

PROGETTO ACCIAIERIE

***Monitoraggio della qualità dell'aria
presso Altavilla Vicentina,
Vicenza Ferrovieri e Vicenza quartiere Italia***

Anno 2015 – 2016



RELAZIONE TECNICA



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

ARPAV

Direttore Generale

Nicola Dell'acqua

Direzione Tecnica (Area Tecnico-Scientifica)

Carlo Terrabujo

Dipartimento Provinciale di Vicenza

Giancarlo Cunego

Progetto e realizzazione

Servizio Stato dell'Ambiente

Ugo Pretto

Francesca Mello, Antonio Carollo e Pietro Barazza

Con la collaborazione di:

Servizio Osservatorio Regionale Aria

Salvatore Patti

Francesca Liguori (Ufficio Inventari e Modellistica)

Servizio Meteorologico di Teolo

Maria Sansone (Ufficio Agrometeorologia e Meteorologia Ambientale)

Dipartimento Regionale Laboratori

Francesca Daprà

In copertina

Vicenza – Zona Industriale Ovest

La presente Relazione tecnica può essere riprodotta solo integralmente. L'utilizzo parziale richiede l'approvazione scritta del Dipartimento ARPAV Provinciale di Vicenza e la citazione della fonte stessa.

Sommario

1.	Introduzione e obiettivi specifici del monitoraggio	4
2.	Inquinanti monitorati e normativa di riferimento	5
3.	Siti di monitoraggio e tempistiche di realizzazione	6
4.	Contestualizzazione meteo climatica dell'area	8
4.1	Situazione meteorologica	8
4.2	Analisi delle precipitazioni e dei venti nel periodo tra il 27 febbraio 2015 e il 2 marzo 2016 presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino	13
5.	Risultati del monitoraggio	18
5.1	PM10	18
5.2	PM2.5	20
5.3	PM10 e PM2.5: valutazione delle differenze tra i siti	21
5.4	Metalli nel PM10	22
5.4.1	Alluminio nel PM10	22
5.4.2	Arsenico nel PM10	24
5.4.3	Cadmio nel PM10	25
5.4.4	Cobalto nel PM10	26
5.4.5	Cromo nel PM10	27
5.4.6	Ferro nel PM10	29
5.4.7	Manganese nel PM10	29
5.4.8	Molibdeno nel PM10	31
5.4.9	Nichel nel PM10	33
5.4.10	Piombo nel PM10	35
5.4.11	Zinco nel PM10	37
5.5	Metalli nel PM10: valutazione delle differenze tra i siti	38
5.6	IPA nel PM10	41
5.7	Deposizioni Polveri Totali e Metalli nelle Deposizioni	42
5.7.1	Deposizioni Polveri Totali	42
5.7.2	Alluminio nelle deposizioni	43
5.7.3	Arsenico nelle deposizioni	44
5.7.4	Bario nelle deposizioni	44
5.7.5	Cadmio nelle deposizioni	44
5.7.6	Cobalto nelle deposizioni	44
5.7.7	Cromo nelle deposizioni	45
5.7.8	Ferro nelle deposizioni	45
5.7.9	Manganese nelle deposizioni	46
5.7.10	Molibdeno nelle deposizioni	47
5.7.11	Nichel nelle deposizioni	47
5.7.12	Piombo nelle deposizioni	48
5.7.13	Rame nelle deposizioni	48
5.7.14	Zinco nelle deposizioni	49
5.7.15	Grafici delle dodici misure mensili di ciascun metallo, serie per stazione	49
5.8	Deposizioni Polveri Totali e Metalli nelle deposizioni: confronto tra stazioni	51
5.9	Diossine (PCDD), Furani (PCDF) e Policlorobifenili PCB diossina simili	55
5.9.1	I risultati espressi in Concentrazione	55
5.9.2	I risultati espressi in Tossicità Equivalente	56
5.9.3	Il contributo dei singoli congeneri	57
5.10	IPA dal campionamento alto volume con filtri TSP e PUF	59
6.	Conclusioni	60
7.	Bibliografia	63
8.	Glossario	63
	ALLEGATO - Modelli di dispersione delle emissioni delle acciaierie	64

1. Introduzione e obiettivi specifici del monitoraggio

Il 17 e 18 giugno 2014 le Agenzie per la protezione dell'ambiente dell'Umbria, della Valle d'Aosta, del Veneto e della Provincia di Bolzano si sono ritrovate a Terni per un seminario tecnico dal titolo "Acciaierie e Ambiente, verso una più efficace applicazione dell'AIA". Dopo quella prima occasione il Direttore Generale di ARPA Valle d'Aosta ha proposto alle Agenzie allora intervenute una collaborazione consistente in:

- 1) definizione di un protocollo di monitoraggi comuni al fine di valutare gli impatti sulla qualità dell'aria degli stabilimenti che producono acciai speciali (o comunque con ciclo a forno elettrico), prendendo spunto dalla proposta presentata a Terni dalla stessa ARPA VdA;
- 2) attuazione di tale protocollo per monitoraggi che ogni Agenzia avrà cura di condurre sul proprio territorio nel corso del 2015;
- 3) esame congiunto dei risultati ed eventuale proposta operativa da indirizzare anche ad altre agenzie e ad ISPRA.

L'obiettivo del progetto è quello di definire un metodo per la valutazione degli impatti sulla qualità dell'aria provocati dagli impianti di produzione dell'acciaio in relazione all'adozione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD/BAT). Nel progetto vengono presi in considerazione impianti soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale, allora per Vicenza, di competenza regionale.

La proposta, acquisita al prot. ARPAV N. 88971 del 09/09/2014, ha ricevuto un primo assenso di massima, da parte del Direttore Generale ARPAV (prot. N. 116428 del 20/11/2014), poi ribadita con nota prot. N. 126925 del 22/12/2014, individuando il dirigente responsabile del Servizio Stato dell'Ambiente del Dipartimento Provinciale di Vicenza quale coordinatore tecnico del progetto per ARPAV.

Il progetto si è sviluppato a partire dall'individuazione di tre punti di monitoraggio, la definizione degli inquinanti da monitorare, la pianificazione e la durata dei monitoraggi. Parte integrante del progetto è stato lo studio modellistico delle ricadute delle acciaierie.

La presente relazione descrive pertanto gli esiti dell'attività svolta presso Altavilla Vicentina e Vicenza che ha coperto un arco temporale di un anno a cavallo tra marzo 2015 e marzo 2016. In Allegato sono riportati i risultati dello studio modellistico.

Il monitoraggio di PCDD/F e PCB, è stato condotto contemporaneamente ad una campagna a livello regionale presso tutti i capoluoghi di provincia, i cui risultati sono indicati nell'Allegato 1 alla Relazione Regionale Qualità dell'Aria 2015, reperibile all'indirizzo <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/file-e-allegati/documenti/relazioni-regionali-della-qualita-dellaria/>

L'esame congiunto dei risultati tra le Agenzie, si auspica, sarà riportato in diversa occasione.

2. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

Gli inquinanti oggetto del presente monitoraggio sono: il PM10, metalli e idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nel PM10, il PM2.5, le polveri da deposizione, i metalli nelle deposizioni, le diossine (policloro-dibenzo-diossine, PCDD), i furani (policloro-dibenzo-furani, PCDF) e policlorobifenili (PCB) e ulteriori misure di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) effettuate contestualmente alle diossine.

PM2.5, PM10, metalli nei PM10, IPA nei PM10

Le misure di PM2.5 sono state eseguite quotidianamente presso Altavilla Vic.na e quartiere Italia, mentre le misure di PM10 sono state eseguite quotidianamente presso i tre siti di monitoraggio.

Nel PM10, con frequenza a giorni alterni, sono stati dosati i seguenti metalli: alluminio, arsenico, cadmio, cobalto, cromo, ferro, nichel, manganese, molibdeno, piombo e zinco. Sempre con frequenza a giorni alterni, sono stati dosati gli IPA nel PM10, il cui riferimento normativo è il benzo(a)pirene.

L'attuale normativa di riferimento è il Decreto Legislativo n. 155 del 13 agosto 2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per l'aria più pulita in Europa". Rispetto agli inquinanti qui monitorati, tale decreto pone dei limiti o dei valori obiettivo solamente per il PM10, il PM2.5, arsenico, cadmio, nichel e piombo nel PM10 e per il benzo(a)pirene nel PM10. I limiti previsti dal D.Lgs. 155/2010 per questi inquinanti sono relativi alla media riferita all'anno civile, per cui un confronto risulta indicativo. La tabella seguente illustra i valori limite e i valori obiettivo previsti dal D.Lgs. 155/2010

Tabella 1- D.Lgs. 155/2010 Limiti di legge relativi all'esposizione cronica.

Inquinante	Tipologia	Valore
PM10	Valore limite annuale	40 µg/m ³
PM2.5	Valore obiettivo	25 µg/m ³
Piombo	Valore limite annuale	0.5 µg/m ³
Arsenico	Valore obiettivo	6.0 ng/m ³
Cadmio	Valore obiettivo	5.0 ng/m ³
Nichel	Valore obiettivo	20.0 ng/m ³
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	1.0 ng/m ³

Polveri totali come deposizioni, metalli nelle deposizioni

I campioni costituiti dalle deposizioni di polveri sono stati effettuati nei tre siti. Ogni campione è riferito ad un mese di raccolta, per un totale di dodici campioni per sito. In ciascun campione mensile sono state condotte le analisi dei seguenti metalli: alluminio, arsenico, bario, cadmio, cobalto, cromo, ferro, manganese, molibdeno, nichel, piombo, rame e zinco.

Diossine, Furani, PCB e IPA

Il monitoraggio delle diossine e dei furani è stato effettuato presso Altavilla Vic.na e presso quartiere Italia mediante campionatori ad alto volume, dotati di filtro TSP (Total Suspended Particle) in fibra di vetro e di supporto adsorbente in schiuma poliuretana (PUF PolyUrethane Foam). Contestualmente sono stati dosati anche i PCB diossina simili (PCB DL) e gli IPA. Il campionamento si è svolto in cinque periodi nell'arco dell'anno, coprendo così le diverse stagionalità. Inizialmente era prevista una durata settimanale per ciascun periodo di campionamento ma, visto l'alto numero di congeneri non quantificabile durante il primo periodo estivo, la durata della campagna di settembre è stata prolungata a 15 giorni, per poter ottenere dei risultati leggibili. Per le diossine ed i furani non vi sono limiti normativi né linee guida. L'organizzazione mondiale della sanità (WHO) stima che i livelli medi nell'ambiente urbano di PCDD/F nell'aria siano intorno ai 100 fg/m³ espressi come tossicità equivalente. Sempre secondo la stima del WHO livelli superiori a 300 fg/m³ (tossicità equivalente) indicano la presenza di sorgenti emissive locali. In Germania il comitato federale per il controllo dell'inquinamento atmosferico (LAI, 2004) ha adottato il limite di 150 fg/m³ WHO ITEQ come concentrazione in aria delle miscele di PCDD/F e PCB DL.

3. Siti di monitoraggio e tempistiche di realizzazione

Il monitoraggio si è svolto presso il sito di Altavilla Vic.na , via Bologna, zona abitata di ricaduta, il sito di Vicenza Ferrovieri, distante circa 5 Km, ed infine il sito di Vicenza quartiere Italia, distante circa 8 Km.

Il monitoraggio è durato un anno, dal 27/02/2015 al 02/03/2016.

Presso i tre siti, è stato programmato il campionamento quotidiano di PM10 e la raccolta di dodici campioni mensili di deposizioni.

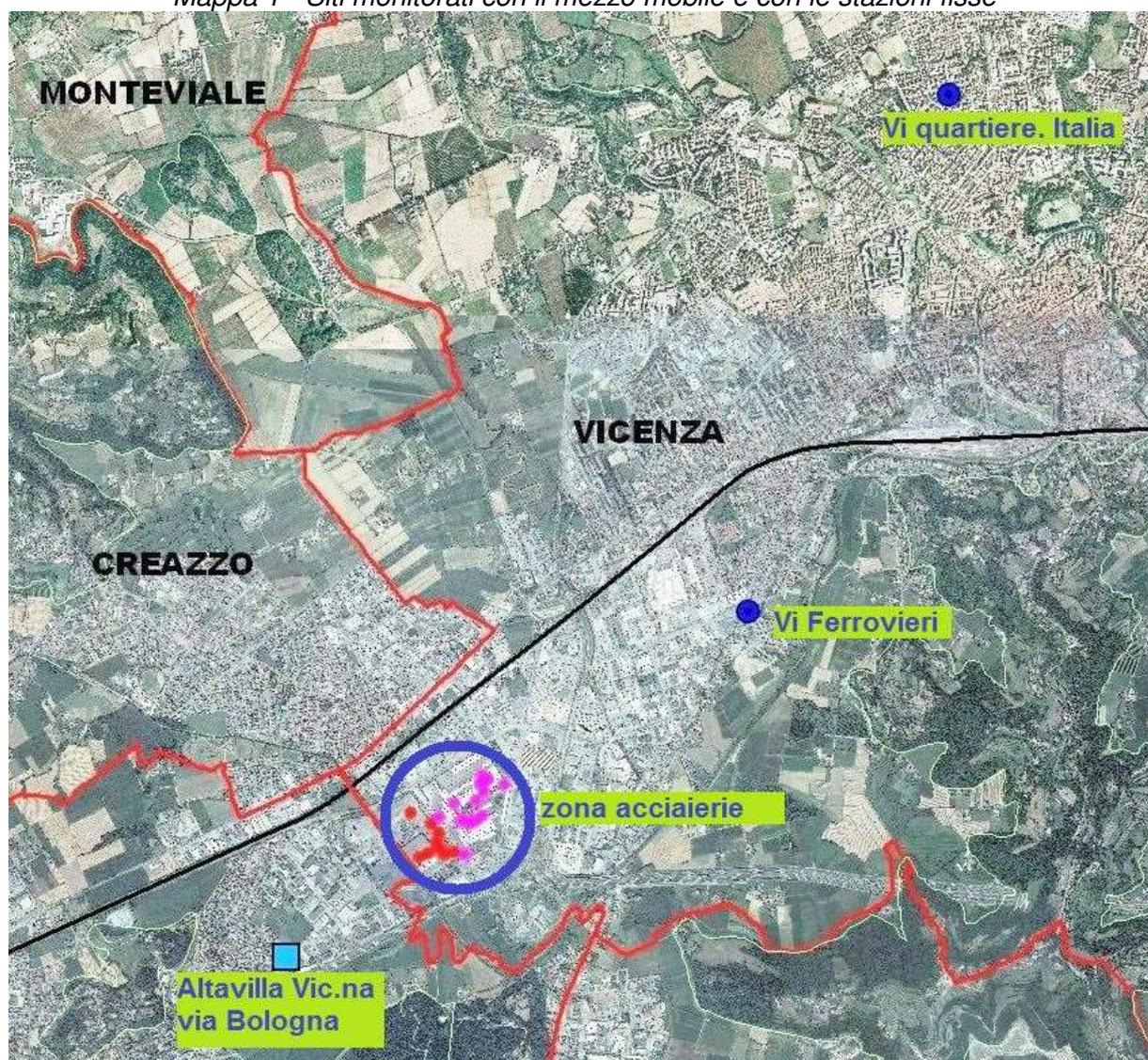
Presso quartiere Italia, e Altavilla Vic.na, sono stati inclusi i monitoraggi di PM2.5 e cinque campagne di misura di diossine, furani, PCB e IPA prelevati con campionatori ad alto volume. Il numero di giorni con misure effettivamente valide sono riportati nei paragrafi relativi a ciascun inquinante.

Le misure di PM10 e PM2.5 sono state eseguite in laboratorio con metodo gravimetrico, con eccezione dei dati presso Quartiere Italia, dove è presente uno strumento automatico.

Le analisi dei microinquinanti (metalli e IPA) sul PM10, dei metalli sulle deposizioni ed infine delle diossine, furani, PCB e IPA prelevati con campionatori ad alto volume sono state eseguite presso i laboratori ARPAV.

La Mappa 1 illustra la zona e l'ubicazione delle stazioni di monitoraggio, mentre la Tabella 2 e la Tabella 3 della pagina successiva indicano il programma di campionamento.

Mappa 1 - Siti monitorati con il mezzo mobile e con le stazioni fisse



Fotografie delle stazioni



Stazione rilocabile ARPAV



Stazione fissa ARPAV di Ferrovieri



Stazione fissa ARPAV di Quartiere Italia

Tabella 2 - Programma comune nei tre siti di campionamento.

Stazione	Tipo di Sito	Campionamenti e frequenza programmata
Altavilla Vicentina Via Bologna Stazione rilocabile	Zona abitata di ricaduta delle acciaierie	PM10 (tutti i giorni) Metalli nel PM10 (giorni alterni) IPA nel PM10 (giorni alterni) Deposizioni e metalli nelle dep. (camp. mensile)
Vicenza Via Baracca – Ferrovieri Stazione fissa	Distanza circa 5 km	PM10 (tutti i giorni) Metalli nel PM10 (giorni alterni) IPA nel PM10 (giorni alterni) Deposizioni e metalli nelle dep. (camp. mensile)
Vicenza Via Tommaseo – Quartiere Italia Stazione fissa	Distanza circa 8 km	PM10 (tutti i giorni) Metalli nel PM10 (giorni alterni) IPA nel PM10 (giorni alterni) Deposizioni e metalli nelle dep. (camp. mensile)

Tabella 3 - Programma e siti di campionamento di PM2.5 e di PCDD/F, PCB, IPA

Stazione	Tipo di Sito	PM2.5	PCDD/F, PCB, IPA (5 campagne da 7-14gg)
Altavilla Vicentina Via Bologna Stazione rilocabile	Zona abitata di ricaduta delle acciaierie	tutti i giorni	Dal 11 al 17 febbraio 2015 - 7gg Dal 18 al 24 febbraio 2015 - 7gg Dal 23 al 29 giugno 2015 - 7gg Dal 15 al 28 settembre 2015 - 14gg Dal 19 al 23 gennaio 2016 – 5gg
Vicenza Via Tommaseo – Quartiere Italia Stazione fissa	Distanza circa 8 km	tutti i giorni	Dal 11 al 17 febbraio 2015 - 7gg Dal 18 al 24 febbraio 2015 - 7gg Dal 23 al 29 giugno 2015 - 7gg Dal 15 al 28 settembre 2015 - 14gg Dal 19 al 23 gennaio 2016 – 5gg

4. Contestualizzazione meteo climatica dell'area

Il presente rapporto illustra l'andamento meteorologico del periodo compreso tra il 27 febbraio 2015 e il 3 marzo 2016 sul Veneto ed in particolare nell'area circostante le tre stazioni di qualità dell'aria: Altavilla Vicentina (via Bologna), Vicenza stazione fissa Ferrovieri e Vicenza Quartiere Italia. Esso si compone di due parti: nella prima si riporta la situazione meteorologica a livello regionale basata sui commenti meteorologici stagionali pubblicati sul sito internet dell'Agenzia alla pagina di Climatologia; nella seconda si svolge un'analisi più dettagliata, relativamente all'area in esame, della precipitazione e dei venti, variabili meteorologiche particolarmente significative per la dispersione degli inquinanti atmosferici.

4.1 Situazione meteorologica

In seguito all'arrivo il 21 febbraio di una saccatura che dà luogo a un episodio perturbato, nei giorni successivi il tempo rimane variabile/perturbato per la persistenza di una circolazione ciclonica fino al 26 del mese.

Alla fine del mese il tempo si rimette, ma sia la lieve curvatura ciclonica sia il transito di saccature poco profonde a Nord delle Alpi determinano una certa variabilità con annuolamenti irregolari.

Il mese di **marzo** inizia con una breve fase di tempo variabile con il passaggio di un debole fronte freddo il primo del mese e di un fronte freddo il giorno seguente con una fase di lieve instabilità.

Il giorno 3 una dorsale determina tempo molto bello, salvo nubi basse su alcuni settori pianeggianti.

Il 4 una debole saccatura transita sul Veneto, provocando un debole episodio pluvio nevoso in montagna e sulla pianura occidentale e successive forti correnti settentrionali il giorno 5, quando i venti sono molto forti anche nelle valli e sulla pedemontana, dove i venti medi giornalieri sono spesso i più sostenuti degli ultimi 10 anni.

Dal 6 al 15 marzo il tempo è generalmente stabile e perlopiù soleggiato nonché relativamente mite per la stagione. L'unico elemento di rilievo sono i forti venti dell'11 con Foehn in alcune valli.

Il transito di una saccatura tra il 16 e la notte del 17 determina un episodio perturbato su gran parte della regione con precipitazioni che variano da 5 a 25 mm, localmente fino a 30/40 mm.

Subito dopo, un'alta pressione di matrice atlantica riporta tempo perlopiù soleggiato, ma un po' più fresco per la stagione.

I giorni 25 e 26 una saccatura atlantica transita sull'Italia con formazione di una depressione chiusa sul settentrione. Si tratta di un episodio piuttosto significativo con piogge anche abbondanti (30/80 mm), localmente fino a 100 mm sulle Prealpi vicentine. Anche in pianura le piogge sono abbondanti con apporti di 80/90 mm sulla pianura vicentina.

Dal 27/28 il tempo cambia radicalmente per l'affermarsi di un anticiclone dinamico di matrice atlantica, il quale determina alcuni giorni di bel tempo con caratteristiche quasi primaverili in pianura (massime di 20/23°C). Tale situazione perdura fino alla fine del mese.

Il mese di **aprile** inizia con una fase di tempo variabile e anche molto fredda tra i giorni 4 e 7, quando correnti da Nord fanno scendere il termometro sotto zero in pianura.

Dall'8 una fase anticiclonica riporta condizioni di bel tempo con temperature in netto rialzo, specie dal 13, quando le temperature superano i 24/26°C in pianura e i 21/23°C nelle conche prealpine, sfiorando i 19/21°C a 1000 m (la neve sparisce molto presto sui monti). Questa situazione perdura fino a metà mese.

Dal giorno 16 il tempo diventa variabile con giornate un po' più nuvolose per il transito di una saccatura a nord delle Alpi, assieme ad una discesa di aria più fresca, specie nelle giornate del 19 e 20. L'ultima decade di aprile è particolarmente fresca ed a tratti instabile per iniziali correnti da Nord, poi si assiste al passaggio di una piccola goccia fredda (giorno 22) ed infine al transito di un minimo depressionario sotto le Alpi, prima del transito di una più profonda saccatura l'ultimo giorno del mese, la quale porta maltempo con pioggia diffusa in montagna e sulla parte centro-settentrionale della pianura.

Il mese di **maggio** inizia con condizioni di variabilità e lieve instabilità.

Dal 4 il tempo migliora e diventa anormalmente mite in montagna e caldo in pianura, specie il 5 e 6. Queste condizioni di tempo piuttosto stabile e spesso soleggiato perdurano fino al 12 del mese. Tuttavia in questo contesto si verificano temporali convettivi, come il 6, quando i fenomeni interessano la fascia prealpina e pedemontana con locali grandinate.

Dal 13, saccature atlantiche giungono sull'Italia settentrionale, provocando episodi di tempo instabile, anche perturbato il giorno 15, quando cadono precipitazioni abbondanti sulla montagna e la parte settentrionale della pianura veneta.

Tra il 16 e il 17 il tempo migliora in parte grazie alla presenza di una temporanea dorsale.

Il 18 una nuova saccatura scende dall'Europa settentrionale, assieme ad un'avvezione d'aria fredda: il tempo torna ad essere perturbato con piogge significative. Nei giorni seguenti una vasta saccatura con aria fredda rimane posizionata in modo da provocare tempo variabile/instabile con clima anormalmente fresco.

Questa fase di spiccata variabilità perdura fino al 24, poi il tempo si ristabilisce, ma rimane relativamente fresco per la stagione ed i momenti soleggiati si alternano con passaggi nuvolosi, in alcuni casi associati a qualche fenomeno temporalesco.

Il mese di **giugno** inizia con tempo generalmente bello e molto caldo (36/38°C) in pianura, con zero termico a circa 4200 m. Il caldo risulta anche un po' afoso in pianura.

Tra il 9 e il 13 la presenza di una goccia fredda tra la Francia e la penisola iberica determina una certa instabilità con temporali che si manifestano anche sulle Prealpi e sulla pedemontana. Il giorno 14 il passaggio di un'asse di saccatura provoca un episodio di maltempo. Nei giorni successivi il tempo rimane variabile/instabile per la presenza di un minimo depressionario sull'Italia settentrionale, specie il giorno 16.

Dal 17 fino al 22 il tempo risulta stabile e assai più caldo con valori che raggiungono i 32/34°C in pianura per un'avvezione d'aria calda di matrice africana, mentre il tempo alterna belle giornate e qualche intervallo di variabilità in montagna.

Il giorno 23 una saccatura transita sul nord dell'Italia, con un episodio d'instabilità e forti temporali, specie in montagna. Poi fino alla fine del mese il tempo torna ad essere piuttosto soleggiato, anche se con qualche episodio temporalesco fra le Prealpi e la pedemontana il giorno 27. Gli ultimi giorni del mese riportano un po' di caldo.

Il mese di **luglio** inizia con una fase di bel tempo caldo, addirittura molto caldo dal 3 fino all'8 con temperature anche di 35/38°C e molta afa.

Il giorno 8 una saccatura atlantica determina il transito di un fronte freddo sul Veneto. Dopo giorni di temperature elevate, l'irruzione di aria fredda in quota determina un episodio pluvio temporalesco, assai marcato fra le Prealpi e la pianura centro settentrionale.

In seguito a questo episodio, il tempo si ristabilisce e seguono tre giornate ben soleggiate, assieme a caldo asciutto.

Il 12 una piccola saccatura in quota lambisce l'Italia settentrionale, dando luogo a qualche piovasco serale e ad un breve episodio di variabilità il giorno 13.

Poi dal 14 al 25 l'alta pressione delle Azzorre si espande verso l'Italia, garantendo giornate tipicamente estive e calde (lo zero termico oscilla fra i 4300 e 4600 m). Dal 18 l'avvezione d'aria tende ad essere di matrice africana, generando un ulteriore aumento delle temperature e un clima sempre più afoso e caldo con punte di 37/39°C. Questa seconda ondata di caldo replica pressoché la stessa situazione rispetto a quella precedente, cioè un promontorio di matrice subtropicale con avvezione d'aria molto calda di matrice africana. Il caldo anomalo persiste fino al 24 in montagna e al 25 in pianura con punte superiori a 39/41°C il giorno 22.

Il 23 luglio una saccatura atlantica determina un episodio di tempo instabile con rovesci e temporali sparsi, un po' più diffusi sulla Pianura centro settentrionale. Questo evento pone fine alla seconda ondata di calore, facendo scendere le temperature di 7/8°C. Il giorno seguente forti temporali interessano la zona del Garda, mentre il 25 l'instabilità persiste sui monti. Un nuovo asse di saccatura passa tra la sera del 26 e il 27 mattina, apportando piogge più diffuse tra la pedemontana e la pianura centro-settentrionale.

Il 28 il tempo si ristabilisce, mentre nella serata del 29 il passaggio di un'anomalia dinamica determina un episodio di spiccata instabilità con temporali localmente forti (localmente 30/40

ed anche 46 mm sui monti e sulla pedemontana vicentina e veronese).

Il 30 e il 31 la pressione aumenta di nuovo e la presenza del promontorio riporta il sole e una minore instabilità, eccetto qualche rovescio nel pomeriggio del 30.

Il mese di **agosto 2015**, inizia con il passaggio di una modesta saccatura atlantica, che porta un episodio di tempo perturbato in montagna ed instabile in pianura nel pomeriggio di sabato 2 e parte della notte/mattino del 3.

Poi il tempo migliora fino a diventare molto soleggiato, stabile (salvo isolati temporali convettivi in montagna) e via via più caldo fino a essere molto caldo nelle giornate del 6, 7 e 8 con punte di 39/40°C in pianura e fino a 30/32°C a 1000 m in montagna (11°C in Marmolada). In seguito all'apice del caldo, il tempo rimane comunque prettamente estivo con giornate ben soleggiate fino al 13.

Il giorno 14 la struttura anticlonica cede in quota con primi focolai temporaleschi. Il giorno di Ferragosto, il transito di una saccatura determina una fase di tempo perturbato/instabile su gran parte del Veneto, ad eccezione del Veronese e parte del Vicentino. Il peggioramento è associato ad un sensibile calo termico, (7/9°C in meno rispetto ai giorni precedenti). Dal 16 di agosto fino al 20 il tempo rimane variabile/instabile ed assai più fresco con temporali a volte intensi sulle Prealpi il giorno 18.

Da 21 al 23 il tempo si ristabilisce.

Il giorno 24 molta pioggia (25/55 mm) cade su quasi tutta la fascia prealpina e su parte della pedemontana.

Il 25 persiste una residua variabilità, ma la pressione inizia ad aumentare e il sole comincia a farsi spazio. Dal 26 in poi torna l'alta pressione di matrice africana, la quale riporta tempo molto soleggiato e via via più caldo. Sono di nuovo superati i 37/38°C in pianura e si arriva a 12.1°C in Marmolada a 3256 m. Addirittura lo zero termico nella libera atmosfera tocca i 5010 m sul radiosondaggio di Udine del 31 agosto alle ore 00 UTC.

Il mese di **settembre** inizia con una giornata variabile, in attesa del passaggio di una saccatura, responsabile di tempo in parte perturbato/instabile, specie tra la pedemontana il giorno 2 e la montagna, il 3.

Il giorno 4 una temporanea dorsale riporta tempo soleggiato.

Il giorno 5 un minimo depressionario riporta tempo instabile, dapprima sulla pedemontana e la montagna e il giorno 6, anche sulla pianura veneta.

In seguito il tempo si ristabilisce con belle giornate fino al giorno 12.

In seguito la prima vera saccatura atlantica di stampo autunnale transita sul Veneto, generando un episodio perturbato tra la sera del 13 e la mattina del 14, con una linea d'instabilità post-frontale nel pomeriggio del 14, responsabile di violenti temporali con trombe d'aria, assieme ad una rovinosa grandinata sul settore di Rosà, Nove di Crosara e Cartigliano. Il giorno 15 risulta variabile con persistenza di un flusso sud-occidentale. Situazione che perdura, anche nei giorni successivi per la duplice azione di una profonda saccatura atlantica e di un promontorio mediterraneo che influenzano entrambi la nostra regione senza portare bel tempo, ma neanche il maltempo connesso alla suddetta saccatura, che rimane un po' più occidentale rispetto al Veneto stesso.

Tra il 16 e il 18, correnti sud-occidentali, a tratti forti in quota, apportano aria umida, assieme ad un'avvezione d'aria molto mite; molte nubi stratiformi, anche basse sostano sui rilievi e sulla pedemontana, a tratti anche in pianura, ma senza fenomeni significativi.

Dal 19 fino al 21 una dorsale di stampo mediterraneo riporta giornate soleggiate e relativamente miti, anche calde in pianura.

Il giorno 23, il sopraggiungere di una saccatura atlantica sull'Italia settentrionale determina la formazione di una depressione chiusa con esteso maltempo sul Veneto.

Nei giorni 24 e 25 persiste una residua variabilità.

Dal 26 l'espansione di un'alta pressione mobile atlantica provoca il ritorno del bel tempo con molto sole, ad eccezione di qualche annuvolamento stratiforme, anche per nubi basse.

Il 29 transita una piccola goccia fredda in quota ma senza effetti sul tempo in regione.

Il mese di **ottobre** inizia con tempo discreto, ma peggiora il giorno 3 con prime precipitazioni sulle Prealpi occidentali e soprattutto il 4 per il transito di una saccatura atlantica, responsabile di deboli precipitazioni sparse.

Poi fino al 6, il tempo si rimette grazie ad una temporanea dorsale, mentre il giorno 7 fenomeni d'instabilità interessano alcuni settori. Il tempo variabile/lievemente instabile persiste un po' tra l'8 e il 9 per la presenza di aria fredda in quota e di una curvatura ciclonica legata ad un minimo depressionario sul Mediterraneo.

Poi un'alta pressione di tipo continentale riporta tempo buono e stabile fino al 12, anche se con nubi basse su alcuni settori.

Il giorno 13, l'arrivo di una saccatura atlantica determina un peggioramento del tempo con piogge abbondanti a partire dal Veneto orientale e in estensione al resto della regione il giorno successivo. Nei giorni 15 e 16 un secondo asse di saccatura transita sul Veneto determinando un nuovo episodio variabile, anche perturbato nella notte del 16. Nei due giorni successivi, la presenza di una goccia fredda tra la Germania e l'Austria determina molta nuvolosità e un'altra goccia fredda sull'Italia centrale apporta deboli precipitazioni il giorno 18 sulla pianura e nella notte del 19 anche in montagna.

Dal 20 al 25 un'alta pressione dinamica di matrice atlantica garantisce tempo molto stabile e generalmente ben soleggiato, inizialmente freddo per la presenza di aria fredda in quota, ma dal 22, l'avvezione d'aria mite di matrice atlantica riporta lo zero termico sui 3000 e fino a 3600/3700 tra il 24 e 25. Il tempo stabile perdura fino alla fine del mese con qualche nebbia o foschia nei fondovalle e a volte anche in pianura.

Solo fra il 28 e 29, una debole saccatura atlantica giunge sull'Italia settentrionale, prima di isolarsi in depressione chiusa sul Centro dell'Italia. Pertanto la pianura viene coinvolta da un modesto peggioramento. Dal 29 pomeriggio, il tempo migliora di nuovo e torna ad essere molto bello e stabile, salvo foschie o nebbie durante le ore più fredde.

Il mese di **novembre** inizia con il perdurare del bel tempo grazie all'azione dinamica di un promontorio mediterraneo e di un'alta pressione al suolo di matrice continentale. Il sole è onnipresente e le nebbie e le foschie notturne dei primi giorni tendono a scomparire per avvezione di aria sempre più secca tra il 4 e l'8. La particolarità di questa fase di bel tempo è la mitezza anomala del clima con giornate che regalano massime di 23/24°C (i giorni 7 e 8 novembre). I radiosondaggi del 10 novembre di Udine indicano una quota dello zero termico a 4082 m all'una di notte e a 4331 m alle ore 13. Poi continua a fare relativamente caldo in montagna fino al 13, mentre la pianura rimane sotto una fitta e persistente coltre di nebbia, inizialmente sulla parte centro meridionale, ma con il passare dei giorni, la situazione tende ad aggravarsi e le nebbie si estendono fino a lambire la pedemontana.

Il giorno 14 una debole saccatura transita sulle Alpi, senza provocare nessun peggioramento del tempo, solo qualche annuvolamento e un calo termico, più avvertito in quota. Nello stesso tempo le nebbie tendono a scomparire su alcuni settori della pianura.

Poi si ristabilisce un'alta pressione di matrice mediterranea con temperature anormalmente alte in montagna e con graduale nuova espansione delle nebbie che dalla pianura meridionale, risalgono fino ad interessare la pedemontana ed il catino bellunese. Tale situazione perdura fino al 19.

Poi una saccatura atlantica giunge sulla nostra regione, apportando deboli piogge in montagna, mentre piove sicuramente di più sulla pianura e sulle Prealpi vicentine. Dopo questo passaggio, un'alta pressione di matrice continentale porta i primi freddi con le prime gelate a bassa quota ma infiltrazioni d'aria umida da Nord-Est determinano deboli episodi pluvio/nevosi il 23 e il 25 tra la pianura centrale e le Prealpi.

La fine del mese corrisponde di nuovo ad una fase di tempo stabile con molto sole, qualche nebbia e temperature più basse e decisamente più consone alla media del periodo.

Il mese di **dicembre** inizia sotto l'influenza di una forte circolazione anticiclonica di matrice atlantica con tempo stabile ed eccezionalmente mite in quota (zero termico a 3190 m – radiosondaggio di Milano alle ore 12 UTC del 4 dicembre), ma nello stesso tempo vi è una consistente inversione termica con gelate assai diffuse nei fondovalle e in pianura con forti brinate.

Il giorno 5 una piccola saccatura in quota porta qualche annuvolamento, ma quasi senza fenomeni. Poi l'alta pressione riprende con freddo per alcuni giorni; la conca di aria fredda in quota raggiunge il suo culmine il giorno 9 con -13°C in Marmolada, quando una nuova piccola saccatura transita in quota. Dal 10 dicembre la situazione torna ad essere stabile a causa di

un promontorio di matrice mediterranea con inversione termica nelle valli e mezza climatica in quota. Poi l'inversione notturna si riduce sensibilmente nei giorni successivi per lieve calo termico in quota ma tale situazione non perdura, in quanto dal 14 di dicembre l'alta pressione subtropicale di matrice atlantica si estende verso Est fino ad influenzare durevolmente l'Europa centro-meridionale con una situazione di grande stabilità. Il clima è molto mite in montagna (zero termico a 3836 m il giorno 23). La pianura, invece, rimane spesso sotto una coltre di nebbia o di nubi basse con clima fresco e umido, debole escursione termica giornaliera e grande deficit di sole. Addirittura negli ultimi giorni il gelo persiste su alcuni settori pianeggianti. La situazione non cambia fino alla fine del mese con inversione termica in pianura e nelle valli, che si attenua alla fine del mese per ingresso di aria più fredda in quota.

Il mese di **gennaio** inizia con bel tempo freddo il primo, seguito dal passaggio di una saccatura. Inizia a nevicare a bassa quota il 2, mentre il 3 piove. Il 4 gennaio il tempo rimane variabile. Dal 5 fino all'8 un promontorio garantisce tempo buono e rialzo termico. Il 9 una nuova saccatura interessa tutto il Veneto. Il 10 giornata interlocutoria prima dell'unica vera giornata perturbata del mese con pioggia. Una saccatura d'aria fredda in quota si approfondisce sui Balcani, mentre un'alta pressione di matrice continentale interessa gran parte dell'Europa occidentale. Pertanto il tempo tende a diventare bello e inizialmente mite, ma dopo il transito di una debolissima depressione a Sud delle Alpi nella giornata del 14, dal 15 gennaio il freddo tende a intensificarsi un po' e decisamente dal 17 gennaio, assieme all'instaurarsi di una fase di tempo stabile che perdura fino al 21/22. Dal 23 in poi il sole e la stabilità permangono, ma il freddo tende ad attenuarsi per l'espansione dell'alta pressione delle Azzorre. Dal 25 gennaio un promontorio di matrice mediterranea associato all'alta pressione delle Azzorre apporta tempo ben soleggiato con qualche velatura e soprattutto determina un netto rialzo termico, con inversione termica. Tale situazione si mantiene fino al 29 gennaio, poi il tempo rimane anticiclonico, ma il transito di un piccolo asse di saccatura in quota favorisce l'ingresso di aria più fresca per gli ultimi due giorni del mese, ma la situazione rimane dinamicamente anticiclonica.

Il mese di **febbraio** inizia con il perdurare di una situazione anticiclonica con sole e velature in quota e molte nebbie o nubi basse in pianura. Tra il 3 ed il 4 febbraio una prima saccatura interessa la nostra regione determinando tempo debolmente perturbato con piogge diffuse. Tra il 5 e il 6 febbraio una dorsale riporta il sole con temporaneo rialzo termico. Dalla sera il tempo torna a peggiorare per la presenza di una vasta saccatura atlantica che determina il susseguirsi di fronti freddi, responsabili di ben 4 episodi perturbati tra l'8 ed il 17 febbraio, con brevi intervalli di tempo buono o discreto. Il tutto in un regime termico non particolarmente invernale. Solo il 17 di febbraio si verificano abbondanti piogge per il passaggio di un minimo depressionario sul Nord Italia. Poi dal 18 al 26 il tempo si ristabilisce con belle giornate, salvo un giorno con nubi basse tra Prealpi e pedemontana. Il 27 il tempo torna a peggiorare per la presenza di una vasta area di bassa pressione che imperversa su tutto il nord dell'Italia fino alla fine del mese, dando luogo ad un episodio di forte instabilità con piogge molto abbondanti.

Il mese di **marzo** inizia con una fase di maltempo per il transito di una prima saccatura atlantica tra il 2 ed il 3.

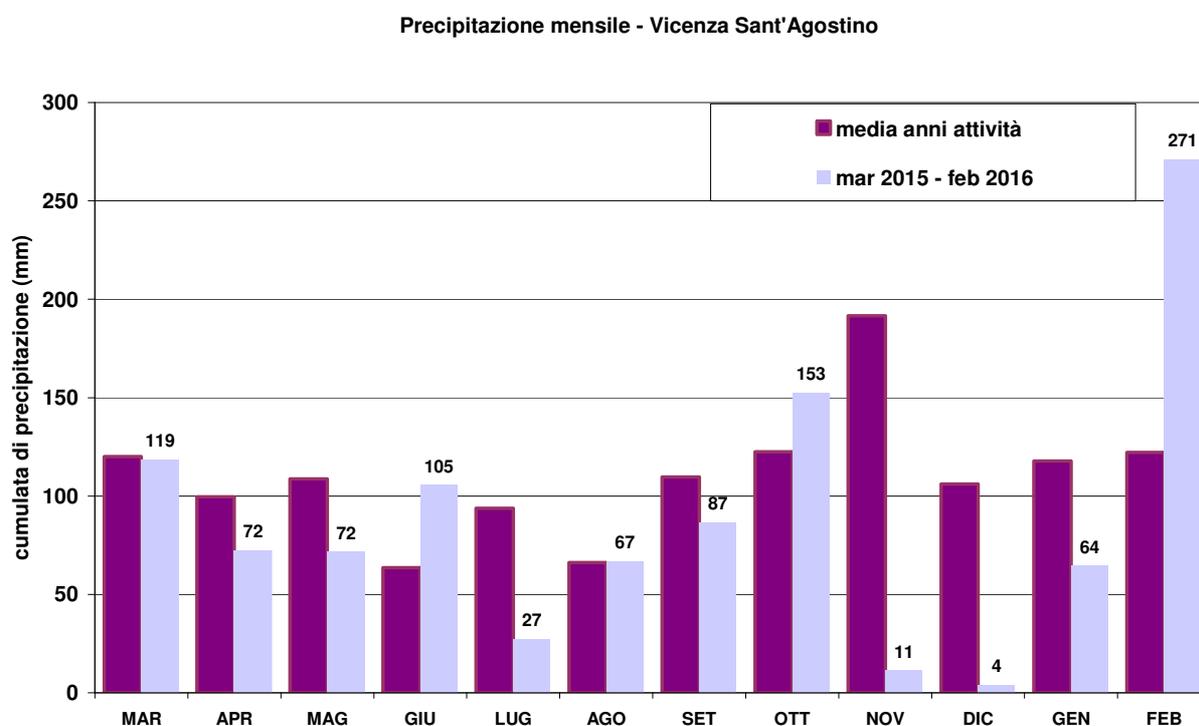
4.2 Analisi delle precipitazioni e dei venti nel periodo tra il 27 febbraio 2015 e il 2 marzo 2016 presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino.

Nel presente paragrafo si analizzano in dettaglio le cumulate di precipitazione, il numero di giorni piovosi e l'intensità media del vento mensili rilevati presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino nel periodo compreso tra il 27 febbraio 2015 e il 2 marzo 2016 e si esegue un confronto con i rispettivi andamenti medi mensili calcolati sulle serie dal 2009 al 2015 (periodo di attività della stazione: da fine febbraio 2009 ad oggi). L'andamento medio mensile per il confronto è stato calcolato sugli ultimi sei anni, cioè per i mesi da marzo a dicembre l'elaborazione è stata effettuata sui dati dal 2009 al 2014 e per gennaio e febbraio dal 2010 al 2015.

In Figura 1 si riporta l'andamento delle precipitazioni mensili del periodo di svolgimento della campagna di misura e il confronto con la serie marzo 2009 - febbraio 2015. Dal grafico si evince che:

- nei mesi di giugno e ottobre del 2015 le precipitazioni sono state di poco più abbondanti rispetto alla media mensile degli anni precedenti;
- in marzo e agosto 2015 le precipitazioni le cumulate di precipitazione sono state simili alla media;
- nei restanti mesi del 2015 e in gennaio 2016 le precipitazioni sono state inferiori rispetto alle medie mensili di riferimento;
- i mesi in cui si registrano scarti negativi significativi rispetto alla media sono luglio, e soprattutto novembre e dicembre;
- in particolare in dicembre 2015 si è registrato il valore mensile più basso dall'inizio dell'attività della stazione;
- in controtendenza rispetto ai quattro mesi che lo precedono, è febbraio 2016, nel quale si registrano cumulate di precipitazione pari a quasi tre volte la media degli ultimi sei anni.

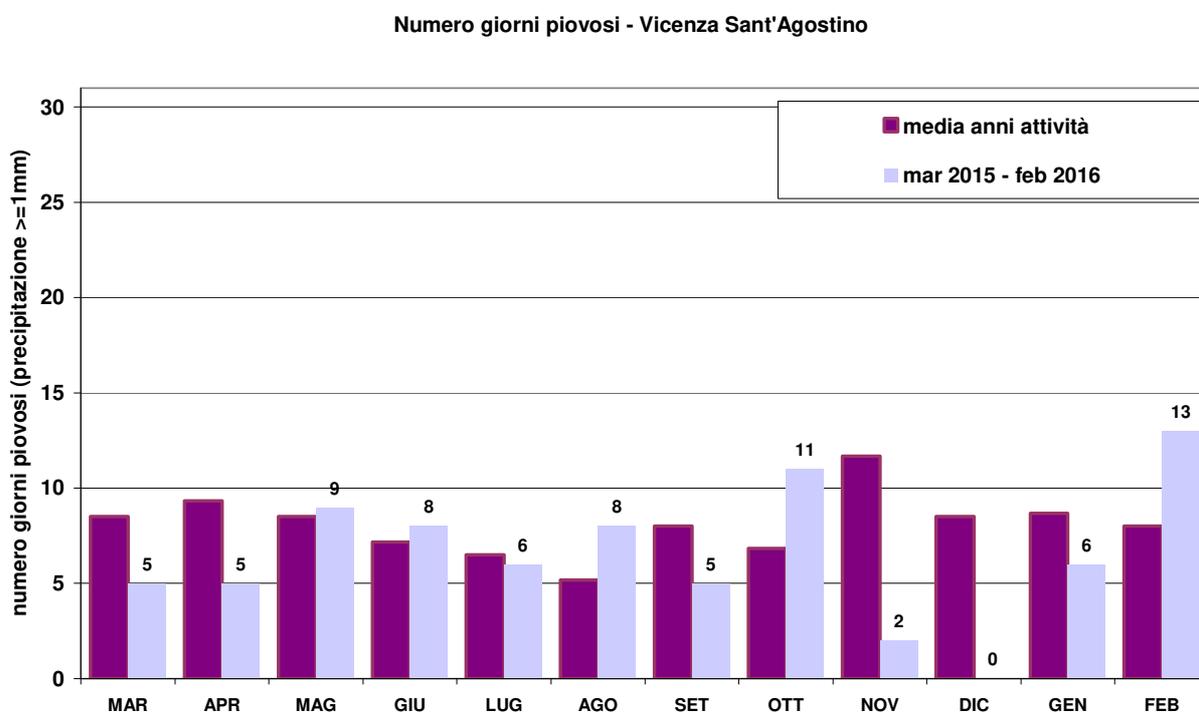
Figura 1: confronto delle precipitazioni mensili registrate nel periodo marzo 2015 - febbraio 2016 con la media degli ultimi sei anni (marzo 2009 - febbraio 2015) presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino.



In Figura 2 si riporta il grafico con il numero di giorni piovosi (giornata con cumulata di precipitazione superiore a 1 mm) registrate mese per mese nel periodo di svolgimento della campagna di misura e il numero medio di giorni piovosi calcolato mese per mese sui dati dei precedenti sei anni. Dalla figura si evince che:

- nei mesi di agosto e ottobre 2015 e febbraio 2016, il numero di giorni piovosi è stato superiore alla media mensile degli anni precedenti;
- in maggio e giugno, il numero dei giorni piovosi è stato leggermente superiore alla media;
- nei restanti mesi il numero dei giorni piovosi è stato inferiore rispetto alle medie di riferimento;
- i mesi nei quali i giorni piovosi sono stati significativamente meno numerosi della media sono novembre e dicembre;
- in particolare in novembre la pioggia è caduta in due soli giorni, mentre a dicembre, non si è verificato neanche un giorno con precipitazioni superiori a 1 mm e il valore di circa 4 mm di cumulata è ottenuto sommando segnali di precipitazione inferiore a 1 mm in più giorni.

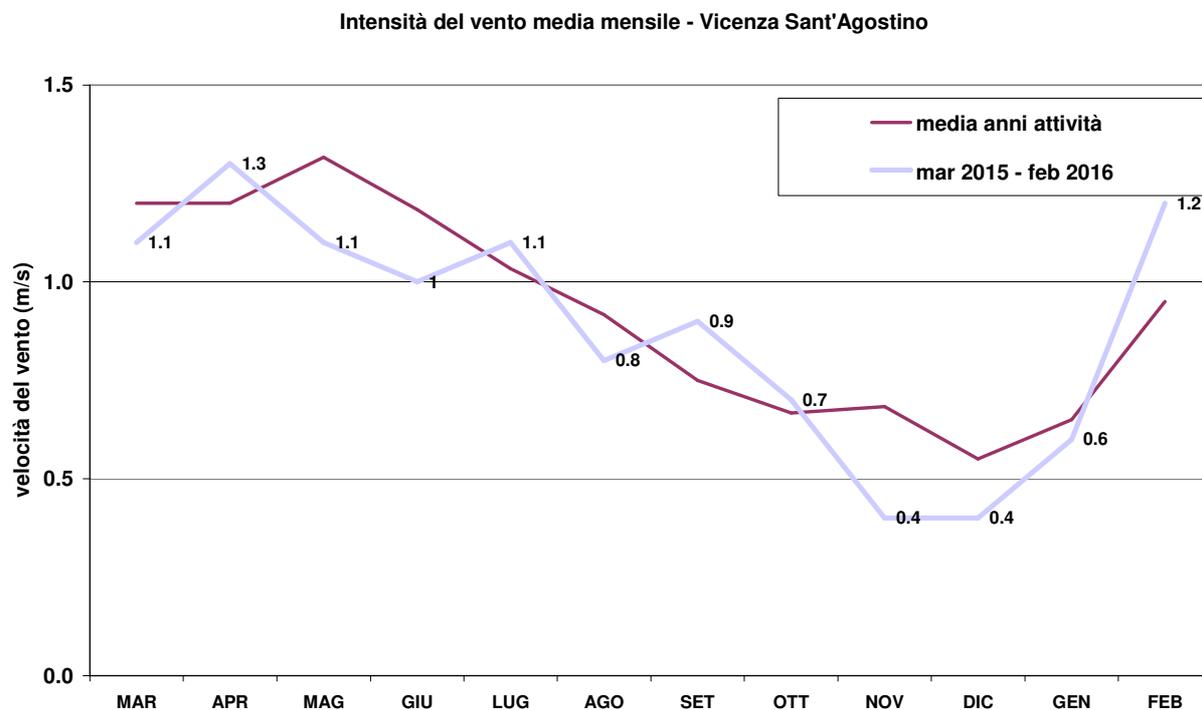
Figura 2: confronto del numero di giorni piovosi (precipitazione giornaliera ≥ 1 mm) mensili registrati nel periodo marzo 2015 -febbraio 2016 con la media degli ultimi sei anni (marzo 2009 - febbraio 2015) presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino.



Incrociando le informazioni riguardanti la piovosità contenute nei due grafici (cumulata mensile e numero di giorni piovosi), rileviamo che in ottobre e febbraio sia il numero di giorni piovosi che le cumulate di precipitazione sono stati superiori alla media. L'aspetto più rilevante dell'intero anno è stato la quasi totale assenza di precipitazioni negli ultimi due mesi dell'anno 2015, nel corso dei quali si sono verificati in tutto solo due giorni di pioggia.

In Figura 3 si riporta il confronto tra l'andamento mensile dell'anno 2015 dell'intensità media del vento con l'andamento medio dei precedenti sei anni. Si può notare che l'intensità del vento è stata superiore alla media nei mesi di aprile, luglio, settembre e febbraio, inferiore nei restanti mesi, con scarti negativi più significativi nei mesi di maggio e novembre 2015.

Figura 3: confronto delle intensità del vento medie mensili registrate nel periodo marzo 2015 -febbraio 2016 con la media degli ultimi sei anni (marzo 2009 - febbraio 2015) presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino.



Infine si riporta la rosa dei venti (

Figura 4) registrati presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino, che si trova in un raggio di circa 5 km dalle tre stazioni di qualità dell'aria. Il regime dei venti rilevati presso la stazione è rappresentativo dell'area, tuttavia nei siti di misura di qualità dell'aria i regimi dei venti potrebbero avere delle caratteristiche peculiari anche differenti rispetto a quello evidenziato presso questa stazione.

Presso la località di Vicenza Sant'Agostino è alta la percentuale di calme, cioè dei venti di intensità inferiore a 0.5 m/s, circa 55% dei casi; il vento medio è di circa 0.8 m/s, le direzioni prevalenti di provenienza del vento sono est-nord-est, est e nord-est.

In Figura 5 si riportano le rose dei venti mensili per il periodo compreso tra marzo 2015 e febbraio 2016. Da questa visione sinottica si evince che i mesi meno ventosi sono quelli invernali. Infatti, in novembre, dicembre e gennaio la percentuale di calme è superiore al 70%.

Figura 4: rosa dei venti registrati presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino nel periodo compreso tra il 27 febbraio 2015 e il 2 marzo 2016.

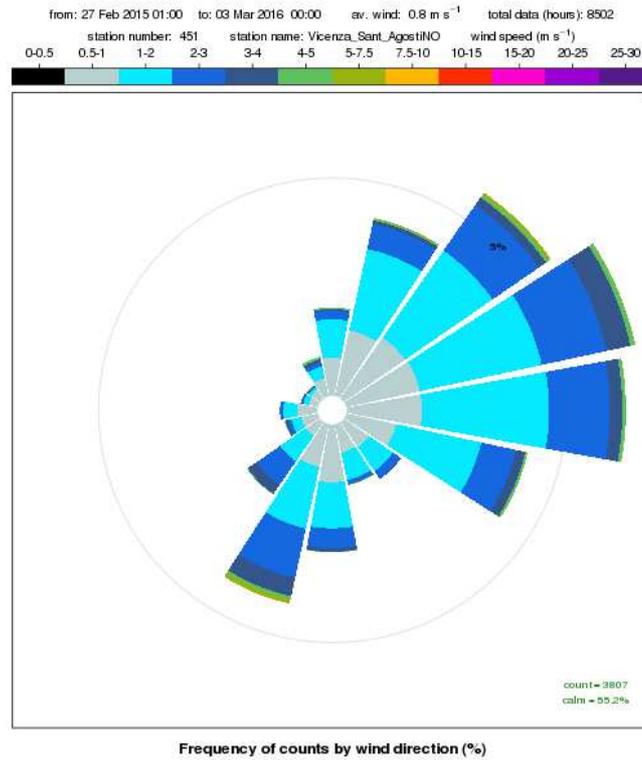
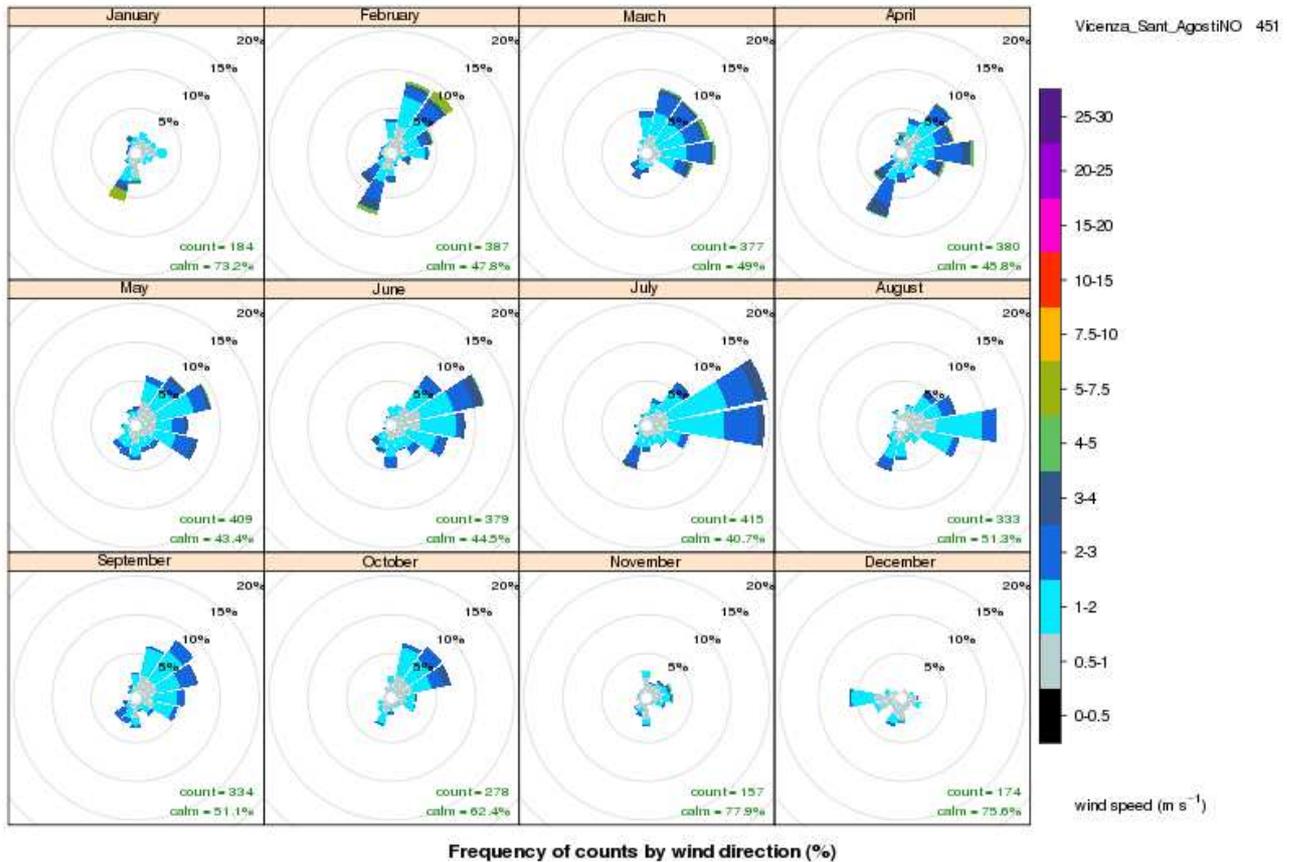


Figura 5: rose dei venti registrati presso la stazione di Vicenza Sant'Agostino nel periodo compreso tra il 27 febbraio 2015 e il 2 marzo 2016, ripartite per mesi: si sottolinea che le rose dei mesi da marzo a dicembre sono riferite all'anno 2015, mentre quelle di gennaio e febbraio sono del 2016.



5. Risultati del monitoraggio

Premesse generali sull'elaborazione dei dati

- 1) La procedura in uso nell'Agenzia prevede che, nell'elaborazione dei dati, i valori inferiori al limite di rivelabilità strumentale siano sostituiti dalla metà del limite di rivelabilità strumentale stesso. Questa procedura è stata applicata alle elaborazioni delle misure del presente monitoraggio con eccezione dei dati riguardanti i metalli nelle deposizioni, per i motivi illustrati nel relativo capitolo.
- 2) Per ragioni tecniche, anche strumentali e imprevedibili, i campionamenti giornalieri di PM10 e conseguentemente dei metalli nel PM10 e degli IPA nel PM10 effettuati presso i tre siti non sono avvenuti sempre in modo contemporaneo. Di conseguenza si dispone di una numerosità di campioni variabile da sito a sito, con dati che sono solo parzialmente ottenuti negli stessi giorni di campionamento, e quindi non sempre nelle stesse condizioni meteorologiche. Per questo motivo si è ritenuto utile presentare i dati di PM10, metalli nel PM10, IPA nel PM10 e di PM2.5 come media ottenuta solo da quei dati il cui campionamento è avvenuto contemporaneamente nei punti di monitoraggio.

5.1 PM10

I giorni di misura contemporanea in tutte le stazioni sono stati 290. La tabella seguente riporta i risultati ottenuti in ciascuna stazione.

Tabella 4 - PM10

	PM10		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media $\mu\text{g}/\text{m}^3$	37	34	40
mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	32	27	35
valore massimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	107	106	110
valore minimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5	7	9
25° Percentile $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22	18	25
75° Percentile $\mu\text{g}/\text{m}^3$	47	44	51
% dati >LR (4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100%	100%	100%
N. super. Val. lim. media giorn.	57	57	74
% superamenti su 290 campioni	20%	20%	26%

Grafico 1 - PM10, Box Wiskers Box Wiskers medie giorn. max, minimo, 25° e 75° percentile

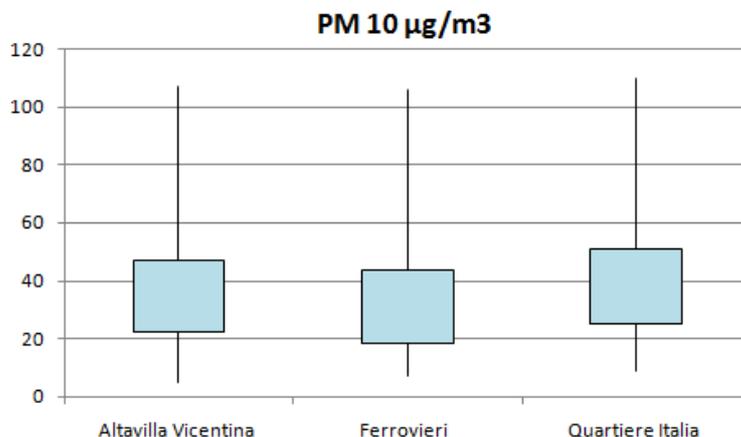
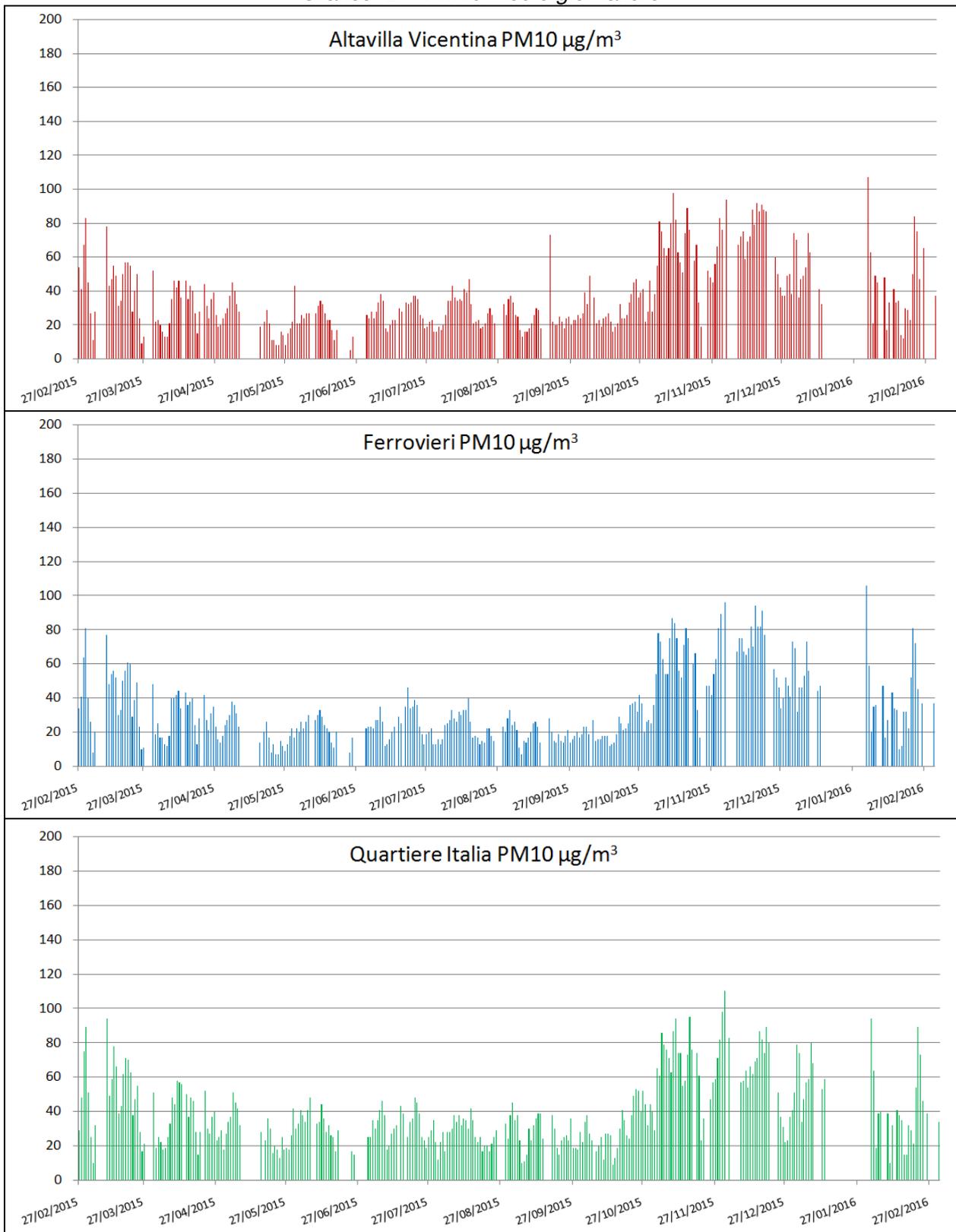


Grafico 2 - PM10 medie giornaliere



5.2 PM2.5

I giorni di misura contemporanea nelle due stazioni di Altavilla Vicentina e di Vicenza quartiere Italia sono stati 303. La tabella seguente riporta i risultati di ciascuna stazione.

Tabella 5 - PM2.5

	Altavilla Vic.na	Vi Quartiere Italia
media $\mu\text{g}/\text{m}^3$	31	30
mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	21	22
valore massimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	119	120
valore minimo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4	4
25° Percentile $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14	14
75° Percentile $\mu\text{g}/\text{m}^3$	43	40

Grafico 3 - PM2.5, Box Wiskers Box Wiskers medie giorn. max, minimo, 25° e 75° percentile

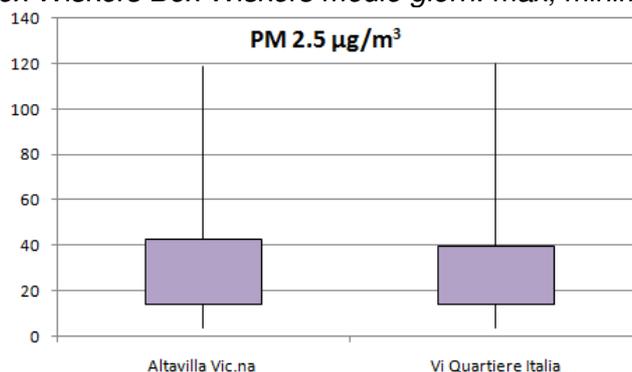
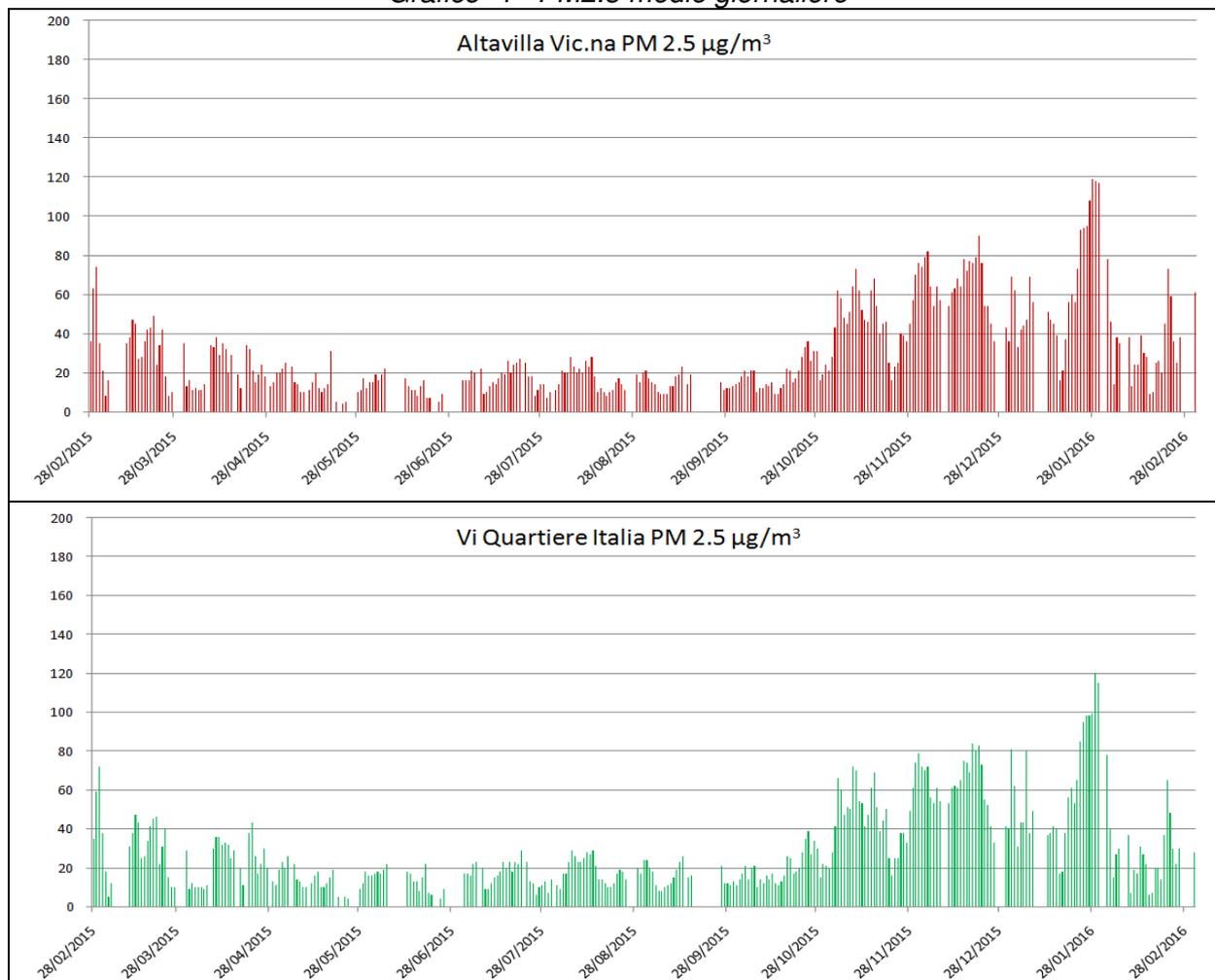


Grafico 4 - PM2.5 medie giornaliere



5.3 PM10 e PM2.5: valutazione delle differenze tra i siti

Il confronto delle misure è stato eseguito sulle coppie dei siti Altavilla- Quartiere Italia, Ferrovieri- quartiere Italia e Altavilla – Ferrovieri.

Il primo criterio utilizzato nel confronto tra siti è stato il considerare la variabilità intrinseca delle misure: se in una coppia di siti, la differenza tra le medie è inferiore al 10% della media maggiore, le misure dei siti sono state considerate non differenti, senza procedere ad approfondimenti statistici.

Al fine di valutare se i valori ottenuti nei tre siti monitorati sono statisticamente diversi tra loro, sono stati eseguiti tre test statistici, con modalità “Two Sample paired test” (soft PAST, in bibliografia), uno dei quali parametrico, il T test, e due non parametrici, il Sign test ed il Wilcoxon test.

I test analizzano la differenza in ciascuna coppia di misure eseguite nello stesso giorno in due stazioni e restituiscono le rispettive probabilità che la media e la mediana dei due siti siano uguali (H0 o ipotesi zero, non c'è differenza tra i due siti).

L'esito dei test è espresso numericamente dalla probabilità “p”, dove con “p” compresa tra 0.05 e 1, i due siti sono da ritenersi statisticamente uguali, mentre con “p” inferiore a 0.05 (5%) si conclude che le misure nei due siti sono diverse. Poiché per ciascuna coppia di siti vi sono tre test, si ottiene una conclusione univoca solo quando il risultato dei tre test è in accordo.

Nelle conclusioni ci si attiene rigorosamente al risultato univoco dei tre test.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati dei confronti.

Tabella 6 - PM10 Two Sample paired test

	PM10		PM10		PM10	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 290						
media µg/m ³	37	40	34	40	37	34
mediana µg/m ³	32	35	27.0	35.0	32	27
Differenza media µg/m ³	3		6		3	
T test p (same mean)			6*10 ⁻³²			
Sign test p (same mean)			3*10 ⁻³³			
Wilcoxon test p (same mean)			3.9*10 ⁻²⁶			

La differenza tra le medie nella prima e nella terza coppia di siti a confronto è inferiore al 10% delle rispettive medie. Si conclude che il PM10 misurato ad Altavilla Vic.na non è statisticamente diverso né da quello misurato a Ferrovieri, né da quello misurato a quartiere Italia. I test svolti indicano che le misure di PM10 presso Ferrovieri sono statisticamente diverse da quelle presso quartiere Italia.

Tabella 7 - PM2.5

	PM2.5	
	Altavilla Vic.	Q Italia
n coppie 303		
media µg/m ³	30.8	30.0
mediana µg/m ³	21	22
Differenza media µg/m ³	0.73	

Il confronto dei dati del PM2.5 misurato presso i due siti indica una differenza tra le medie ampiamente inferiore al 10% delle rispettive medie, si conclude che le misure sono statisticamente uguali.

5.4 Metalli nel PM10

Una parte dei campioni giornalieri di PM10 è stata sottoposta all'analisi dei metalli, arrivando così a disporre per ciascun metallo di **127 giorni di misure simultanee nei tre siti**.

I metalli analizzati nel PM10 sono: alluminio, arsenico, cadmio, cobalto, cromo, ferro, manganese, molibdeno, nichel, piombo, zinco. La normativa prevede dei limiti o dei valori obiettivo solo per l'arsenico, il cadmio, il nichel ed il piombo.

I risultati sono presentati, per ciascun elemento, mediante una tabella che riporta i parametri statistici di base (media, mediana, massimo, ecc.) misurati nei tre siti. Alcuni di questi parametri sono illustrati nel successivo grafico tipo Box Wiskers con il quale si rappresenta l'intervallo dati di ciascun sito. Le figure rettangolari ("scatole") illustrano per ciascun punto l'intervallo di concentrazione in cui si trovano il 25° ed il 75° percentile delle medie giornaliere misurate durante il monitoraggio. L'estremo superiore della linea verticale che attraversa ciascuna scatola indica la media giornaliera massima e l'estremo inferiore la media giornaliera minima, che coincide con LR/2.

Seguono infine gli istogrammi con le medie giornaliere relative a tutti i giorni di campionamento simultaneo nei tre siti.

5.4.1 Alluminio nel PM10

La percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è stata superiore al 90% in tutti i siti. Il valore minimo misurato coincide con la metà del limite di rivelabilità strumentale (LR/2), valore qui attribuito alle misure inferiori al limite di rivelabilità strumentale stesso.

Tabella 8 - Alluminio nel PM10, parametri statistici di base

	Alluminio		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media ng/m ³	122.4	108.9	113.1
mediana ng/m ³	90.4	85.0	80.1
valore massimo ng/m ³	965.1	477.5	512.9
valore minimo (LR/2 ng/m ³)	0.5	0.5	0.5
25° Percentile ng/m ³	52.3	35.5	33.7
75° Percentile ng/m ³	154.6	147.9	152.8
% dati >LR (1.0 ng/m ³)	96%	98%	94%

Grafico 5 - Alluminio nel PM10, Box Wiskers medie giorn. max, minimo, 25° e 75° percentile

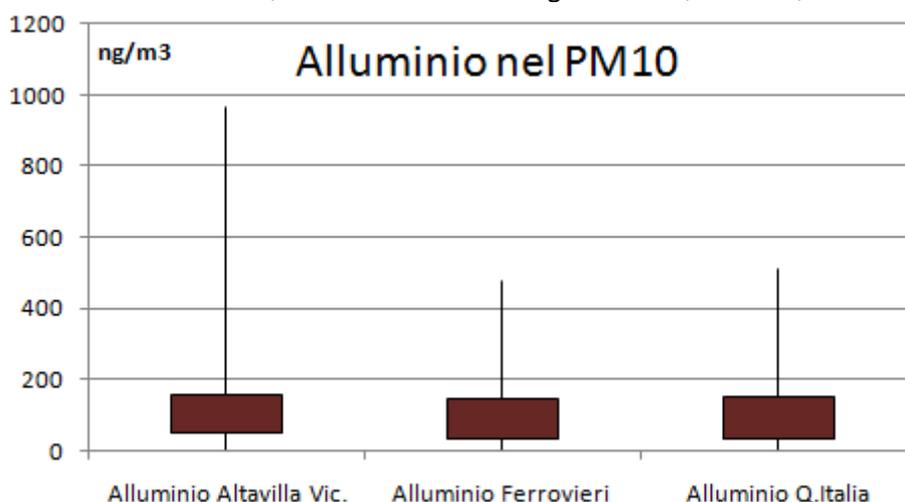
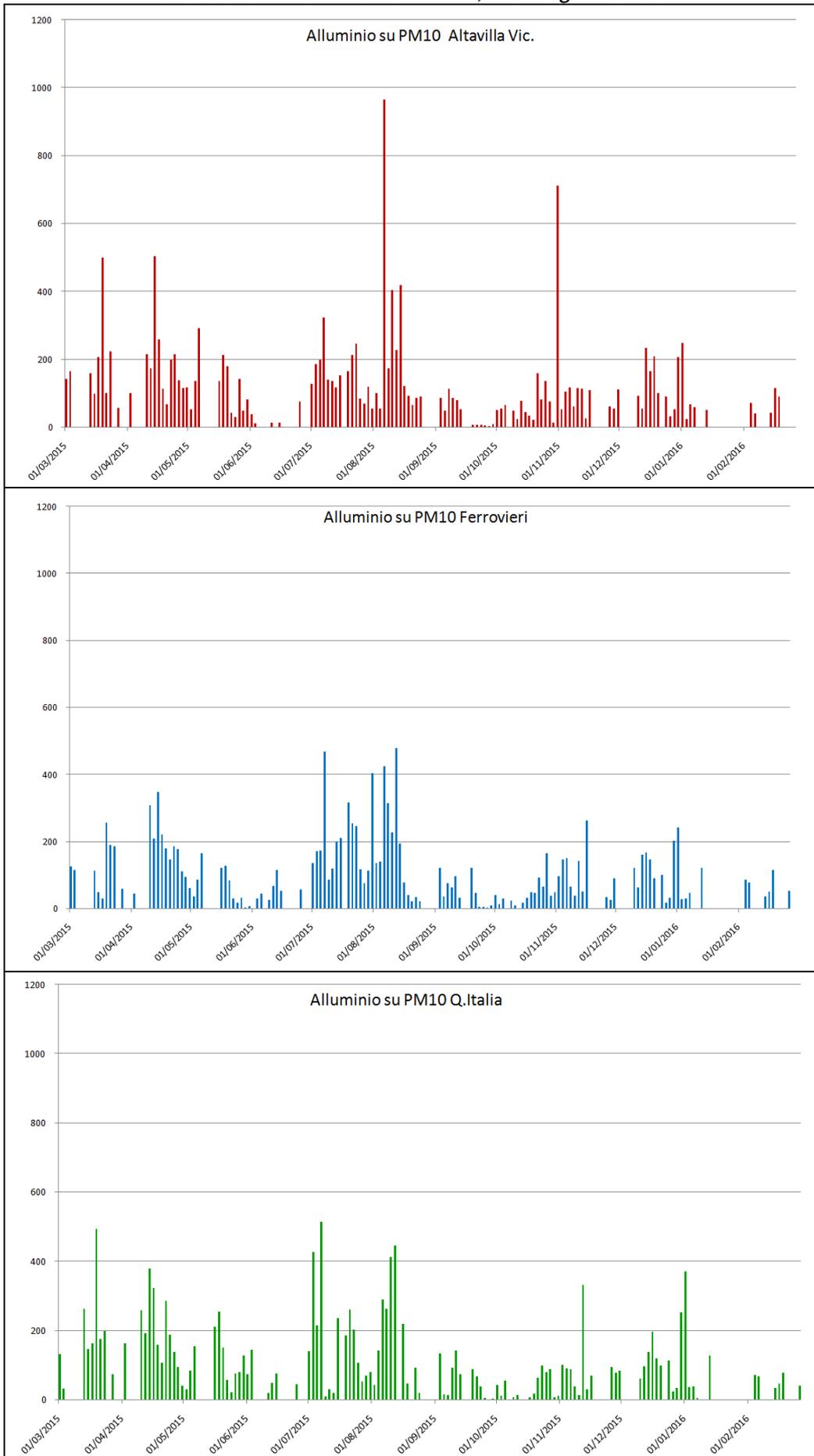


Grafico 6 - Alluminio nel PM10, medie giornaliere



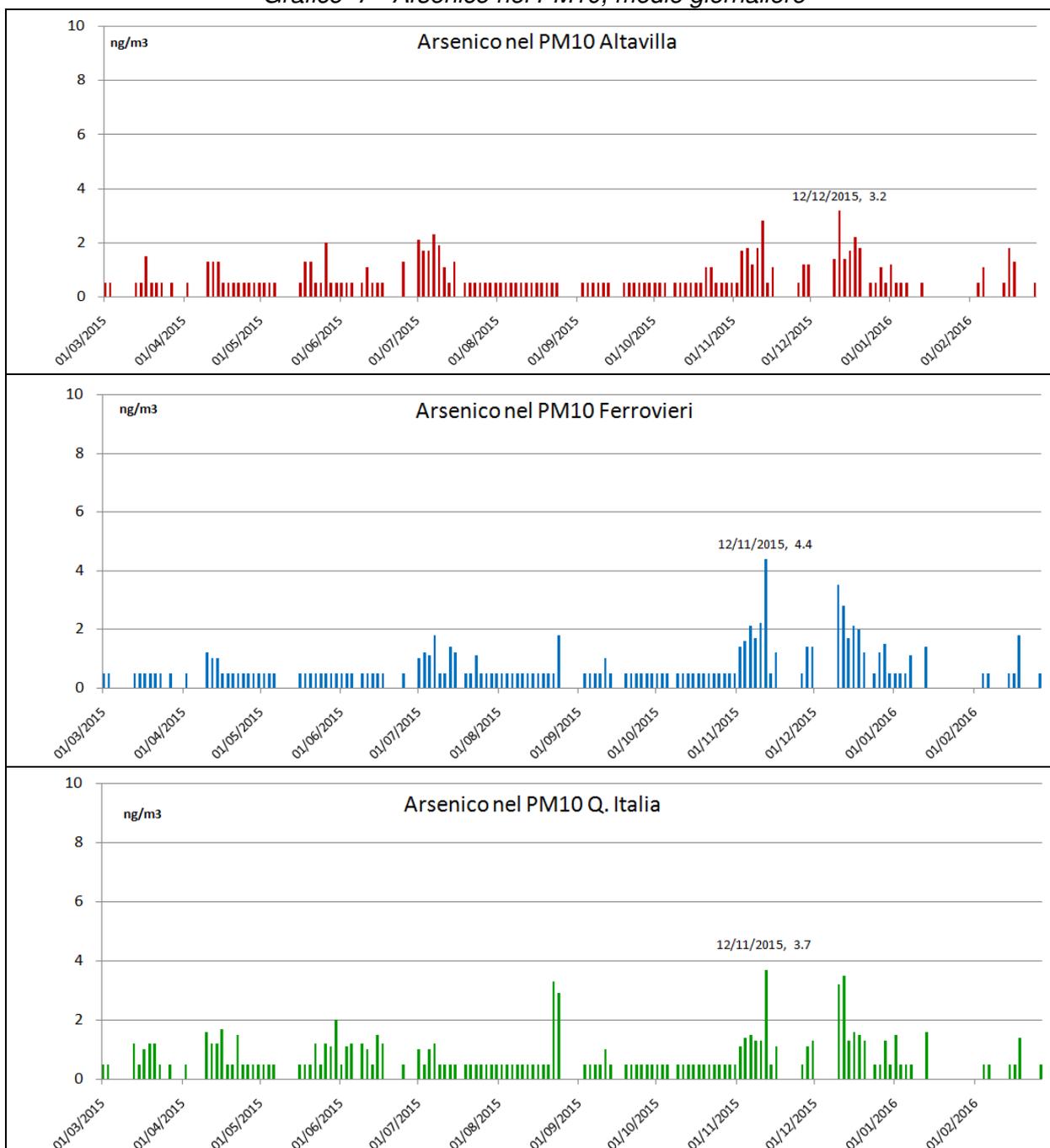
5.4.2 Arsenico nel PM10

La percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è stata al massimo del 34% (presso Quartiere Italia). La media e la mediana risultano inferiori al limite di rivelabilità strumentale presso i tre siti.

Tabella 9 - Arsenico nel PM10, parametri statistici di base

	Arsenico		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media ng/m ³	<1.0	<1.0	<1.0
mediana ng/m ³	<1.0	<1.0	<1.0
valore massimo ng/m ³	3.2	4.4	3.7
% dati >LR (1.0 ng/m ³)	29%	25%	34%

Grafico 7 - Arsenico nel PM10, medie giornaliere



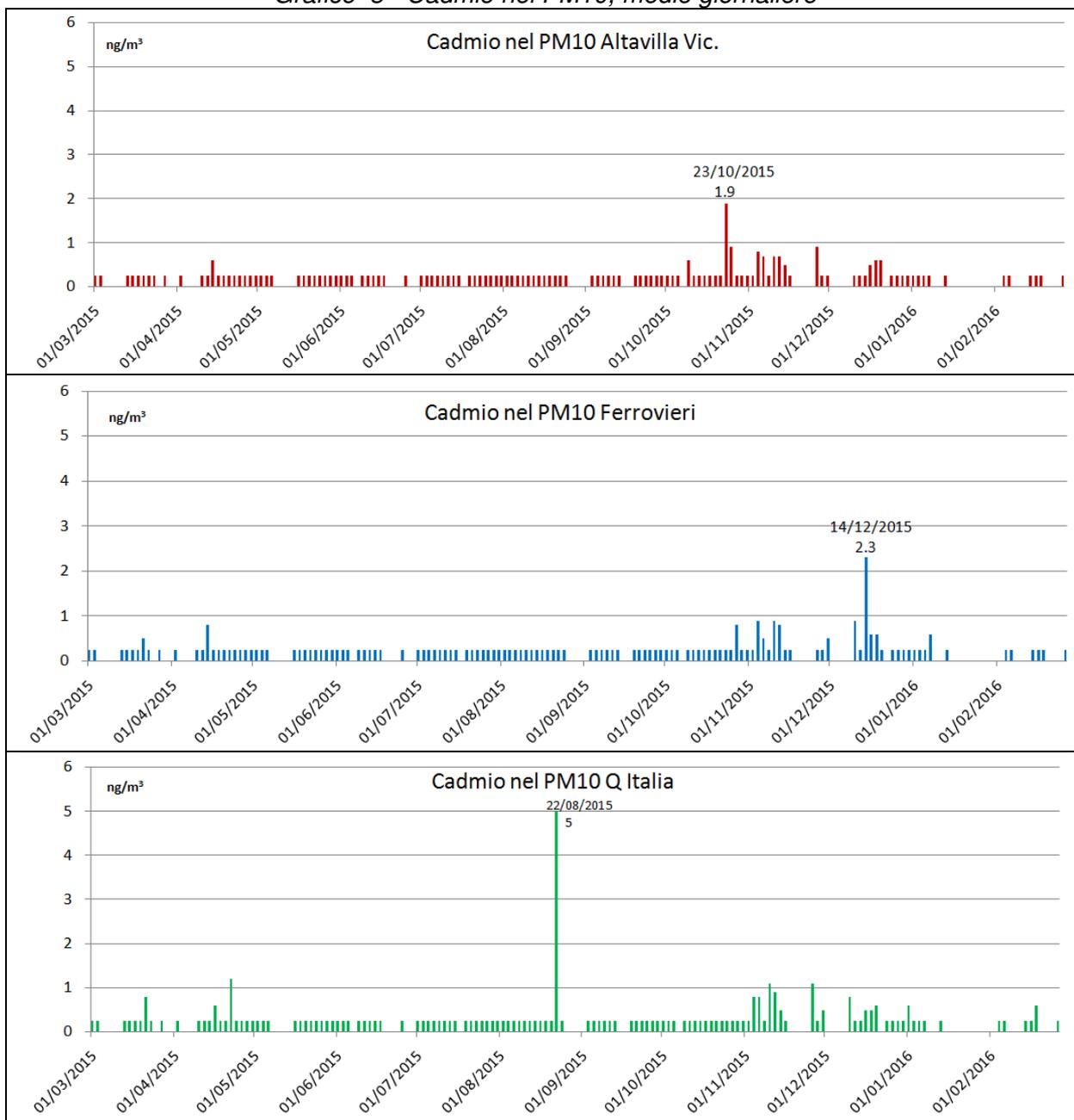
5.4.3 Cadmio nel PM10

La percentuale di dati superiore al limite di rivelabilità strumentale è stata al massimo del 13% (presso Quartiere Italia). La media e la mediana risultano inferiori al limite di rivelabilità strumentale presso i tre siti.

Tabella 10 - Cadmio nel PM10, parametri statistici di base

	Cadmio		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media ng/m ³	<0.5	<0.5	<0.5
mediana ng/m ³	<0.5	<0.5	<0.5
valore massimo ng/m ³	1.9	2.3	5.0
% dati >LR (0.5 ng/m ³)	10%	10%	13%

Grafico 8 - Cadmio nel PM10, medie giornaliere



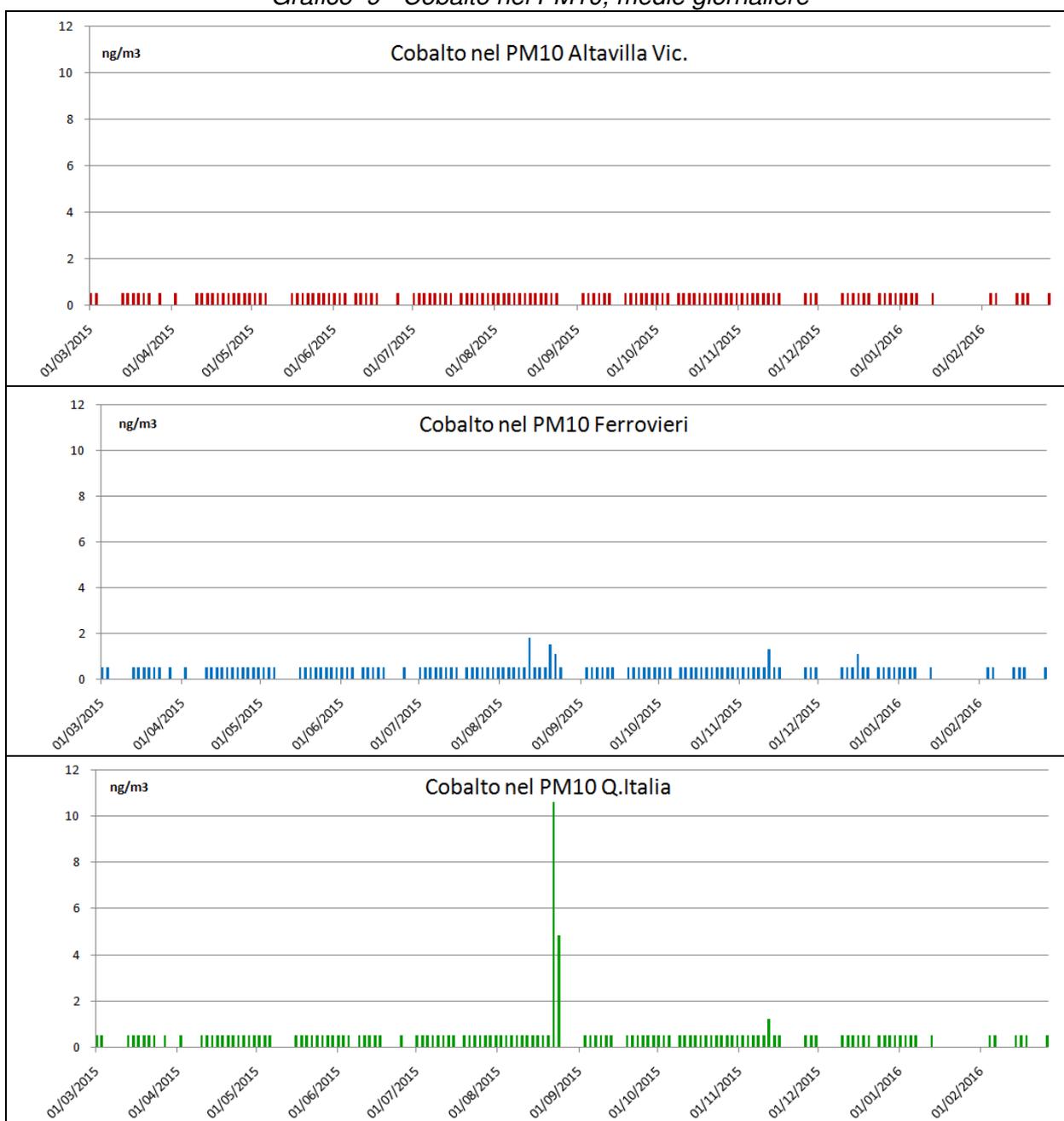
5.4.4 Cobalto nel PM10

Presso il sito di Altavilla Vicentina tutte le 127 misure sono risultate inferiori al limite di rivelabilità strumentale. La percentuale di dati superiore al limite di rivelabilità strumentale è stata al massimo del 4% (Ferrovieri). La media e la mediana risultano inferiori al limite di rivelabilità strumentale presso i tre siti.

Tabella 11 - Cobalto nel PM10, parametri statistici di base

	Cobalto		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media ng/m ³	<1.0	<1.0	<1.0
mediana ng/m ³	<1.0	<1.0	<1.0
valore massimo ng/m ³	x	1.8	10.6
% dati >LR (1.0 ng/m ³)	0%	4%	2%

Grafico 9 - Cobalto nel PM10, medie giornaliere



5.4.5 Cromo nel PM10

La percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è stata superiore al 70% in tutti i siti. Il valore minimo misurato coincide con la metà del limite di rivelabilità strumentale (LR/2), in quanto è il valore attribuito alle misure inferiori al limite di rivelabilità strumentale stesso. Presso il sito di quartiere Italia anche il 25° percentile è uguale alla metà del limite di rivelabilità strumentale.

Tabella 12 - Cromo totale nel PM10, parametri statistici di base

	Cromo totale		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media ng/m ³	22.5	15.9	11.8
mediana ng/m ³	12.4	6.6	6.9
valore massimo ng/m ³	253.7	194.0	103.8
valore minimo ng/m ³	0.5	0.5	0.5
25° Percentile ng/m ³	2.1	1.6	0.5
75° Percentile ng/m ³	23.8	17.5	14.7
% dati >LR (1.0 ng/m ³)	76%	77%	72%

Grafico 10 - Cromo nel PM10, Box Wiskers medie giornaliere max, min., 25° e 75° percentile

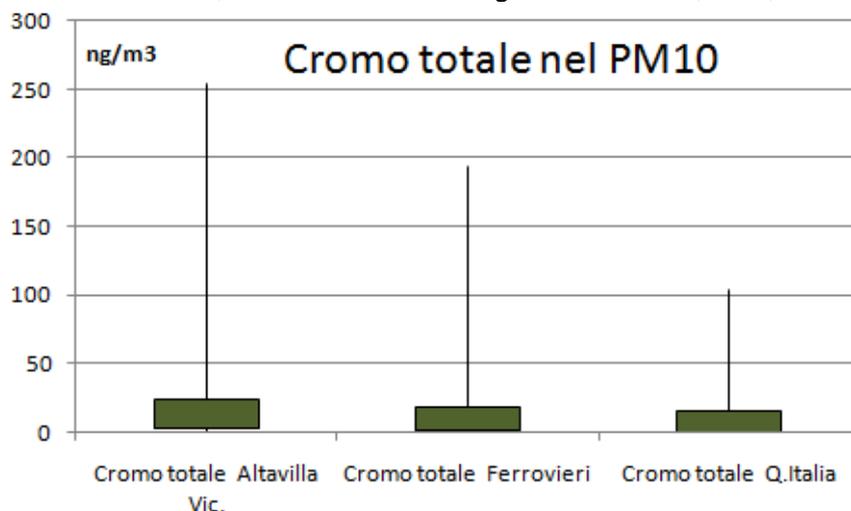
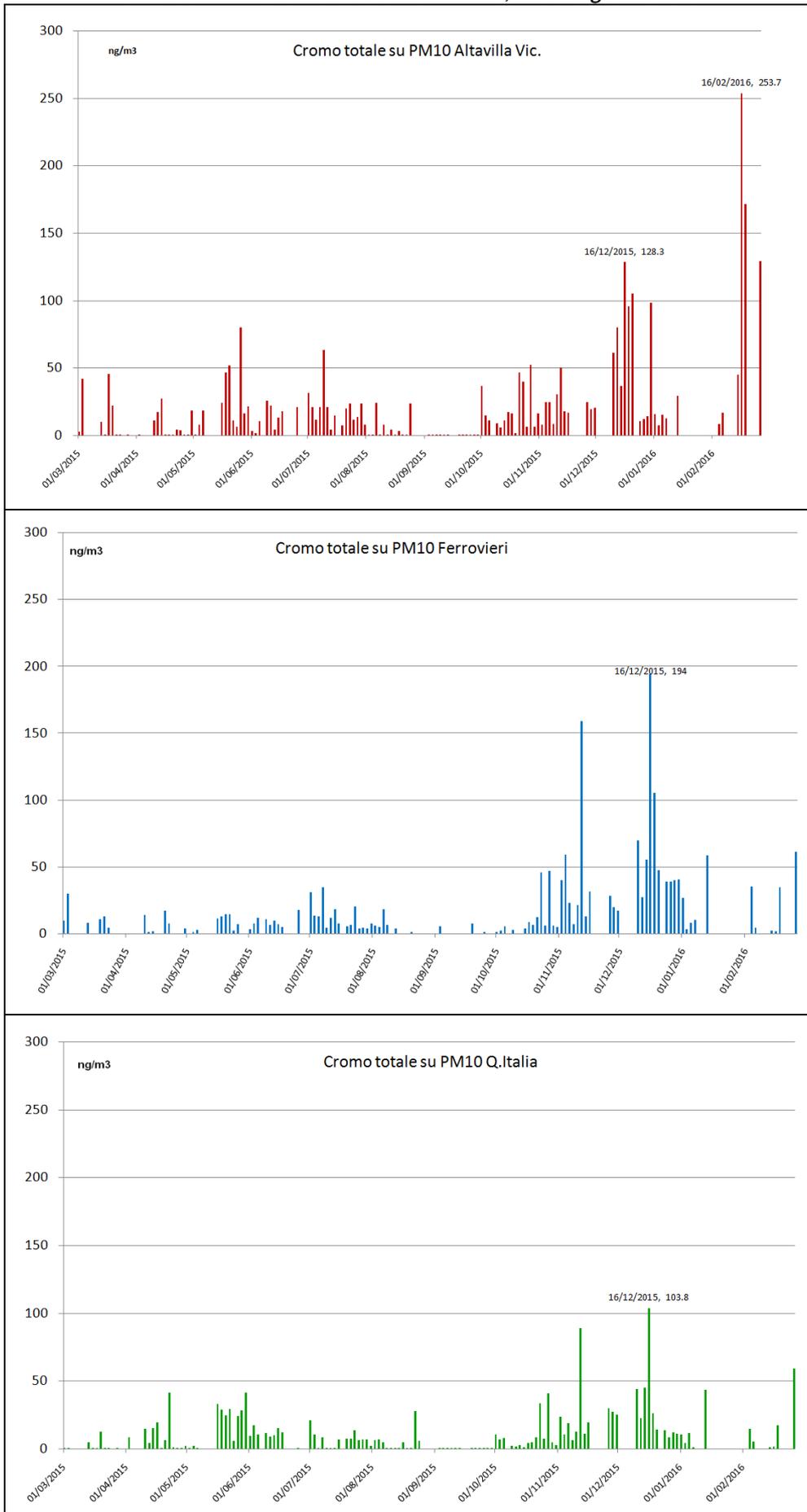


Grafico 11 - Cromo totale nel PM10, medie giornaliere



5.4.6 Ferro nel PM10

Per quanto riguarda il ferro nel PM10, in seguito a problemi strumentali durante il periodo di analisi, gran parte delle misure non sono state compiute. L'esiguo numero di dati disponibili non permette il calcolo di misure indicative valide.

5.4.7 Manganese nel PM10

La percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è stata superiore al 95% in tutti i siti. Il valore minimo misurato coincide con la metà del limite di rivelabilità strumentale (LR/2), in quanto è il valore attribuito alle misure inferiori al limite di rivelabilità strumentale stesso.

Tabella 13 - Manganese nel PM10, parametri statistici di base

	Manganese		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q.Italia
media ng/m ³	18.5	14.9	20.2
mediana ng/m ³	13.9	9.5	10.4
valore massimo ng/m ³	340.0	114.4	490.4
valore minimo ng/m ³	0.5	0.5	0.5
25° Percentile ng/m ³	6.9	5.2	5.9
75° Percentile ng/m ³	21.5	16.9	15.7
% dati >LR (1.0 ng/m ³)	98%	96%	97%

Grafico 12 - Manganese nel PM10 Box Wiskers medie giorn. max, min, 25° e 75° percentile

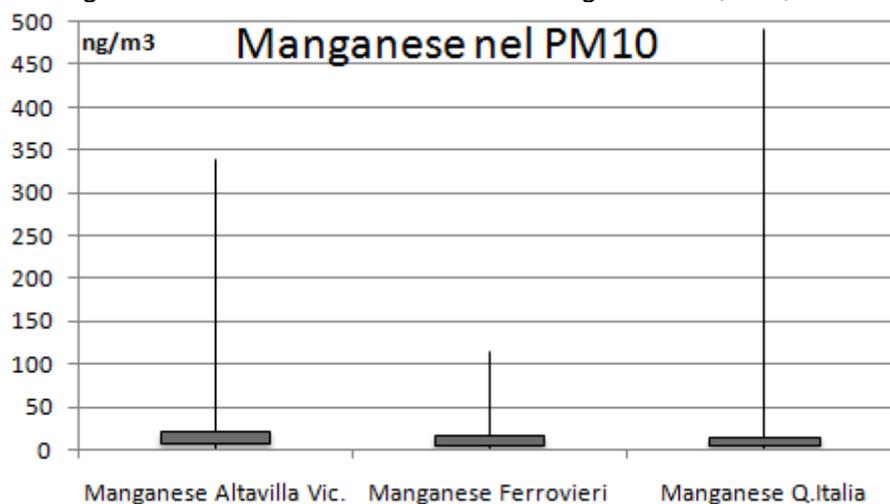
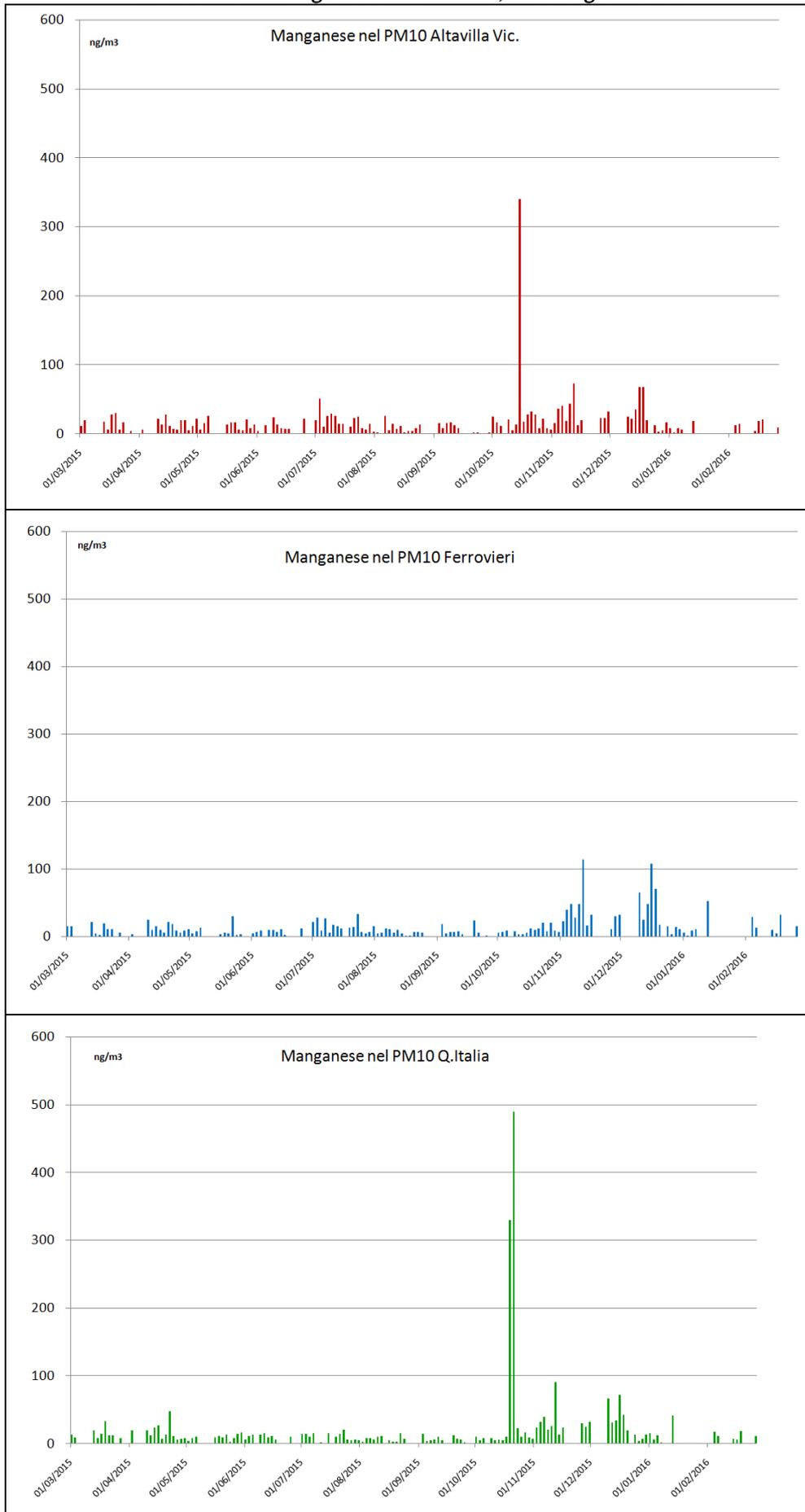


Grafico 13 - Manganese nel PM10, medie giornaliere



5.4.8 Molibdeno nel PM10

La percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è stata superiore al 75% in tutti i siti. Il valore minimo misurato coincide con la metà del limite di rivelabilità strumentale (LR/2), in quanto valore attribuito alle misure inferiori al limite di rivelabilità strumentale stesso.

Tabella 14 - Molibdeno nel PM10, parametri statistici di base

	Molibdeno		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q.Italia
media ng/m ³	6.1	6.9	5.6
mediana ng/m ³	3.8	2.3	2.9
valore massimo ng/m ³	49.7	96.6	76.2
valore minimo ng/m ³	0.5	0.5	0.5
25° Percentile ng/m ³	1.3	1.1	1.1
75° Percentile ng/m ³	7.1	5.5	4.8
% dati >LR (1.0 ng/m ³)	81%	78%	79%

Grafico 14 - Molibdeno nel PM10 Box Wiskers medie giornaliere max, min., 25° e 75° percentile

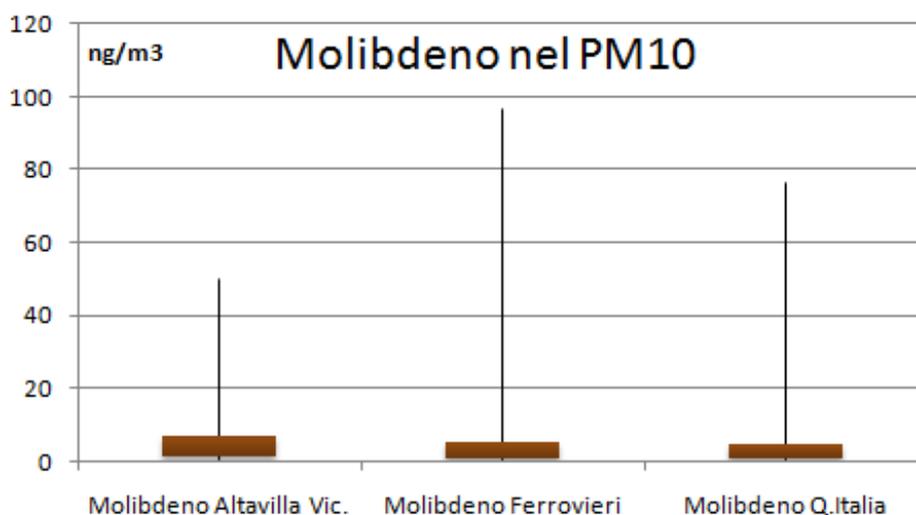
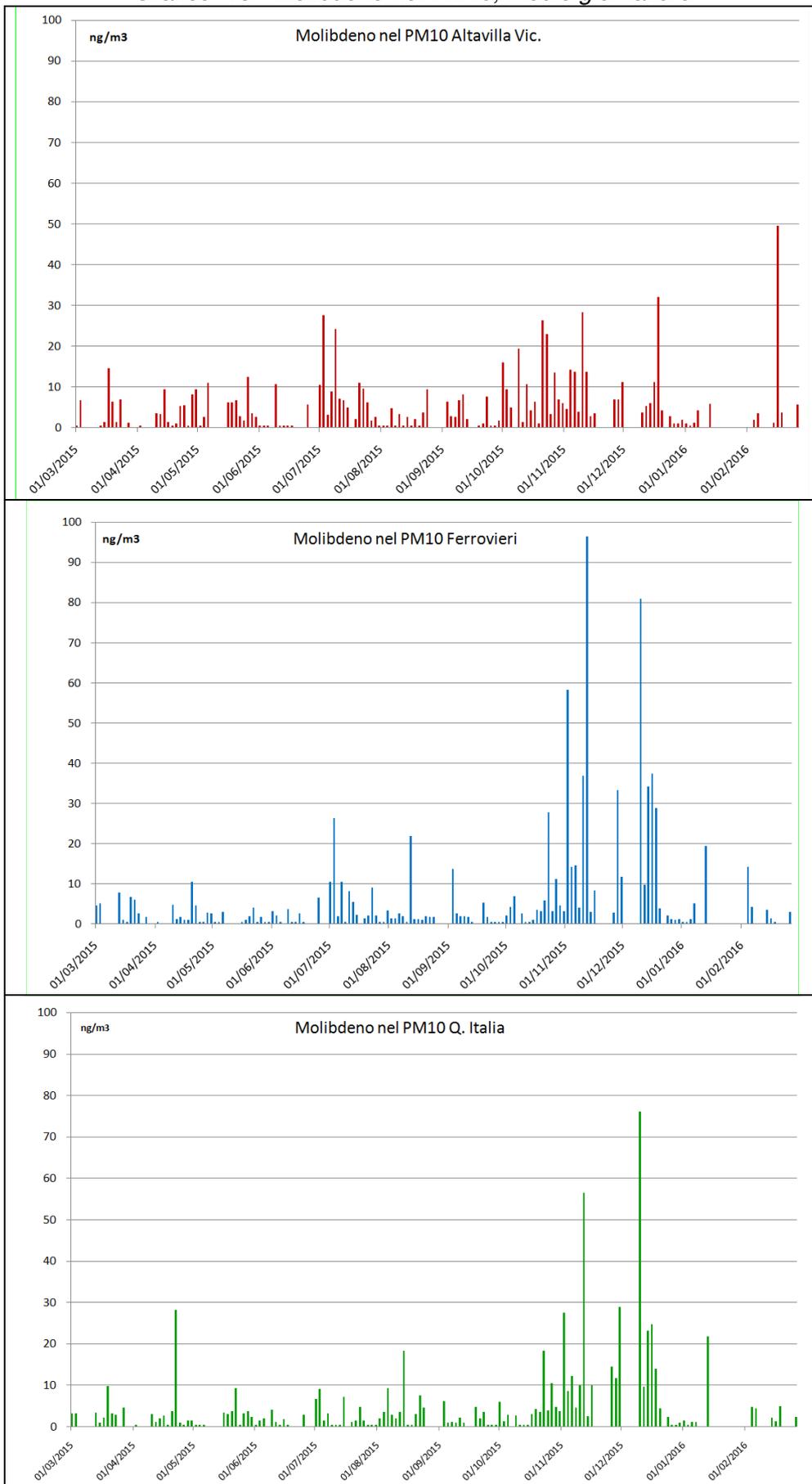


Grafico 15 - Molibdeno nel PM10, medie giornaliere



5.4.9 Nichel nel PM10

La percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è stata superiore al 80% in tutti i siti. Il valore minimo misurato coincide con la metà del limite di rivelabilità strumentale (LR/2), in quanto valore attribuito alle misure inferiori al limite di rivelabilità strumentale stesso.

Tabella 15 - Nichel nel PM10, parametri statistici di base

	Nichel		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media ng/m ³	8.9	6.8	6.8
mediana ng/m ³	5.9	3.4	4.2
valore massimo ng/m ³	65.2	66.3	40.0
valore minimo ng/m ³	0.5	0.5	0.5
25° Percentile ng/m ³	2.8	1.7	2.1
75° Percentile ng/m ³	10.9	6.7	7.8
% dati >LR (1.0 ng/m ³)	86%	85%	85%

Grafico 16 - Nichel nel PM10, Box Wiskers medie giornaliere max, minimo, 25° e 75° percentile

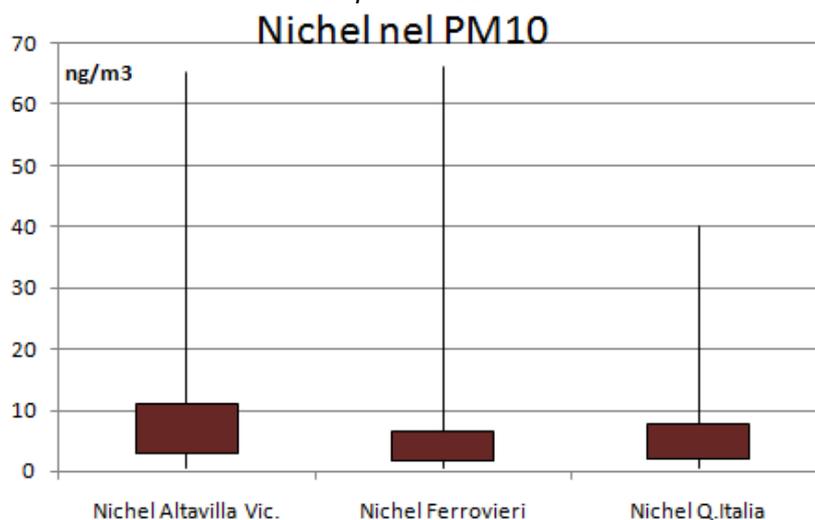
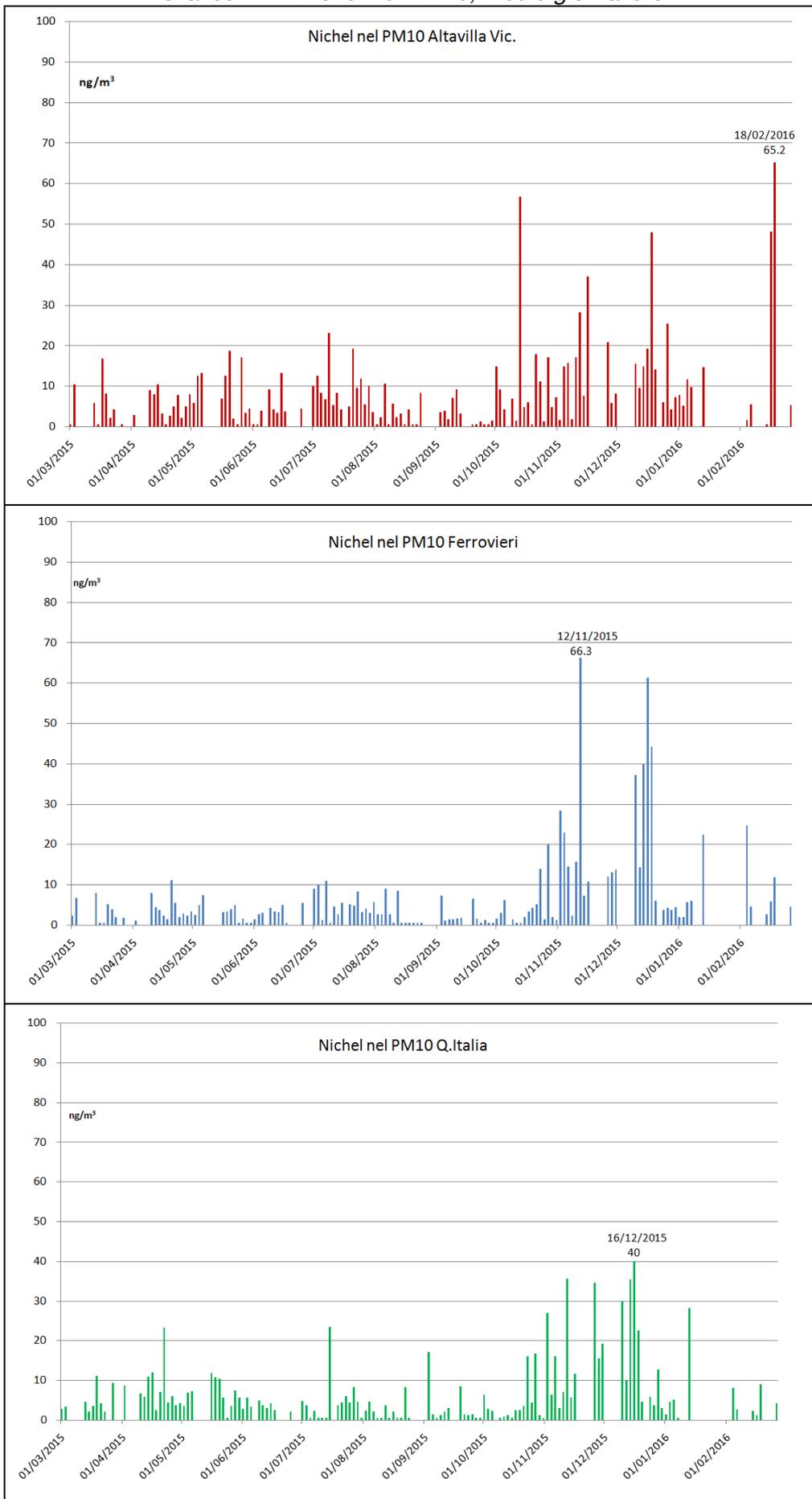


Grafico 17 - Nichel nel PM10, medie giornaliere



5.4.10 Piombo nel PM10

La percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è stata superiore al 70% in tutti i siti. Il valore minimo misurato coincide con la metà del limite di rivelabilità strumentale (LR/2), in quanto è il valore attribuito alle misure inferiori al limite di rivelabilità strumentale stesso. Presso i siti di quartiere Italia e di Altavilla Vicentina anche il 25° percentile è uguale alla metà del limite di rivelabilità strumentale.

Tabella 16 - Piombo nel PM10, parametri statistici di base

	Piombo		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media ng/m ³	6.8	6.7	7.0
mediana ng/m ³	5.3	4.3	5.2
valore massimo ng/m ³	32.4	56.0	55.0
valore minimo ng/m ³	0.5	0.5	0.5
25° Percentile ng/m ³	0.5	1.6	0.5
75° Percentile ng/m ³	9.5	8.8	9.3
% dati >LR (1.0 ng/m ³)	74%	76%	74%

Grafico 18 - Piombo nel PM10 Box Wiskers medie giornaliere max, minimo, 25° e 75° percentile

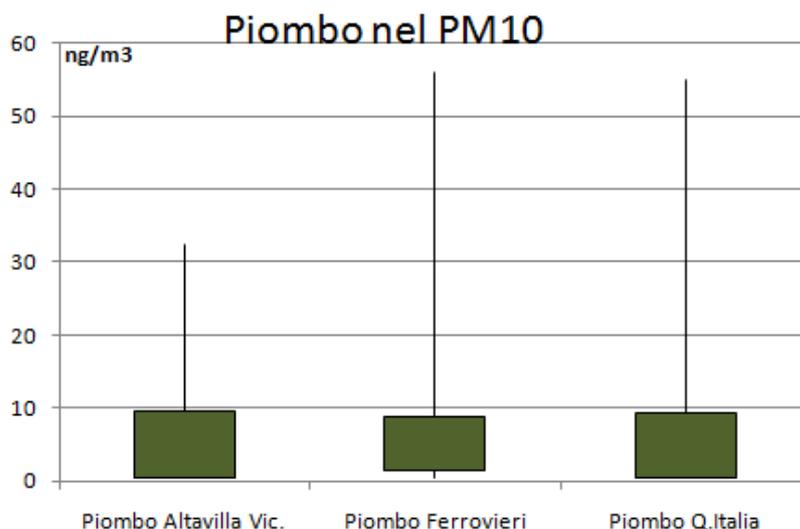
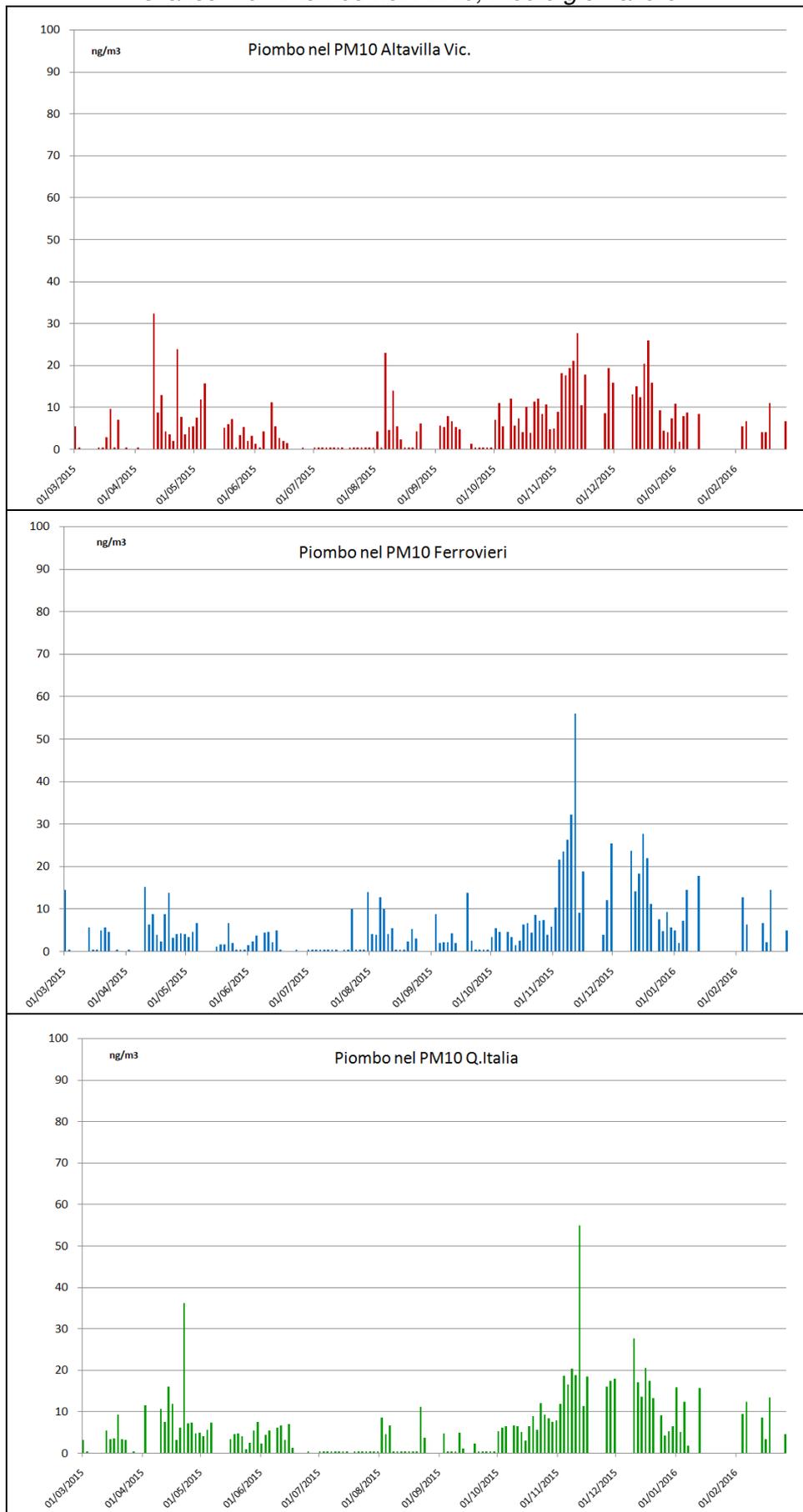


Grafico 19 - Piombo nel PM10, medie giornaliere



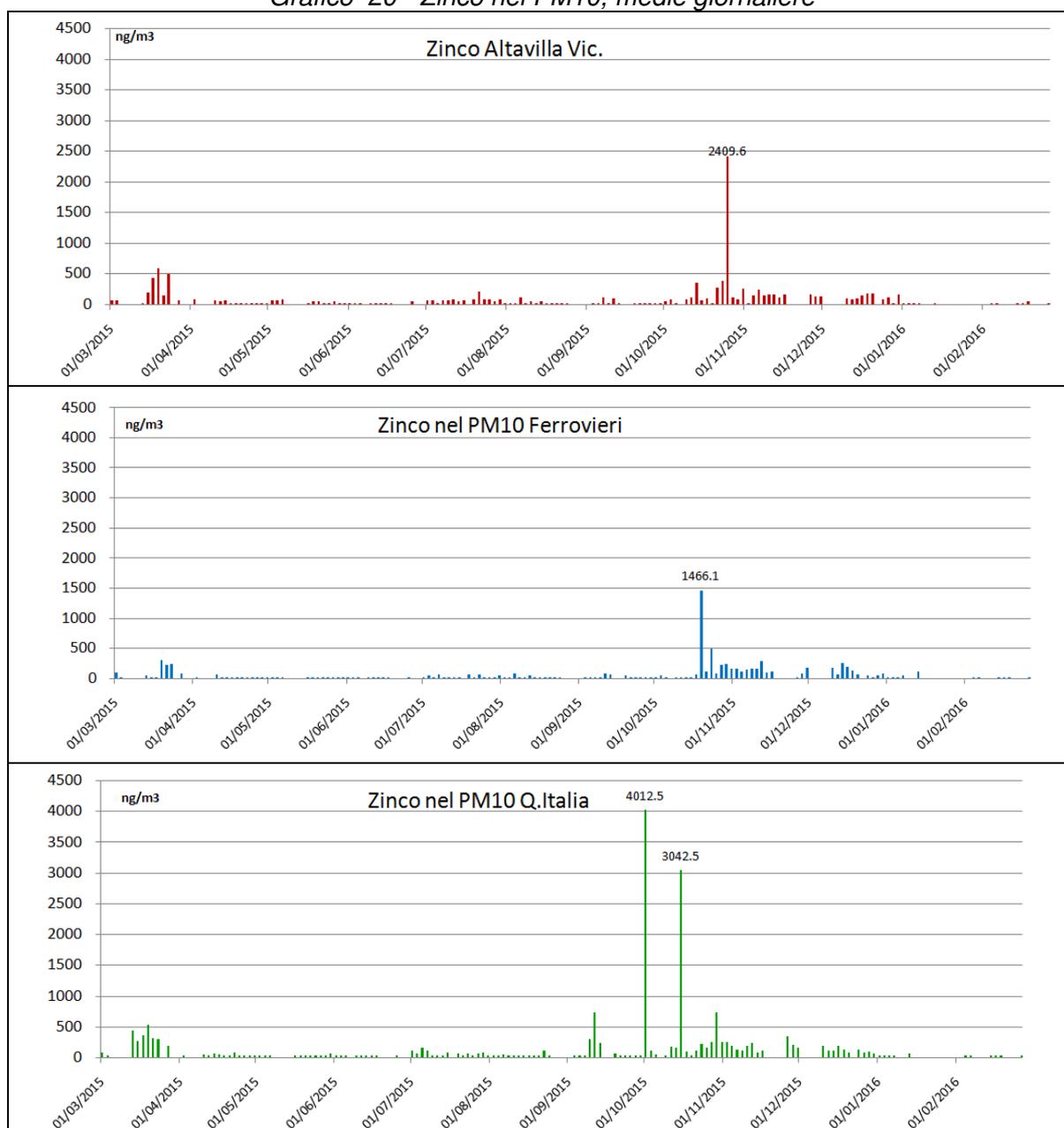
5.4.11 Zinco nel PM10

La percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è compresa tra il 37% presso il sito di Ferrovieri % ed il 55% presso Altavilla Vicentina. La mediana presso Ferrovieri e presso quartiere Italia risulta inferiore al limite di rivelabilità strumentale. I dati riportati in tabella si riferiscono ai 127 giorni di campionamento, compresi i valori inferiori al limite di rivelabilità strumentale, a cui è stato attribuito la metà la metà del limite stesso.

Tabella 17- Zinco nel PM10, parametri statistici di base

	Zinco		
	Altavilla Vic.	Ferrovieri	Q. Italia
media ng/m ³	100.8	73.9	150.6
mediana ng/m ³	55.7	<50	<50
valore massimo ng/m ³	2409.6	1466.1	4012.5
% dati >LR (50 ng/m ³)	55%	37%	50%

Grafico 20 - Zinco nel PM10, medie giornaliere



5.5 Metalli nel PM10: valutazione delle differenze tra i siti

Il confronto delle misure è stato eseguito sulle coppie dei siti Altavilla- Quartiere Italia, Ferrovieri- quartiere Italia e Altavilla – Ferrovieri.

Il primo criterio utilizzato nel confronto tra siti è stato il considerare la variabilità intrinseca delle misure: se in una coppia di siti, la differenza tra le medie è inferiore al 10% della media maggiore, le misure dei siti sono state considerate non differenti, senza procedere ad approfondimenti statistici.

Al fine di valutare se i valori ottenuti nei tre siti monitorati sono statisticamente diversi tra loro, sono stati eseguiti tre test statistici, con modalità “Two Sample paired test” (soft PAST, in bibliografia), uno dei quali parametrico, il T test, e due non parametrici, il Sign test ed il Wilcoxon test.

I test analizzano la differenza in ciascuna coppia di misure eseguite nello stesso giorno in due stazioni e restituiscono le rispettive probabilità che la media e la mediana dei due siti siano uguali (H0 o ipotesi zero, non c'è differenza tra i due siti).

L'esito dei test è espresso numericamente dalla probabilità “p”, dove con “p” compresa tra 0.05 e 1, i due siti sono da ritenersi statisticamente uguali, mentre con “p” inferiore a 0.05 (5%) si conclude che le misure nei due siti sono diverse. Poiché per ciascuna coppia di siti vi sono tre test, si ottiene una conclusione univoca solo quando il risultato dei tre test è in accordo.

Nelle conclusioni ci si attiene rigorosamente al risultato univoco dei tre test.

Il test non è stato condotto sui dati di arsenico, cadmio e cobalto poiché le medie e le mediane risultano inferiori ai rispettivi limiti di rivelabilità strumentale.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati relativi ai tre test eseguiti sulle coppie Altavilla-Quartiere Italia, Ferrovieri- quartiere Italia e Altavilla – Ferrovieri.

Tabella 18 - Alluminio nel PM10 Two Sample paired test

	Alluminio		Alluminio		Alluminio	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 127						
media ng/m ³	122.4	113.1	108.9	113.1	122.4	108.9
mediana ng/m ³	90.4	80.1	85.0	80.1	90.4	85
Differenza media ng/m ³	9.3		4.14		13.5	
T test p (same mean)					0.157	
Sign test p (same median)					0.073	
Wilcoxon test p (same median)					0.116	

Le prime due coppie a confronto presentano una differenza media inferiore al 10%, mentre per la terza coppia i test indicano che le misure sono statisticamente uguali. Per quanto riguarda l'Alluminio nel PM10 si conclude che i tre siti monitorati non presentano differenze statistiche.

Tabella 19 - Cromo nel PM10 Two Sample paired test

	Cromo		Cromo		Cromo	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 127						
media ng/m ³	22.5	11.8	15.9	11.8	22.5	15.9
mediana ng/m ³	12.4	6.9	6.6	6.9	12.4	6.6
Differenza media ng/m ³	10.7		4.1		6.6	
T test p (same mean)	0.00028		0.009		0.026	
Sign test p (same median)	4.6*10 ⁻⁵		0.148		0.016	
Wilcoxon test p (same median)	6.8*10 ⁻⁶		0.011		0.007	

Dal test risulta che le misure di cromo nel PM10 presso Altavilla Vic.na sono statisticamente diverse dagli altri due siti. I test restituiscono un risultato discordante nel confronto tra le misure di Ferrovieri e quartiere Italia, in particolare per quanto riguarda la mediana, dove il test Sign valuta una probabilità del 14.8% che le due mediane siano statisticamente uguali.

Tabella 20 - Manganese nel PM10 Two Sample paired test

	Manganese		Manganese		Manganese	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 127						
media ng/m ³	18.5	20.2	14.9	20.2	18.5	14.9
mediana ng/m ³	13.9	10.4	9.5	10.4	13.9	9.5
Differenza media ng/m ³	1.63		5.24		3.616	
T test p (same mean)			0.25		0.20	
Sign test p (same median)			0.65		0.05	
Wilcoxon test p (same median)			0.57		0.02	

I dati di manganese nel PM10 relativi a Altavilla Vic.na e quartiere Italia presentano una differenza media inferiore al 10% di entrambi i valori medi, i siti si considerano quindi statisticamente uguali. Nel test tra Ferrovieri e quartiere Italia le misure di manganese nel PM10 risultano statisticamente uguali.

Il confronto tra le misure di manganese presso i due siti di Altavilla e Ferrovieri non produce un risultato univoco. Il test parametrico riconosce una probabilità del 20% che i due siti siano uguali, mentre il test Wilcoxon indica due siti diversi ($p < 0.05$).

Tabella 21 - Molibdeno nel PM10 Two Sample paired test

	Molibdeno		Molibdeno		Molibdeno	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 127						
media ng/m ³	6.1	5.6	6.9	5.6	6.1	6.9
mediana ng/m ³	3.8	2.9	2.3	2.9	3.8	2.3
Differenza media ng/m ³	0.5		1.34		0.8	
T test p (same mean)			0.042		0.51	
Sign test p (same median)			0.289		0.09	
Wilcoxon test p (same median)			0.085		0.07	

La differenza tra le medie di molibdeno nel PM10 presso Altavilla Vic.na e quartiere Italia rientra nella tolleranza del 10%, le misure non sono quindi diverse.

Il test indica presso Ferrovieri una media di molibdeno nel PM10 statisticamente diversa dalla media presso quartiere Italia. Il test di Wilcoxon ed il Sign test indicano due siti statisticamente uguali. La discrepanza tra i test applicati non permette una conclusione univoca nel confronto tra Ferrovieri e quartiere Italia.

I siti di Altavilla Vic.na e di Ferrovieri risultano statisticamente uguali.

Tabella 22 - Nichel nel PM10 Two Sample paired test

	Nichel		Nichel		Nichel	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 127						
media ng/m ³	8.9	6.8	6.8	6.8	8.9	6.8
mediana ng/m ³	5.9	4.2	3.4	4.2	5.9	3.4
Differenza media ng/m ³	2.18		0.0		2.15	
T test p (same mean)	0.034				0.0416	
Sign test p (same median)	0.011				0.0009	
Wilcoxon test p (same median)	0.021				0.0004	

Dal test risulta che la media e la mediana di Nichel nel PM10 misurate presso Altavilla sono statisticamente diverse dai risultati di Ferrovieri e da quelli di quartiere Italia. Quartiere Italia e Ferrovieri sono uguali.

Tabella 23 - Piombo nel PM10 Two Sample paired test

	Piombo		Piombo		Piombo	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 127						
media ng/m ³	6.8	7.0	6.7	7.0	6.8	6.7
mediana ng/m ³	5.3	5.2	4.3	5.2	5.3	4.3
Differenza media ng/m ³	0.2		0.3		0.1	

La differenza tra le medie di piombo nel PM10 rientra ampiamente nel margine di tolleranza del 10%. I tre siti non presentano differenze statisticamente significative.

Tabella 24 - Zinco nel PM10 Two Sample paired test

	Zinco, 83 coppie		Zinco, 67 coppie		Zinco, 80 coppie	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie						
media ng/m ³	141	217.2	117.8	263.1	145.4	102.7
mediana ng/m ³	83	99.6	63	115	85.4	56.4
Differenza media ng/m ³	76		145		42.7	
T test p (same mean)	0.26		0.07		0.24	
Sign test p (same mean)	0.66		0.007		0.001	
Wilcoxon test p (same mean)	0.72		4*10 ⁻⁵		0.002	

Nel valutare i risultati dello zinco, bisogna tener presente che il numero di campioni il cui valore misurato è superiore al limite di rivelabilità va da un minimo di 37% a Ferrovieri al massimo di 55% a quartiere Italia. I test sono stati allora condotti scartando le coppie in cui entrambi i dati risultano inferiori al limite di rivelabilità.

Altavilla e quartiere Italia: le misure di zinco presso i due siti non sono statisticamente diverse.

I risultati dei test tra le coppie Ferrovieri – quartiere Italia e Altavilla – Ferrovieri non permettono una conclusione univoca

5.6 IPA nel PM10

Il parametro di riferimento nel monitoraggio degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) è il benzo(a)pirene B(a)P, per il quale la vigente normativa (D.Lgs 155/2010) prevede un valore obiettivo di 1.0 ng/m³ come massima media annua. I dati della presente elaborazione sono riferiti a campioni realizzati contemporaneamente nei tre siti, presso ciascuno dei quali sono stati raccolti 130 campioni. Relativamente al benzo(a)pirene la percentuale di misure superiori al limite di rivelabilità strumentale è stata del 78% presso Ferrovieri, 81% presso Altavilla Vic.na e 100% presso quartiere Italia. I valori medi ottenuti sono riportati nella tabella seguente, che riporta anche i risultati dei test di confronto tra stazioni, eseguiti dove necessario.

Tabella 25 - B(a)P nel PM10

n coppie 120	B(a)P		B(a)P		B(a)P	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
media ng/m ³	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.7
mediana ng/m ³	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
Differenza media ng/m ³	<0.1		0.2		0.2	
T test p (same mean)			2*10 ⁻⁶		2*10 ⁻⁴	
Sign test p (same mean)			2*10 ⁻²²		5*10 ⁻¹²	
Wilcoxon test p (same mean)			2*10 ⁻¹³		1*10 ⁻⁹	

Le medie di benzo(a)pirene presso Altavilla Vic.na e quartiere Italia sono uguali. I test indicano che le misure di benzo(a)pirene presso Ferrovieri sono statisticamente diverse da quelle registrate presso entrambi gli altri due siti.

In Tabella 26 sono indicate le medie concentrazioni degli IPA dosati nel PM10, tra cui il benzo(a)pirene

Tabella 26 - IPA nel PM10

	Altavilla Vicentina	Ferrovieri	quartiere Italia
Benzo(a)antracene ng/m ³	0.6	0.5	0.8
Benzo(a)pirene ng/m³	0.9	0.7	0.9
Benzo(b)fluorantene ng/m ³	0.7	0.6	0.7
Benzo(ghi)perilene ng/m ³	0.8	0.7	0.8
Benzo(k)fluorantene ng/m ³	0.4	0.4	0.4
Crisene ng/m ³	0.6	0.5	0.7
Dibenzo(ah)antracene ng/m ³	0.1	0.1	0.1
Indeno(123-cd)pirene ng/m ³	0.8	0.6	0.8
Somma IPA ng/m³	4.9	4.1	5.3

5.7 Deposizioni Polveri Totali e Metalli nelle Deposizioni

I campioni di polveri totali sono stati effettuati esponendo il raccoglitore per un periodo di un mese. I risultati delle misure sono espressi in mg/m^2 giorno e indicano la deposizione media giornaliera del mese di raccolta. In ciascun campione mensile sono state condotte le analisi dei metalli (alluminio, arsenico, bario, cadmio, cobalto, cromo, ferro, manganese, molibdeno, nichel, piombo, rame e zinco) i cui risultati sono espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno.

Le misure di arsenico, cadmio e cobalto sono risultate inferiori ai rispettivi limiti di rivelabilità in tutti i siti.

Il cromo ed il piombo presentano qualche dato inferiore al limite di rivelabilità presso la stazione di quartiere Italia, mentre il molibdeno ed il nichel presentano numerosi campioni inferiori al limite di rivelabilità strumentale presso le due stazioni di Vicenza Ferrovieri e quartiere Italia.

Nell'effettuare il campionamento delle polveri totali si raccoglie anche acqua piovana, il cui volume condiziona il limite di rivelabilità strumentale al di sopra del quale i metalli sono dosati. Di conseguenza il limite di rivelabilità strumentale di uno stesso metallo varia da campione a campione in funzione della quantità di pioggia raccolta. Per l'elaborazione dei dati non è stato quindi possibile tener conto dei valori inferiori al limite di rivelabilità strumentale. Nei paragrafi seguenti si presentano i parametri statistici di base calcolati escludendo i campioni inferiori al limite di rivelabilità, indipendentemente dal numero di campioni positivi nelle altre stazioni. Nel successivo capitolo "confronto tra stazioni", sono state invece considerate solo coppie di dati tra stazioni, riducendo così il numero di campioni elaborati presso le stazioni che presentavano un maggior numero di dati superiori al limite di rivelabilità strumentale. Di conseguenza, laddove la media è stata calcolata con numerosità di campioni diversa, i due capitoli possono presentare alcuni metalli in uno stesso sito con medie diverse. Tuttavia diverso è l'obiettivo dei due capitoli: nel presente si riassumono tutti i dati di monitoraggio di ciascuna stazione, mentre nel successivo si cerca, dove possibile, un confronto statisticamente significativo tra stazioni.

Nei paragrafi seguenti sono presentati i parametri statistici di ciascun inquinante, i grafici con le misure mensili ed infine i test di confronto tra stazioni.

5.7.1 Deposizioni Polveri Totali

Le deposizioni medie giornaliere (polveri totali) più basse sono state misurate in novembre in tutte le stazioni, mentre i valori più alti sono stati misurati nei mesi primaverili. I parametri statistici riportati in tabella sono relativi alle dodici misure mensili, ciascuna espressa come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 27 - Polveri totali, parametri statistici di base

	Polveri totali (mg/m^2 giorno)		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva (12 mesi)	34.7	28.7	33.2
Mediana tra le medie giornaliere (12 mesi)	29.0	28.7	33.1
Max media giornaliera	88.6	49.9	66.5
Min media giornaliera	7.1	7.6	3.3
25° PC (media giornaliera)	23.1	16.7	17.9
75° PC (media giornaliera)	38.9	39.9	42.8
Campioni raccolti	12	12	12

Grafico 21 - Polveri totali, Box Wiskers medie giornaliere: max, minimo, 25° e 75° percentile

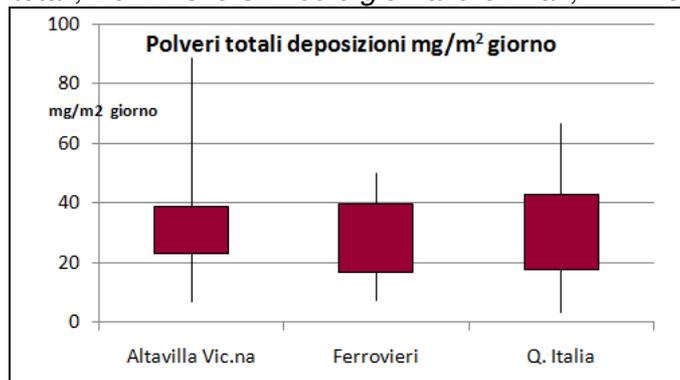
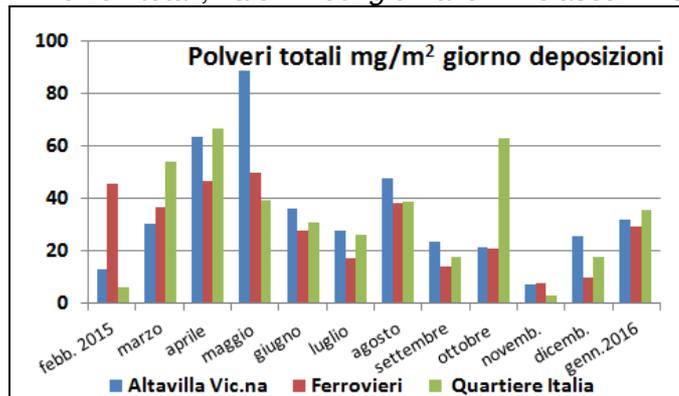


Grafico 22 - Polveri totali, valori medi giornalieri in ciascun mese di raccolta



5.7.2 Alluminio nelle deiezioni

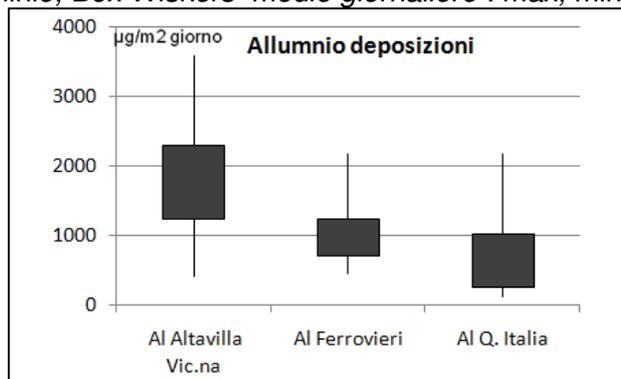
In tutti i campioni mensili di deiezioni è stato quantificato l'alluminio, nessuna misura è risultata inferiore al limite di rivelabilità strumentale (LR).

I parametri statistici riportati in tabella sono relativi alle dodici misure mensili, ciascuna espressa come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 28 - Alluminio, parametri statistici di base

	Alluminio µg/m ² giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva (12 mesi)	1800	1001	762
Mediana tra le medie giornaliere (12 mesi)	1711	965	806
Max media giornaliera	3578	2176	2175
Min media giornaliera	414	450	111
25° PC (media giornaliera)	1238	694	260
75° PC (media giornaliera)	2295	1225	1020
Numero di campioni con valore >LR	12	12	12

Grafico 23 - Alluminio, Box Wiskers medie giornaliere : max, min, 25° e 75° percent.



5.7.3 Arsenico nelle deposizioni

Eccetto la misura del mese di dicembre 2015 presso Ferrovieri, di 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno, tutte le altre misure di arsenico sono risultate inferiori al limite di rivelabilità strumentale.

5.7.4 Bario nelle deposizioni

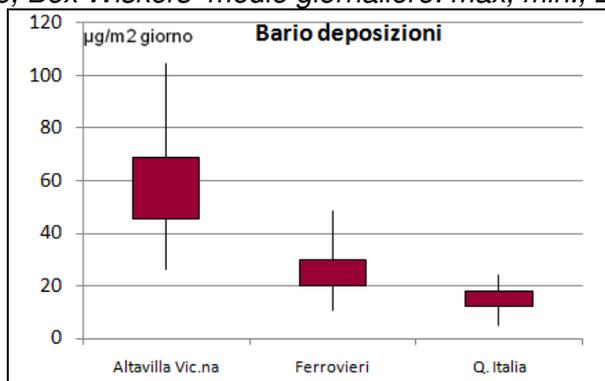
Il bario è stato quantificato in tutti i campioni mensili di deposizioni e nessuna misura è risultata inferiore al limite di rivelabilità strumentale (LR).

I parametri statistici riportati in tabella sono relativi alle dodici misure mensili, ciascuna espressa come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 29 - Bario, parametri statistici di base

	Bario $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva (12 mesi)	58.1	26.5	15.2
Mediana tra le medie giornaliere (12 mesi)	51.5	23.2	16.2
Max media giornaliera	104.6	48.5	24.3
Min media giornaliera	26.1	10.5	4.7
25° PC (media giornaliera)	45.2	19.8	12.3
75° PC (media giornaliera)	68.6	30.0	17.9
Numero di campioni con valore >LR	12	12	12

Grafico 24 - Bario, Box Wiskers medie giornaliere: max, min., 25° e 75° percentile



5.7.5 Cadmio nelle deposizioni

Per tutti i campioni la misura del cadmio è risultata inferiore al limite di rivelabilità strumentale.

5.7.6 Cobalto nelle deposizioni

La misura del cobalto è risultata inferiore al limite di rivelabilità strumentale in tutti i campioni.

5.7.7 Cromo nelle deposizioni

Il cromo è stato quantificato in 12 campioni presso Altavilla Vic.na, in 12 campioni a Ferrovieri ed infine in 7 campioni presso quartiere Italia.

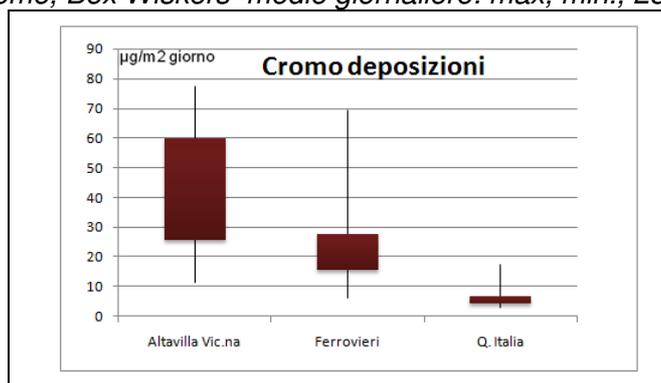
Il calcolo della media complessiva e degli altri parametri statistici riportati nella tabella seguente, non tiene conto dei campioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale, per le ragioni indicate al paragrafo introduttivo al presente capitolo.

I dati riportati in tabella sono espressi come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 30 - Cromo, parametri statistici di base

	Cromo $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva	45.4	24.6	6.9
Mediana tra le medie giornaliere	51.3	17.7	5.2
Max media giornaliera	77.2	69.3	17.5
Min media giornaliera	11.4	6.4	3.0
25° PC (media giornaliera)	25.8	15.8	4.4
75° PC (media giornaliera)	59.9	27.6	6.8
Numero di campioni con valore >LR	12	12	7

Grafico 25 - Cromo, Box Wiskers medie giornaliere: max, min., 25° e 75° percentile



5.7.8 Ferro nelle deposizioni

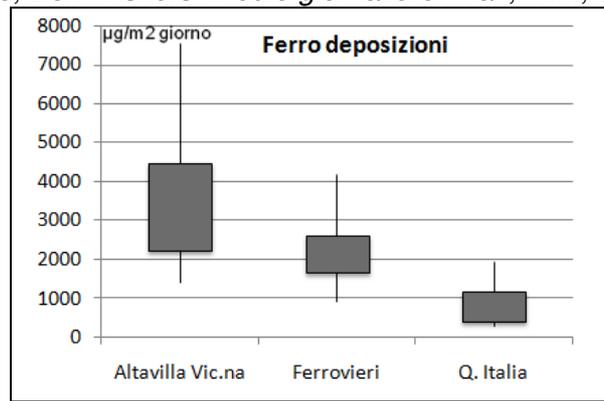
Il ferro è stato dosato in tutti i campioni mensili di deposizioni e nessuna misura è risultata inferiore al limite di rivelabilità strumentale (LR).

I parametri statistici riportati in tabella sono relativi alle dodici misure mensili, ciascuna espressa come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 31 - Ferro, parametri statistici di base

	Ferro $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva (12 mesi)	3683	2213	893
Mediana tra le medie giornaliere (12 mesi)	3780	2096	931
Max media giornaliera	7528	4169	1918
Min media giornaliera	1422	908	272
25° PC (media giornaliera)	2216	1654	400
75° PC (media giornaliera)	4467	2632	1179
Numero di campioni con valore >LR	12	12	12

Grafico 26 - Ferro, Box Wiskers medie giornaliere: max, min., 25° e 75° percentile



5.7.9 Manganese nelle deposizioni

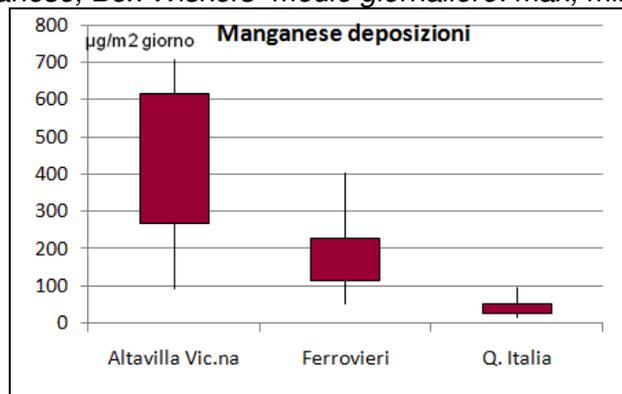
Il manganese è stato quantificato in tutti i campioni di deposizioni e nessuna misura è risultata inferiore al limite di rivelabilità strumentale (LR).

I parametri statistici riportati in tabella sono relativi alle dodici misure mensili, ciascuna espressa come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 32 - Manganese, parametri statistici di base

	Manganese µg/m ² giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva (12 mesi)	415.8	184.6	43.5
Mediana tra le medie giornaliere (12 mesi)	364.0	132.0	38.8
Max media giornaliera	707.6	405.8	95.5
Min media giornaliera	93.4	52.1	14.9
25° PC (media giornaliera)	268.0	116.1	26.2
75° PC (media giornaliera)	618.5	228.0	53.6
Numero di campioni con valore >LR	12	12	12

Grafico 27 - Manganese, Box Wiskers medie giornaliere: max, min., 25° e 75° percent.



5.7.10 Molibdeno nelle deposizioni

Il molibdeno è stato quantificato in 11 campioni presso Altavilla Vic.na, in 4 campioni a Ferrovieri ed infine in soli 2 campioni presso quartiere Italia.

Il calcolo della media complessiva e degli altri parametri statistici riportati nella tabella seguente, non tiene conto dei campioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale, per le ragioni indicate al paragrafo introduttivo al presente capitolo.

I dati riportati in tabella sono espressi come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 33 - Molibdeno, parametri statistici di base

	Molibdeno $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva	7.9	5.5	1.0
Mediana tra le medie giornaliere	6.8	5.4	
Max media giornaliera	18.5	7.5	1.0
Min media giornaliera	3.2	3.9	0.9
25° PC (media giornaliera)	5.0		
75° PC (media giornaliera)	9.8		
Numero di campioni con valore >LR	11	4	2

5.7.11 Nichel nelle deposizioni

Il nichel è stato quantificato in 12 campioni presso Altavilla Vic.na, in 8 campioni a Ferrovieri ed infine 6 campioni presso quartiere Italia.

Il calcolo della media complessiva e degli altri parametri statistici riportati nella tabella seguente, non tiene conto dei campioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale, per le ragioni indicate al paragrafo introduttivo al presente capitolo.

I dati riportati in tabella sono espressi come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 34 - Nichel, parametri statistici di base

	Nichel $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva	21.5	12.8	5.1
Mediana tra le medie giornaliere	18.3	10.6	4.7
Max media giornaliera	47.5	23.0	9.2
Min media giornaliera	5.6	6.2	3.1
25° PC (media giornaliera)	13.2		
75° PC (media giornaliera)	22.8		
Numero di campioni con valore >LR	12	8	6

5.7.12 Piombo nelle deposizioni

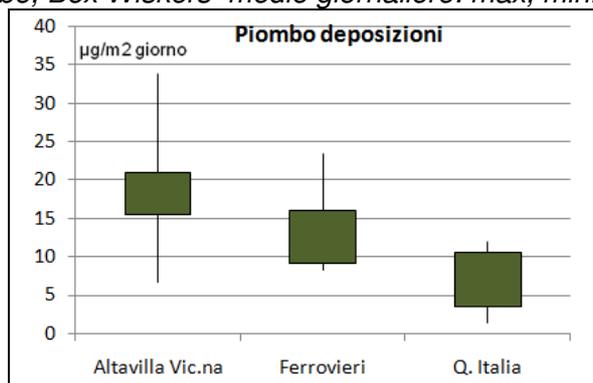
Il piombo è stato quantificato nei 12 campioni di deposizioni raccolti presso le stazioni di Altavilla Vic.na e di Vicenza Ferrovieri, mentre presso quartiere Italia sono stati dosati 11 campioni. Il calcolo della media complessiva e degli altri parametri statistici non tiene conto dei campioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale, per le ragioni indicate al paragrafo introduttivo al presente capitolo.

I dati riportati in tabella sono espressi come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 35 - Piombo, parametri statistici di base

	Piombo $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva	17.9	13.1	6.8
Mediana tra le medie giornaliere	18.2	11.1	5.6
Max media giornaliera	33.9	23.5	12.0
Min media giornaliera	6.6	8.2	1.3
25° PC (media giornaliera)	15.5	9.2	3.8
75° PC (media giornaliera)	21.0	16.0	10.6
Numero di campioni con valore >LR	12	12	11

Grafico 28 - Piombo, Box Wiskers medie giornaliere: max, min., 25° e 75° percent.



5.7.13 Rame nelle deposizioni

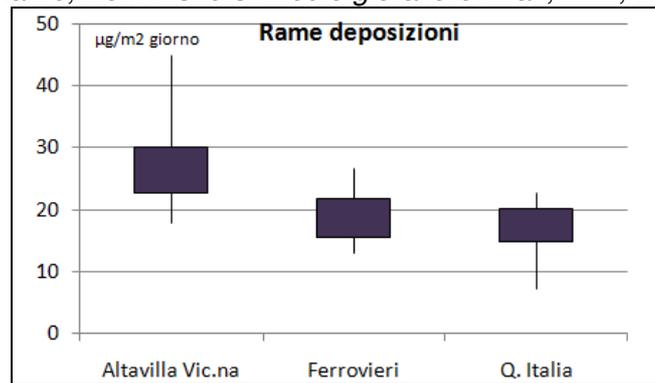
Il rame è stato quantificato in tutti i campioni di deposizioni e nessuna misura è risultata inferiore al limite di rivelabilità strumentale (LR).

I parametri statistici riportati in tabella sono relativi alle dodici misure mensili, ciascuna espressa come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 36 - Rame, parametri statistici di base

	Rame $\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva (12 mesi)	27.3	19.4	16.9
Mediana tra le medie giornaliere (12 mesi)	27.4	20.2	17.8
Max media giornaliera	45.0	26.6	22.8
Min media giornaliera	17.8	12.9	7.1
25° PC (media giornaliera)	22.6	15.6	14.9
75° PC (media giornaliera)	30.2	21.8	20.1
Numero di campioni con valore >LR	12	12	12

Grafico 29 - Rame, Box Wiskers medie giornaliere: max, min., 25° e 75° percent.



5.7.14 Zinco nelle deposizioni

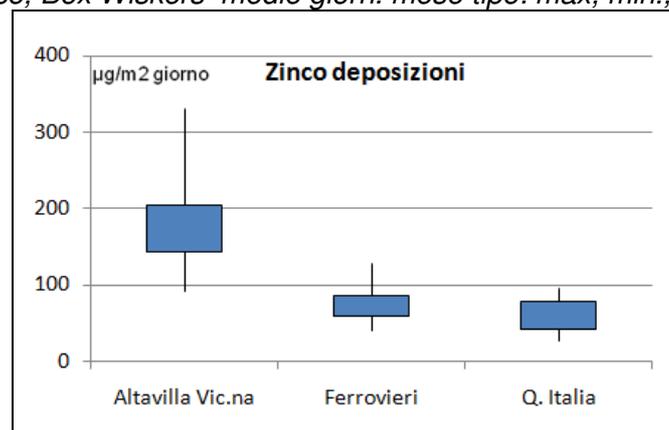
Lo zinco è stato quantificato in tutti i campioni di deposizioni e nessuna misura è risultata inferiore al limite di rivelabilità strumentale (LR).

I parametri statistici riportati in tabella sono relativi alle dodici misure mensili, ciascuna espressa come media giornaliera del mese di raccolta.

Tabella 37 - Zinco, parametri statistici di base

	Zinco µg/m ² giorno		
	Altavilla Vic.na	Ferrovieri	Q. Italia
Media giornaliera complessiva (12 mesi)	193.0	74.5	59.4
Mediana tra le medie giornaliere (12 mesi)	191.1	66.9	62.0
Max media giornaliera	329.7	127.6	95.9
Min media giornaliera	91.2	39.4	26.8
25° PC (media giornaliera)	143.5	59.6	41.1
75° PC (media giornaliera)	204.2	85.1	78.5
Numero di campioni con valore >LR	12	12	12

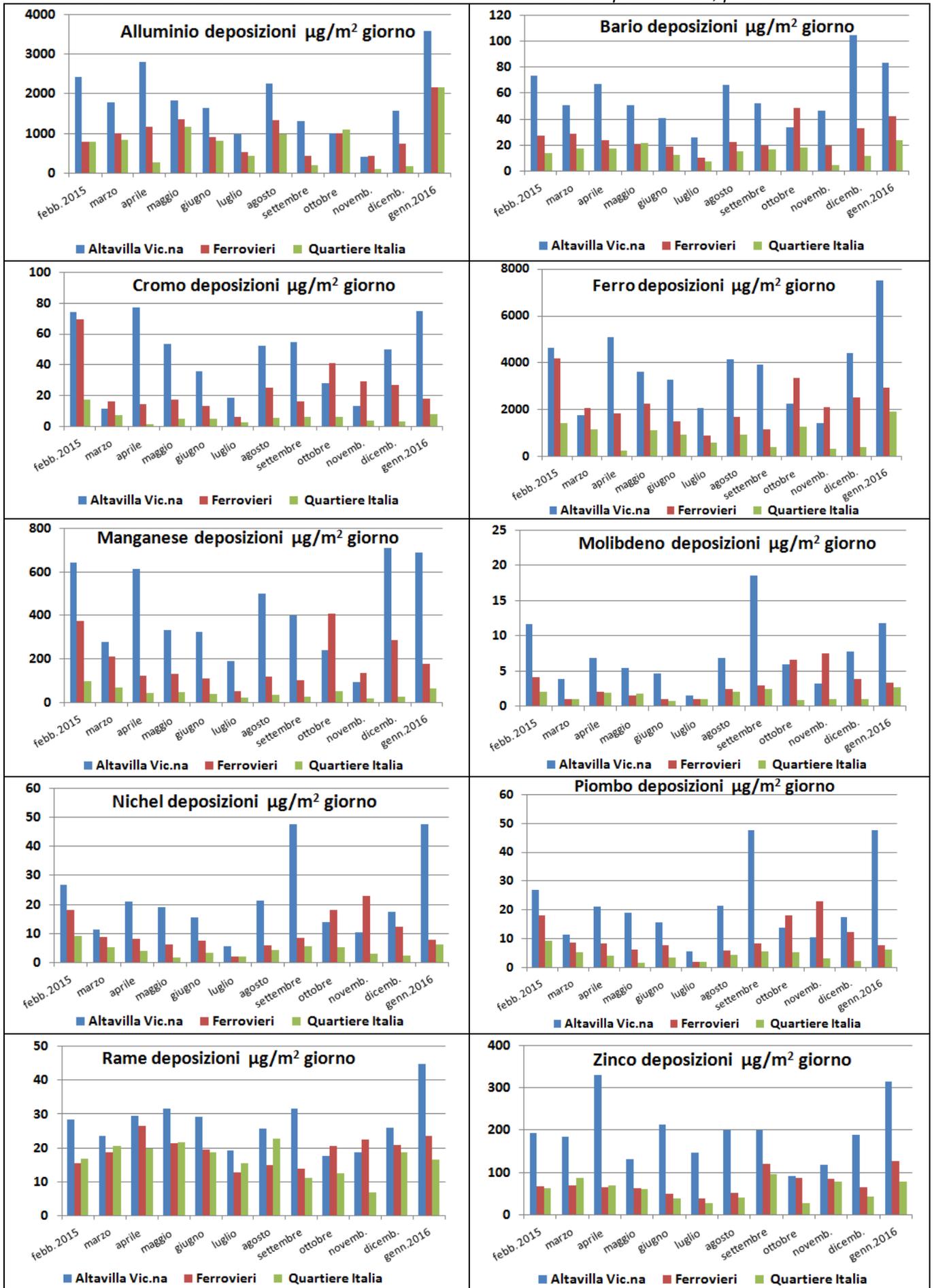
Grafico 30 - Zinco, Box Wiskers medie giorn. mese tipo: max, min., 25° e 75° percent.



5.7.15 Grafici delle dodici misure mensili di ciascun metallo, serie per stazione

Nei Grafici 31-40 è rappresentata, per ogni metallo, la serie delle misure mensili effettuate in ciascuna stazione. Negli istogrammi i valori sono espressi come µg/m²giorno e si riferiscono alla media giornaliera del mese indicato. I valori inferiori al limite di rivelabilità strumentale, presenti nei grafici di cromo, molibdeno, nichel e piombo, e relativi a quartiere Italia e Ferrovieri, sono stati inseriti nelle serie di dati come metà del limite di rivelabilità stesso. Non sono presenti i grafici di arsenico, cadmio e cobalto, le cui misure sono risultate inferiori ai limiti di rivelabilità strumentale.

Grafico 31- 32- 33- 34- 35- 36- 37- 38- 39- 40 - Misure mensili per metallo, per 3 stazioni



5.8 Deposizioni Polveri Totali e Metalli nelle deposizioni: confronto tra stazioni

Il confronto delle misure è stato eseguito sulle coppie dei siti Altavilla- Quartiere Italia, Ferrovieri- quartiere Italia e Altavilla – Ferrovieri.

Il primo criterio utilizzato nel confronto tra siti è stato il considerare la variabilità intrinseca delle misure: se in una coppia di siti, la differenza tra le medie è inferiore al 10% della media maggiore, le misure dei siti sono state considerate non differenti, senza procedere ad approfondimenti statistici.

Al fine di valutare se i valori ottenuti nei tre siti sono statisticamente diversi tra loro, sono stati eseguiti tre test statistici, con modalità “Two Sample paired test” (soft PAST, in bibliografia), uno dei quali parametrico, il T test, e due non parametrici, il Sign test ed il Wilcoxon test.

I test analizzano la differenza in ciascuna coppia di misure eseguite nello stesso mese in due stazioni e restituiscono le rispettive probabilità che la media e la mediana dei due siti siano uguali (H0 o ipotesi zero, non c'è differenza tra i due siti).

L'esito dei test è espresso numericamente dalla probabilità “p”: con “p” compresa tra 0.05 e 1, i due siti sono da ritenersi statisticamente uguali, mentre con “p” inferiore a 0.05 (5%) si conclude che le misure nei due siti sono diverse. Poiché per ciascuna coppia di siti vi sono tre test, si ottiene una conclusione univoca solo quando il risultato dei tre test è in accordo.

Nelle conclusioni ci si attiene rigorosamente al risultato univoco dei tre test.

Il test non è stato condotto sui dati di arsenico, cadmio e cobalto per i quali quasi tutti i dati risultano inferiori ai rispettivi limiti di rivelabilità strumentale.

Nel caso in cui in una coppia di dati, uno dei due valori (o entrambi) sia risultato inferiore al limite di rilevabilità strumentale, la coppia è stata scartata dal test. Dopo questa selezione, per il molibdeno e per il nichel il numero di coppie rimasto non è stato sufficiente a produrre un confronto. Infatti le misure di molibdeno utili per il test sono solo 2 presso quartiere Italia, 4 dati presso Ferrovieri e 11 presso Altavilla Vic.na. Le misure di nichel utili per il test sono 6 a quartiere Italia, 8 a Ferrovieri e 12 ad Altavilla Vic.na.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati relativi ai tre test.

Tabella 38 - Polveri totali Two Sample paired test

	Polveri Totali		Polveri Totali		Polveri Totali	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 12						
media (mg/m ² giorno)	34.7	33.2	28.7	33.2	34.7	28.7
Mediana (mg/m ² giorno)	29	33.1	28.7	33.1	29	28.7
Differenza media (mg/m ² giorno)	1.5		4.55		6	
T test p (same mean)			0.429		0.229	
Sign test p (same median)			0.146		0.146	
Wilcoxon test p (same median)			0.209		0.077	

I due test eseguiti indicano che le misure di polveri totali sono statisticamente uguali. Altavilla Vic.na e quartiere Italia presentano una media delle differenze inferiore 10% delle medie.

Tabella 39 - Alluminio nelle deposizioni Two Sample paired test

	Alluminio		Alluminio		Alluminio	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 12						
media (µg/m ² giorno)	1800	762	1001	762	1800	1001
Mediana (µg/m ² giorno)	1711	806	965	806	1711	965
Differenza media (µg/m ² giorno)	1037		239		798	
T test p (same mean)	2*10 ⁻⁴		0.01		0.00036	
Sign test p (same median)	0.006		0		0.0038	
Wilcoxon test p (same median)	0.0028		0.005		0.0047	

Il test indica che le misure di alluminio nelle polveri totali sono statisticamente diverse nei tre siti sia per quanto riguarda la media che per quanto riguarda la mediana.

Tabella 40 - Bario nelle deposizioni Two Sample paired test

	Bario		Bario		Bario	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 12						
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	58.1	15.2	26.5	15.2	58.1	26.5
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	52	16	23	16	52	23
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	42.7		11.2		31.6	
T test p (same mean)	$2 \cdot 10^{-5}$		0.001		0.0003	
Sign test p (same median)	0.0005		0.006		0.006	
Wilcoxon test p (same median)	0.002		0.0028		0.0028	

Il test indica che le misure di bario nelle polveri totali sono statisticamente diverse nei tre siti sia per quanto riguarda la media che per quanto riguarda la mediana.

Tabella 41 - Cromo nelle deposizioni Two Sample paired test Altavilla Ferrovieri – 12 coppie

n coppie 12	Cromo	
	Altavilla Vic.	Ferrovieri
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	45.4	24.6
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	51	18
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	20.8	
T test p (same mean)	0.017	
Sign test p (same median)	0.146	
Wilcoxon test p (same median)	0.02	

Il confronto tra Altavilla Vic.na-Ferrovieri relativo al cromo nelle deposizioni è stato condotto su 12 coppie di dati. Il T test indica che le medie di cromo nelle polveri totali presso Altavilla Vic.na sono statisticamente diverse da quelle misurate presso Ferrovieri. Secondo il test Wilcoxon le mediane dei due siti sono diverse, mentre il Sign test indica una probabilità del 14.6% che i due siti abbiano la stessa mediana. La discrepanza tra i test non permette una conclusione univoca.

Tabella 42 - Cromo nelle deposizioni Two Sample paired test Altavilla - quartiere Italia e Ferrovieri - quartiere Italia -7 coppie

n coppie 7	Cromo		Cromo	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	33.5	6.9	27.7	6.9
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	28.2	5.2	17.6	5.2
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	26.6		20.8	
T test p (same mean)	0.01		0.02	
Sign test p (same median)	0.015		0.016	
Wilcoxon test p (same median)	0.018		0.018	

I due confronti delle stazioni di Altavilla Vic.na e di Ferrovieri verso quartiere Italia sono stati eseguiti su 7 coppie di dati, in quanto presso quartiere Italia vi sono 5 dati inferiori al limite di rivelabilità strumentale. Tutti i test indicano che le misure di cromo nelle deposizioni presso quartiere Italia sono diverse da quelle presso Altavilla Vic.na. Altrettanto vale nel confronto tra quartiere Italia e Ferrovieri. Il numero di coppie sulle quali è condotto il test è però molto esiguo, particolare che ne limita l'efficacia.

Tabella 43 - Ferro nelle deposizioni Two Sample paired test

	Ferro		Ferro		Ferro	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 12						
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	3683	893	2213	893	3683	2213
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	3780	931	2096	931	3780	2096
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	2789		1319		1470	
T test p (same mean)	$7 \cdot 10^{-5}$		$7 \cdot 10^{-5}$		0.011	
Sign test p (same median)	$5 \cdot 10^{-4}$		$5 \cdot 10^{-4}$		0.146	
Wilcoxon test p (same median)	0.002		0.002		0.015	

La media e la mediana di ferro nelle polveri totali presso quartiere Italia sono statisticamente diverse sia da quelle misurate a Ferrovieri sia da quelle misurate ad Altavilla Vic.na. Nel confronto tra Altavilla e Ferrovieri anche per il ferro, come per il cromo, due test su tre indicano che i due siti sono diversi, mentre il Sign test suggerisce che le mediane possono essere uguali. Il test tra Altavilla e Ferrovieri non permette una conclusione univoca.

Tabella 44 - Manganese nelle deposizioni Two Sample paired test

	Manganese		Manganese		Manganese	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 12						
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	415.8	43.5	184.6	43.5	415.8	184.6
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	364	38.8	132.0	38.8	364.0	132.0
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	372		141		231	
T test p (same mean)	$5 \cdot 10^{-5}$		$5 \cdot 10^{-4}$		0.003	
Sign test p (same median)	$5 \cdot 10^{-4}$		$5 \cdot 10^{-4}$		0.039	
Wilcoxon test p (same median)	0.002		0.002		0.008	

Il test indica che le misure di manganese nelle polveri totali sono statisticamente diverse nei tre siti sia per quanto riguarda la media che per quanto riguarda la mediana.

Tabella 45 - Piombo nelle deposizioni Two Sample paired test Altavilla Ferrovieri – 12 coppie

	Piombo	
	Altavilla Vic.	Ferrovieri
n coppie 12		
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	17.9	13.1
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	18.2	11.1
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	4.8	
T test p (same mean)	0.03	
Sign test p (same median)	0.39	
Wilcoxon test p (same median)	0.03	

Nel confronto tra Altavilla e Ferrovieri anche per il piombo, come per il ferro ed cromo, due test su tre indicano che i due siti sono diversi, mentre il Sign test suggerisce che le mediane possono essere uguali. Il test tra Altavilla e Ferrovieri non permette una conclusione univoca.

Tabella 46 - Piombo nelle deposizioni Two Sample paired test

n coppie 11	Piombo		Piombo	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	17.6	6.8	13.2	6.8
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	16.8	5.6	9.9	5.6
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	10.85		6.4	
T test p (same mean)	$8 \cdot 10^{-5}$		0.003	
Sign test p (same median)	$9 \cdot 10^{-4}$		0.065	
Wilcoxon test p (same median)	0.0033		0.008	

I due confronti delle stazioni di Altavilla Vic.na e di Ferrovieri verso quartiere Italia sono stati eseguiti su 11 coppie di dati, in quanto presso quartiere Italia c'è un dato inferiore al limite di rivelabilità strumentale. Il test indica che le medie e le mediane di piombo nelle deposizioni misurate presso Altavilla Vic.na sono diverse da quelle misurate presso quartiere Italia. Due test su tre indicano che i valori di piombo misurati presso Ferrovieri sono diversi da quelli misurati presso quartiere Italia, mentre il Sign test ammette, pur con una probabilità bassa, che le mediane possano essere uguali. Il test tra Ferrovieri e quartiere Italia non permette una conclusione univoca.

Tabella 47 - Rame nelle deposizioni Two Sample paired test

n coppie 12	Rame		Rame		Rame	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	27.3	16.9	19.4	16.9	27.3	19.4
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	27.4	17.8	20.2	17.8	27.4	20.2
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	10.4		2.4		7.9	
T test p (same mean)	$5 \cdot 10^{-4}$		0.19		0.004	
Sign test p (same median)	$5 \cdot 10^{-4}$		0.77		0.038	
Wilcoxon test p (same median)	0.0022		0.24		0.006	

Il test indica che i valori di rame nelle polveri totali misurati presso Altavilla Vic.na sono statisticamente diversi sia da quelli misurati presso quartiere Italia, sia da quelli misurati presso Ferrovieri. Le medie e le mediane di rame nelle deposizioni misurate presso Ferrovieri e quartiere Italia risultano invece statisticamente uguali tra loro.

Tabella 48 - Zinco nelle deposizioni Two Sample paired test

n coppie 12	Zinco		Zinco		Zinco	
	Altavilla Vic.	Q Italia	Ferrovieri	Q Italia	Altavilla Vic.	Ferrovieri
media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	193.0	59.4	74.5	59.4	193.0	74.5
Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	191.1	62.0	66.9	62.0	191.1	66.9
Differenza media ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno)	134		15		119	
T test p (same mean)	$2 \cdot 10^{-5}$		0.03		$1 \cdot 10^{-4}$	
Sign test p (same median)	$5 \cdot 10^{-4}$		0.04		$5 \cdot 10^{-4}$	
Wilcoxon test p (same median)	0.0022		0.03		0.002	

Il test indica che le misure di zinco nelle polveri totali sono statisticamente diverse nei tre siti sia per quanto riguarda la media che per quanto riguarda la mediana.

5.9 Diossine (PCDD), Furani (PCDF) e Policlorobifenili PCB diossina simili

Nel monitoraggio sono stati dosati 7 congeneri di PCDD, 10 congeneri di PCDF ed infine i 12 congeneri di PCB diossina simili. Per un confronto con la stima del livello di concentrazione delle diossine in aria ambiente indicata dall'Organizzazione Mondiale della Sanità e con i dati presenti in letteratura, si rende necessario esprimere i dati come somma della tossicità equivalente di ciascun congenere. I risultati sono quindi presentati dapprima come somma delle concentrazioni, e successivamente come somma delle tossicità equivalenti dei singoli congeneri.

5.9.1 I risultati espressi in Concentrazione

Le tabelle 49 e 50 presentano rispettivamente la somma delle concentrazioni dei congeneri PCDD e PCDF e la somma delle concentrazioni dei congeneri di PCB diossina simili registrata in ciascun periodo nei due siti. Dalla Tabella 49 si osserva che la concentrazione dei furani è superiore a quella delle diossine presso Altavilla Vic.na in tutti i periodi di monitoraggio e negli ultimi tre periodi presso quartiere Italia, dove invece nei primi due periodi il rapporto risulta inverso (diossine > furani). Le concentrazioni di PCDD e PCDF hanno inoltre una marcata variabilità stagionale in entrambi i siti.

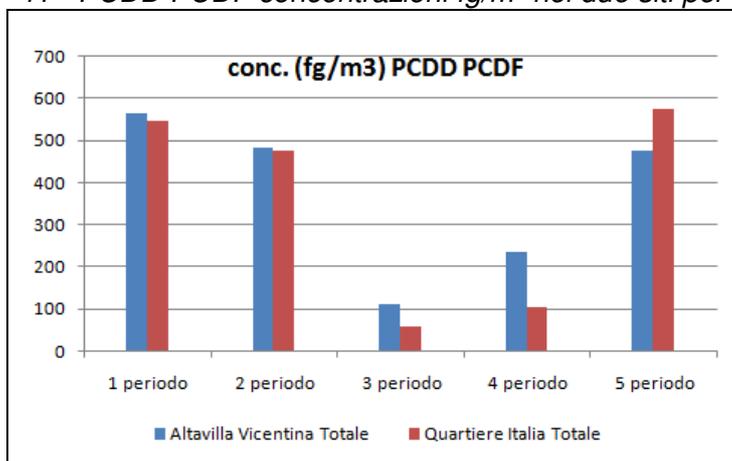
Tabella 49 - PCDD e PCDF nei due siti per 5 periodi di campionamento
Concentrazioni (fg/m³)

	Altavilla Vicentina			Quartiere Italia		
	PCDD	PCDF	Totale	PCDD	PCDF	Totale
1 periodo feb 2015	245	322	567	357	191	548
2 periodo feb 2015	223	261	484	277	200	477
3 periodo giu 2015	34	79	113	25	35	60
4 periodo set 2015	73	164	236	45	61	106
5 periodo gen 2016	207	271	478	245	331	576

Tabella 50 - PCB diossina simili concentrazioni fg/m³ nei due siti per 5 periodi

	Altavilla Vicentina	Quartiere Italia
1 periodo feb 2015	4926	4185
2 periodo feb 2015	5232	4090
3 periodo giu 2015	8826	7041
4 periodo set 2015	6197	5761
5 periodo gen 2016	2790	4107

Grafico 41 - PCDD PCDF concentrazioni fg/m³ nei due siti per 5 periodi



5.9.2 I risultati espressi in Tossicità Equivalente

Per il calcolo della tossicità equivalente (TEQ) si utilizza il fattore di tossicità equivalente (TEF), che esprime il grado di tossicità di ogni singolo congenere rispetto alla 2,3,7,8 TCDD. Sono disponibili due classificazioni del TEF: il sistema internazionale I-TEQ (NATO/CCMS,1988) e la classificazione WHO-TEQ 2005. Le due classificazioni riportano, per ciascun congenere, fattori di tossicità diversi; inoltre nell'elenco WHO TEQ 2005 sono inclusi i 12 PCB diossina simili. Nella tabella 51 sono indicati i TEF dei congeneri secondo le due fonti.

Tabella 51 – Fattori di tossicità equivalente secondo I-TEF e WHO-TEF

Composto	I-TEF	WHO TEF 2005	Composto	I-TEF	WHO TEF 2005
2,3,7,8-TCDD	1	1	PCB-77	-	0.0001
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	1	PCB-81	-	0.0003
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	PCB-126	-	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	PCB-169	-	0.03
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	PCB-105	-	0.00003
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	PCB-114	-	0.00003
OCDD	0.001	0.0003	PCB-118	-	0.00003
2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1	PCB-123	-	0.00003
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.03	PCB-156	-	0.00003
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.3	PCB-157	-	0.00003
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1	PCB-167	-	0.00003
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	PCB-189	-	0.00003
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1			
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1			
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01			
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01			
OCDF	0.001	0.0003			

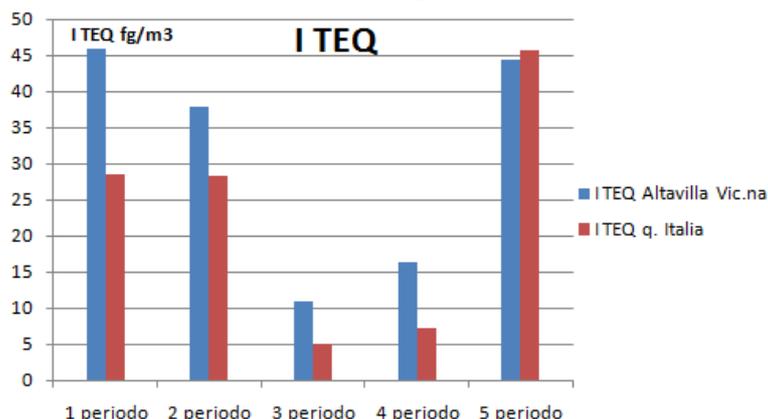
Nella Tabella 52 si riportano i dati del monitoraggio di PCDD/PCDF espressi come somma della tossicità equivalente di ogni congenere (fg/m^3), calcolata secondo entrambe le classificazioni di tossicità, ossia il sistema internazionale I-TEQ (NATO/CCMS,1988) e la classificazione WHO-TEQ 2005. Nel calcolo secondo WHO è inclusa la TEQ dei 12 congeneri di PCB.

Tabella 52 - concentrazioni come tossicità equivalente (I-TEF e WHO TEF 2005) fg/m^3 misurate presso i due siti nei cinque periodi di campionamento

	TEQ fg/m^3			
	Altavilla Vic.na		Quartiere Italia	
	I-TEF	WHO-TEF 2005	I-TEF	WHO-TEF 2005
1 periodo feb 2015	46	44	29	26
2 periodo feb 2015	38	37	28	27
3 periodo giu 2015	11	13	5	7
4 periodo set 2015	16	19	7	9
5 periodo gen 2016	44	44	46	46

Si osserva che in entrambi i siti le concentrazioni TEQ, ottenute con i due diversi sistemi, nei singoli periodi sono ampiamente inferiori a $100 \text{ fg}/\text{m}^3$, stimato come livello medio di tossicità equivalente dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Si conferma anche per i dati in tossicità equivalente la variabilità stagionale, già osservata nei dati in concentrazione e ben rappresentata dal seguente grafico.

Grafico 42 - PCDD PCDF I-TEQ fg/m3 nei due siti per 5 periodi



5.9.3 Il contributo dei singoli congeneri

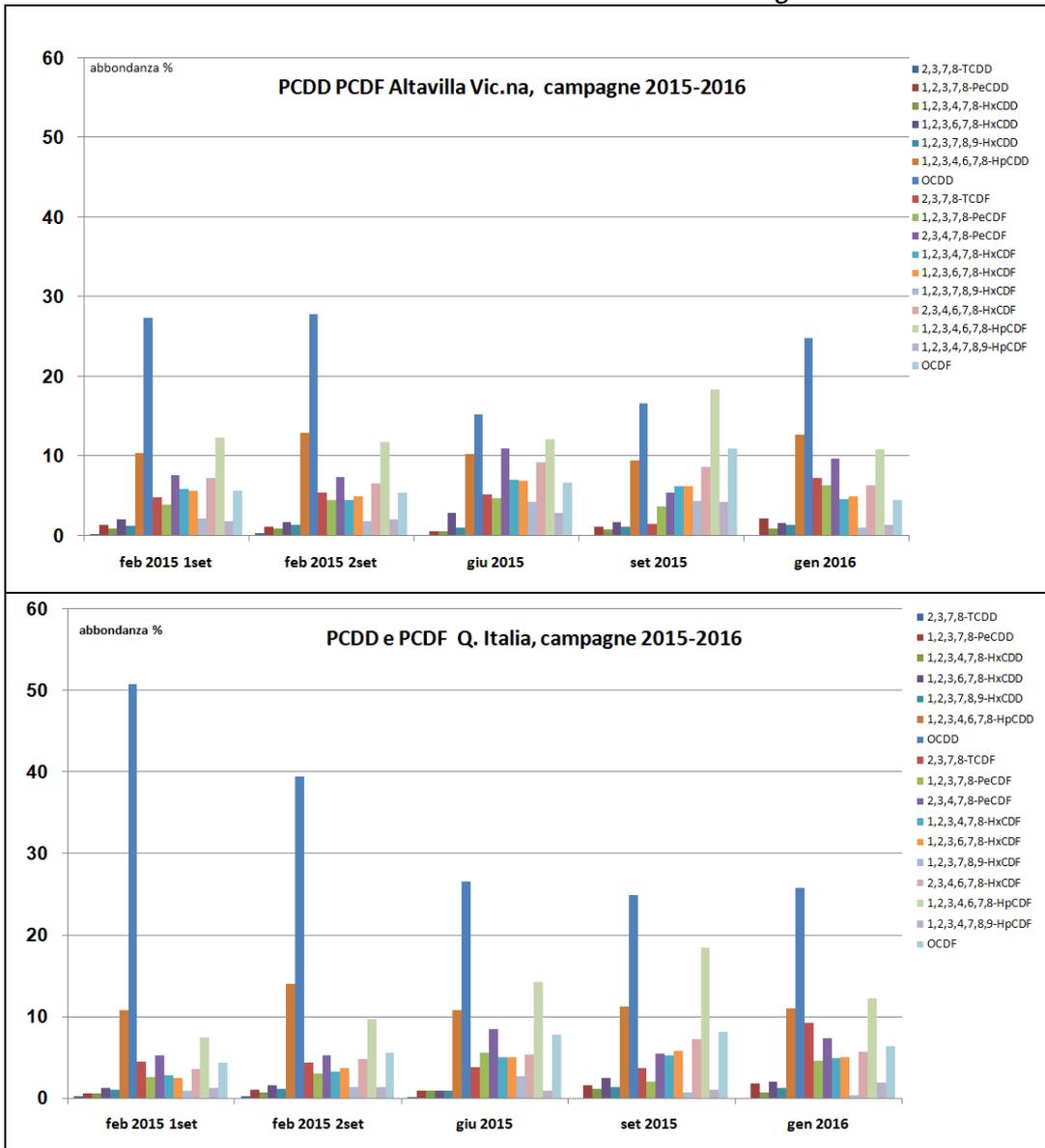
Per quanto riguarda l'analisi del contributo dei singoli congeneri, è stata calcolata l'abbondanza relativa, cioè il rapporto tra la concentrazione tal quale di ciascun congenere rispetto alla somma. Il profilo delle abbondanze è rappresentato dai Grafici 43 e 44, dai quali si possono trarre alcune osservazioni. Eccetto il quarto periodo ad Altavilla, il componente più abbondante è OCDD (OctaCloroDibenzoDiossina), che si presenta più dominante a quartiere Italia, dove raggiunge punte del 40-50%, mentre ad Altavilla non arriva al 30%. Presso Altavilla Vic.na, ad una minor percentuale di OCDD si contrappone un aumento generale delle abbondanze dei congeneri dei furani. Si tratta di un lieve aumento, dell'ordine di 2-4 punti percentuali rispetto ai furani dosati a quartiere Italia.

La prevalenza di diossine ad alto grado di clorurazione (OCDD) sembrerebbe attribuita ai processi di combustione diffusi (Lohmann, 1988; Piazzalunga, 2013). Il contributo di furani ad alto grado di clorurazione sembra invece imputato a fonti di tipo industriale e da traffico (Caserini, 2004).

Alla luce di quanto riportato dalle fonti di letteratura, la forte prevalenza di OCDD presso quartiere Italia, e in minor misura ad Altavilla Vic.na, si riconduce ad un inquinamento da combustione prevalentemente domestica. Il leggero aumento dei componenti PCDF presso Altavilla porta ad ipotizzare un lieve contributo di tipo industriale e da traffico.

Infine si osserva che i profili del quinto periodo (gennaio 2016) presso i due siti sono molto simili. Questo risultato trova giustificazione nelle condizioni atmosferiche di quel periodo, in cui vi era una marcata stabilità atmosferica con inversione termica e di conseguenza una scarsa dispersione degli inquinanti, e l'accumularsi degli inquinanti in vaste zone della pianura.

Grafico 43- Grafico 44 - Profilo delle abbondanze % dei congeneri PCDD e PCDF



5.10 IPA dal campionamento alto volume con filtri TSP e PUF

I campioni effettuati tramite filtri TSP e PUF in occasione del monitoraggio dei PCDD/F sono stati sottoposti anche all'analisi degli IPA. Oltre al consueto elenco di congeneri già dosato nei campioni di PM10, sono stati dosati anche il pirene ed il fluorantene.

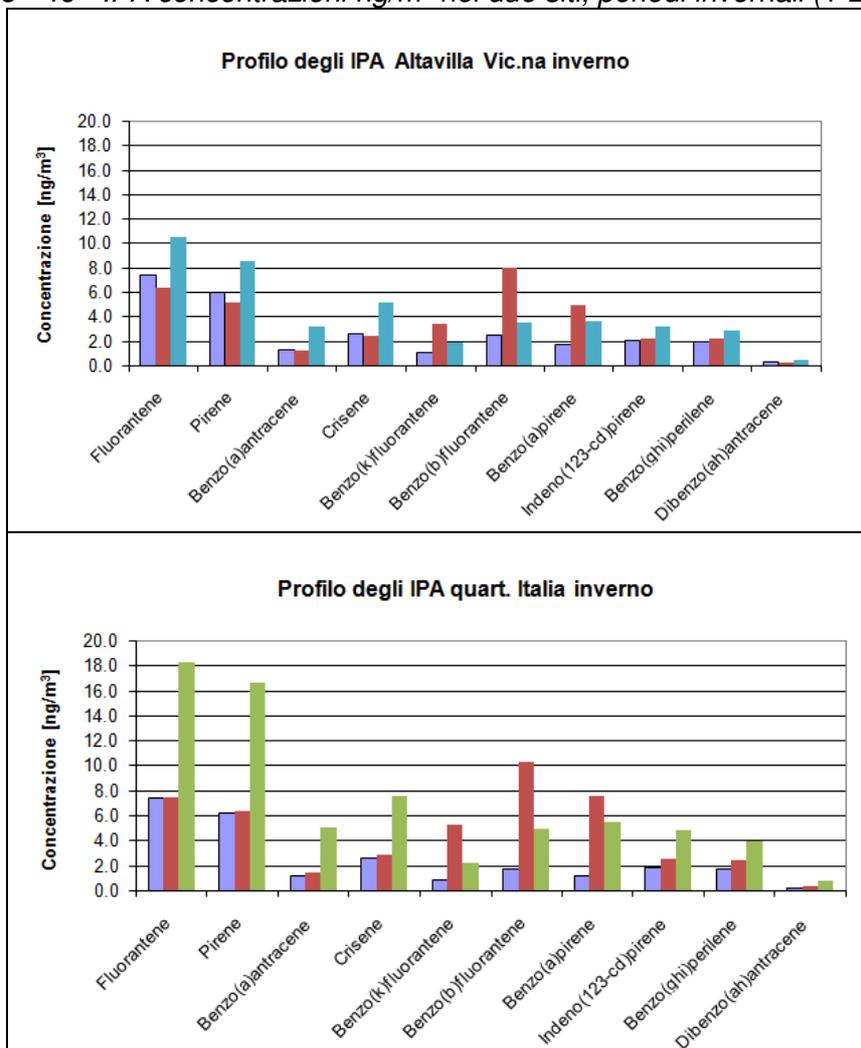
Nella seguente tabella si riporta la somma delle concentrazioni dei congeneri misurati nei cinque periodi di campionamento presso i siti di Vicenza quartiere Italia e di Altavilla Vic.na.

Tabella 53 - IPA somma, concentrazioni ng/m³ nei due siti per 5 periodi

	concentrazione somma IPA (ng/m ³)				
	1 periodo	2 periodo	3 periodo	4 periodo	5 periodo
Vicenza quart. Italia	25.0	46.3	1.3	1.5	69.4
Altavilla Vic.na	26.7	36.0	2.8	2.1	42.5

Si osserva un'alta variabilità stagionale e, come già visto per le diossine, una concentrazione più elevata presso quartiere Italia nell'ultimo periodo di campionamento, durante il quale persistevano sia il contributo del riscaldamento domestico sia le condizioni atmosferiche favorevoli al ristagno dell'aria al suolo. I grafici seguenti mostrano l'andamento dei singoli congeneri nel periodo invernale in ciascun sito. Il profilo dei due siti è molto simile.

Grafico 45- 46 - IPA concentrazioni ng/m³ nei due siti, periodi invernali (1-2-5 periodo)



6. Conclusioni

Gran parte degli inquinanti monitorati non è soggetta a limiti normativi il cui confronto risulta talvolta indicativo qualora i limiti si riferiscano alle medie sull'anno civile. Nelle conclusioni ci si riferisce quindi, indicativamente, al D.Lgs 155/2010 e, per quanto riguarda le diossine, alla stima del livello medio proposta dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Si presenta inoltre una valutazione del confronto tra siti, qualora il numero di dati sia stato sufficiente ad applicare i test statistici.

PM10 e PM2.5

Il D.Lgs 155/2010 prevede per il PM10 e PM2.5 dei limiti normativi, riferiti però all'anno civile, mentre il monitoraggio si è svolto a cavallo tra il 2015 e il 2016. Volendo comunque fare un confronto indicativo con i valori limite del D.Lgs 155/2010, la media annua del monitoraggio di PM10 rispetta in tutti i siti il limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il numero di superamenti della media giornaliera di PM10 eccede in tutti i siti il numero massimo di 35 giorni/anno. La media annua del PM2.5 misurato presso Altavilla Vic.na e presso quartiere Italia supera invece il valore massimo di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in entrambi i siti.

Il confronto tra stazioni indica che per quanto riguarda le misure di PM2.5 non ci sono differenze statistiche tra Altavilla Vic.na e quartiere Italia. Le misure di PM10 presso Altavilla Vic.na sono statisticamente uguali sia a quelle presso Ferrovieri sia a quelle presso quartiere Italia.

Metalli nel PM10

I valori limite ed i valori obiettivo riferiti alla media annuale, previsti dall'attuale normativa, il D.Lgs 155/2010, relativamente a piombo, nichel, cadmio e arsenico nel PM10, sono stati rispettati presso i tre siti monitorati. Il confronto è indicativo, perché non riferito all'anno civile.

Le misure di arsenico, cadmio e cobalto nel PM10 sono risultate in prevalenza inferiori ai rispettivi limiti di rivelabilità strumentale in tutti i siti.

Presso il sito di **quartiere Italia** le misure di alluminio, manganese e piombo nel PM10 sono statisticamente uguali sia a quelle rilevate presso il sito di Altavilla Vic.na sia a quelle presso Ferrovieri. Le misure di molibdeno e zinco nel PM10 presso quartiere Italia risultano statisticamente uguali a quelle presso Altavilla Vic.na; sempre riguardo al molibdeno e allo zinco, il confronto tra quartiere Italia e Ferrovieri non produce un risultato univoco.

Le misure di cromo nel PM10 presso quartiere Italia sono statisticamente diverse da quelle ottenute presso Altavilla Vic.na, dove i valori sono più elevati, mentre non vi è un risultato univoco nel confronto con Ferrovieri.

Le misure di nichel nel PM10 presso quartiere Italia sono statisticamente uguali a quelle ottenute presso Ferrovieri. Entrambi i siti presentano valori di nichel statisticamente diversi da quelli ottenuti presso Altavilla Vic.na, che presenta valori leggermente più elevati.

Presso il sito **Ferrovieri** le misure di alluminio e piombo nel PM10 sono statisticamente uguali sia a quelle rilevate presso il sito di Altavilla Vic.na sia a quelle dosate presso quartiere Italia. Le misure di manganese e di nichel nel PM10 presso Ferrovieri risultano statisticamente uguali a quelle ottenute presso quartiere Italia. Le misure di molibdeno risultano statisticamente uguali presso Ferrovieri ed Altavilla Vic.na.

Le misure di nichel e di cromo nel PM10 presso Ferrovieri risultano statisticamente diverse da quelle riscontrate presso Altavilla Vic.na, dove i valori sono leggermente più elevati.

I test di confronto tra Ferrovieri ed Altavilla Vic.na non hanno prodotto risultati univoci per le misure di manganese e zinco nel PM10.

I test di confronto tra Ferrovieri e quartiere Italia non hanno prodotto risultati univoci per le misure di cromo, molibdeno e zinco nel PM10.

Presso il sito **Altavilla Vic.na** le misure di alluminio, molibdeno e piombo nel PM10 sono statisticamente uguali sia a quelle rilevate presso Ferrovieri sia da quelle dosate presso quartiere Italia.

Le misure di nichel e di cromo nel PM10 presso Altavilla Vic.na risultano statisticamente diverse sia da quelle rilevate presso Ferrovieri sia da quelle ottenute presso quartiere Italia.

Presso Altavilla Vic.na i dati di manganese e zinco nel PM10 risultano statisticamente uguali a quelli misurati a quartiere Italia, mentre rispetto alla stazione di Ferrovieri il confronto dei dati di manganese e zinco non ha dato esiti univoci.

Riepilogando, gli aspetti più significativi del confronto tra stazioni nel monitoraggio sui metalli nel PM10: le misure di cromo e nichel presso Altavilla Vic.na sono lievemente più alte e statisticamente diverse rispetto agli altri due siti; la media annua di nichel presso le tre stazioni rientra ampiamente nei limiti normativi; le misure di alluminio e di piombo non presentano differenze statistiche tra i tre siti; alcuni confronti sui risultati di manganese, molibdeno e zinco non hanno permesso di esprimere un giudizio; infine le restanti misure sono risultate statisticamente uguali.

Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nel PM10

Il D.Lgs 155/2010 prevede per al benzo(a)pirene il valore obiettivo di 1.0 ng/m³ come massima media annua (per anno civile). Facendo un paragone indicativo si osserva che il valore obiettivo è rispettato in tutti i siti. La media di benzo(a)pirene misurata presso Altavilla Vic.na è uguale a quella misurata presso quartiere Italia, mentre Ferrovieri presenta un valore medio inferiore e statisticamente diverso.

Polveri Totali nelle deposizioni

Relativamente alla quantità delle polveri nelle deposizioni, i tre siti sono statisticamente uguali.

Metalli nelle deposizioni

Le misure di arsenico, cadmio e cobalto nelle deposizioni sono risultate inferiori ai rispettivi limiti di rivelabilità strumentale in tutti i siti.

Presso Altavilla Vic.na in quasi tutti i campioni è stato possibile dosare cromo, nichel e molibdeno, mentre presso Ferrovieri e quartiere Italia alcuni campioni sono risultati inferiori al limite di rivelabilità strumentale, rendendo così ridotto il numero di campioni confrontabili con il test statistico. Non è stato dunque condotto il confronto relativo al molibdeno ed al nichel, per i quali l'unica osservazione è il maggior numero di campioni dosati ad Altavilla Vic.na rispetto agli altri due siti.

Per quanto riguarda il cromo, il confronto tra Ferrovieri ed Altavilla Vic.na, su 12 coppie di dati, non permette di concludere una differenza statistica tra i due siti. Presso quartiere Italia il numero di campioni in cui è stato possibile dosare il cromo nelle deposizioni è inferiore al numero di campioni dosato nelle altre stazioni, per cui l'applicazione del test risulta arbitraria.

Presso il sito di **quartiere Italia** le misure di alluminio, bario, ferro, manganese, piombo e zinco sono statisticamente diverse sia da quelle rilevate presso il sito di Altavilla Vic.na sia da quelle dosate presso Ferrovieri. I valori misurati presso quartiere Italia sono inferiori ad entrambe le altre due stazioni.

Le misure di rame nelle deposizioni presso quartiere Italia sono statisticamente diverse da quelle registrate ad Altavilla Vic.na, dove vi sono valori più elevati, mentre risultano statisticamente uguali a quelle rilevate a Ferrovieri.

Presso il sito **Ferrovieri** le misure di alluminio, bario, manganese e zinco sono statisticamente diverse sia da quelle rilevate presso il sito di Altavilla Vic.na, sia da quelle dosate presso quartiere Italia. I valori si pongono in ordine crescente da quartiere Italia verso Ferrovieri ed infine ad Altavilla Vic.na.

Le misure di ferro e di piombo presso Ferrovieri sono statisticamente diverse da quelle registrate quartiere Italia, dove i valori sono inferiori. I risultati dei test non permettono una conclusione univoca circa il confronto dei dati di ferro e di piombo tra Ferrovieri ed Altavilla Vic.na.

Le misure di rame nelle deposizioni presso Ferrovieri sono statisticamente diverse da quelle registrate ad Altavilla Vic.na, dove vi sono valori più elevati, mentre risultano statisticamente uguali a quelle rilevate a quartiere Italia.

Presso il sito **Altavilla Vic.na** le misure di alluminio, bario, manganese, rame e zinco sono statisticamente diverse sia da quelle rilevate presso il sito di Ferrovieri, sia da quelle dosate

presso quartiere Italia: presso Altavilla Vic.na si osservano i valori più elevati, a decrescere verso Ferrovieri e poi quartiere Italia.

Le misure di ferro e di piombo presso Altavilla Vic.na sono statisticamente diverse da quelle registrate quartiere Italia, dove i valori sono inferiori. I test applicati non permettono una conclusione univoca circa il confronto dei dati di ferro e di piombo tra Ferrovieri ed Altavilla Vic.na.

Il confronto tra le misure dei metalli nelle deposizioni presso i tre siti si può così riepilogare: le misure di alluminio, bario, manganese e zinco sono statisticamente diverse nei tre siti, con andamento decrescente da Altavilla Vic.na verso Ferrovieri ed infine verso quartiere Italia; le misure di rame nelle deposizioni presso Altavilla Vic.na sono statisticamente diverse dagli altri due siti, che risultano però statisticamente uguali tra loro; le misure di ferro e di piombo nelle deposizioni presso Altavilla Vic.na sono statisticamente diverse da quartiere Italia, dove si registrano valori inferiori; le misure di ferro nelle deposizioni presso Ferrovieri sono statisticamente diverse da quartiere Italia; le misure di cromo nelle deposizioni presso quartiere Italia presentano un minor numero di dati disponibili; presso Altavilla Vic.na vi è un maggior numero di campioni nei quali è stato possibile il dosaggio di molibdeno e nichel; infine per alcuni confronti non è stato possibile esprimere un giudizio sull'effettiva differenza statistica.

Diossine (PCDD), Furani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB)

Sia presso Altavilla Vic.na sia presso quartiere Italia la concentrazione di PCDD, PCDF e PCB, espressa come somma delle rispettive tossicità equivalenti, misurata nei cinque periodi di monitoraggio è risultata ampiamente inferiore al valore di 100 fg/m³ stimato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità come livello medio di tossicità equivalente nei siti urbani. Per quanto riguarda la caratterizzazione dei singoli congeneri, secondo quanto segnalato in letteratura (Lohmann,1988; Piazzalunga, 2013; Caserini, 2004) la forte prevalenza di OCDD presso quartiere Italia, e in minor misura ad Altavilla Vic.na, si riconduce ad un inquinamento da combustione prevalentemente domestica. Il leggero aumento dei componenti PCDF presso Altavilla porta ad ipotizzare un lieve contributo di tipo industriale e da traffico, la cui intensità rientra ampiamente nei valori indicati dal WHO come caratteristici di ambienti urbani.

I risultati del monitoraggio indicano comunque una variabilità stagionale, con valori di PCDD e PCDF più bassi nel periodo estivo, mentre nello stesso periodo si registrano valori di PCB leggermente superiori, il cui contributo come tossicità equivalente è comunque modesto. Durante il quinto periodo di monitoraggio si è verificata una marcata stabilità atmosferica con inversione termica, condizioni che hanno sfavorito la dispersione degli inquinanti.

7. Bibliografia

Soft PAST, *PAleontological Statistics Version 3.10 (Open source)*

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. *PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

Caserini, Stefano *et al.* *Air and soil dioxin levels at three sites in Italy in proximity to MSW incineration plants*. In: *Chemosphere* 54 (2004), pp. 1279–1287.

LAI. *Bericht des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind Orientierungswerte für die Sonderfallprüfung und für die Anlagenüberwachung sowie Zielwerte für die langfristige Luftreinhalteplanung unter besonderer Berücksichtigung der Beurteilung krebserzeugender Luftschadstoffe*. Länderausschuss für Immissionsschutz. 2004. url: <http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheit/pdf/LAI2004.pdf>.

NATO/CCMS. *International toxicity equivalency factors (I-TEF) method of risk assessment for complex mixtures of dioxin and related compounds*. Report no.176. North Atlantic Treaty Organization, Committee on the Challenges of Modern Society, 1988.

Piazzalunga, Andrea *et al.* *Contribution of wood combustion to PAH and PCDD/F concentrations in two urban sites in Northern Italy*. In: *Journal of Aerosol Science* 56 (2013), pp. 30–40.

WHO. *Air Quality Guidelines for Europe-Second Edition*. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. World Health Organization, 2000.

8. Glossario

Background (stazione di)

Punto di campionamento rappresentativo dei livelli d'inquinamento medi caratteristici dell'area monitorata.

Sorgente (inquinante)

Fonte da cui ha origine l'emissione della sostanza inquinante. Può essere naturale (acque, sole, foreste) o antropica (infrastrutture e servizi). A seconda della quantità di inquinante emessa e delle modalità di emissione una sorgente può essere puntuale, diffusa, lineare.

Tossicità Equivalente (TEQ)

Grandezza tossicologica che esprime la concentrazione di una sostanza nociva in termini di quantità equivalente a un composto standard. Per PCDD, PCDF e PCB DL il composto di riferimento è la 2,3,7,8 TCDD.

Fattore di Tossicità Equivalente (TEF)

Valore caratteristico di una sostanza nociva, indicato in letteratura, da utilizzare come fattore nel calcolo della tossicità equivalente.

Valore limite

Livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana o per l'ambiente nel suo complesso.

Valore obiettivo

Concentrazione nell'aria ambiente stabilita al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente, il cui raggiungimento, entro un dato termine, deve essere perseguito mediante tutte le misure che non comportino costi sproporzionati.

ALLEGATO - MODELLI DI DISPERSIONE DELLE EMISSIONI DELLE ACCIAIERIE

I calcoli di dispersione sono stati svolti a partire dai dati delle emissioni convogliate relative all'anno 2015, tratti dai Report Ambientali di entrambe le ditte (*Report Ambientale 2015 Rev.2 del 25/07/2016*) prodotto dalla ditta Beltrame S.p.A. e il "Report_Format_generale_AIA-EPRTR_2016_dati_2015" trasmesso dalla ditta Valbruna S.p.A. in data 29/04/2016).

Le simulazioni sono state condotte utilizzando il modello di dispersione non stazionario a puff gaussiani CALPUFF (Version: 5.8 Level: 070623), in catena al preprocessore meteorologico di tipo diagnostico CALMET (Version: 5.8 Level: 070623). CALPUFF è indicato dalla US-EPA¹ come modello di riferimento per applicazioni che coinvolgono il trasporto di inquinanti su lunghe distanze, oppure per applicazioni in campo vicino quando sono importanti effetti non stazionari come variabilità delle condizioni meteorologiche, calme di vento, discontinuità terra-mare, ecc.

L'input meteorologico di CALMET è stato elaborato su un dominio di dimensione 20x20 km², centrato sulla zona delle acciaierie e con risoluzione di 1 km, ottenuto con tecnica di *self-nesting* dal grigliato con passo 4 Km sul dominio regionale di 200x168 km².

Il calcolo di dispersione è stato svolto con CALPUFF sul medesimo sottodominio di 20x20 km² con risoluzione a 250 m e inserendo ulteriori punti di calcolo per le stazioni della rete di qualità dell'aria e la posizione del mezzo mobile ad Altavilla Vicentina.

Il calcolo delle concentrazioni e delle deposizioni al suolo è stato svolto con CALPUFF attivando la deposizione secca ed umida e lo schema chimico RIVAD/ARM3 per la produzione di biossido di azoto (NO₂) a partire dalle emissioni di ossidi di azoto (NO_x) e da dati di ozono (O₃); in particolare per la simulazione in questione sono state usate le misure di O₃ della stazione ARPAV Ferrovieri.

La trattazione di tali metalli e dei microinquinanti organici (diossine, PCB e Idrocarburi Policiclici Aromatici) è stata svolta con CALPUFF simulandone la dispersione come specie veicolate dal particolato fine. La granulometria impostata per i metalli corrisponde ad una distribuzione della dimensione del particolato di tipo lognormale unimodale con moda su 0.48 µm e con deviazione standard 2 µm, mentre per i microinquinanti organici si è impostata una moda di 0.84 µm e deviazione standard invariata di 2 µm.

Per i coefficienti di *scavenging*² per le precipitazioni liquide e solide, usati per il calcolo della deposizione umida, sono stati mantenuti per tutte le specie veicolate dalle polveri i valori di *default* proposti da CALPUFF per le polveri fini (precipitazioni liquide: 3·10⁻⁵, precipitazioni solide: 1·10⁻⁵).

L'arco temporale delle simulazioni modellistiche ha considerato l'intero anno solare 2015.

Come accennato le emissioni inserite in input al modello hanno considerato le emissioni convogliate delle due acciaierie riportate nei rispettivi Report Ambientali dell'anno 2015 e nei rapporti di prova degli autocontrolli a camino del medesimo anno.

La modellizzazione ha inoltre considerato le giornate di fermata degli impianti e i turni di lavoro, diversificati per linee produttive, così come descritto nei calendari di lavoro inviati dalle ditte.

Le emissioni dei singoli camini sono state perciò modulate ora per ora considerando il funzionamento o meno della linea produttiva a cui il singolo camino è asservito e considerando perciò emissioni nulle per i periodi di non funzionamento della singola linea.

Nelle seguenti due tabelle si riportano, separatamente per ciascuna acciaieria e per reparto, le emissioni convogliate dell'anno 2015 di ossidi di azoto e polveri, ottenute sommando i contributi definiti significativi nei decreti AIA dei vari camini dei reparti. L'associazione camino-

¹ Environmental Protection Agency degli USA.

² Coefficiente di rimozione empirico dipendente dal tipo di precipitazione (acquosa o congelata) e dalla natura dell'inquinante.

reparto è tratta dai decreti AIA. Nella tabelle è anche riportato il valore di produzione annuo in termini di quantitativi di acciaio prodotto (fonte Rapporti Ambientali).

Le emissioni annue della Beltrame (tab. 1) sono stata ottenute moltiplicando i flussi di massa orari degli inquinanti, ricavati dal Report Ambientale, per le ore di funzionamento delle linee produttive comunicate dalla ditta per ciascun giorno dell'anno.

Il flusso di massa orario (espresso in g/h) a sua volta deriva dalla concentrazione dell'inquinante nei fumi emessi (mg/Nm³) per la portata dei fumi (Nm³/h), quest'ultimi entrambi indicati nel Report Ambientale 2015 (Beltrame, Rapporto Ambientale 2016, v2)

Le emissioni annue della Valbruna (tab. 2) sono state invece direttamente calcolate dalla media dei flussi di massa di inquinante orari per le ore annue di funzionamento del singolo camino indicate nella tabella del Report Ambientale 2015 (Valbruna, "Report_format_generale generale_AIA-EPRTTR_2016_dati 2015").

Tabella 1: Acciaieria Beltrame.

Emissioni convogliate di NOx e polveri e produzione anno 2015 (Mg/anno) ⁽³⁾

(fonte: calcoli ARPAV su dati Rapporto Ambientale 2016, v2 e su dati di ore lavorazione per fasi produttive).

	NO_x	PTS
Reparti	Mg/anno	Mg/anno
Fusione	75.9	2.5
Laminazione ⁴	77.2	8.2
Totale emissioni	153.1	10.7
Produzione (tonnellate/anno)		
Acciaieria	831'428	
Laminatoio	708'280	

Tabella 2: Acciaieria Valbruna.

Emissioni convogliate di NOx e polveri e produzione anno 2015 (Mg/anno) ⁽⁵⁾

(fonte: calcoli ARPAV su dati del "Report_format_generale generale_AIA-EPRTTR_2016_dati 2015")

	NO_x	PTS
Reparti	Mg/anno	Mg/anno
ACCIAIERIA	22.1	7.0
CONDIZIONATURA	0.3	2.0
FORGE	16.5	0.02
LAMINATOIO 280-460	1.9	0.5
LAMINATOIO TAU	3.7	0.4
LINEA PELATI	0.0	0.01
LINEA TRAFILATI	0.2	0.04
TRAT. CHIMICI	0.6	4.1
TRATT. TERMICI	1.1	0.0
Totale complessivo	46.4	14.1
Produzione acciaio (tonnellate/anno)		
170'047		

Secondo il quadro emissivo descritto dai relativi rapporti ambientali 2015, le due acciaierie emettono quantitativi simili di polveri convogliate a camino (11 e 14 tonnellate/anno per Beltrame e Valbruna rispettivamente), mentre le emissioni di ossidi di azoto della Beltrame sono più del triplo di quella della Valbruna.

³ Mg=Mega=10⁶ per cui Mg/anno = tonnellate/anno.

⁴ Nella somma di queste emissioni si comprendono entrambe le linee di laminazione e le relative fasi associate di raddrizzatura/cesoia tura e di preparazione dei fondenti.

⁵ Mg=Mega=10⁶ per cui Mg/anno = tonnellate/anno.

I quantitativi di produzione sono completamente diversi con la produzione di acciaio della Beltrame circa 7 volte quella della Valbruna. Si sottolinea, però, che trattasi di due produzioni diverse in quanto la Beltrame produce acciai al carbonio mentre la Valbruna acciai speciali.

Nella seguente tabella (tab. 3) si riportano le emissioni convogliate dell'anno 2015 di microinquinanti (metalli e microinquinanti organici) dei reparti acciaierie delle due aziende.

Tab. 3 Emissioni convogliate di microinquinanti per l'anno 2015 (kg/anno).

(fonte: calcoli ARPAV sui dati dei Rapporti Ambientali 2015 delle due ditte)

Emissioni convogliate annue reparto acciaieria (kg/anno)			Note
	Valbruna	Beltrame	
As	8	2.2	Per Beltrame As = 33% MET1
Bi	2	non indicato	
CrVI	non indicato	2.2	Per Beltrame CrVI = 33% MET1
CrIII	non indicato	13.7	Per Beltrame CrIII = 1% MET2
Cr	61	16	Somma CrVI+CrIII
Co	5	2.2	Per Beltrame Co = 33% MET1
Cd	3	4	
Cu	33	14	Per Beltrame Cu = 1% MET2
Hg	1		
Mn	54	68	Per Beltrame Mn = 5% MET2
Ni	56	6	
Pb	22	68	Per Beltrame Pb =5% MET2
Sb	7	non indicato	
Se	7	non indicato	
Sn	50	7	
Te	0.1	non indicato	
Tl	9	non indicato	
V	3	3	Per Beltrame V = 0.2% MET2
IPA	1.5	0.16	Somma delle 11 specie di cui la normativa fissa il limite all'emissione per le acciaierie
PCB	0.13	2.5	
ΣPCDD/PCDF I-TEQ g/anno	0.54	0.33	Somma dei soli 17 congeneri di cui è fissato il limite come somma di tossicità equivalente

Nel caso della Beltrame si tratta delle emissioni annue del camino E21, asservito al processo di fusione, calcolate a partire dalle concentrazioni medie annue indicate nel Rapporto Ambientale e moltiplicate per la portata e per le ore di esercizio del reparto acciaieria.

Laddove nei rapporti ambientali veniva indicata una concentrazione cumulativa per gruppo di inquinanti, per ottenere il valore del singolo inquinante si è fatto riferimento ai rapporti di prova delle misure di controllo a camino e ai rapporti percentuali delle singole specie nel gruppo di appartenenza ivi desumibili. Così, ad esempio, l'emissione di Arsenico è calcolata come un terzo (33%) dell'emissione del gruppo MET1 (somma di Arsenico, Cr VI e Co) di cui il decreto AIA fissa un limite cumulativo. Le percentuali dei singoli metalli sul gruppo di appartenenza è indicata nella colonna "note" della tabella 3.

Nel caso della Valbruna le emissioni annue dei microinquinanti di tabella 3 si riferiscono alla somma delle emissioni dei camini RAC01 e RAC05 del reparto acciaieria e sono stati direttamente calcolati dalla media dei flussi di massa orari di ciascun inquinante per le ore annue di funzionamento del singolo camino indicate nella tabella del Report Ambientale 2015 (Valbruna, "Report_format_generale generale_AIA-EPRTTR_2016_dati 2015").

Il confronto tra le emissioni annue dei microinquinanti delle due acciaierie evidenzia la diversa impronta emissiva delle due tipologie di acciaio prodotte. Si nota, in particolare, l'emissione predominante della Valbruna (acciai speciali) per cromo (Cr), nichel (Ni), rame (Cu) e stagno (Sn); piombo (Pb) e PCB sono maggiormente emesse dalla Beltrame.

La somma di diossine e furani (discussi come somma in tossicità equivalente dei 17 congeneri di cui all'ex D.Lgs 133/05⁶) e manganese (Mn) hanno emissioni comparabili.

L'emissione delle 11 specie di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) di cui è fissato un limite all'emissione per le acciaierie⁷ risulta maggiore per la Valbruna rispetto alla Beltrame.

Le emissioni delle due acciaierie sono state simulate separatamente così da poter discutere le stime ottenute sia per ciascuna singola azienda, sia sommandone i risultati.

Si precisa che la somma dei risultati è una stima corretta per le specie chimiche di tipo inerte di cui non si simula alcuna trasformazione od interazione in atmosfera e dunque per le polveri primarie, gli NOx, i metalli e gli altri microinquinanti organici. Nel caso del biossido di azoto (NO₂), che viene calcolato dalla trasformazione degli ossidi di azoto con il fattore limitante della concentrazione di ozono, il valore ottenuto dalla somma dei due contributi potrebbe essere lievemente sovrastimato.

Per quanto riguarda le polveri si precisa che lo schema chimico RIDAV/ARM3 utilizzato dal modello calcola la formazione di ioni solfato e nitrato a partire dalle emissioni dei gas precursori NOx e SOx. Questa genesi di polveri fini inorganiche di tipo secondario è risultata comunque piuttosto contenuta (con un contributo al di sotto delle cifre significative della stima delle concentrazioni di polveri tipo primario).

Nelle tabelle seguenti sono richiamate le caratteristiche fisiche dei camini e dei fumi emessi (tab.4) nonché dei flussi di massa modellizzati (tab. 5).

Tabella 4: Beltrame: caratteristiche fisiche dei camini e dei fumi modellizzati.

(fonti: Report Ambientale 2015, rapporti di prova degli autocontrolli 2015, schede camini ditta Beltrame).

Camino N.	Impianto provenienza fumi	X Coord. UTM (m)	Y Coord. UTM (m)	Altezza Camino (m)	Diam. Camino (m)	Vel. fumi (m/s)	Temp. fumi (K)	Portata (Nm ³ /h)
E4	Forno di riscaldamento POMINI	695137	5043716	20	1.8	15.26	500.85	74'700
E6a	Treno di lamin.cont. POMINI	695085	5043785	16	0.7	10.85	294.55	13'667
E6b	Treno di lamin.cont. POMINI	695105	5043760	17	0.7	9.90	290.55	12'633
E10	Treno di lamin.continua SIMAC	695102	5043844	13	0.7	7.56	290.15	9'667
E11	Raddr. e taglio SIMAC	695056	5043904	13.5	0.55	12.61	294.55	9'800
E16	Raddr. e taglio POMINI	694937	5043966	13.5	1.0	7.92	297.85	20'133
E20	Forno di riscaldamento SIMAC	695189	5043732	20	1.4	12.66	458.35	50'833
E21	Forno Fusorio acciaieria	694980	5043701	40	7.5	14.55	366.15	1'448'729

⁶ 2,3,7,8-TCDD, 1,2,3,7,8-PeCDD, 1,2,3,4,7,8-HxCDD, 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,7,8,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD, 2,3,7,8-TCDF, 1,2,3,7,8-PeCDF, 2,3,4,7,8-PeCDF, 1,2,3,4,7,8-HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,7,8,9-HxCDF, 2,3,4,6,7,8-HpCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, OCDF.

⁷ Benz[a]antracene, Dibenz[a,h]antracene, Benzo[b]fluorantene, Benzo[j]fluorantene, Benzo[k]fluorantene, Benzo[a]pirene, Dibenzo[a,e]pirene, Dibenzo[a,h]pirene, Dibenzo[a,i]pirene, Dibenzo[a,l]pirene, Indeno[1,2,3-cd]pirene.

Tabella 5: Beltrame: Flussi di massa degli inquinanti all'emissione modellizzati.

(fonte: calcoli ARPAV su dati Rapporto Ambientale 2016, v2).

Sigla camino	Operativ. (h/anno)	NOx (g/h)	PTS (g/h)	Cd (g/h)	Ni (g/h)	MET1 (g/h)	MET2 (g/h)	IPA (g/h)	PCB (g/h)	ΣPCDD/PCDF (g I-TEQ/h)
E4	6'311	8'120	762	0	0	0	0	0	0	0
E6a	6'311	0	55	0	0	0	0	0	0	0
E6b	6'311	0	14	0	0	0	0	0	0	0
E10	6'655	0	12	0	0	0	0	0	0	0
E11	6'655	0	2	0	0	0	0	0	0	0
E16	6'311	0	349	0	0	0	0	0	0	0
E20	6'655	3'900	96	0	0	0	0	0	0	0
E21	4'989	15'210	507	0.87	1.2	1.3	270	0.032	0.5	6.6E-5
E22	4'989	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	55'187	27'240	1'800	0.87	1.2	1.3	270	0.032	0.5	6.6E-5
Note										
	MET1=As+CrVI+Co									
	MET2= CrIII+Pb+Cu+Sn+V+Mn+Si lib.cristallina									
	IPA = 11 specie dell'autorizzazione AIA									
	ΣPCDD/PCDF = somma di 17 congeneri di diossine e furani in unità di tossicità equivalente (rif. ex D.Lgs 133/2005)									
	Operatività: dal calendario giornaliero delle ore lavorate comunicato dalla ditta per l'anno 2015									

La modellizzazione delle emissioni convogliate della Valbruna è stata svolta considerando i camini descritti nella seguente tabella (tab.6).

Tabella 6: Valbruna: caratteristiche fisiche dei camini e dei fumi modellizzati.

(fonte Report Ambientale 2015).

Sigla camino	Reparto	X Coord UTM32	Y Coord UTM32	Altezza camino	Diametro camino	Velocità fumi	Temp fumi	Portata fumi
		m	m	m	m	m/s	°K	Nm3/h
RAC 01	ACCIAIERIA	695253	5043713	20	2.0	10.5	345.0	95'916
RAC 05	ACCIAIERIA	695103	5043945	25	3.5	20.0	313.0	553'462
RAC 36	ACCIAIERIA	695235	5043916	17	0.3	28.1	473.2	5'254
RCN 01	CONDIZIONATURA	695027	5044147	18	1.0	10.2	293.2	26'736
RCN 02	CONDIZIONATURA	695067	5044081	15	0.6	10.8	293.2	12'003
RCN 03	CONDIZIONATURA	695056	5044104	22	0.6	17.6	293.2	16'498
RFG 14	FORGE	695292	5043904	25	0.8	3.1	473.2	3'212
RFG 15	FORGE	695281	5043898	25	0.8	3.1	473.2	3'249
RFG 17	FORGE	695251	5043926	10	0.8	11.6	473.2	11'770
RFG 18	FORGE	695260	5043914	17	0.8	10.4	473.2	10'911
RFG 24	FORGE	695261	5043911	17	0.8	15.9	473.2	16'217
RLM 03	LAMINAT.280-460	695238	5044081	12	0.9	4.8	313.2	9'685
RLM 07	LAMINAT. 280-460	695280	5044112	15	0.9	8.4	313.2	17'860
RLM 11	LAMINATOIO TAU	695121	5044112	15	1.2	3.5	313.2	12'592
RDE 01	TRAT. CHIMICI	695507	5044234	15	1.3	7.5	313.2	30'580
RDE 11	TRAT. CHIMICI	695409	5044070	13	0.9	11.9	313.2	23'566
RDE 19	TRAT. CHIMICI	695422	5043728	12	0.9	4.0	313.2	7'954

Si tratta in tutto di 17 camini selezionati dai 58 camini individuati nel decreto AIA ([Autorizzazione AIA provinciale n. 9/2014 Prot. n. 74009 del 23/10/2014](#)) come camini con emissioni significative. I 17 camini sono stati individuati a partire dalle emissioni convogliate sommate per tutti e 58 i camini e definendo di trascurare quelli con emissioni inferiori al 2% del totale.

Questa selezione ha consentito di raggiungere un numero di camini da inserire in input piuttosto contenuto (evitando perciò problemi di appesantimento del calcolo e di applicabilità della modellizzazione dettagliata sul calendario delle ore di lavoro) pur mantenendo ben il 91.5% e il 92.5% rispettivamente del totale delle emissioni di NOx e polveri (PTS) convogliate dell'impianto.

Per i microinquinanti sono stati considerati i due camini per i quali il decreto AIA definisce i limiti di concentrazione (RAC01 e RAC5) e di cui pertanto nel report informatico del Rapporto Ambientale sono riportate le concentrazioni misurate a camino.

I flussi di massa modellizzati per la Valbruna sono richiamati nelle seguenti tabelle (tab.7).

Tabella 7: Valbruna: Flussi di massa degli inquinanti all'emissione modellizzati.

(fonte: calcoli ARPAV su dati del "[Report format generale generale AIA-EPRTTR 2016 dati 2015](#)").

Sigla camino	Operatività h/anno	NOx g/h	Polveri g/h	As g/h	Co g/h	Cd g/h	Ni g/h	Cr g/h	Mn g/h	Pb g/h	Cu g/h	IPA g/h	PCB g/h	ΣPCDD/ PCDF g I- TEQ/ h
RAC 01	4627	925	652	0.11	0.03	0.03	3.88	5.95	4.39	0.40	2.86	0.05	0.03	9.1 E-05
RAC 05	4099	4045	936	1.74	1.12	0.72	9.39	8.13	8.13	4.89	4.87	0.30	0.00	2.9 E-05
RAC 36	3750	330												
RCN 01	3168	0	425	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RCN 02	3168	0	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RCN 03	3168	0	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RFG 14	6840	262												
RFG 15	6840	287												
RFG 17	6840	299												
RFG 18	6840	263												
RFG 24	6840	1043												
RLM 03	5352	363												
RLM 07	1353	0	323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RLM 11	6840	540												
RDE 01	4471	0	245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDE 11	4529	0	438	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDE 19	4905	0	138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
totale	83630	8359	3356	1.86	1.15	0.75	13.28	14.08	12.52	5.30	7.74	0.36	0.03	1.2 E-04
Note:	IPA = 11 specie dell'autorizzazione AIA													
	ΣPCDD/PCDF = somma di 17 congeneri di diossine e furani in unità di tossicità equivalente (rif. ex D.Lgs 133/2005)													
	Operatività: dal calendario giornaliero delle ore lavorate comunicato dalla ditta per l'anno 2015													

I risultati dei calcoli modellistici svolti sono sintetizzati nella seguente tabella (tab. 8) in cui sono riportati, per ciascun inquinante considerato e per le 2 acciaierie separatamente, i valori massimi stimati nell'area di studio per la media annua e per le concentrazioni giornaliere. Gli inquinanti modellizzati sono il sottoinsieme degli inquinanti di cui si è stimata l'emissione per i quali sono state svolte misure di concentrazione ambientale.

Tabella 8: Emissioni convogliate annue e risultati stime modellistiche nei punti di massima ricaduta al suolo

(fonte: calcoli ARPAV).

	Emissioni convogliate annue stimate		Stima modello: concentrazioni massime nel dominio			
	Valbruna	Beltrame	Valbruna		Beltrame	
	Stime a partire da emissioni camini significativi		Media annua	Max giornaliero	Media annua	Max giornaliero
	(kg/anno)		(ng/m ³)			
As	8	2.2	0.3	2.6	0.02	0.14
Cr	61	16	8.6	83.3	0.14	1.0
Co	5	2.2	0.2	1.6	0.02	0.14
Cd	3	4	0.14	1.1	0.03	0.26
Cu	33	14	4.4	41.7	0.12	0.9
Mn	54	68	6.6	62.7	0.6	4.4
Ni	56	6	6.1	57.6	0.05	0.4
Pb	22	68	1.0	7.5	0.6	4.4
IPA	1.5	0.16	0.09	0.8	0.001	0.01
PCB	0.13	2.5	0.04	0.4	0.015	0.1
	g I-TEQ /anno		(fg I-TEQ/m ³)			
ΣPCDD/PCDF	0.54	0.33	131	1293	3	21
	(Mg/anno)		(µg/m ³)			
PTS	14	11	2.6	16.2	1.8	8.2
NO _x	46	153	6.3	33.6		
NO ₂	2	8	2.8	15.9	1.3	6.3
Note:	NO ₂ stimate come 5% di NO _x (il restante 90% considerato NO)					
	IPA: 11 specie dell'autorizzazione AIA					
	Diossine e furani: la somma dei 17 congeneri in I-TEQ					

Una interessante osservazione che emerge dal confronto tra le concentrazioni al suolo (cosiddette ricadute) stimate per le emissioni convogliate delle due acciaierie è che i valori maggiori dei massimi di dominio sono sempre ottenuti per l'acciaieria Valbruna, anche nei casi in cui l'emissione annua della Beltrame è stata calcolata essere maggiore (Pb, Mn, PCB, NO_x).

Questo risultato è ascrivibile alla diversa diluizione dei fumi emessi dalla Beltrame, per la quale una buona quota di emissioni (e nel caso dei microinquinanti tutta l'emissione) è stata modellizzata in uscita dal camino al servizio del forno fusorio che ha un'altezza dal suolo di 40 metri, mentre i camini RAC01 e RAC05 della Valbruna hanno altezza rispettivamente di 20 e 25 metri.

Nella seguente tabella (tab.9) sono riportate le coordinate dei punti di massima ricaduta e le distanze rispetto ai camini del forno dell'acciaieria (E21 per Beltrame, RAC01 per Valbruna).

Tabella 9: Punti di massima ricaduta al suolo e distanza dai camini dell'acciaieria.
(fonti: calcoli ARPAV)

Simulazione	Massima concentrazione media annua	Massima concentrazione media giornaliera	X_UTM (m)	Y_UTM (m)	Distanza da camino forno acciaieria (m)
Valbruna	Cr, Cu, IPA, Mn, Ni, PCB, PCDDF	Cu, Mn, Ni, PCB, PCDDF	695250	5043750	37
	As, Cd, Co	As, Cd, Cr, Co	695000	5044000	383
	NO ₂	NO ₂	695250	5044000	287
		PTS	695500	5044250	591
Beltrame	PTS	PTS	695000	5044000	300
	NO ₂		695000	5043750	53
	As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, IPA, PCB, PCDDF	As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, IPA, PCB, PCDDF	694750	5043750	235
		NO ₂	695250	5043750	274

Nella seguente tabella sono (tab.10) sono riportate la media annue e la massima concentrazione giornaliera calcolate sui 3 punti di monitoraggio: il sito del mezzo mobile ad Altavilla Vicentina e i 2 siti delle stazioni della rete di monitoraggio ARPAV, Ferrovieri e Quartiere Italia.

Tabella 10: Concentrazioni stimate dal modello sui 3 punti di monitoraggio.
(fonte: calcoli ARPAV)

	Concentrazioni stimate dal modello sui punti di monitoraggio											
	(ng/m ³)											
	Media annua						Massima giornaliera					
	Altavilla		Ferrovieri		Quartiere Italia		Altavilla		Ferrovieri		Quartiere Italia	
	Valbruna	Beltrame	Valbruna	Beltrame	Valbruna	Beltrame	Valbruna	Beltrame	Valbruna	Beltrame	Valbruna	Beltrame
As	5.6E-02	6.6E-03	1.5E-02	1.7E-03	5.9E-03	8.0E-04	5.7E-01	5.2E-02	1.0E-01	1.5E-02	5.9E-02	8.9E-03
Cr	5.5E-01	4.3E-02	1.3E-01	1.1E-02	5.3E-02	5.1E-03	4.7E+00	3.5E-01	1.0E+00	9.9E-02	5.4E-01	5.9E-02
Co	3.4E-02	6.6E-03	8.8E-03	1.7E-03	3.5E-03	8.0E-04	3.4E-01	5.2E-02	6.1E-02	1.5E-02	3.5E-02	8.9E-03
Cd	2.2E-02	9.9E-03	5.8E-03	2.5E-03	2.3E-03	1.2E-03	2.3E-01	7.7E-02	4.1E-02	2.2E-02	2.4E-02	1.3E-02
Mn	4.9E-01	1.9E-01	1.2E-01	4.8E-02	4.8E-02	2.3E-02	4.0E+00	1.5E+00	8.8E-01	4.2E-01	4.7E-01	2.5E-01
Ni	4.9E-01	1.4E-02	1.2E-01	3.6E-03	4.8E-02	1.7E-03	4.1E+00	1.2E-01	9.0E-01	3.3E-02	4.9E-01	2.0E-02
Pb	1.7E-01	1.8E-01	4.5E-02	4.6E-02	1.8E-02	2.2E-02	1.7E+00	1.5E+00	2.9E-01	4.2E-01	2.5E-01	1.8E-01
IPA	1.2E-02	4.4E-04	3.1E-03	1.1E-04	1.2E-03	5.3E-05	1.1E-01	3.4E-03	2.1E-02	9.9E-04	1.2E-02	5.8E-04
PCB	1.5E-03	5.0E-03	3.3E-04	1.3E-03	1.4E-04	6.0E-04	1.3E-02	3.9E-02	3.1E-03	1.1E-02	1.3E-03	6.6E-03
	(fg I-TEQ/m ³)											
Σ PCDD/PCDF	5.8E+00	9.1E-01	1.3E+00	2.3E-01	5.3E-01	1.1E-01	5.0E+01	7.1E+00	1.1E+01	2.0E+00	5.1E+00	1.2E+00
	(ug/m ³)											
PM10	2.8E-01	1.7E-01	1.0E-01	4.1E-02	2.9E-02	1.1E-02	1.8E+00	1.0E+00	9.9E-01	2.9E-01	3.2E-01	7.9E-02
NO2	3.6E-01	3.0E-01	1.2E-01	7.0E-02	3.6E-02	3.2E-02	3.0E+00	1.8E+00	1.2E+00	5.5E-01	3.3E-01	3.5E-01

Anche in corrispondenza dei punti di monitoraggio le concentrazioni maggiori sono sempre quelle calcolate per la Valbruna, tranne per i PCB, il piombo, limitatamente alle medie annue su tutti i 3 siti e la massima giornaliera a Ferrovieri e a Quartiere Italia e per l'NO₂ per il singolo caso della media giornaliera a Quartiere Italia.

Un secondo importante commento sui risultati delle stime modellistiche riguarda la diversa entità delle concentrazioni al suolo stimate dal modello e le concentrazioni misurate. Per nessuno degli inquinanti la somma delle concentrazioni al suolo delle due acciaierie raggiunge il valore delle misure, tranne per i PCB per i quali la stima modellistica per Altavilla è di 0.007 ng/m³ rispetto al valore misurato di 0.006 ng/m³.

Per le diossine e i furani la stima modellistica della media annua sul punto di Altavilla raggiunge il 36% del valore medio di tutte le campagne di monitoraggio.

Per tutti gli altri inquinanti e per tutti gli indici statistici (media annua e massimo giornaliero) la stima modellistica si attesta sotto il 15% della misura con valore medio del rapporto tra stima modellistica e misura del 5% (eccezione la massima giornaliera stimata per il cobalto ad Altavilla che raggiunge il 78% della misura).

Nei seguenti grafici si illustrano le concentrazioni giornaliere stimate sul punto di monitoraggio di Altavilla per le 2 acciaierie per ciascun giorno dell'anno 2015, affiancate ai valori dei flussi di massa giornalieri modellizzati, questi ultimi ottenuti sommando le specifiche ore di emissione di ciascuna giornata di calendario secondo i turni e le fermate comunicate dalle ditte.

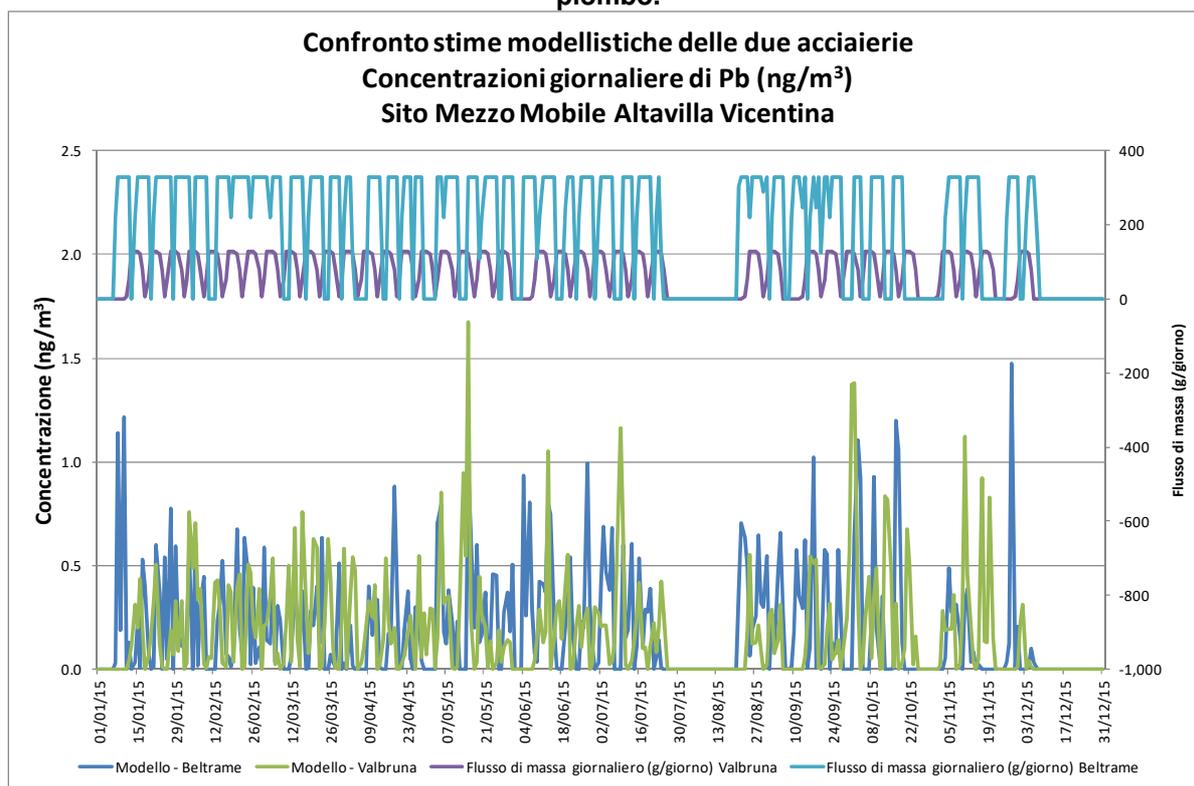
Nell'andamento dei flussi si nota la pausa estiva e quella di inizio e fine anno.

Vengono presentati solo alcuni inquinanti a titolo semplificato.

In particolare, in figura 1, è presentato il caso del piombo per il quale le emissioni convogliate a camino sono state stimate essere maggiori da parte della ditta Beltrame, come si nota anche dagli andamenti dei flussi di massa giornalieri che vanno letti sull'asse verticale secondario del grafico.

Le concentrazioni stimate sul punto del mezzo mobile di Altavilla presentano valori simili per le 2 acciaierie (parte inferiore del grafico e valori sull'asse verticale principale), con un massimo giornaliero di 1.7 ng/m³ per la Valbruna rispetto agli 1.5 ng/m³ per la Beltrame; la media annua è molto simile: 0.17 ng/m³ Valbruna rispetto a 0.18 ng/m³ della Beltrame.

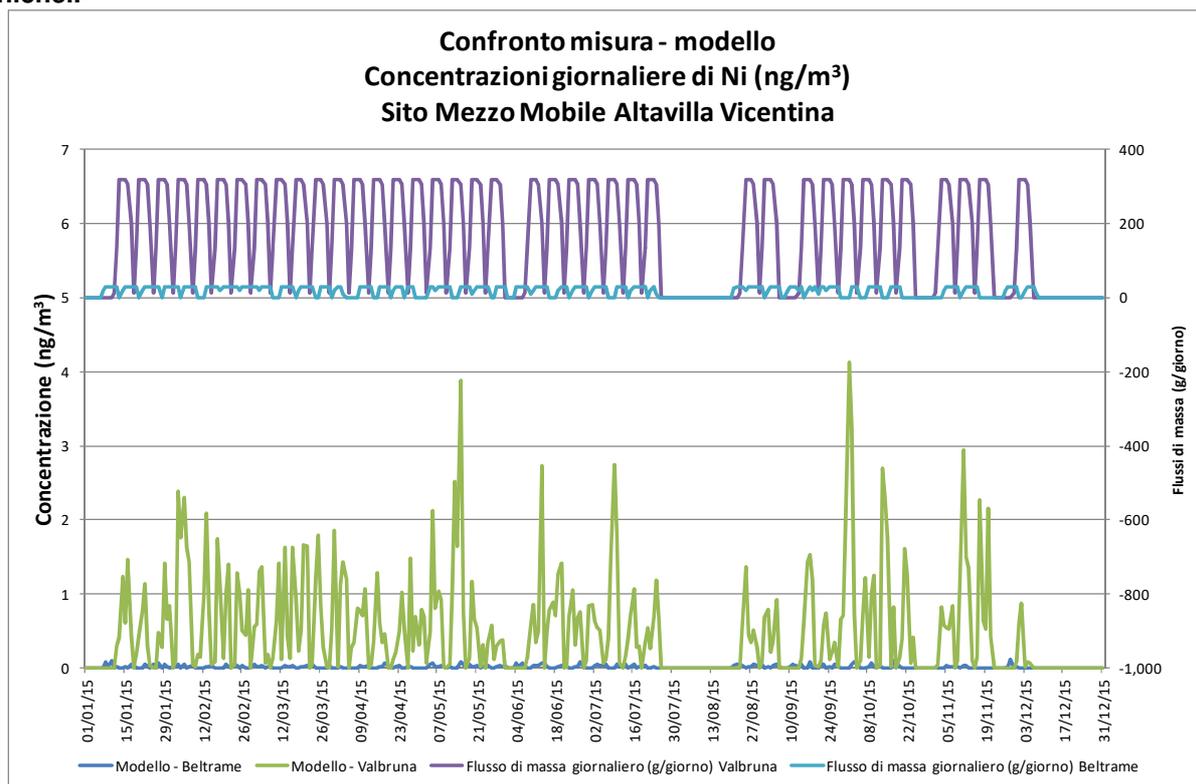
Figura 1. Confronto stime modellistiche delle due acciaierie e flussi di massa giornalieri del piombo.



In figura 2, è presentato il caso del nichel, per il quale le emissioni convogliate a camino maggiori sono state stimate essere quelle della ditta Valbruna.

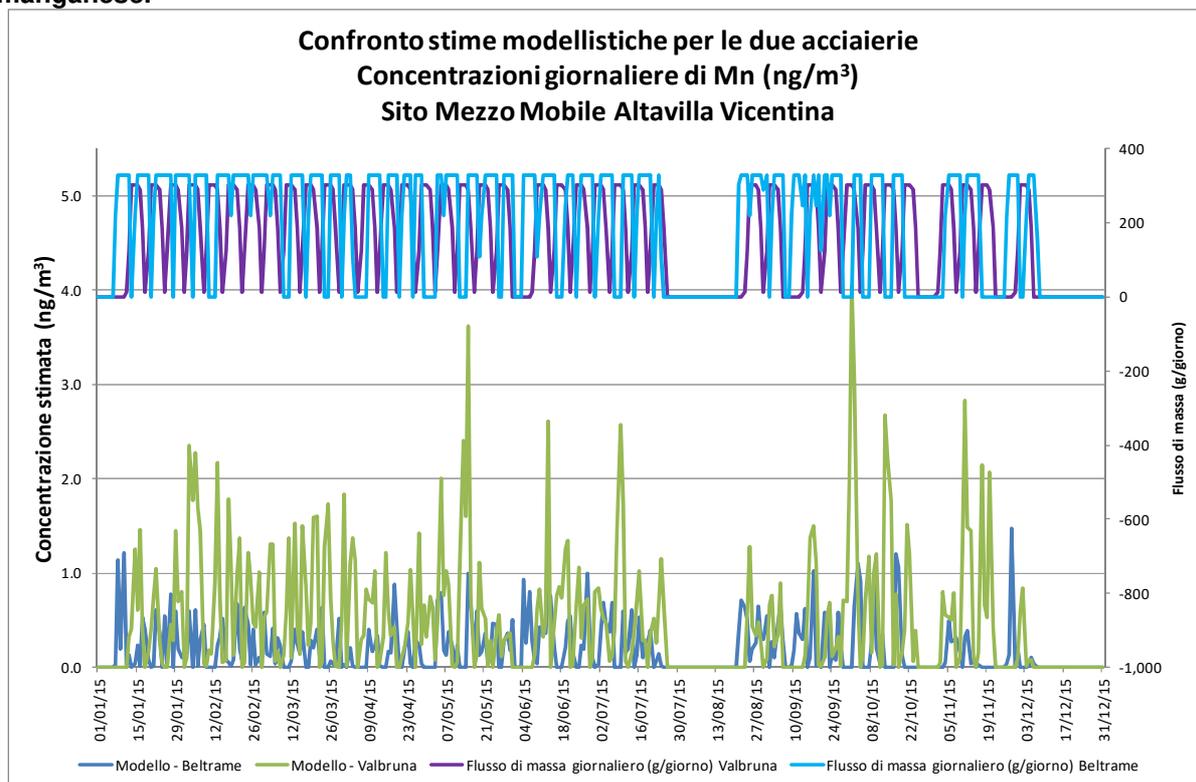
Le concentrazioni stimate sul punto del mezzo mobile di Altavilla presentano valori molto diversi con concentrazioni massime giornaliere fino a 4 ng/m³ per la Valbruna e decimi di ng/m³ per la Beltrame.

Figura 2. Confronto stime modellistiche delle due acciaierie e flussi di massa giornalieri di nichel.



Ultimo caso presentato (figura 3) quello del manganese, inquinante per il quale sono state stimate emissioni convogliate simili per le due aziende. Nonostante i flussi di massa giornalieri leggermente maggiori per Beltrame, sono le concentrazioni al suolo della Valbruna a far stimare concentrazioni maggiori al suolo.

Figura 3. Confronto stime modellistiche delle due acciaierie e flussi di massa giornalieri di manganese.



Nei seguenti grafici si propone un confronto tra le concentrazioni misurate e stimate dal modello.

In aggiunta alle serie di dati dei grafici precedenti è stata inserita quella delle concentrazioni misurate, con valori da leggersi sull'asse principale e dunque nella stessa scala delle stime modellistiche. La finestra temporale del confronto, in questo caso, è da marzo a dicembre 2015, periodo per il quale sono disponibili sia i risultati delle campagne di misura che la valutazione modellistica.

In figura 4 è presentato il caso del nichel e in figura 5 quello del cromo.

Figura 4. Confronto misure – stime modellistiche per le due acciaierie e flussi di massa giornalieri di nichel.

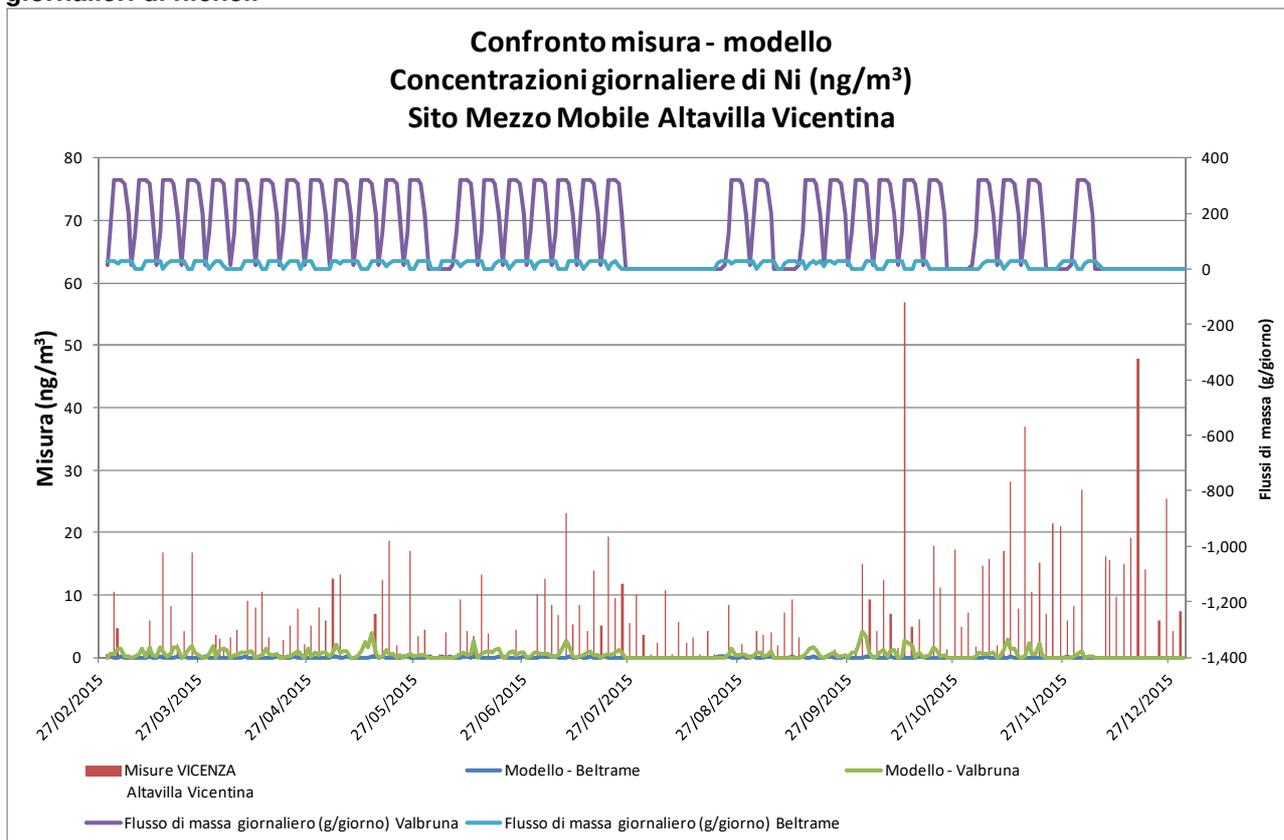
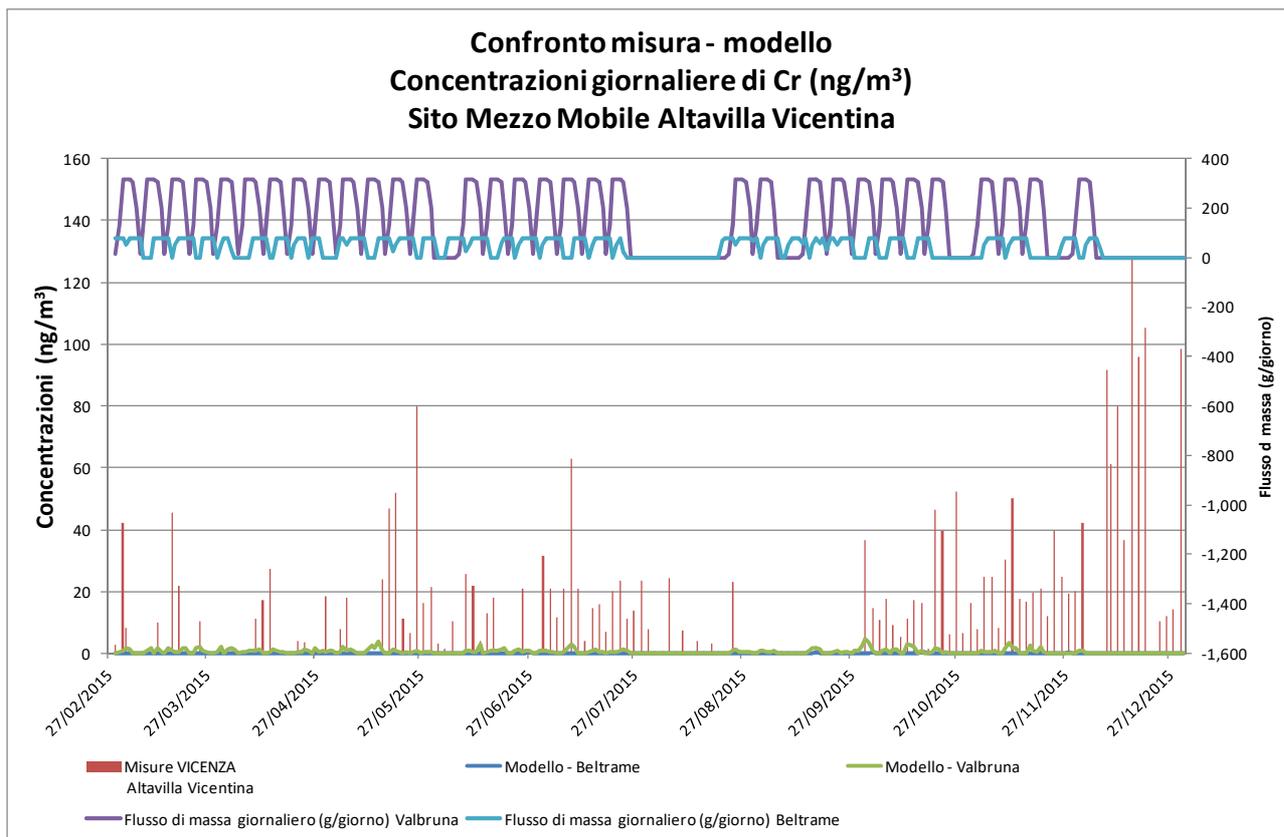


Figura 5. Confronto stime modellistiche delle due acciaierie e flussi di massa giornalieri di cromo.



Utilizzando il fondo scala delle concentrazioni misurate i valori delle stime modellistiche sono appena percettibili.

Interessante similmente notare che durante il periodo di fermata dei reparti di acciaieria non si apprezza un corrispettivo diminuire delle concentrazioni misurate.

Una mancata influenza dell'operatività dell'impianto di fusione rispetto alle concentrazioni misurate è evidente nei seguenti grafici in cui si propone la media delle concentrazioni misurate per giorno della settimana rispetto alla media dei flussi di massa provenienti dall'impianti di fusione delle due ditte (cosiddetto grafico "settimana tipo").

Figura 6. Concentrazioni misurate e flussi di massa medi per giorni della settimana per il manganese.

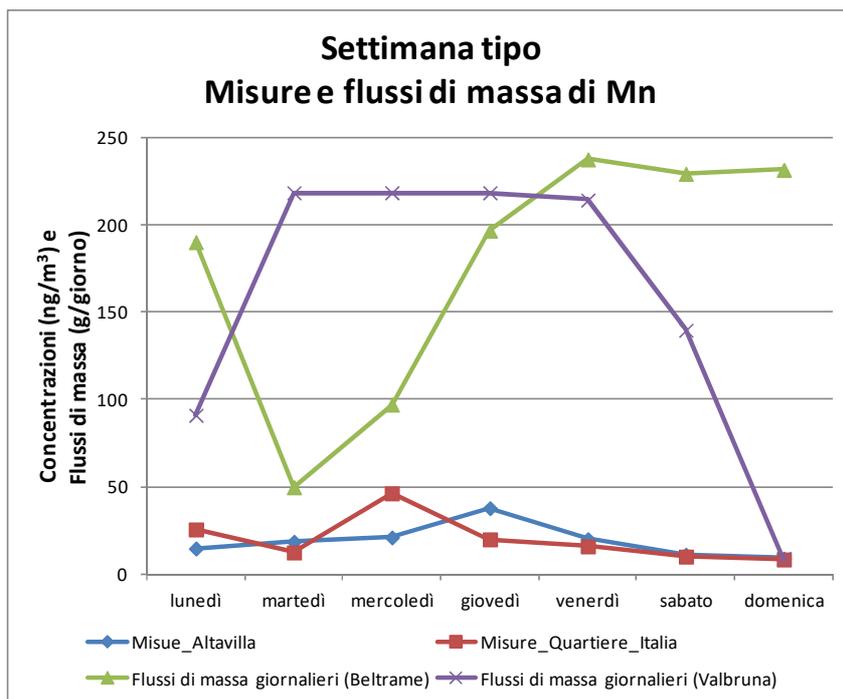


Figura 7. Concentrazioni misurate e flussi di massa medi per giorni della settimana per gli IPA.

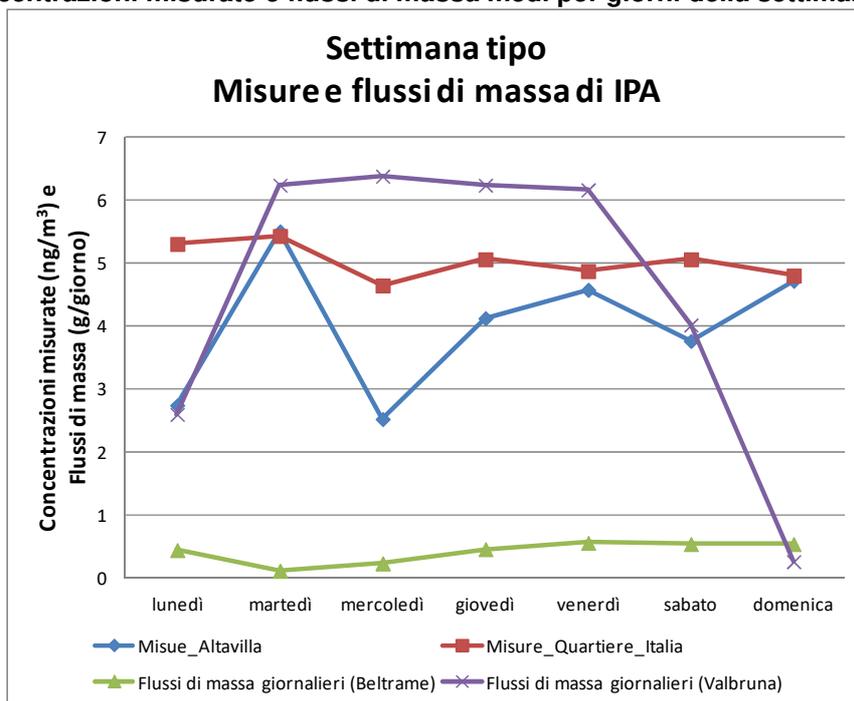
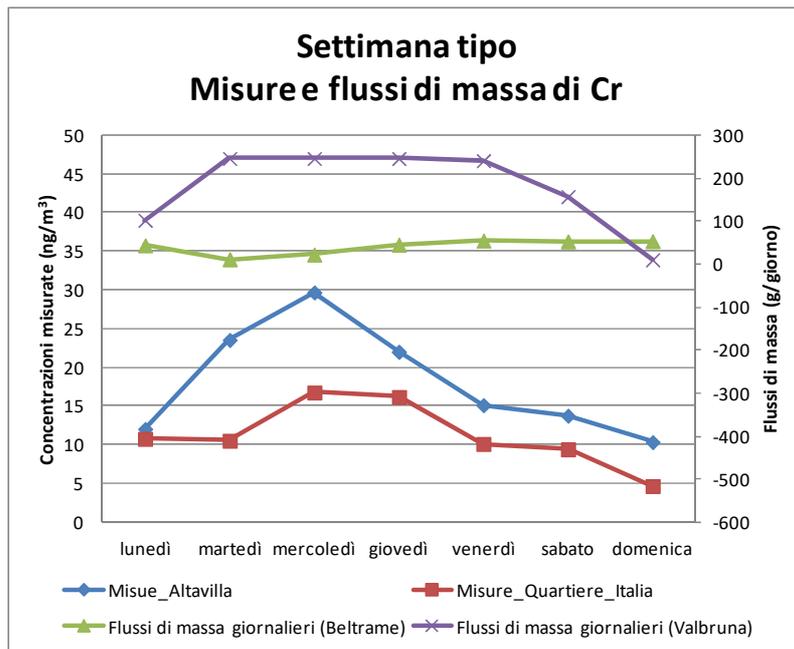


Figura 8. Concentrazioni misurate e flussi di massa medi per giorni della settimana per il cromo.



L'andamento settimanale delle concentrazioni misurate ad Altavilla non risente dei diversi regimi emissivi dei due impianti che invece presentano delle tipiche ciclicità (in particolare la Beltrame ha un fermo di fusione tipicamente il martedì, mentre la Valbruna la domenica). Nel grafico è proposta anche la media delle concentrazioni rilevate a Quartiere Italia come termine di riscontro di un'eventuale prevalere di un fondo emissivo di altra origine.

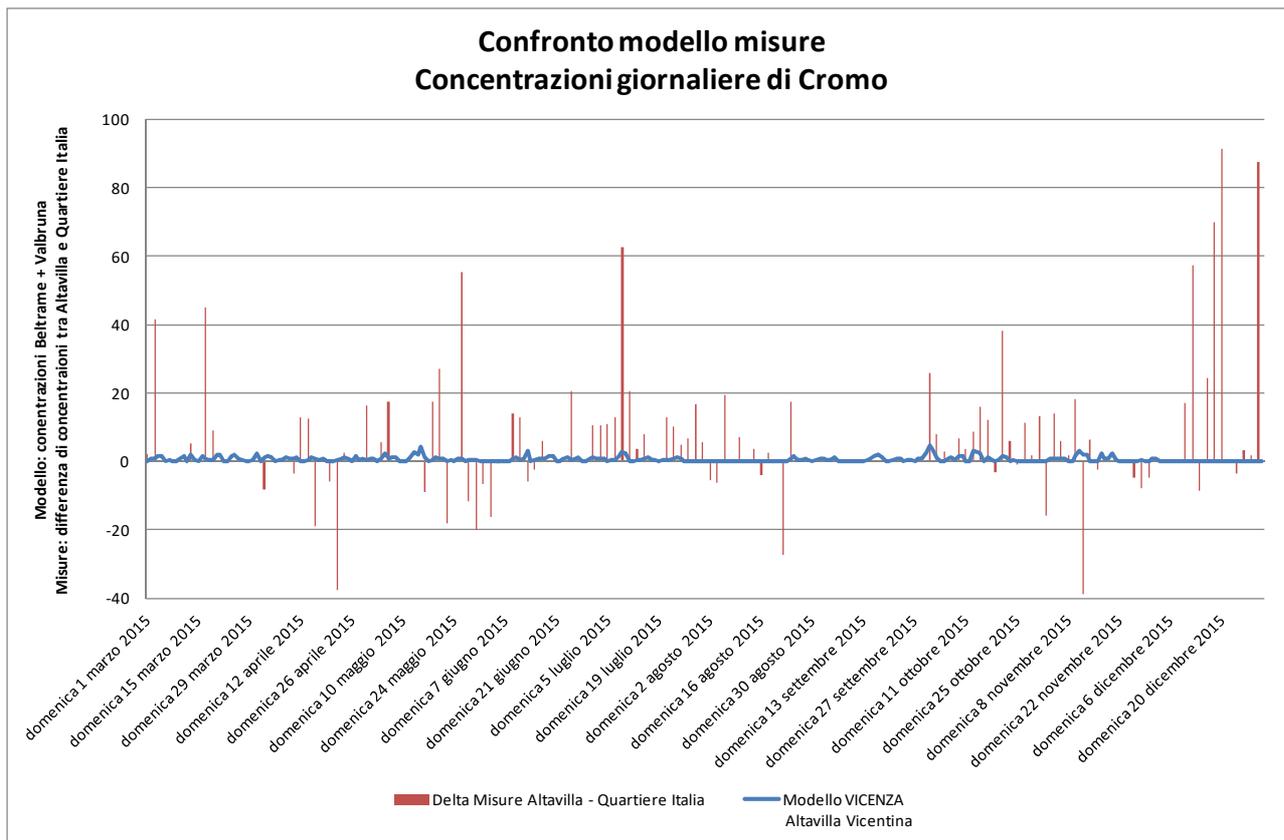
Come ultimo approfondimento relativo al confronto delle stime modellistiche con le misure di concentrazione ambiente, si propone il seguente grafico per il cromo (fig. 9) dove le concentrazioni giornaliere stimate dal modello per il punto di Altavilla come somma di entrambe le acciaierie sono affiancate alla differenza delle misure di Altavilla e Quartiere Italia.

Questo confronto viene svolto nel tentativo di eliminare i valori di fondo del cromo, utilizzando la stazione Quartiere Italia come stazione non influenzata dalle ricadute dirette delle due acciaierie.

Il confronto evidenzia concentrazioni misurate a Quartiere Italia per taluni giorni superiori a quelle misurate ad Altavilla, con un intervallo delle differenze (-39;91) e media 7 ng/m³. Per contro la stima modellistica su Altavilla prevede un intervallo (0;4.7) media 0.5 ng/m³.

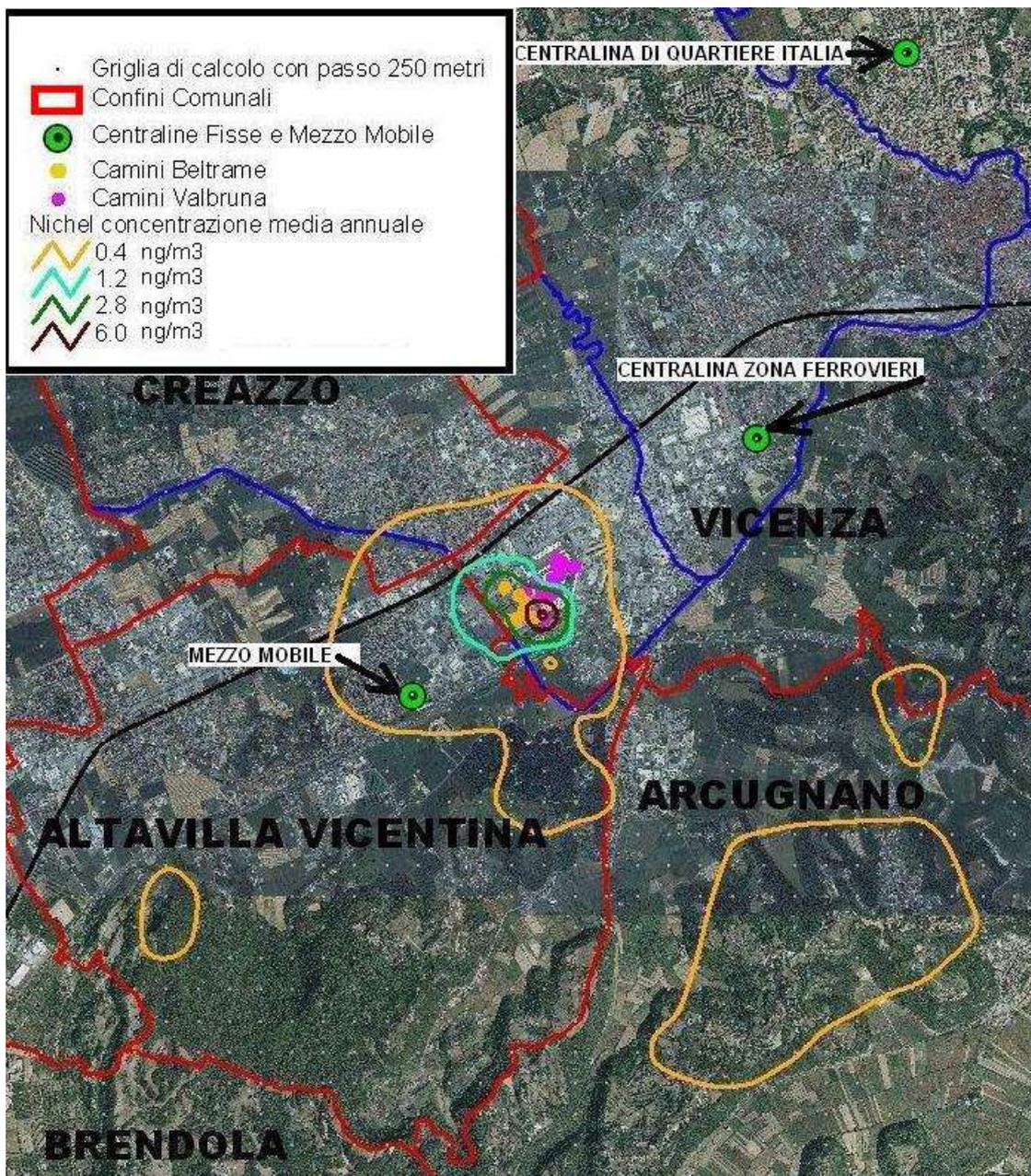
Questo confronto avvalorava la conclusione che le emissioni convogliate stimate per le due acciaierie non sono tali da spiegare l'entità delle concentrazioni misurate ad Altavilla. Simili conclusioni possono essere applicate a tutti gli altri microinquinanti modellizzati.

Figura 9. Confronto concentrazioni stimate e misure di cromo per il sito di Altavilla.

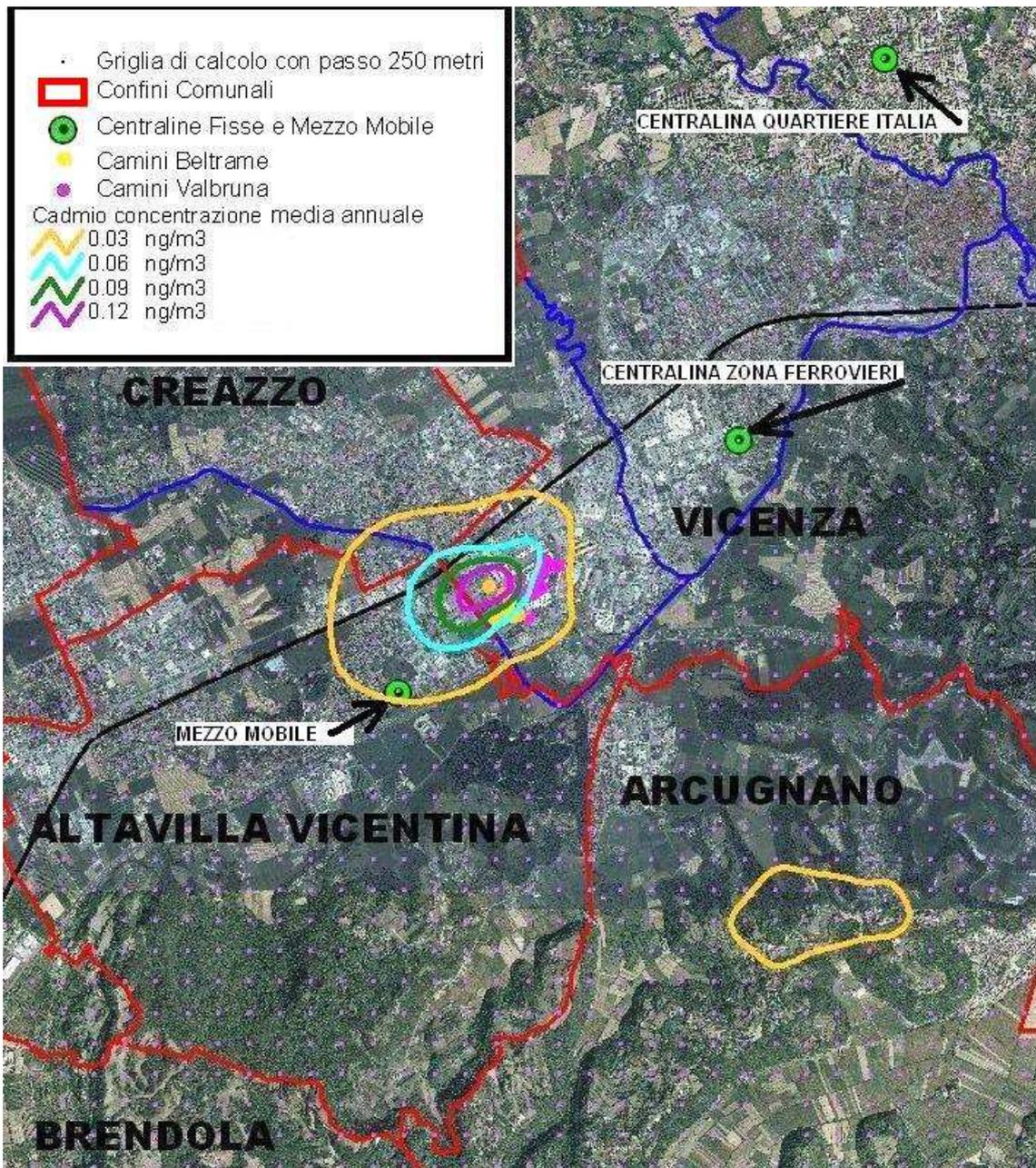


Di seguito si presentano le mappe delle concentrazioni medie annue stimate dal modello componendo i contributi delle due acciaierie.

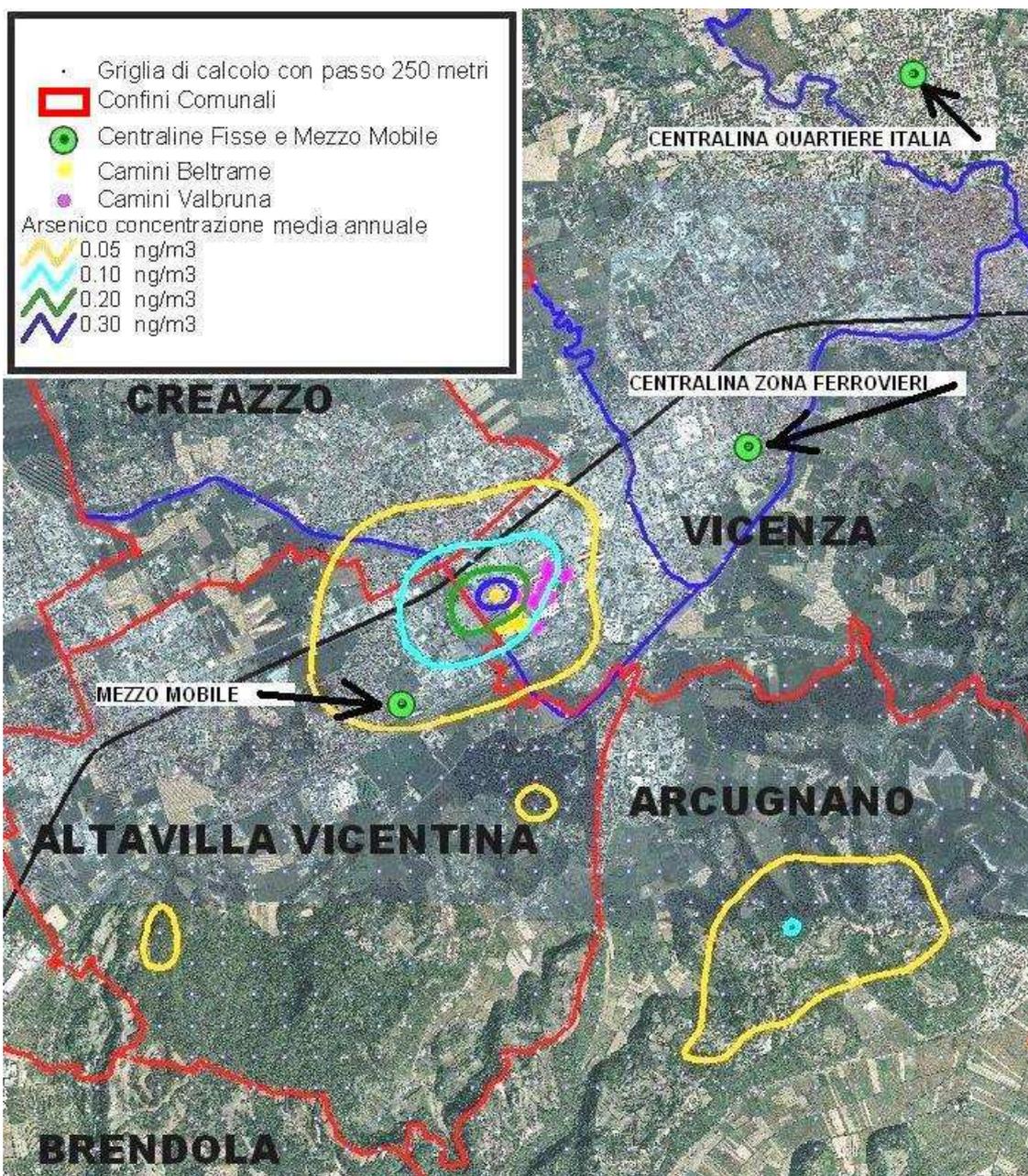
**Figura 10: Concentrazione media annuale di Nichel (in ng/m³)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



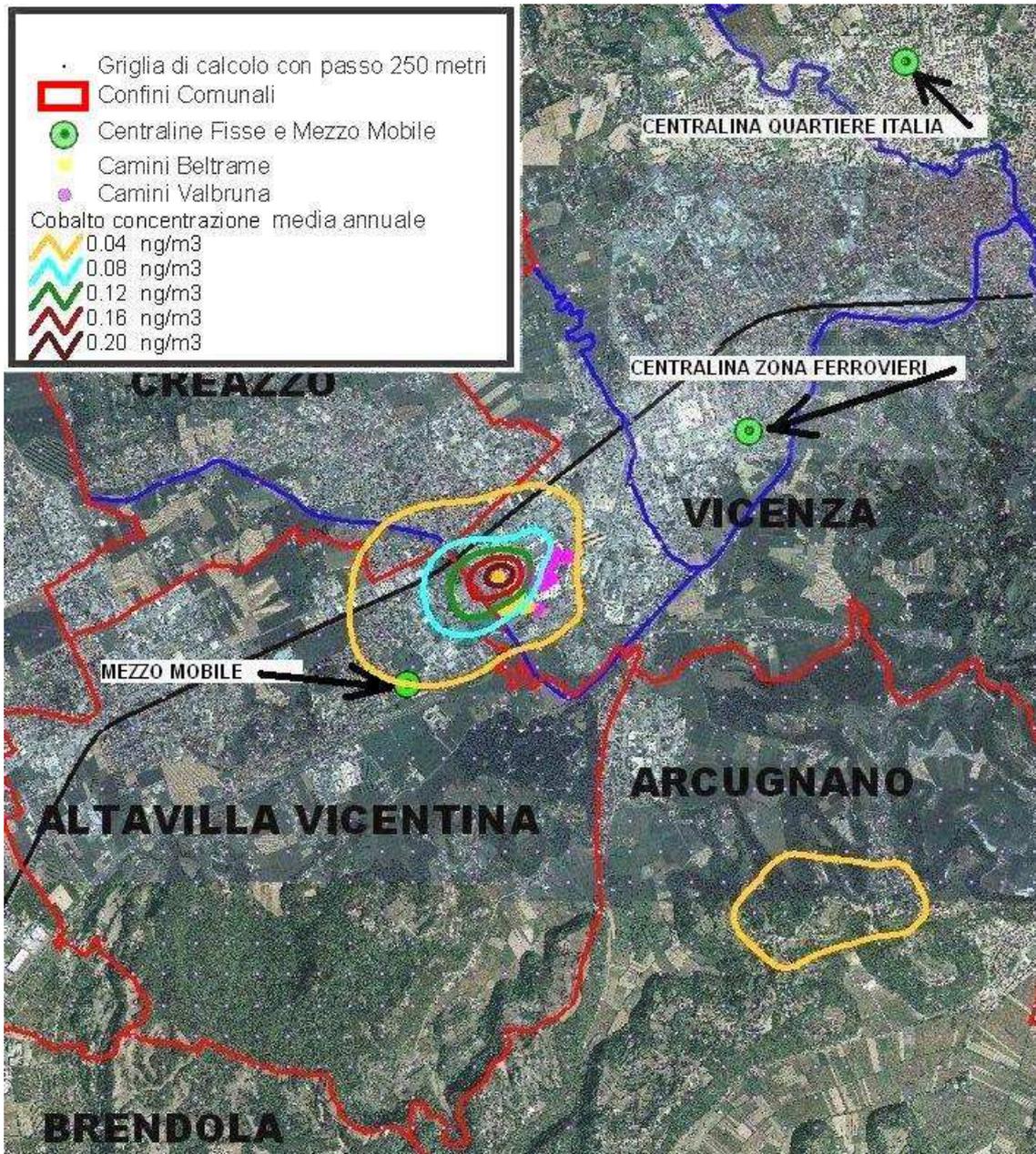
**Figura 11: Concentrazione media annuale di Cadmio (in ng/m³)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



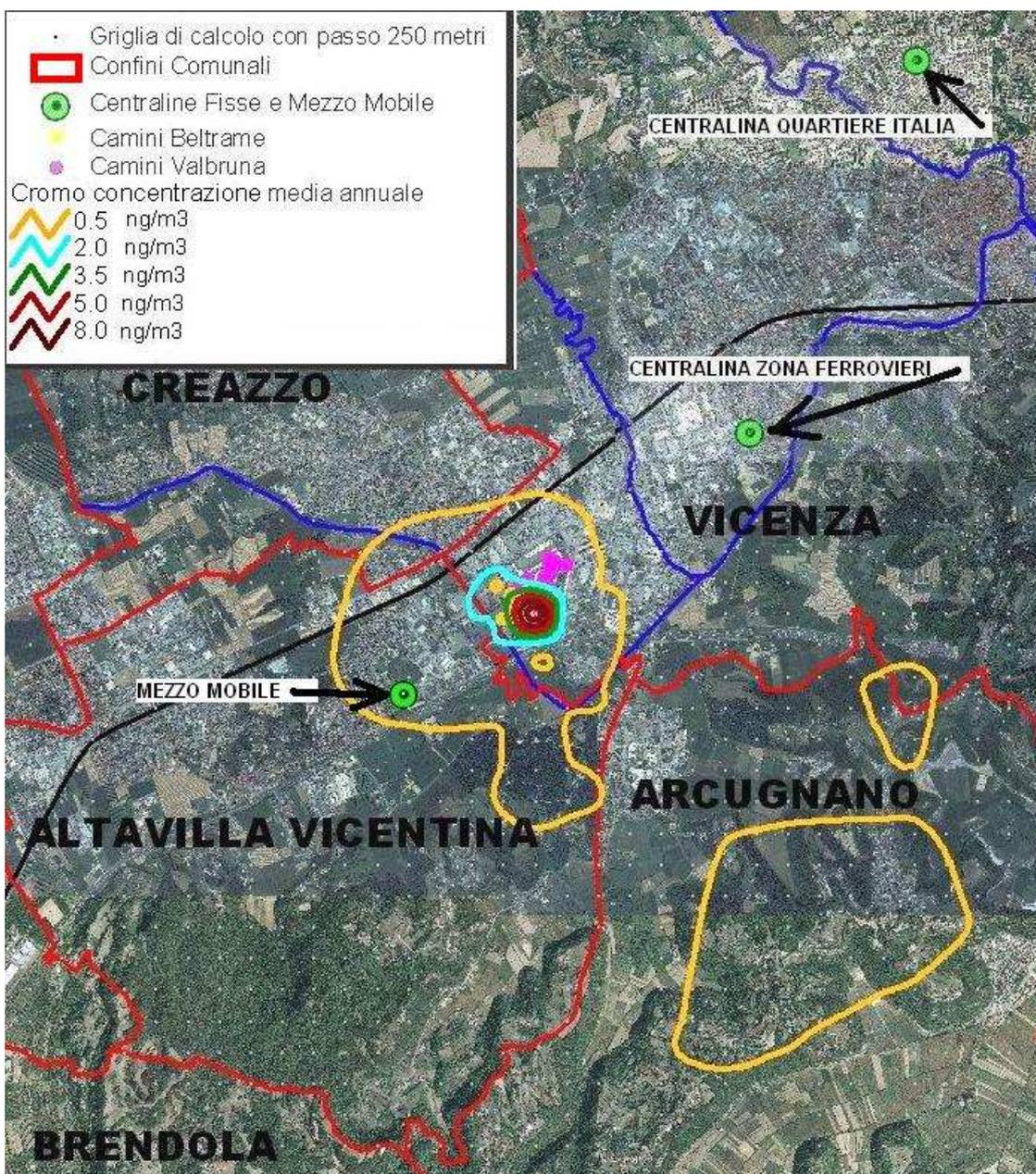
**Figura 12: Concentrazione media annuale di Arsenico (in ng/m³)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



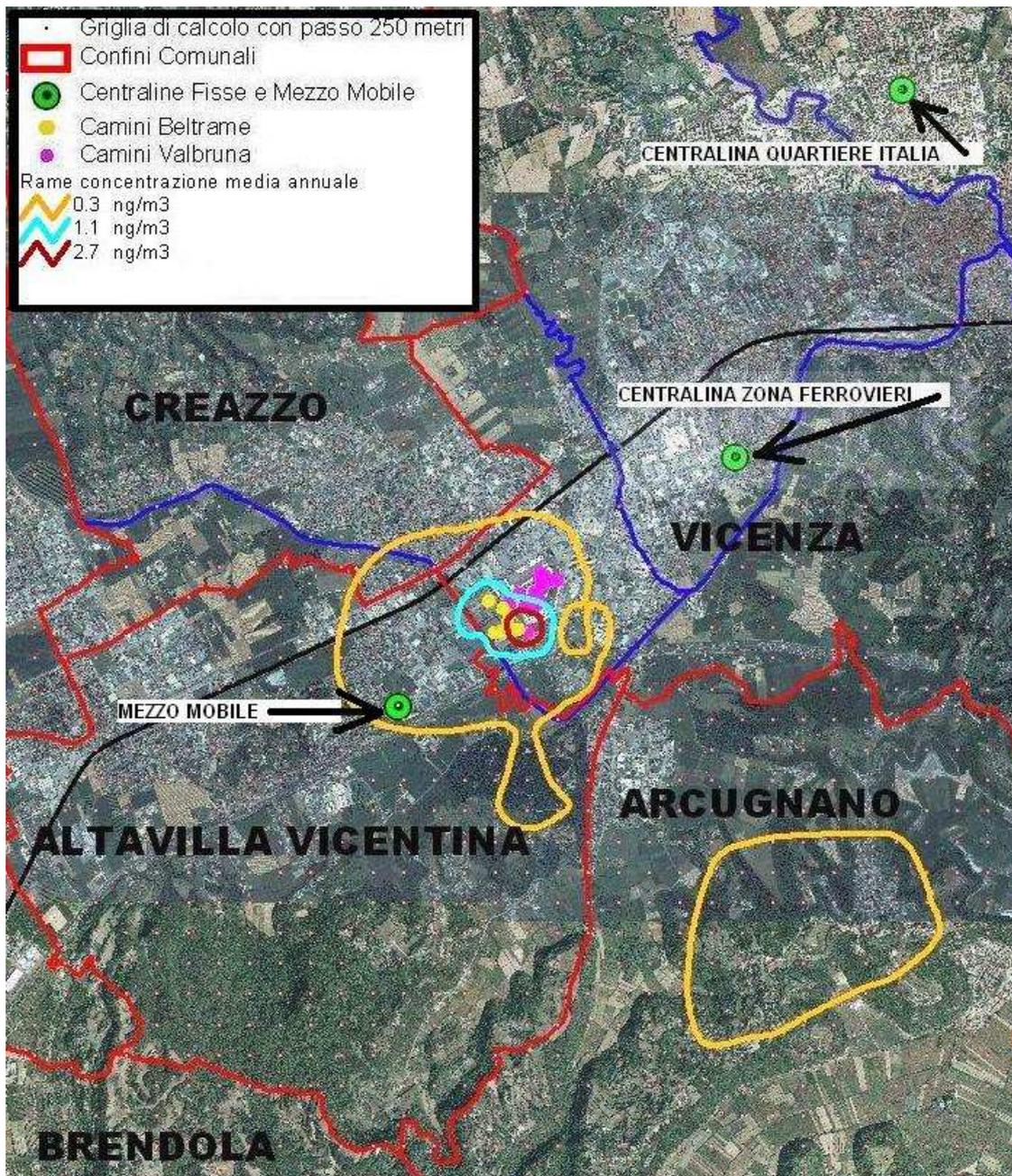
**Figura 13: Concentrazione media annuale di Cobalto (in ng/m³)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



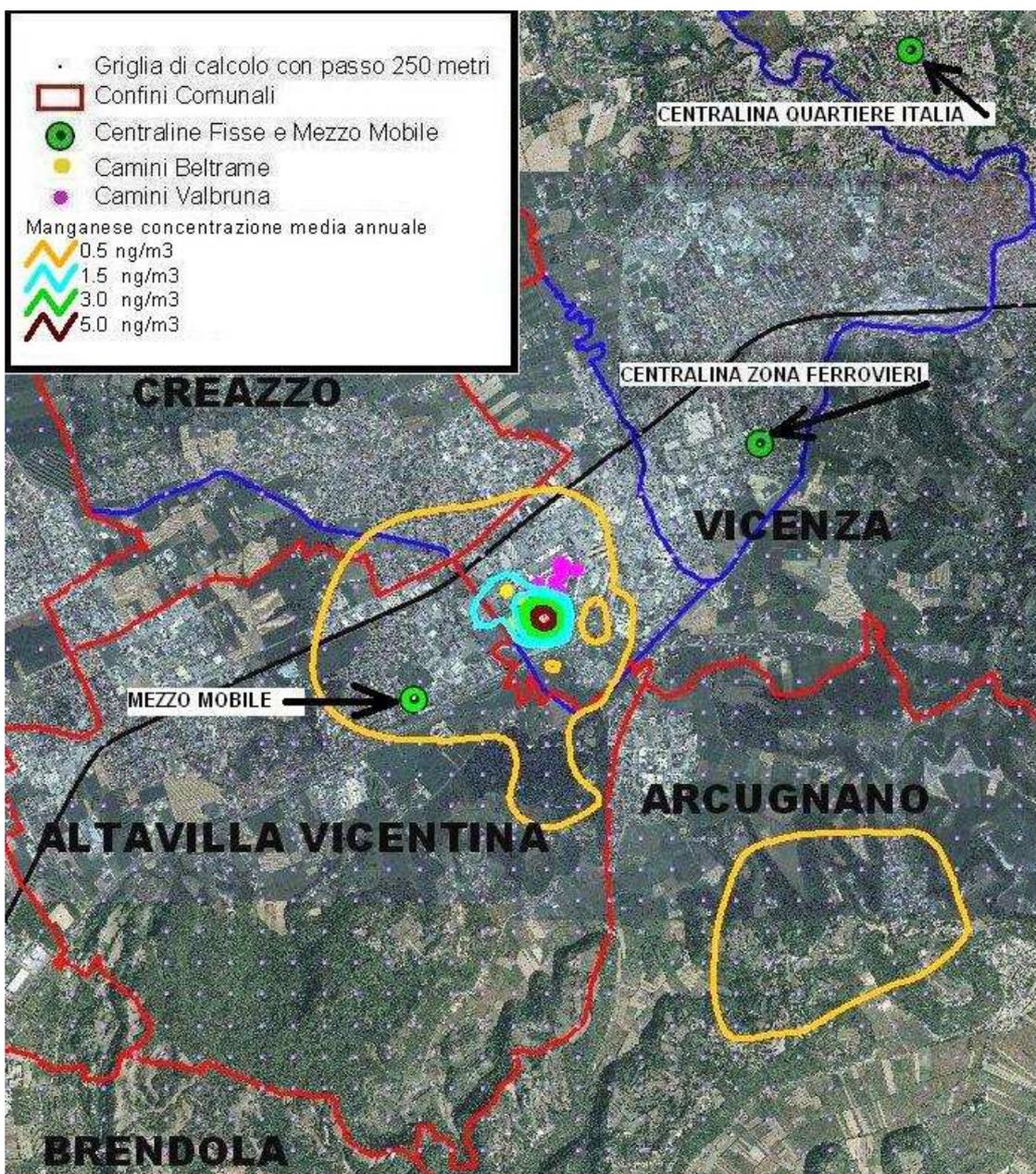
**Figura 14: Concentrazione media annuale di Cromo (in ng/m³)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



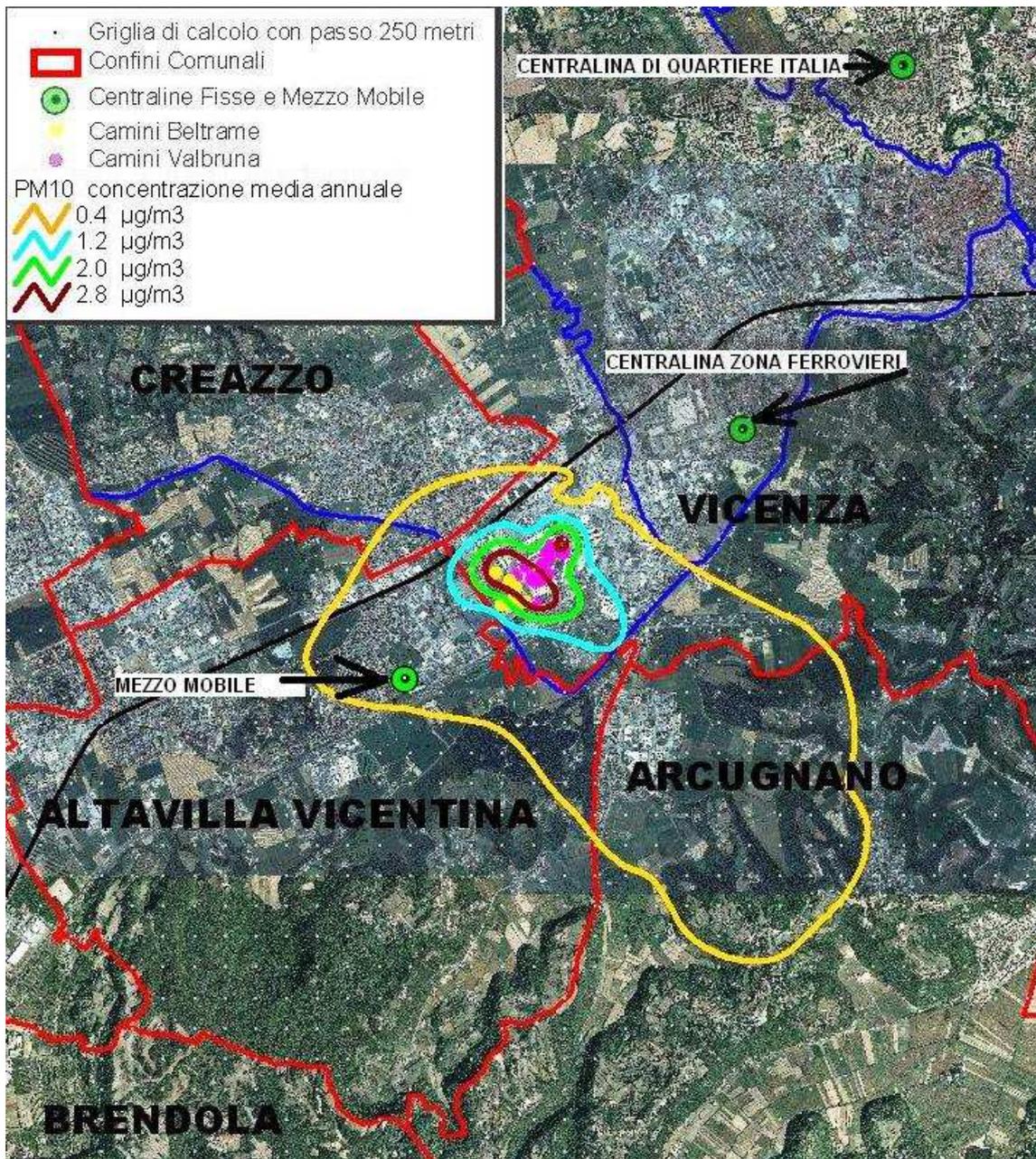
**Figura 15: Concentrazione media annuale di Rame (in ng/m³)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



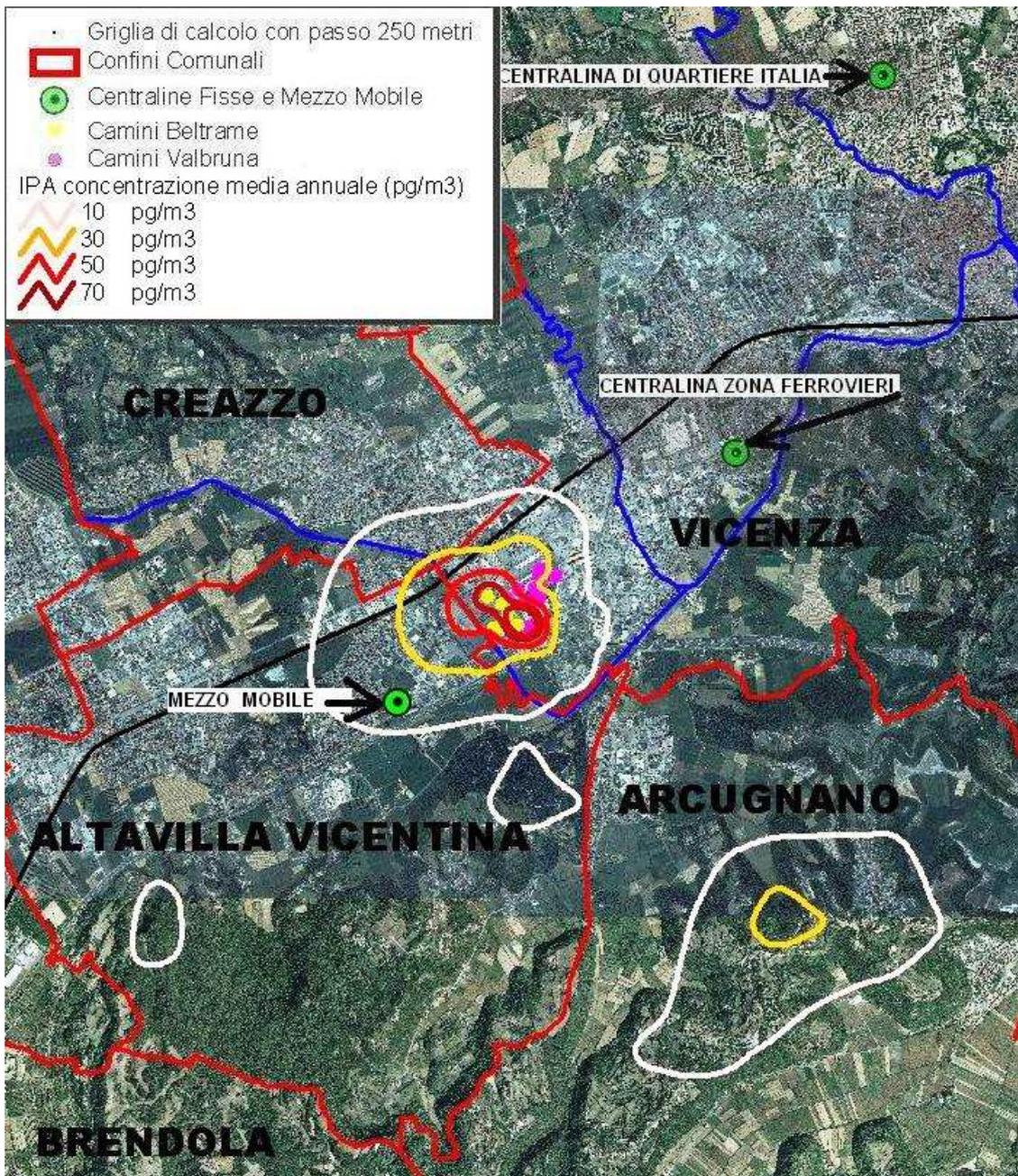
**Figura 16: Concentrazione media annuale di Manganese (in ng/m³)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



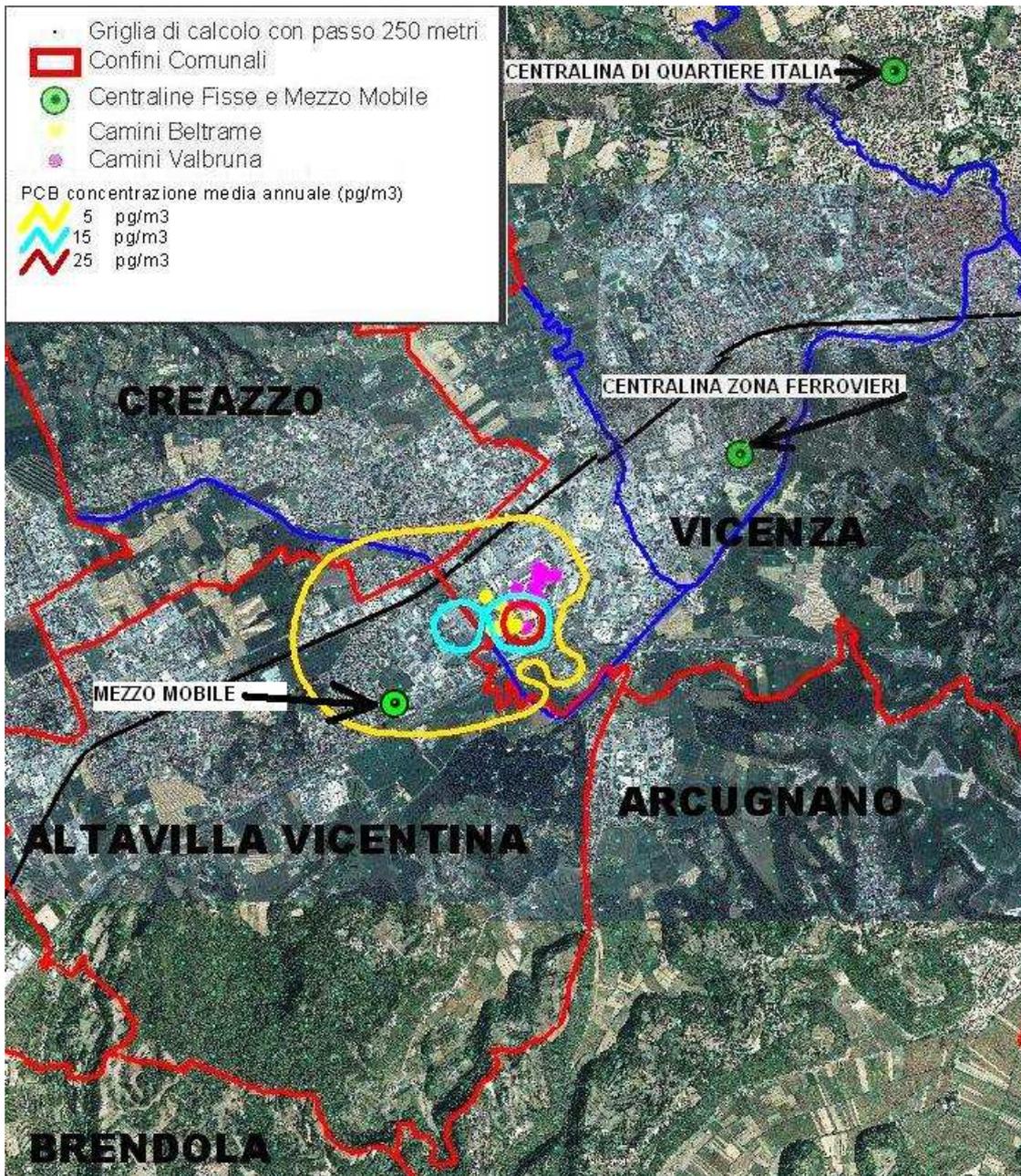
**Figura 17: Concentrazione media annuale di PM10 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



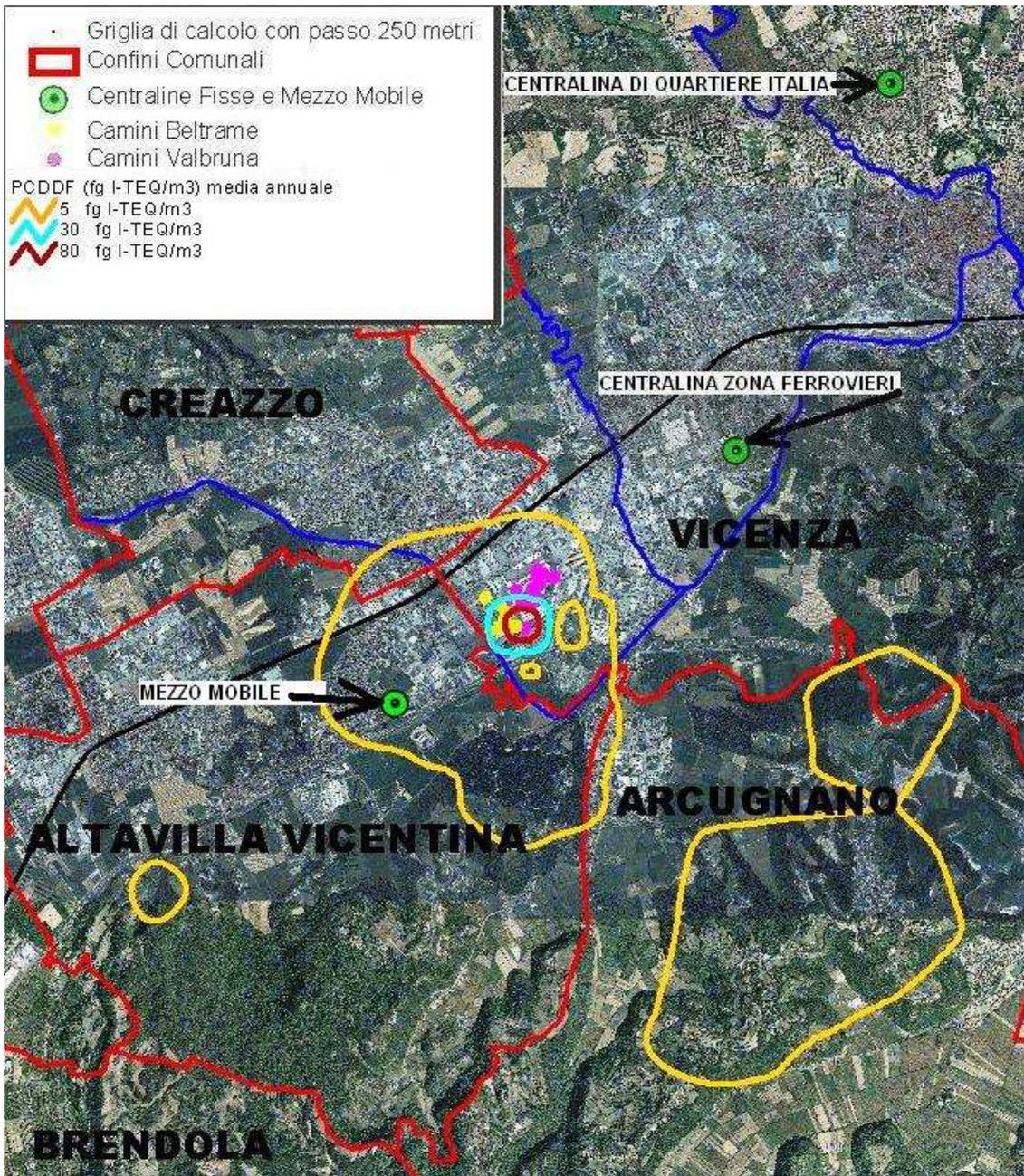
**Figura 18: Concentrazione media annuale di IPA (in pg/m^3)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



**Figura 19: Concentrazione media annuale di PCB (in pg/m^3)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



**Figura 20: Concentrazione media annuale di PCDDF (in fg I-TEQ/m³)
Stime CALPUFF su emissioni convogliate di entrambe le acciaierie.**



Conclusioni

Le emissioni annue ricostruite per le due acciaierie, a partire dalle misure di autocontrollo a camino e dai calendari di lavoro dell'anno 2015, ne ritraggono la diversa impronta emissiva:

- emissioni maggiori di piombo, PCB e ossidi di azoto per la Beltrame;
- emissioni molto simili per polveri, cadmio, manganese, vanadio, diossine e furani;
- emissioni maggiori per la Valbruna per tutti gli altri inquinanti valutati (arsenico, cromo, cobalto, rame, nichel, IPA).

I calcoli modellistici di dispersione, svolti per le sole emissioni convogliate dei camini considerate significative nei rispettivi decreti AIA, stimano massime concentrazioni al suolo maggiori per Valbruna rispetto a Beltrame per tutti gli inquinanti, anche quelli in cui l'emissione annua di Beltrame è stata calcolata essere maggiore.

Questo risultato è dovuto alla diversa diluizione dei fumi emessi dalla Beltrame, per la quale una buona quota di emissioni (e nel caso dei microinquinanti tutta l'emissione) è stata modellizzata in uscita dal camino al servizio del forno fusorio, che ha un'altezza dal suolo di 40 metri, mentre i camini RAC01 e RAC05 di Valbruna hanno altezza rispettivamente di 20 e 25 metri.

Le massime concentrazioni al suolo, sia di breve periodo (medie giornaliere) che di lungo periodo (medie annue), sono stimate avvenire entro i 600 metri dai rispettivi camini dei forni del reparto acciaieria.

Le concentrazioni maggiori calcolate (medie annue e medie giornaliere) della maggior parte degli inquinanti in corrispondenza dei punti di monitoraggio sono dovute a Valbruna. Fanno eccezione (limitatamente alle medie annue) i PCB, il piombo su tutti i 3 siti e la massima giornaliera a Ferrovieri e a Quartiere Italia. Infine per l'NO₂ per il singolo caso della media giornaliera a Quartiere Italia.

Per nessuno degli inquinanti studiati la stima modellistica delle concentrazioni al suolo, ottenuta componendo il contributo delle due ditte, raggiunge il valore delle misure, tranne per i PCB per il sito di Altavilla Vic.na (cfr. Tabella 50 - PCB diossina simili concentrazioni fg/m³ nei due siti per 5 periodi).

Per le diossine e i furani la stima modellistica della media annua sul punto di Altavilla raggiunge il 36% del valore medio di tutte le campagne di monitoraggio.

Per tutti gli altri inquinanti e per tutti gli indici statistici (media annua e massimo giornaliero) la stima modellistica si attesta sotto il 15% della misura con valore medio del rapporto tra stima modellistica e misura del 5% (fatta eccezione la massima giornaliera stimata per il cobalto ad Altavilla che raggiunge il 78% della misura).

Dipartimento Provinciale di Vicenza
Servizio Stato dell' Ambiente
Via L. L. Zamenhof, 353
36100 Vicenza
Italy
Tel. +39 0444 217311
Fax +39 0444 217347
e-mail: dapvi@arpa.veneto.it

Marzo 2017



ARPAV

Agenzia Regionale
per la Prevenzione e
Protezione Ambientale
del Veneto

Direzione Generale

Via Ospedale Civile, 24
35121 Padova

Tel. +39 049 82 39301

Fax. +39 049 66 0966

e-mail urp@arpa.veneto.it

e-mail certificata: protocollo@pec.arpav.it

www.arpa.veneto.it