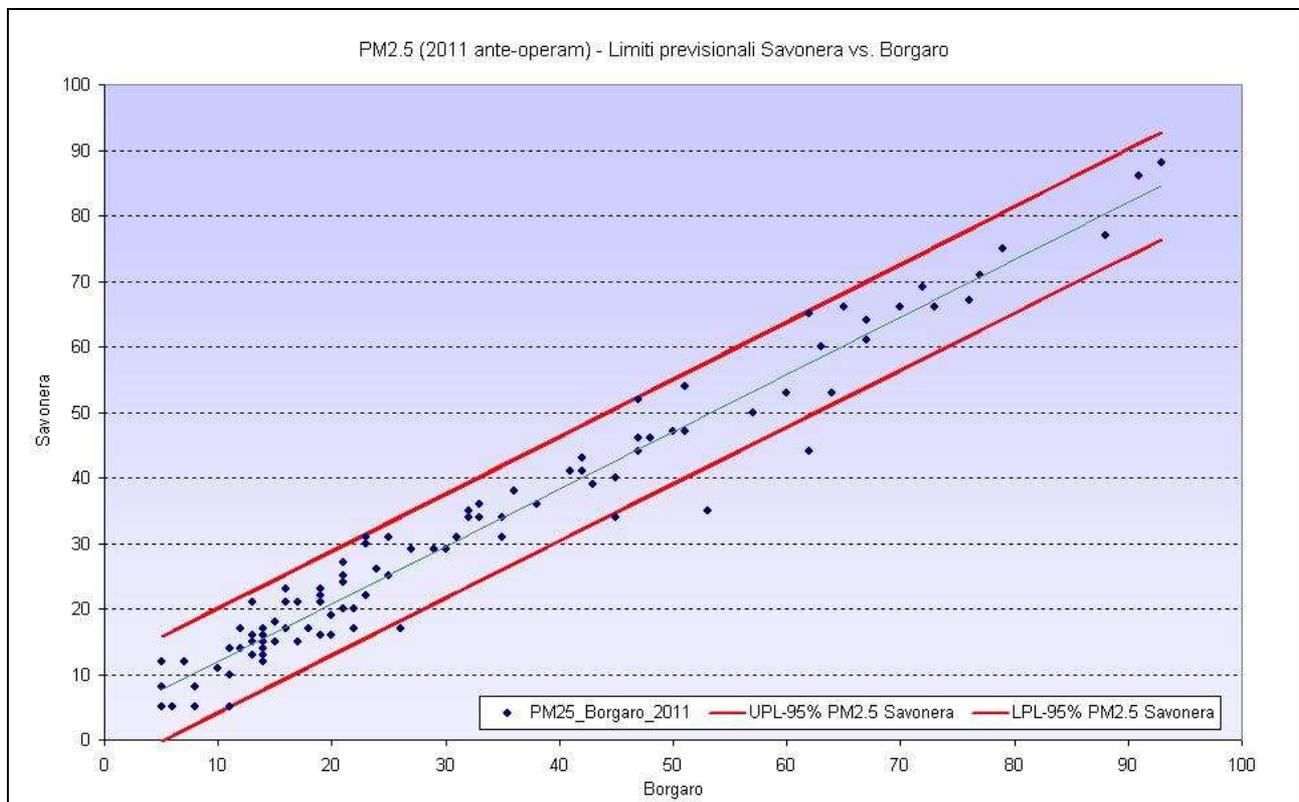
In particolare l'intervallo di previsione di un singolo valore Y per un certo valore X_k è dato dalle equazioni:

$$Y_k = \hat{Y}_k \pm t_{(n-2, \alpha/2)} \cdot \sqrt{S_e^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_k - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right)}$$

Dove

- Y_k è il valore previsto medio per un dato valore X_k ,
- $t_{(n-2, \alpha/2)}$ è il coeff. Relativo alla distribuzione t di Student, e tiene conto del livello di probabilità dell'intervallo previsionale,
- S_e è la dev. standard di errore del modello lineare (calcolata con i residui),
- X_k è il valore di X a cui l'intervallo previsionale si riferisce.

Facendo variare X_k le equazioni descritte consentono di ottenere le curve previsionali. Come esempio si riporta il grafico delle curve previsionali di probabilità 95% del parametro PM2.5, ottenute con i dati del periodo ante-operam:



Il significato previsionale sta tutto nel fatto che, in assenza di mutamenti significativi della situazione ambientale in cui tali curve previsionali sono state calcolate, ci si aspetta che un nuovo dato sia interno alle due curve con probabilità pari al 95%.

Ciò implica anche che è ammissibile, ma deve essere un evento “raro” (probabilità $p \leq 5\%$), che un dato possa risultare al di fuori della zona previsionale, anche in assenza di variazioni ambientali significative.

Nel presente studio il modello lineare e le curve previsionali costruite con i dati ante-operam sono stati utilizzati per verificare la variabilità delle concentrazioni di Savonera (Y) rispetto a Borgaro (X) nel periodo post-operam.

Poiché le metodiche di misura degli inquinanti nei due siti sono le stesse, è doveroso evidenziare che la variabile X è caratterizzata da una dispersione confrontabile con quella della variabile Y, quindi non trascurabile. La zona previsionale dovrebbe quindi essere, a rigore, ampliata “aggiungendo” questa dispersione ulteriore. Nel presente studio si è scelto di non aumentare l’ampiezza della zona previsionale per un approccio maggiormente cautelativo nella verifica delle eventuali differenze tra lo stato della qualità dell’aria precedente e successivo all’entrata in funzione della CTE “Torino Nord”.

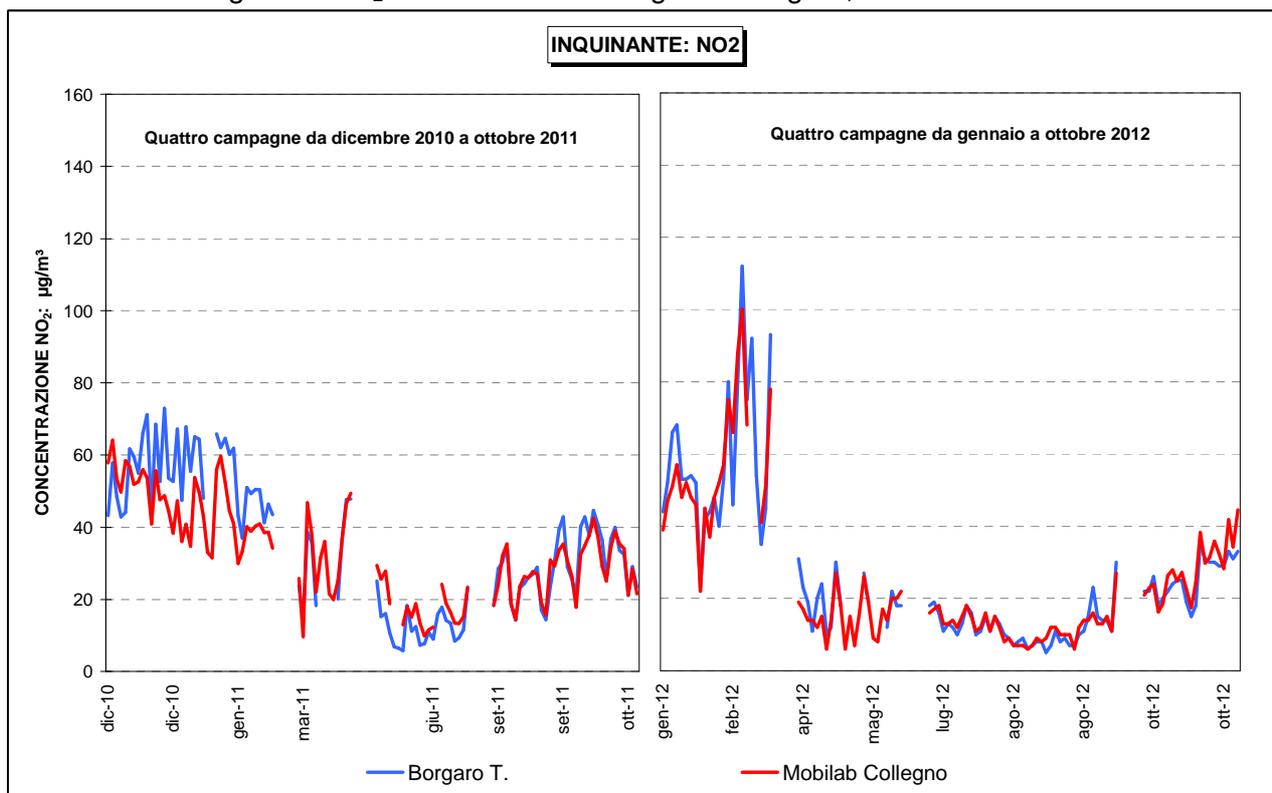
Risultati del confronto delle medie giornaliere

Al fine di valutare le possibili ricadute della Centrale IREN presso il sito di Savonera in termini di variazione del livello di qualità dell'aria è necessario effettuare la comparazione dei dati sperimentali raccolti nei due anni 2011 (ante operam) e 2012 (post operam).

Nelle figure che seguono vengono riportati, per i tre parametri in esame (NO_2 , PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$), i confronti delle medie giornaliere tra il sito di Savonera-Collegno e la stazione fissa di Borgaro (ovvero la stazione definita di "riferimento" come sopra descritto), relativi ai due anni 2011 - 2012. Si tratta quindi di verificare – come dettagliato nel capitolo precedente - se la relazione esistente tra Collegno e Borgaro valutata complessivamente nel 2011 si sia modificata nell'anno successivo.

Dai tre grafici si nota come i due andamenti (Collegno-Borgaro) sono in generale sovrapponibili in entrambi gli anni, per tutti e tre i parametri esaminati. Se si escludono singoli periodi brevi nei quali le due stazioni possono aver fornito medie giornaliere non confrontabili (ad esempio per motivi legati alla meteorologia locale), globalmente il comportamento dei due siti è pressoché il medesimo e non si evidenziano sostanziali differenze tra i due anni.

Figura 5: NO_2 - confronto tra Collegno e Borgaro, anni 2011 e 2012



Come dettagliato nel capitolo precedente, l'analisi dei dati attraverso l'approccio statistico permette di costruire un modello matematico che, utilizzando in ingresso i dati delle quattro campagne ante-operam, descrive la relazione esistente tra le due stazioni messe e confronto, e tale relazione viene riassunta attraverso l'intervallo previsionale (definito d'ora in avanti IP, intendendo con questo acronimo l'intero intervallo compreso tra le due curve UPL superiore ed inferiore calcolate al 95% di probabilità).

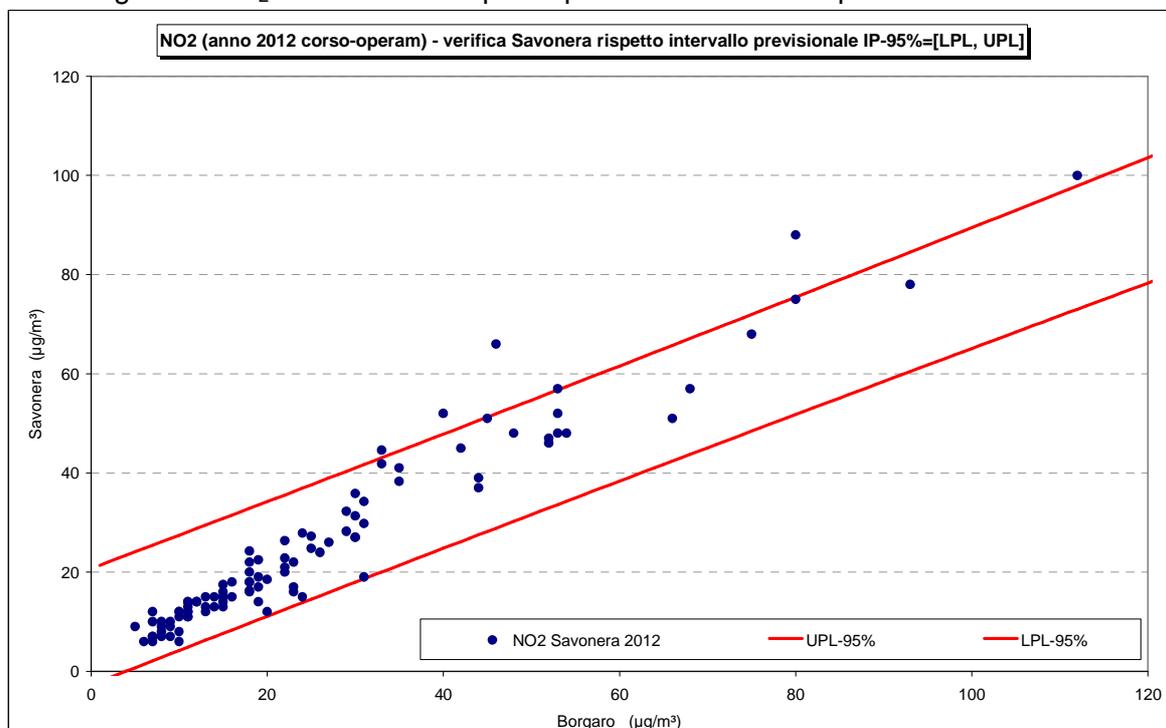
L'IP indica l'intervallo entro il quale si distribuiscono con il 95 % di probabilità le coppie di valori Borgaro-Savonera. Come sottolineato nel capitolo precedente, il fatto che una coppia di valori post operam si collochi al di fuori della zona previsionale non significa necessariamente che si sono verificate variazioni significative della qualità dell'aria rispetto alla situazione ante operam ; nel presente lavoro, però, a scopo cautelativo si è assunta l'ipotesi che le situazioni in cui più del 5% delle coppie di valori post operam si collochino al di fuori di IP sono da considerarsi "non conformi" al modello e pertanto richiedono una disamina approfondita dei dati.

Nel seguito vengono riportati i risultati della elaborazione statistica per i tre parametri NO₂, PM₁₀ e PM_{2,5}.

Biossido di azoto

L'analisi dei dati relativi al biossido di azoto mostra sei dati (che corrispondono al 7% dei dati disponibili nell'anno 2012) al di fuori dell'IP. Tali dati sono posizionati nell'intervallo di concentrazioni che va dai 30 ai 120 µg/m³ coprendo quindi un ampio range di concentrazioni. Inoltre tutti i sei dati sono collocati superiormente al limite UPL. Sulla base delle ipotesi con le quali è stato costruito il modello risulta pertanto necessario approfondire le cause per le quali si osserva un numero di superamenti dell'IP maggiore del 5%.

Figura 8: NO₂ - confronto dati post-operam con intervallo previsionale IP 95%



PM₁₀ e PM_{2,5}

Analogamente al biossido di azoto si riportano i due diagrammi relativi al particolato PM₁₀ e PM_{2,5}. Per entrambi i parametri si osservano alcuni dati al di fuori dell'intervallo IP. Per il PM₁₀ si osservano 15 valori (corrispondenti al 15% del totale) al di fuori dell'intervallo previsionale e in particolare 8 di questi risultano al di sopra del limite UPL superiore (Figura 9). Per il PM_{2,5} il 7% dei dati esce dall'intervallo (7 valori), e di questi solo due valori sono superiori al limite UPL superiore mentre i restanti si collocano al di sotto della linea LPL inferiore (Figura 10).

Figura 9: PM₁₀ - confronto dati post-operam con intervallo previsionale IP 95%

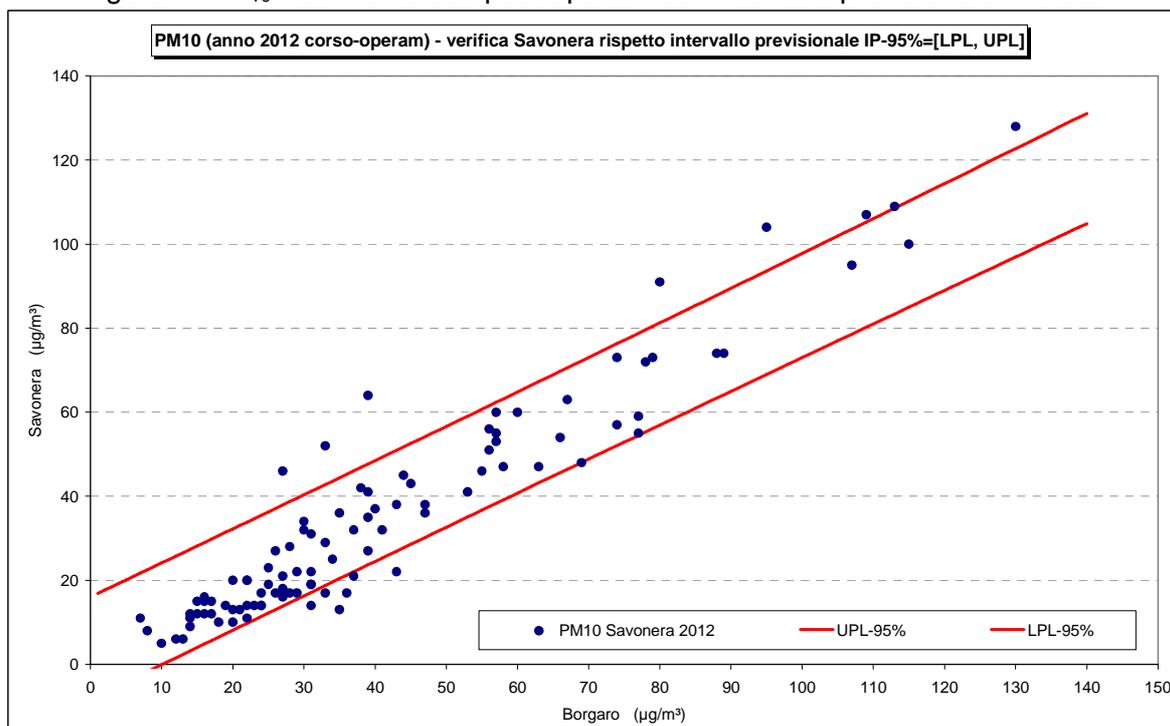
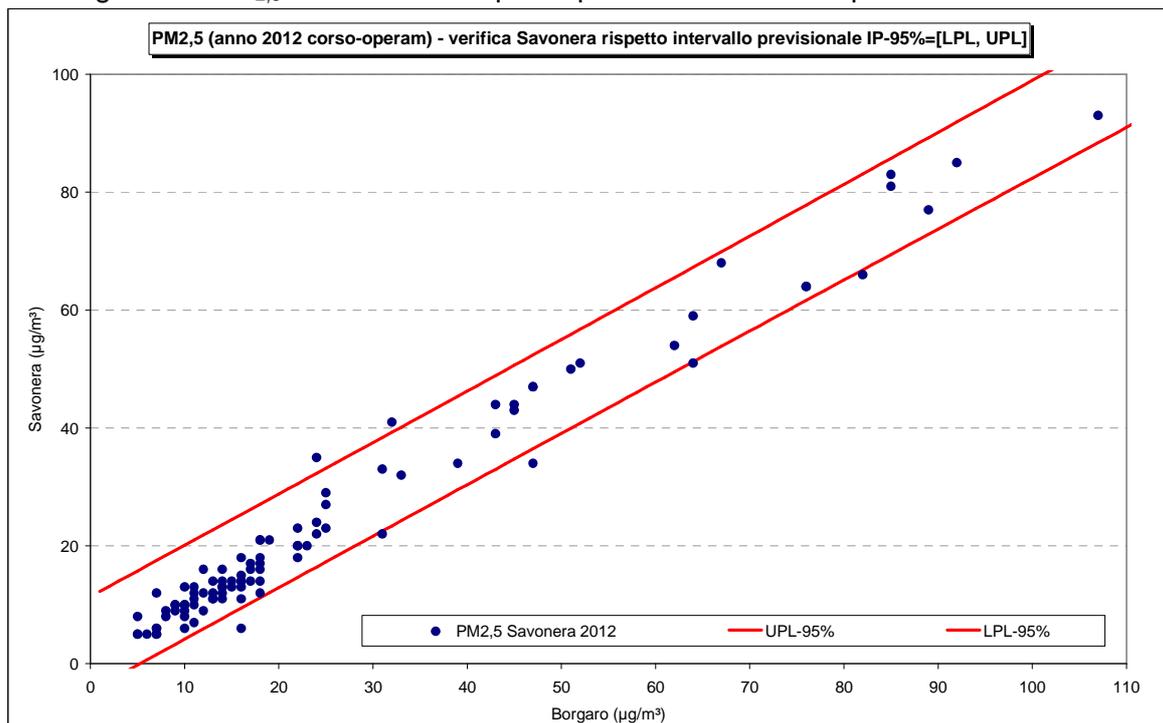


Figura 10: PM_{2,5} - confronto dati post-operam con intervallo previsionale IP 95%



Analisi dei dati

Prima di procedere con la disamina dei dati relativi ai tre parametri è opportuno premettere che l'oggettività del modello matematico proposto consiste nell'aver definito a priori e con criteri conservativi quale deve essere la probabilità che la relazione tra i dati delle due stazioni sia compresa entro un certo intervallo di valori definito intervallo previsionale (probabilità pari al 95%).

E' importante inoltre evidenziare che valori al di fuori dell'intervallo previsionale hanno significato ambientale decisamente differente se tali valori si trovano al di sopra del limite UPL superiore o, caso opposto, al di sotto del limite LPL inferiore: nella prima situazione infatti ci si trova nella condizione per cui presso il sito di Collegno si misurano valori che sono "eccessivamente" superiori se confrontati con il corrispondente valore misurato a Borgaro (riferimento).

Viceversa nel secondo caso le concentrazioni risultano "eccessivamente" inferiori rispetto al sito di riferimento. In merito alla seconda situazione (dati al di sotto del LPL) , una condizione per cui l'aggiunta di una fonte di pressione comporti una riduzione dell'inquinamento (ad esempio, nel caso in esame, grazie a un'estensione della rete di teleriscaldamento) esula dagli scopi del presente studio; i valori al di sotto della linea LPL inferiore, sebbene rientrino a tutti gli effetti nel calcolo del 5% di dati ammessi fuori dall'IP, non saranno quindi oggetto di un esame di dettaglio particolarmente approfondito.

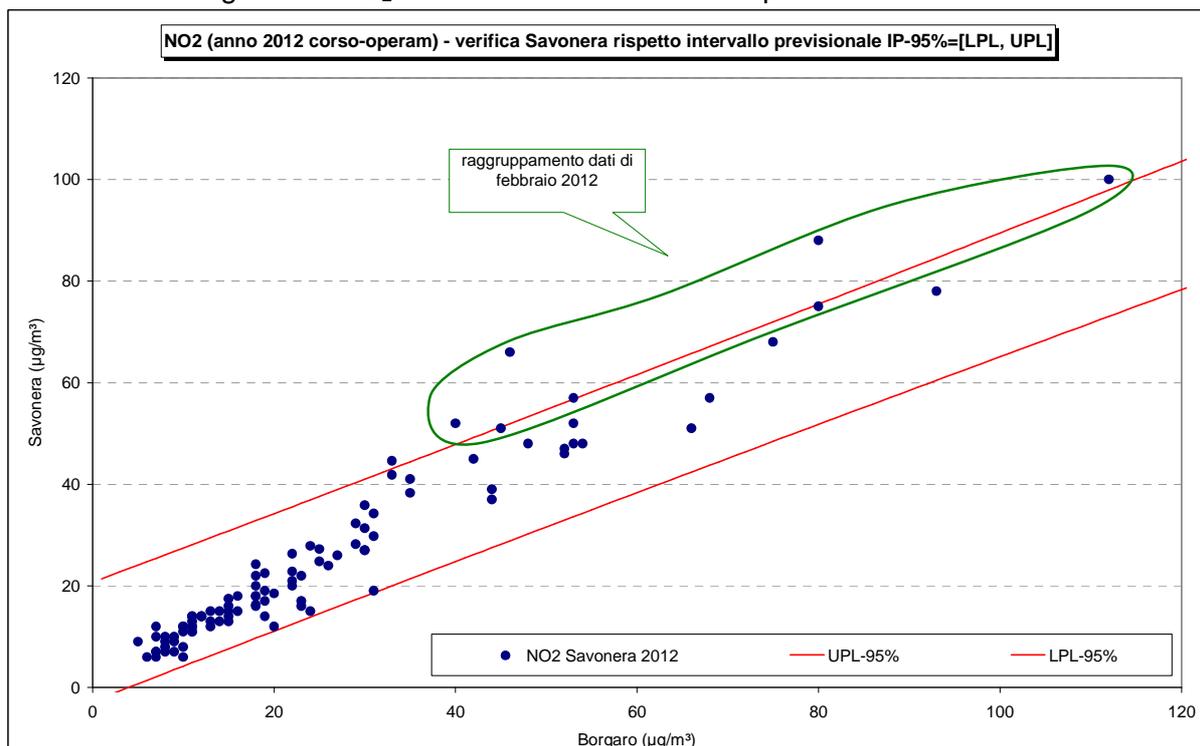
In altre parole, non è sufficiente che sia superato il limite teorico del 5% per stabilire che la qualità dell'aria del 2012 è peggiorata rispetto 2011: deve necessariamente essere analizzato, da un lato come i valori esterni si distribuiscono rispetto all'IP, dall'altro quali caratteristiche abbiano le giornate corrispondenti a coppie di valori che si collocano al di sopra del limite UPL.

Dall'analisi dettagliata dei dati di NO₂ è emerso che la maggior parte dei valori al di fuori dell'intervallo previsionale si riferiscono ad un periodo temporale ben definito che va dal 2 al 7 febbraio 2012. Nella Tabella 4 vengono riportati i valori delle concentrazioni e la corrispondente data di effettuazione della misura, relativi ai superamenti dell'intervallo IP; in Figura 11 vengono evidenziati i dati da esaminare.

Tabella 4 : NO₂ – valori esterni all'intervallo previsionale IP 95%

DATA	NO ₂ (µg/m ³) Collegno-Savonera	NO ₂ (µg/m ³) Borgaro
02/02/2012	52	40
03/02/2012	57	53
05/02/2012	66	46
06/02/2012	88	80
07/02/2012	100	112
24/10/2012	45	33

Figura 11: NO₂ – valori esterni all’intervallo previsionale IP 95%



Analogamente al biossido di azoto anche l’esame dei dati di PM10 ha evidenziato che i valori al di fuori dell’intervallo possono essere raggruppati attraverso un criterio temporale. In particolare, per i valori maggiori dell’UPL superiore, si osservano due sottogruppi; il primo è costituito dai valori registrati tra il 4 ed il 9 febbraio 2012, il secondo coinvolge tre misure effettuate a luglio 2012.

Esiste un ulteriore raggruppamento di dati inferiori al LPL ma, in questo caso, le date corrispondenti non sono consecutive. Nella Tabella 6 vengono riportati i valori delle concentrazioni e la corrispondente data di effettuazione della misura, relativi ai superamenti dell’intervallo IP; in Figura 12 vengono evidenziati i dati da esaminare.

Il particolato PM_{2.5}, pur presentando 7 dati esterni al IP, di cui due sopra il limite UPL superiore, non mostra alcuna peculiarità temporale.

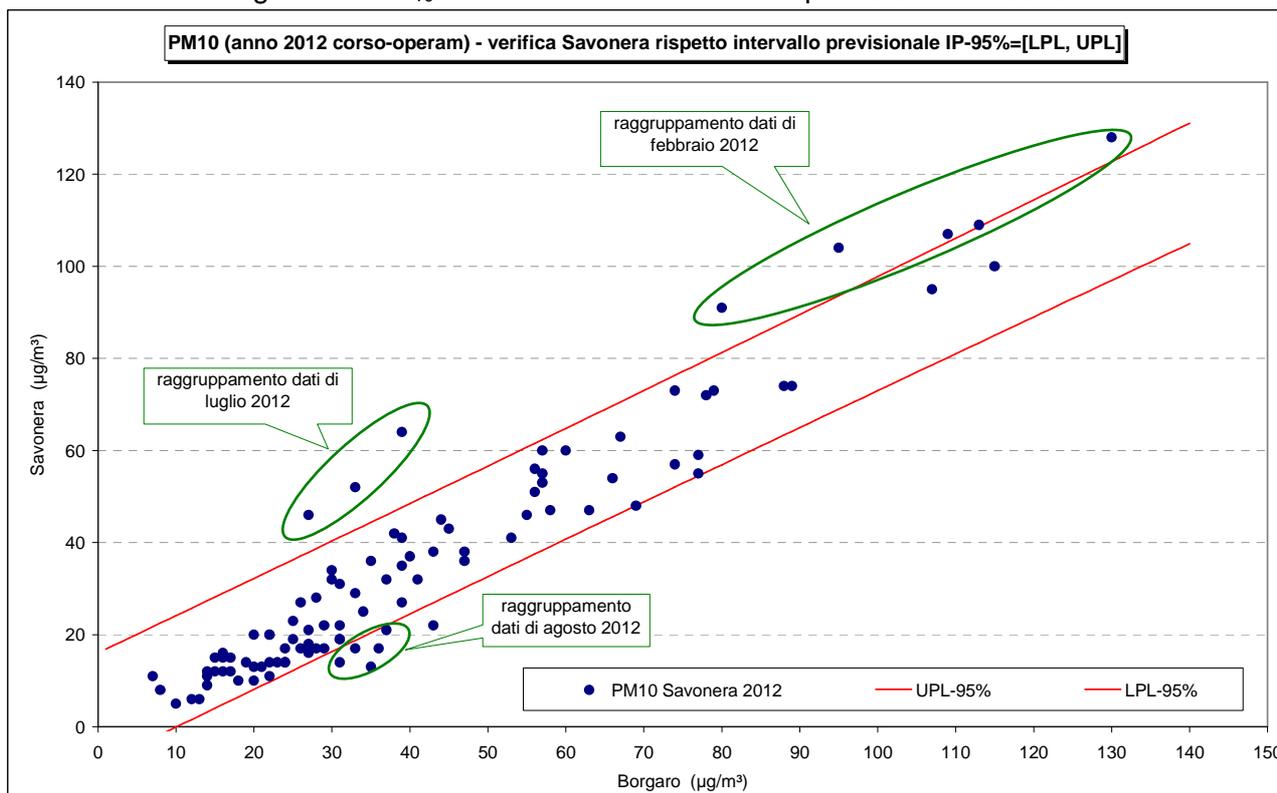
Tabella 5 : PM_{2.5} – valori esterni all’intervallo previsionale IP 95%

DATA	PM _{2.5} (µg/m ³) Collegno-Savonera	PM _{2.5} (µg/m ³) Borgaro
28/01/2012	66	82
30/01/2012	34	47
03/02/2012	51	64
14/08/2012	6	16
13/10/2012	22	31
20/10/2012	35	24
22/10/2012	41	32

Tabella 6: PM₁₀ – valori esterni all'intervallo previsionale IP 95%

DATA	PM ₁₀ (µg/m ³) Collegno-Savonera	PM ₁₀ (µg/m ³) Borgaro
21/01/2012	22	43
04/02/2012	109	113
05/02/2012	91	80
06/02/2012	104	95
07/02/2012	128	130
09/02/2012	107	109
27/07/2012	64	39
28/07/2012	52	33
29/07/2012	46	27
01/08/2012	13	35
17/08/2012	14	31
21/08/2012	17	33
22/08/2012	21	37
24/08/2012	17	36
24/10/2012	48	69

Figura 12: PM₁₀ – valori esterni all'intervallo previsionale IP 95%

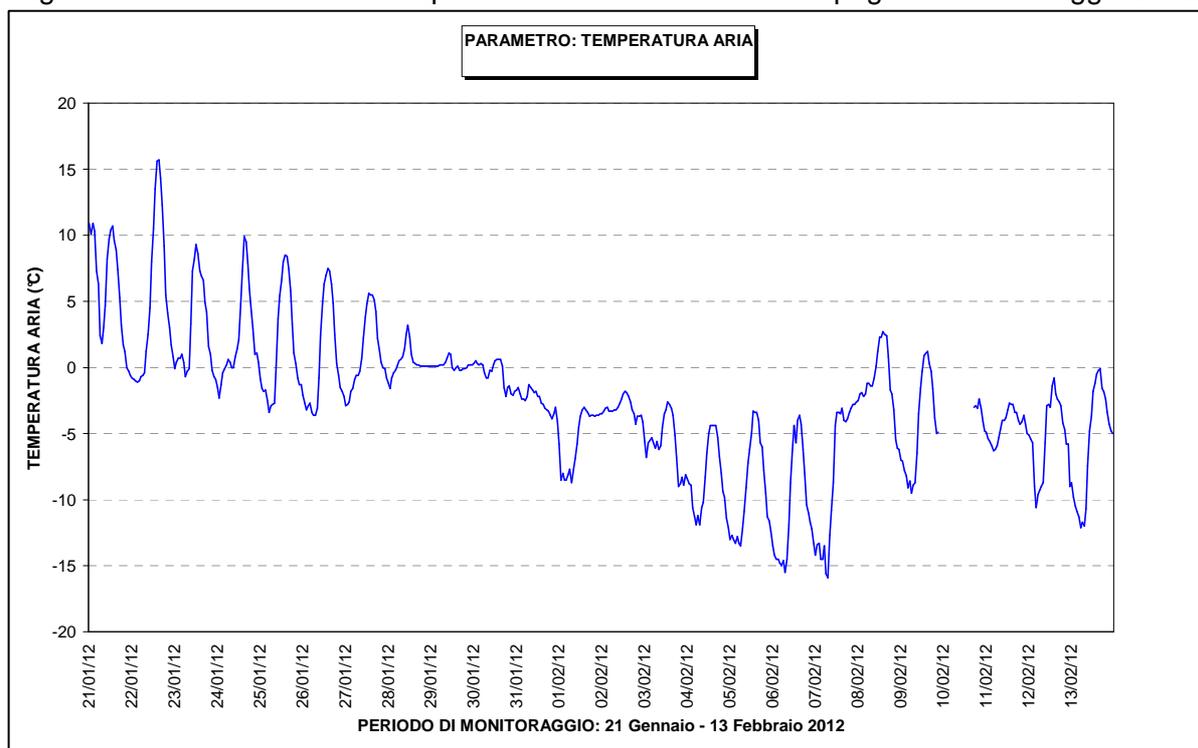


In sintesi il biossido di azoto e il particolato PM10 hanno in comune un raggruppamento di dati esterni al IP in un periodo che varia tra il 02 ed il 09 febbraio. Per valutare tale singolarità è necessario ripercorrere le meteorologia che ha interessato quei giorni. In Figura 13 e Figura 14 vengono riportate rispettivamente la temperatura e le precipitazioni relative alla prima campagna di monitoraggio 2012 (20 gennaio – 14 febbraio 2012).

Il 23 gennaio si assiste all'arrivo del freddo di origine polare verso l'Europa centrale, il quale mostra i suoi effetti nella pianura padana a partire dal 27 gennaio: tra il 28 gennaio ed il 2 febbraio si registrano precipitazioni a carattere nevoso persistente. Successivamente, a seguito dell'arrivo dell'aria fredda siberiana sul Piemonte, si raggiungono temperature minime estremamente basse. In generale nei capoluoghi di provincia, i valori minimi di febbraio 2012 risultano tra i più bassi registrati negli ultimi cinquant'anni. A tal proposito è possibile consultare il rapporto "Analisi meteorologica dell'evento di freddo intenso – febbraio 2012" presso il sito ufficiale di Arpa Piemonte, al menù "Pubblicazioni", sotto la voce "Relazioni tecniche" – "Analisi eventi meteorologici"³

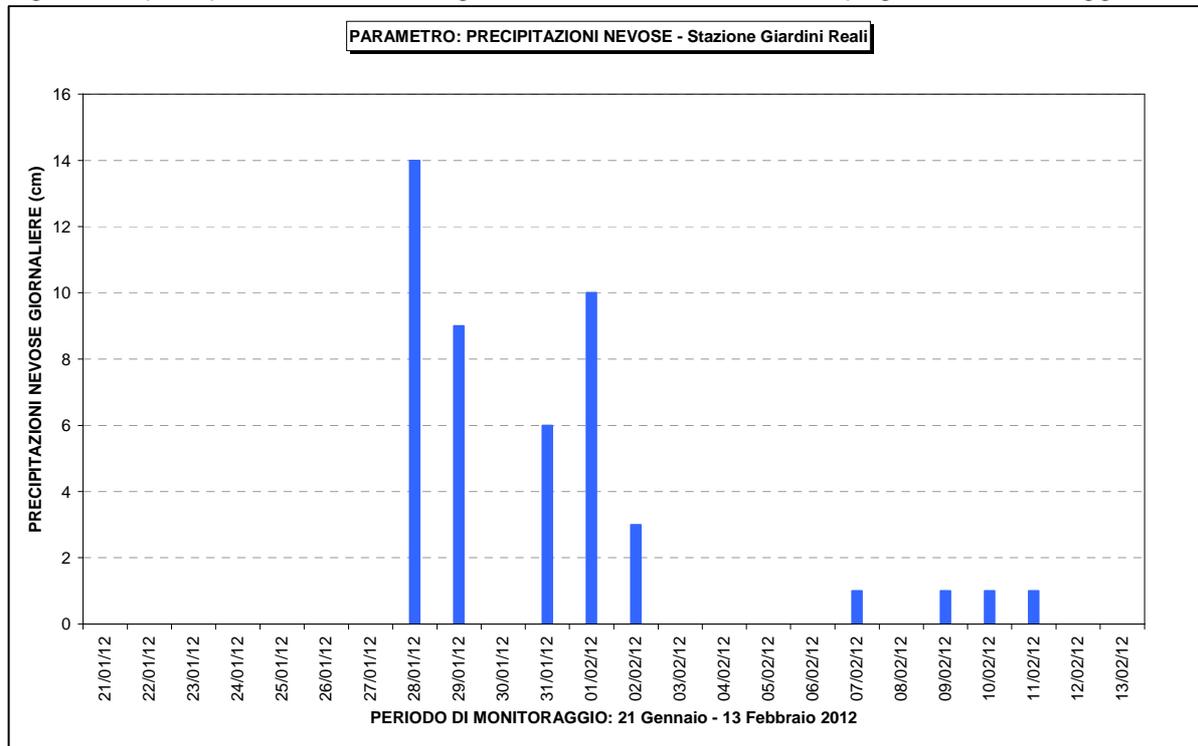
La temperatura media di tutto il periodo di monitoraggio è stata di -2,4°C, valore quest'ultimo particolarmente critico se lo si confronta con il valore dei mesi medi di gennaio e febbraio degli ultimi dieci anni, rispettivamente pari a 3°C e 5°C . Nel dettaglio si può osservare che la temperatura media registrata nei giorni dal 21 al 27 gennaio, ovvero prima che il fronte freddo polare facesse il suo ingresso in pianura, è pari a 3°C, mentre nella seconda parte del monitoraggio tale valore medio scende drasticamente a -5°C. Il valore minimo pari a -15,9° è stato registrato il giorno 07 gennaio alle ore 8:00. Interessanti risultano i giorni 5 - 6 - 7 febbraio nei quali l'escursione termica è stata di circa 12°C, con temperature sempre al di sotto dello zero. I dati nivometrici della stazione meteo di Torino Giardini reali (posta ad una distanza di circa 8 km dal sito di monitoraggio nel Comune di Collegno) indicano nove giornate nelle quali è nevicato: le prime cinque giornate risultano particolarmente intense (dal 28 gennaio al 02 febbraio 2012).

Figura 13: andamento della temperatura nel corso della 1° campagna di monitoraggio 2012



³ http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/idrologia-e-neve/neve-e-valanghe/relazioni-tecniche/analisi-eventi-meteorologici/eventi-2012/rapporto_freddoFeb2012_re.pdf

Figura 14: precipitazioni nevose registrate nel corso della 1° campagna di monitoraggio 2012



Se nella prima parte della campagna le abbondanti neviccate hanno favorito la riduzione delle concentrazioni degli inquinanti, a partire dal 03 febbraio la presenza di neve al suolo, le temperature estremamente basse ed il tempo soleggiato hanno favorito l'insorgere di una condizione di stabilità atmosferica che, impedendo il rimescolamento dell'aria, ha contribuito a far aumentare localmente i livelli degli inquinanti (tra cui il particolato PM_{10} ed il biossido di azoto).

A differenza dei due parametri sopra descritti, il $PM_{2,5}$ non presenta superamenti del limite UPL superiore nei primi giorni di febbraio. Tale situazione conferma le peculiarità dei tre parametri che sono stati scelti per l'elaborazione e la stesura del presente documento: se il PM_{10} è un inquinante caratterizzato da una non trascurabile componente primaria, ed il biossido di azoto - pur derivando principalmente dall'ossidazione secondaria del monossido di azoto, ha tempi di formazione così brevi (dell'ordine di alcune ore) da mostrare un comportamento molto simile a un inquinante primario - il particolato $PM_{2,5}$ è di natura prettamente secondaria, per cui i suoi livelli in atmosfera sono poco influenzati dalle condizioni locali e sono, piuttosto, caratteristici di aree più vaste.

In sintesi, i valori registrati a Collegno nell'episodio di febbraio, particolarmente elevati se confrontati con Borgaro, sono verosimilmente legati ad un evento meteo-climatico di portata eccezionale che ha caratterizzato l'inverno 2012 e che non potevano essere tenute in considerazione dall'IP costruito sulla base dei dati 2011 in quanto in quell'anno non si erano verificate.

Complessivamente nell'intera prima campagna post operam si sono registrati 19 superamenti del livello di protezione della salute per il PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera) e nessun superamento del livello orario per la protezione della salute per l' NO_2 ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media oraria)

Per il PM₁₀ restano da valutare i superamenti del LPL inferiore dell'insieme di dati relativi ad agosto, e i tre superamenti del UPL superiore verificatisi a luglio (Figura 12). Per quanto riguarda i primi si tratta di valori di concentrazione compresi nell'intervallo tra 13 e 21 µg/m³ e che trovandosi al di sotto del limite LPL non destano particolare preoccupazione sotto il profilo ambientale. Viceversa i superamenti del UPL relativi ai giorni 27, 28, 29 luglio rappresentano tre dati singolari per i quali è stato ipotizzato un fenomeno di inquinamento locale che si è protratto per alcuni giorni e che ha interessato la sola frazione di particolato denominata "coarse" ("grossolana") e compresa tra 2,5 e 10 µm (diametro aerodinamico), frazione per la quale non è possibile individuare delle cause specifiche ma che è in generale attribuibile a cause quali erosione del suolo, risospensione di polveri depositate, attività cantieristiche o di manutenzione stradale ecc. (a tal proposito si rimanda alla "Relazione 3° campagna post-operam 24 luglio-04 settembre 2012" del progetto).

Ulteriori considerazioni possono essere fatte in merito al funzionamento della centrale "Torino Nord" durante l'esecuzione delle quattro campagne di monitoraggio con il laboratorio mobile nel 2012. In effetti l'impianto IREN non ha funzionato in continuo durante l'anno e in particolare in una parte delle giornate di monitoraggio utilizzate per l'analisi statistica l'impianto risultava spento (secondo quanto riportato dal controllo in remoto delle emissioni in atmosfera - protocollo SME). Se da un lato tale situazione ha ridotto, nell'arco delle quattro campagne del 2012, il numero di giornate disponibili per il confronto dei dati ante-operam vs post-operam, dall'altro ha fornito una ulteriore validazione del metodo statistico che è stato scelto per la comparazione dei dati., in quanto i dati che si riferiscono a misure eseguite nel 2012 con centrale termoelettrica spenta rientrano all'interno dell'intervallo previsionale IP, validando quindi le due curve UPL e LPL stimate con i dati del 2011.

Ciò detto, è comunque possibile applicare formalmente il metodo sin qui descritto, per il confronto tra lo stato della qualità dell'aria ante e post operam, dal momento che le concentrazioni più elevate, sia di NO₂ che di PM₁₀, sono state misurate in giornate nelle quali l'impianto funzionava regolarmente (compresi i periodi temporali peculiari che sono stati sopra analizzati).

In Tabella 7 si riporta il numero di dati che escono dall'intervallo previsionale calcolato escludendo il periodo particolarmente critico di febbraio 2012 (periodo caratterizzato da un evento meteorologico eccezionale). Al biossido di azoto compete un solo superamento dell'intervallo previsionale IP (1% dai dati), mentre per il PM₁₀ e per il PM_{2,5} la percentuale di dati esterni è pari rispettivamente a 11% e 7%. Se si differenziano i dati esterni all'intervallo previsionale tra quelli maggiori del limite superiore UPL e quelli inferiori al LPL si nota come la maggior parte di questi si collochino al di sotto della LPL (cioè nell'area di confronto di minore interesse per gli scopi di questo studio).

Tabella 7: distribuzione dei dati esterni all'intervallo IP, rispetto alle soglie UPL e LPL

Parametro	Numero dati esterni all'intervallo previsionale IP complessivi (cfr. Figura 8 - Figura 9 - Figura 10)	Numero dati del gruppo "febbraio 2012" (cfr. Figura 11 - Figura 12)	Numero dati esterni all'intervallo previsionale IP escluso il periodo febbraio 2012		
			totali	>UPL	<LPL
NO ₂	6 (7%)	5	1	1	0
PM ₁₀	15 (15%)	5	10	3	7
PM _{2,5}	7 (7%)	---	7	2	5

In sintesi si può affermare che il 2012 presenta un livello di inquinamento atmosferico differente rispetto all'anno precedente (perché per tutti i parametri è stata superata la soglia del 5%), e che tale differenza si manifesta sia con situazioni più critiche, sia con situazioni più favorevoli rispetto al 2011: le cause di tale differenza possono essere attribuite alle condizioni meteorologiche particolari che hanno caratterizzato il 2012., in particolare l'episodio di freddo intenso del mese di febbraio.

Allo scopo di verificare se per una o più delle coppie di dati che risultano superiori a UPL, nel periodo critico di febbraio 2012, possa esserci un contributo significativo della centrale "Torino Nord", è stato verificato se la direzione prevalente del vento nelle corrispondenti giornate fosse compatibile con una ricaduta del pennacchio dell'impianto nel sito di misura. Si tratta di un'analisi preliminare e non esaustiva - in quanto la dispersione dei fumi emessi da una fonte di inquinanti atmosferici è influenzata da molteplici fattori e può essere studiata in modo rigoroso solo mediante un'analisi modellistica - ma comunque utile per fornire una prima indicazione generale, rimandando per un trattamento accurato alla simulazione modellistica prevista dal progetto e citata nella premessa al presente documento.

Va sottolineato che per l'analisi della direzione prevalente del vento non possono essere utilizzati i dati anemologici al suolo perché il camino di emissione ha un'altezza fisica di 60 m, a cui va aggiunta la risalita del pennacchio dovuta alla temperatura elevata dei fumi e alla loro velocità di uscita. Di conseguenza è stata adottata la seguente metodologia :

- stima della altezza effettiva di emissione dell'impianto (altezza fisica del camino + risalita del pennacchio) sulla base delle caratteristiche dell'impianto documentate nello Studio di Impatto Ambientale e in base alle formule comunemente utilizzate dalla letteratura scientifica;
- estrazione del dato di direzione del vento a tale altezza sulla base di profili verticali di vento messi a disposizione per le giornate considerate dal Dipartimento Sistemi Previsionali di Arpa (i profili verticali vengono elaborati a quote altimetriche definite dal modello utilizzato per la ricostruzione del campo di vento);
- verifica della compatibilità teorica tra la direzione del vento di cui al punto precedente e la ricaduta nel sito di misura della stazione mobile .

In tutte le giornate analizzate, l'altezza effettiva del pennacchio è di poco inferiore ai 400 metri dal piano campagna; pertanto è stato scelto di studiare l'anemologia alle tre quote più vicine presenti nella base dati fornita dal Dipartimento Sistemi Previsionali , ovvero a 208 m , 322 m e 493 m.

Considerando che la centrale è posizionata a sud rispetto al sito di Collegno, si è considerato quest'ultimo sottovento rispetto alla centrale quando il vento spira nell'intervallo di direzioni compreso tra 150° e 210°⁴.

⁴ Tale intervallo è stato scelto allo scopo di escludere un possibile contributo di ricaduta dovuto alla centrale "Vallette" che nel corso dell'episodio considerato era ancora in funzione

I risultati sono riassunti nella seguente tabella :

Giorno	Inquinanti che presentano un superamento dell'UPL	Velocità media del vento in quota (m/s) (media delle velocità alle tre altezze considerate)	Percentuale di ore in cui il sito di Collegno risulta sottovento (alla centrale)
02/02/12	NO ₂	6,8	0%
03/02/12	NO ₂	5,0	0%
04/02/12	PM ₁₀	2,8	15%
05/02/12	NO ₂ - PM ₁₀	3,1	44%
06/02/12	NO ₂ - PM ₁₀	2,2	4%
07/02/12	NO ₂ - PM ₁₀	3,7	0%
09/02/12	PM ₁₀	3,8	1%

Si osserva che il sito di Collegno nelle giornate del 2 , 3 e 7 febbraio non si trova mai sottovento alla centrale "Torino Nord", mentre nei restanti giorni tale condizione si verifica per un numero di ore molto limitato, con la sola eccezione del 5 febbraio. Nel complesso solo l'11% delle ore dell'intero episodio considerato presentano direzione del vento compatibile con la ricaduta del pennacchio della centrale "Torino Nord" nel sito di misura della fraz. Savonera . In particolare il giorno 7 febbraio - in cui è stato registrato nel sito di Savonera il valore di media giornaliera più elevato di tutto l'episodio sia per il biossido di azoto che per il PM10 (si vedano le Tab. 4 e 6) – il sito di misura non è mai risultato sottovento all'impianto.

Metodologia utilizzata per il confronto delle medie annuali

Il confronto delle medie annuali rappresenta un modo semplice e diretto per valutare miglioramenti o peggioramenti significativi della qualità dell'aria nel corso degli anni. La normativa (D.Lgs. 155 del 13/08/2010) prevede, infatti, il rispetto di un valore limite annuale per la protezione della salute umana di 40 µg/m³ per PM₁₀ e NO₂ e di 25 µg/m³ per il PM_{2,5}.

Tabella 8: Limiti annuali ex D.Lgs 155/2010.

Inquinante	Valore limite	Periodo di mediazione	Valore di riferimento	Data per il rispetto del limite
BIOSSIDO DI AZOTO (NO ₂)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m ³	1-gen-2010
PARTICELLE (PM ₁₀)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m ³	1-gen-2005
PARTICELLE (PM _{2,5})	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	25 µg/m ³	1-gen-2015

La durata complessiva del monitoraggio nel sito di Savonera (quattro campagne mensili, per ogni anno di misura) non permette in termini formali un confronto diretto con tale limite, sia per l'ante operam sia per il post operam.

Tuttavia quando si hanno a disposizione dati sufficienti e adeguatamente distribuiti nelle diverse stagioni dell'anno, è possibile produrre, tramite l'applicazione di una semplice formula matematica, una stima delle medie annuali di un particolare inquinante in un sito di indagine.

Nel caso in esame l'insieme dei dati raccolti nel corso delle prime quattro campagne del 2011 rappresenta quasi il 30% dei dati che compongono un anno di misurazioni, distribuite omogeneamente in termini di stagionalità e fenomeni atmosferici ad essa collegati. Nel caso in questione, quindi, le campagne hanno coperto complessivamente un periodo circa doppio rispetto alle otto settimane previste dall'Allegato I del DLgs 155/2010 per monitoraggi svolti con stazioni mobili. Analogamente al 2011, anche nel 2012 sono state condotte quattro campagne di monitoraggio, equamente distribuite nel corso dell'anno, che complessivamente rappresentano il 30% delle misurazioni rilevabili in un anno.

Riportiamo di seguito il procedimento utilizzato per il parametro NO₂ nell'anno 2011, applicato poi anche agli altri inquinanti monitorati - PM₁₀ e PM_{2.5} - e alla campagna post operam del 2012.

Nel caso della campagna ante operam del 2011 è stata calcolata innanzitutto la media di NO₂ per il sito di Collegno Savonera e per la stazione di Borgaro a partire dai valori di NO₂ relativi ai giorni di misura delle quattro campagne di monitoraggio. Sulla base della media annuale 2011 di Borgaro si è quindi calcolato il fattore che moltiplicato per il valore medio delle campagne svolte con il mezzo mobile permette di stimare la media annuale per 2011 nel sito di Savonera, secondo la formula:

$$M_c = (M_{rif} / m_{rif}) \times m_c$$

dove

m_c : media periodo campagne NO₂ di Savonera

M_c : media anno 2011 NO₂ di Savonera

m_{rif} : media periodo campagne NO₂ di Borgaro

M_{rif} : media anno 2011 NO₂ di Borgaro

Con l'obiettivo di valutare l'eventuale presenza di differenze significative tra l'ante operam e il post operam, tramite lo stesso procedimento è stata stimata la media annuale di NO₂ del 2012.

È stato infine seguito lo stesso processo per gli altri inquinanti monitorati. Nel sito di Savonera sono state stimate complessivamente le medie annuali 2011 e 2012 per NO₂, PM₁₀ e PM_{2.5}.

Risultati del confronto delle medie annuali

Di seguito vengono presentate le stime delle medie annuali dei tre parametri (biossido di azoto e particolato fine PM₁₀ e PM_{2,5}) calcolate come descritto al paragrafo precedente. La stazione di confronto utilizzata per la stima è Borgaro T.se, ovvero la stazione definita come riferimento secondo le valutazioni effettuate nel capitolo “Scelta della stazione di riferimento”.

Biossido di azoto

Applicando la procedura di calcolo per la stima della media annuale del biossido di azoto si ottengono i risultati riportati in Tabella 9 . La media annuale stimata risulta, sia nel 2011 che nel 2012, ben al di sotto del limite normativo annuale pari a 40 µg/m³, ed è quindi del tutto verosimile ipotizzare che tale valore limite sia stato effettivamente rispettato presso il sito di Collegno. Nei grafici riportati in Figura 15 e Figura 16 è possibile confrontare il valore medio stimato di Collegno con il valore misurato in alcune stazioni fisse della provincia di Torino afferenti al Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell’Aria.

Si nota, confrontando il 2011 con il 2012, una riduzione generale del livello medio di NO₂, ivi compresa la stazione di riferimento di Borgaro e di conseguenza anche il sito di Collegno. Quest’ultimo mantiene nei due anni la posizione intermedia con caratteristiche tipiche di una stazione di fondo urbano. Di fatto la criticità relativa in ambito provinciale del sito di Collegno - Savonera non muta nel 2012 rispetto all’anno precedente

Tabella 9: NO₂ - stima della media annuale di Collegno rispetto a Borgaro⁵

NO ₂ in µg/m ³		Mobilab - Collegno	Borgaro T.se
Anno 2011	Media dei valori orari delle 4 campagne di monitoraggio	34	35
	Media annuale misurata	---	34
	Media annuale stimata	32	---
Anno 2012	Media dei valori orari delle 4 campagne di monitoraggio	25	26
	Media annuale misurata	---	32
	Media annuale stimata	30	---

⁵ Tutti i dati sono stati approssimati all’unità

Figura 15: NO₂ – cfr. tra la media annuale di Collegno e le stazioni fisse dell'area torinese, 2011

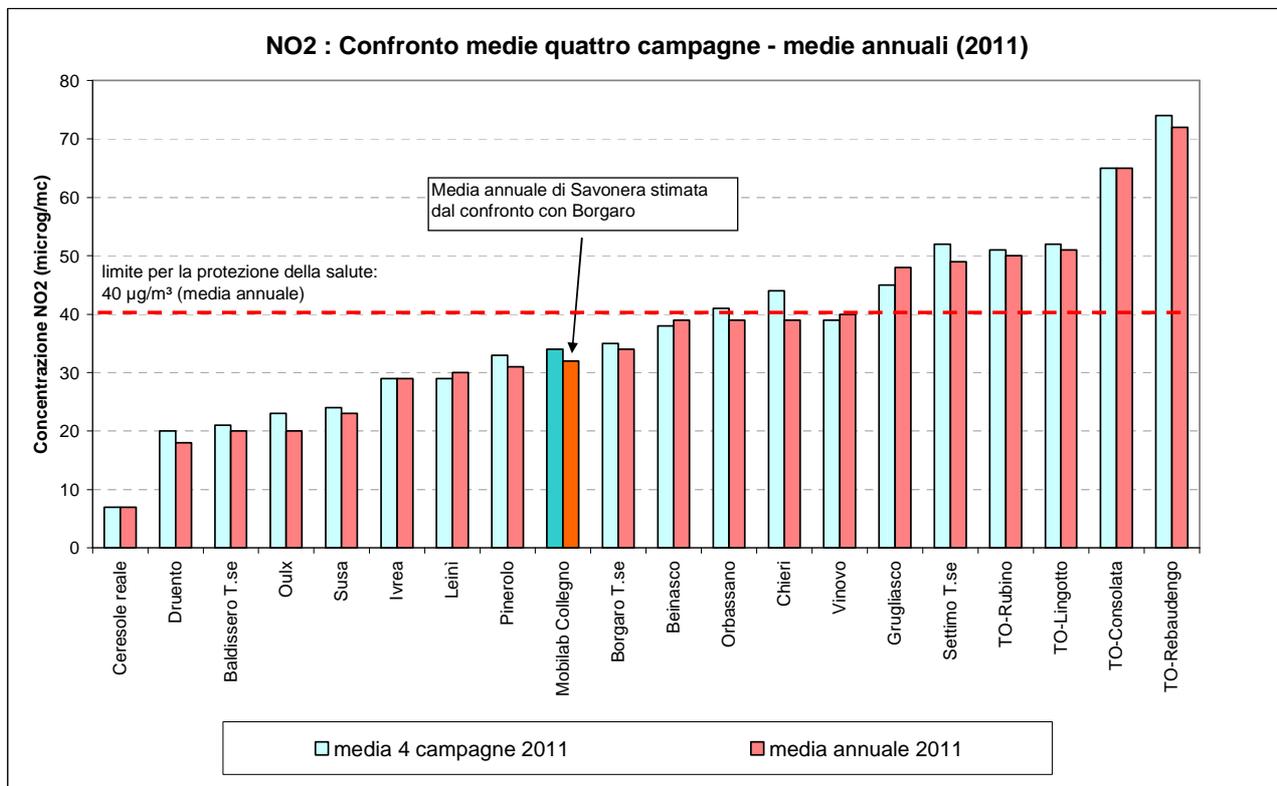
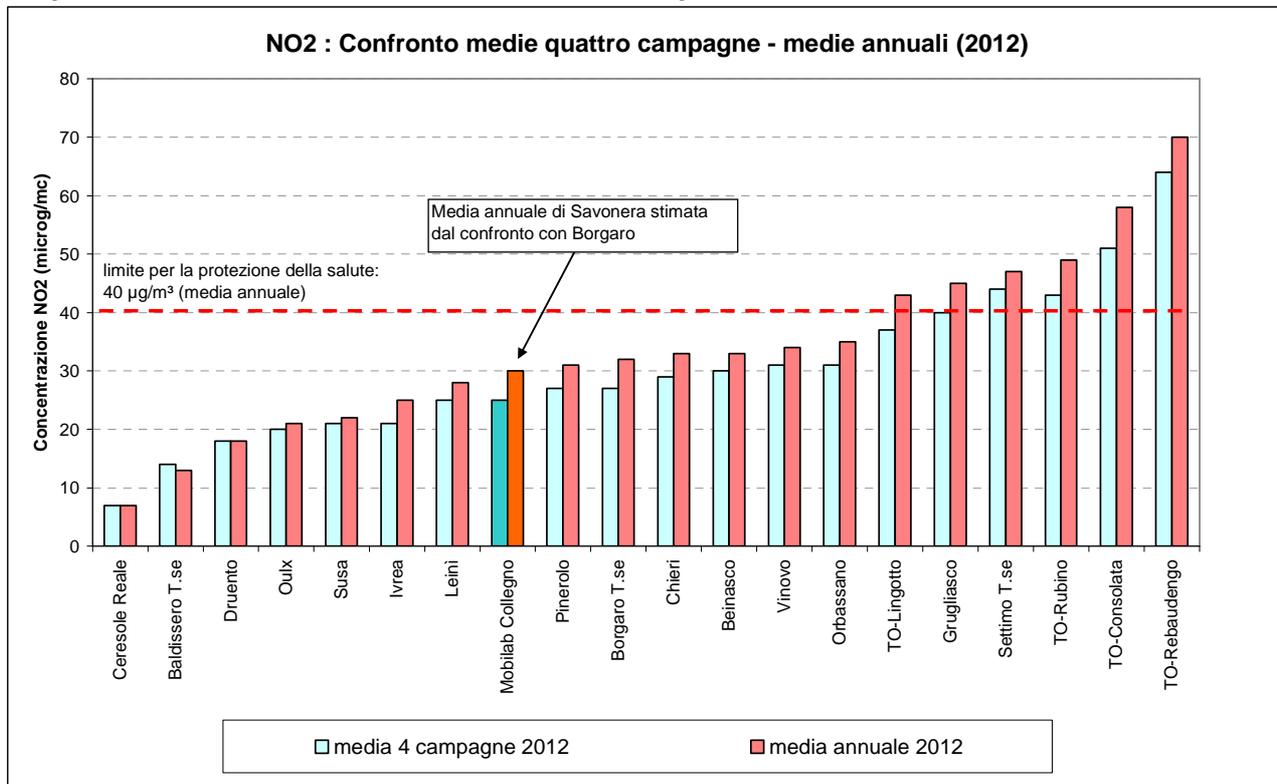


Figura 16: NO₂ – cfr. tra la media annuale di Collegno e le stazioni fisse dell'area torinese, 2012



PM10

I risultati del calcolo per la stima della media annuale del particolato sono riportati in Tabella 10 . Nel 2012 si osserva una riduzione generale della media annuale, e anche Borgaro presenta una riduzione seppur lieve, passando da 43 a 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Conseguentemente anche la stima annuale riferita a Collegno subisce una riduzione, che in questo caso è più marcata passando da 39 a 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (si sottolinea ancora una volta che si tratta di una stima ottenuta per confronto e non una media calcolata con misure dirette). Nei diagrammi riportati in Figura 17 e Figura 18 viene riportata la graduatoria di alcune stazioni della provincia torinese: Collegno, in posizione centrale in entrambi gli anni, conferma le sue caratteristiche di sito di fondo urbano.

E' importante evidenziare che la media del 2011 è poco sotto il limite normativo pari a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e, se per il biossido di azoto la stazione di riferimento (Borgaro) presentava in entrambi gli anni valori al di sotto del limite annuale, per il particolato PM10 quest'ultima presenta sia nel 2011 che nel 2012 il superamento del limite. Pertanto, vista la stretta correlazione tra le due stazioni, non si può escludere che il sito di Collegno, nel 2011, possa aver di fatto non rispettato la soglia annuale dei 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

In ogni caso Collegno-Savonera si caratterizza come un sito in cui le condizioni meteorologiche che caratterizzano il singolo anno incidono pesantemente sulle concentrazioni degli inquinanti e soprattutto sul rispetto del limite annuale, come d'altra parte accade in tutte le stazioni in cui i valori di media annuale sono nell'intorno del valore limite.

Si osservi che nel 2012 è presente il punto di monitoraggio di Collegno-Francia che non era attivo nel 2011, per cui nella Figura 18 compare una stazione in più rispetto alla Figura 17 . Tenendo conto di questo, la criticità relativa in ambito provinciale del sito di Collegno Savonera non muta nel 2012 rispetto all'anno precedente

Tabella 10: PM₁₀ - stima della media annuale di Collegno rispetto a Borgaro⁶

PM ₁₀ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Mobilab - Collegno	Borgaro T.se
Anno 2011	Media dei valori giornalieri delle 4 campagne di monitoraggio	38	42
	Media annuale misurata	---	43
	Media annuale stimata	39	---
Anno 2012	Media dei valori giornalieri delle 4 campagne di monitoraggio	34	42
	Media annuale misurata	---	42
	Media annuale stimata	35	---

⁶ Tutti i dati sono stati approssimati all'unità

Figura 17: PM₁₀ – cfr. tra la media annuale di Collegno e le stazioni fisse dell'area torinese, 2011

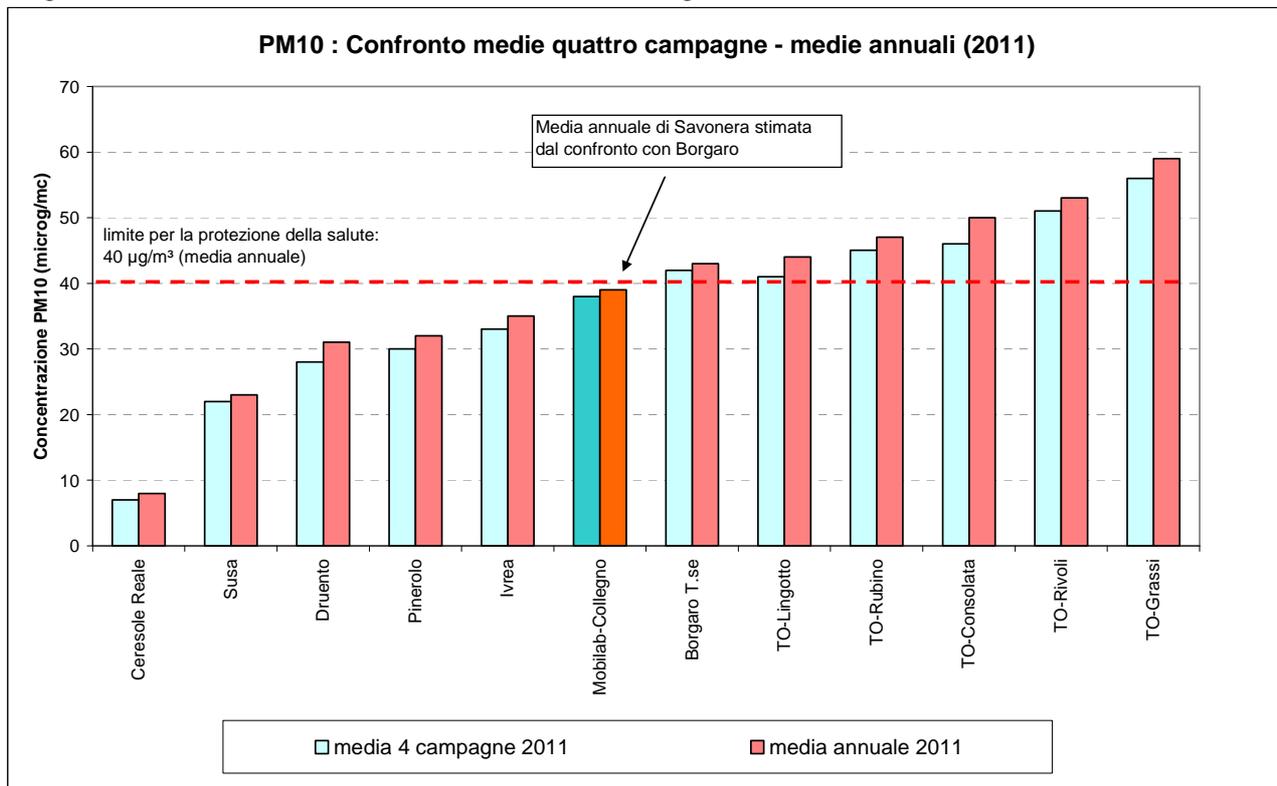
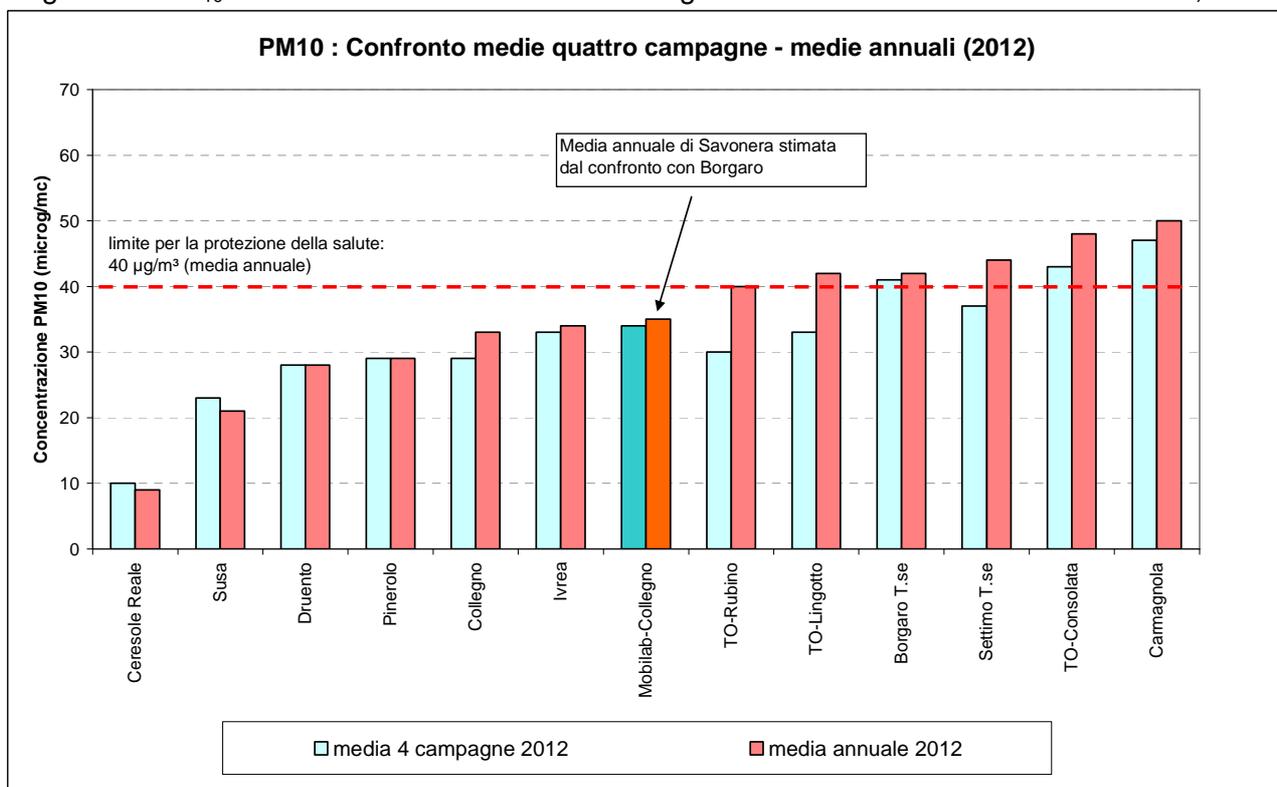


Figura 18: PM₁₀ – cfr. tra la media annuale di Collegno e le stazioni fisse dell'area torinese, 2012



PM_{2.5}

Il Decreto Legislativo n.155 del 13/08/2010 introduce il limite annuale anche per il particolato PM_{2.5}: la soglia da rispettare è stata fissata ad un valore di media annuale pari a 25 µg/m³, intesa come valore obiettivo al quale attenersi a partire dal 2010 (e quindi già in vigore), e che diventerà valore limite a tutti gli effetti a partire dal 1 gennaio 2015. Il PM_{2.5} è un inquinante costituito in buona parte da composti di origine secondaria, e la sua origine può avvenire anche da emissioni di precursori in zone lontane rispetto al punto di campionamento. Questo significa che i valori registrati presso le varie stazioni vanno interpretati in un contesto territoriale più ampio anziché ad una scala locale quale quella comunale.

I risultati del calcolo per la stima della media annuale sono riportati in Tabella 11 e nei grafici di Figura 19 e Figura 20. Nel 2012 si assiste, analogamente al PM₁₀, ad una riduzione delle medie annuali di PM_{2.5} rispetto all'anno precedente; in entrambi gli anni il valore medio annuale della stazione di Borgaro e del sito di Collegno risultano superiori al valore obiettivo pari a 25 µg/m³. Sebbene la media annuale di Collegno rappresenti una stima e non una misura diretta del valore reale, va sottolineato che tale parametro proprio perché è un inquinante di tipo secondario, risente maggiormente (rispetto al PM₁₀ e al NO₂) delle condizioni ambientali e meteorologiche valutate su di un'ampia scala territoriale: in sintesi questo significa che, se nella stazione di riferimento (Borgaro) in entrambi gli anni si è verificato il superamento del valore obiettivo, è verosimile attendersi che anche presso il sito di Collegno sia stato effettivamente superato tale limite.

Si osservi che nel 2012 sono presenti i punti di monitoraggio di Settimo T.se e Chieri che non erano attivi nel 2011, per cui nella Figura 20 compaiono due stazioni in più rispetto alla figura 19. Tenendo conto di questo la criticità relativa in ambito provinciale del sito di Collegno Savonera migliora nel 2012 rispetto all'anno precedente in quanto solo la stazione remota di Ceresole Reale presenta una media annuale inferiore.

Tabella 11: PM_{2.5} - stima della media annuale di Collegno rispetto a Borgaro⁷

PM _{2.5} in µg/m ³		Mobilab - Collegno	Borgaro T.se
Anno 2011	Media dei valori giornalieri delle 4 campagne di monitoraggio	32	31
	Media annuale misurata	---	33
	Media annuale stimata	34	---
Anno 2012	Media dei valori giornalieri delle 4 campagne di monitoraggio	24	28
	Media annuale misurata	---	31
	Media annuale stimata	27	---

⁷ Tutti i dati sono stati approssimati all'unità

Figura 19: PM_{2,5} – cfr. tra la media annuale di Collegno e le stazioni fisse dell'area torinese, 2011

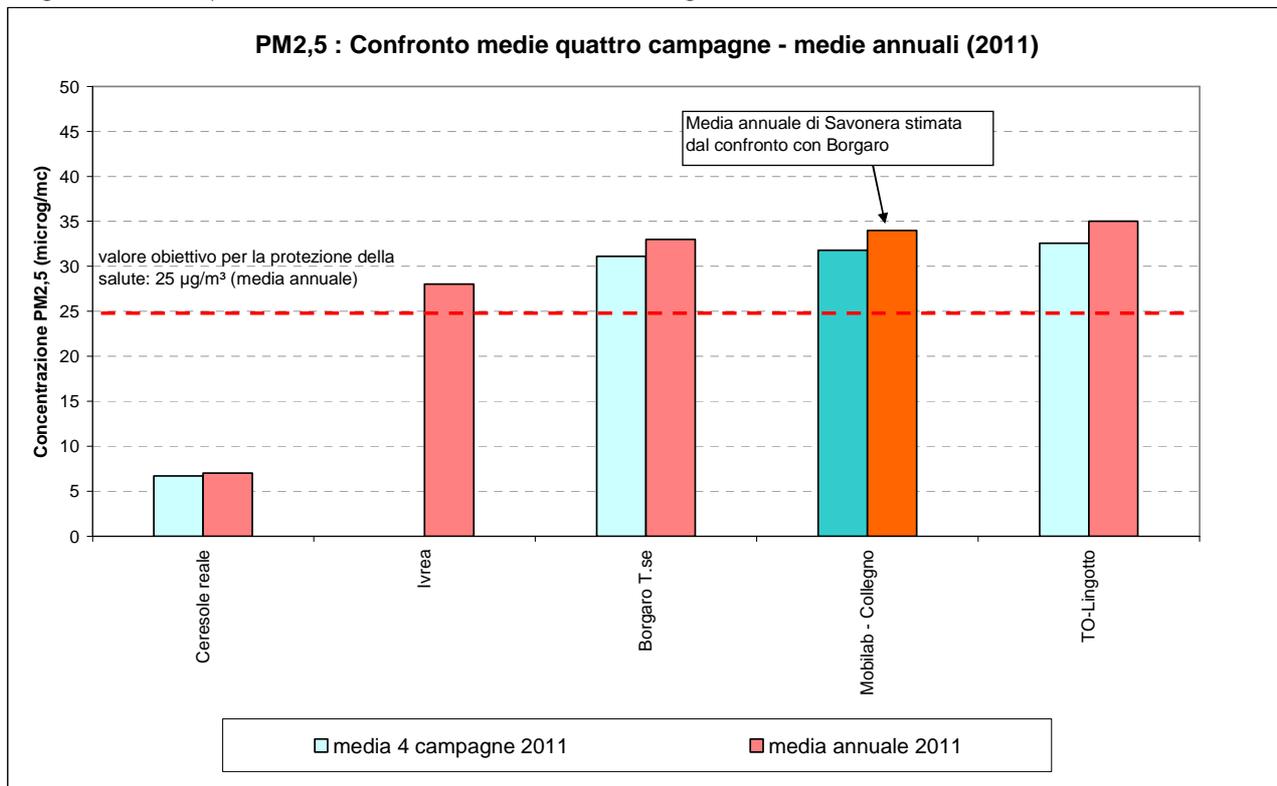
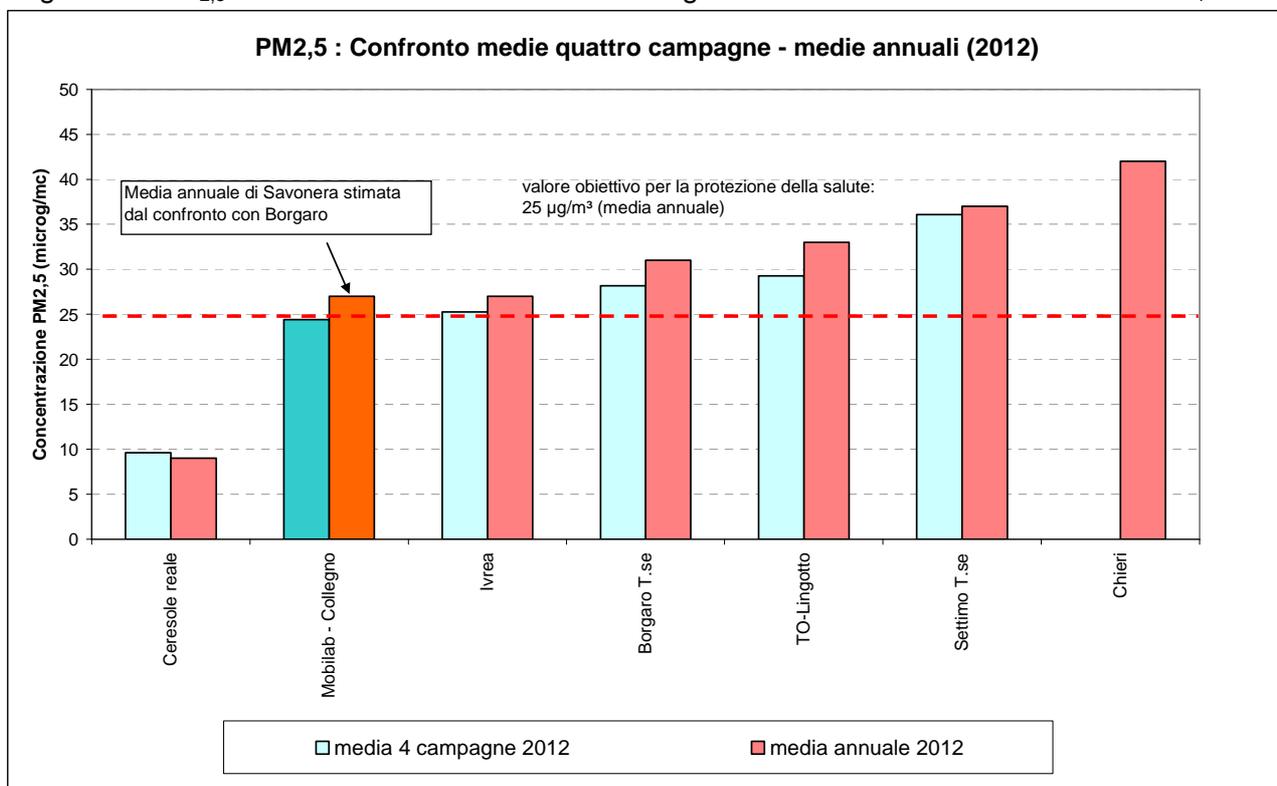


Figura 20: PM_{2,5} – cfr. tra la media annuale di Collegno e le stazioni fisse dell'area torinese, 2012



Conclusioni

L'analisi contenuta del presente documento è stata effettuata a livello sia di medie giornaliere che di medie annuali, allo scopo di evidenziare eventuali variazioni della qualità dell'aria nel periodo successivo all'entrata in funzione della centrale "Torino Nord" legate, rispettivamente, a singoli episodi critici e a fenomeni di lungo periodo.

Per quanto riguarda le medie giornaliere, per tutti e tre gli inquinanti considerati la percentuale di dati post operam che si collocano al di fuori dell'intervallo previsionale costruito con i dati ante operam – e che quindi potrebbero evidenziare un miglioramento o un peggioramento delle concentrazioni in aria ambiente nel periodo successivo all'entrata in funzione dell'impianto – è superiore alla soglia del 5% stabilito dalla metodologia. Di conseguenza è stata effettuata una analisi di dettaglio delle giornate in questione, dalla quale emerge che:

- le differenze di qualità dell'aria del 2012 rispetto la 2011 in termini di medie giornaliere si manifestano sia con situazioni peggiorative che con situazioni migliorative. Nel caso del PM10 le due tipologie di situazione si equivalgono, mentre per il PM2.5 prevalgono le situazioni migliorative ; per il biossido di azoto tutte le variazioni rilevate sono peggiorative;
- nel caso del biossido di azoto le giornate che evidenziano una situazione peggiorativa sono sei (pari a circa il 7% dei dati di monitoraggio post operam). Cinque di queste sei giornate sono comprese all'interno di un episodio meteorologico di freddo intenso del febbraio 2012; in nessuna di queste giornate si sono verificati nel sito di Collegno-Savonera superamenti del valore limite orario per il biossido di azoto;
- nel caso del PM10 le giornate che evidenziano una situazione peggiorativa sono sette (pari al circa il 7% dei dati di monitoraggio post operam), relative in parte allo stesso episodio meteorologico di freddo intenso citato e in parte, nel mese di luglio, a fenomeni come erosione del suolo, attività cantieristiche ecc.. In tutte queste giornate - tranne una del mese di luglio - si sono verificati superamenti del valore limite giornaliero del PM10;
- nel caso del PM2.5 le giornate che evidenziano una situazione peggiorativa sono due (pari a circa il 2% dei giorni di monitoraggio post operam) e sono distribuite in diversi mesi dell'anno,
- l'analisi della direzione del vento nel corso dell'episodio critico del 2-9 febbraio 2012 – nel quale sono concentrate la maggioranza delle giornate in cui si è verificata una situazione peggiorativa per biossido di azoto e PM10 – mostra che il sito di Savonera si è trovato sottovento alla centrale solo nell'11% delle ore . In particolare il giorno 7 febbraio - in cui è stato registrato sia per il biossido di azoto che per il PM10 nel sito di Savonera il valore di media giornaliera più elevato dell'intero episodio nonché di tutto il monitoraggio post operam – il sito di misura non è mai risultato sottovento all'impianto.

Per quanto riguarda le medie annuali, in base all'analisi effettuata non si riscontrano nel sito di misura , durante il periodo successivo all'entrata in funzione della centrale "Torino Nord"., variazioni significative di PM10 e biossido di azoto, mentre si osserva un miglioramento per il PM2.5.

In termini assoluti si osserva infatti per i tre inquinanti una diminuzione delle concentrazioni nel 2012 rispetto al 2011; tale variazione è però comune all'insieme delle stazioni fisse della rete provinciale e quindi attribuibile a variazioni delle condizioni meteorologiche.

In termini relativi nel 2012 la criticità del sito di fraz.Savonera in ambito provinciale – vale a dire la posizione nella scala che va dalla stazione con la concentrazione minore a quella con la concentrazione maggiore - non muta per PM10 e biossido di azoto (Figure da 15 a 18) e migliora nel caso del PM2.5 (figure 19 e 20).

Come accade in siti di misura con analoghe caratteristiche, sia nel periodo ante operam che in quello post operam la stima della media annuale di biossido di azoto è inferiore al valore limite, quella di PM10 si colloca nell'intorno del valore limite e quella di PM2.5 è superiore al valore limite.

Nel complesso dall'analisi effettuata non emergono elementi atti a evidenziare un sostanziale miglioramento o peggioramento della qualità dell'aria nel sito di misura durante il periodo successivo all'entrata in funzione della centrale termoelettrica "Torino Nord" rispetto all'anno precedente.

Si sottolinea infine che, come ricordato in premessa, una stima accurata del contributo percentuale alle concentrazioni di inquinanti atmosferici nel sito di misura da parte delle diverse tipologie di sorgenti presenti nell'area di studio (traffico della tangenziale di Torino, traffico locale, impianti di riscaldamento domestico. e centrale "Torino Nord") verrà effettuata tramite la simulazione modellistica prevista dal piano di progetto e che è in corso presso il Dipartimento Sistemi Previsionali di Arpa Piemonte.

Bibliografia

- STATISTICA, L.Franconi, J. Stander, S. Pezzulli, Ed. ETASLIBRI, aprile 1996
EXPLORATORY DATA ANALYSIS, John W. Tukey, Ed. Addison-wesley, 1977
PROUCL V.4.0 TECHNICAL GUIDE. EPA/600/R-07/041, Singh A., Singh A.K., 2007.
UNO SGUARDO ALL'ARIA –EDIZIONE 2011, Arpa –Provincia di Torino , pag. 33-40 e pag. 14-20, ottobre 2012
ANALISI METEOROLOGICA DELL'EVENTO DI FREDDO INTENSO - FEBBRAIO 2012 , Arpa Piemonte
GESTIONE DELLA QUALITA' DELL'ARIA , G.Finzi, G. Pirovano, M.Volta, Ed. McGraw-Hill, gennaio 2011