

Perugia, Italy. April 4-5, 2014

## *14<sup>th</sup> CIRIAF National Congress*

*Energy, Environment and Sustainable Development*

### **Uso integrato di simulazioni modellistiche e tecniche di campionamento attive e passive di aria ambiente per la caratterizzazione dell'inquinamento atmosferico prodotto da un polo industriale nella Provincia di Alessandria**

**Laura Erbetta<sup>1,\*</sup>, Vincenzo Ameglio<sup>1</sup>, Giancarlo Mensi<sup>1</sup>, Cristina Otta<sup>1</sup>, Elena Scagliotti<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> ARPA Piemonte, Via Pio VII n.9 – 10135 Torino, Italy

\* E-Mail: [laura.erbetta@arpa.piemonte.it](mailto:laura.erbetta@arpa.piemonte.it)

---

**Abstract:** Lo studio ha stimato gli impatti di carattere ambientale e sanitario di inquinanti peculiari originati da singole sorgenti industriali e quelli complessivi mediante utilizzo di modellistica di dispersione e tecniche di campionamento differenziate.

**Keywords:** inquinamento atmosferico; studi modellistici; campionamenti attivi; campionamenti passivi; btex.

---

#### **1. Introduzione**

L'area di studio si colloca in una zona di pianura mediamente antropizzata compresa tra le provincie di Asti ed Alessandria per la quale si stima una cattiva qualità dell'aria con superamenti dei limiti annuali/giornalieri di PM10, dei limiti annuali per gli ossidi di azoto e dei livelli di ozono estivo. Tale area vede anche la presenza di una elevata concentrazione di attività industriali ad elevata specializzazione nel settore delle vernici e della smaltatura di cavi elettrici collocate a ridosso del Comune di Quattordio (AL) che conta circa 1600 abitanti. L'area risente dunque, in aggiunta al fondo ambientale già elevato, di contributi aggiuntivi legati alle significative emissioni industriali di COV legati all'uso di solventi, stimate in circa 300t/a dall'inventario regionale delle emissioni, le quali danno luogo ad un inquinamento peculiare non ben quantificato oltre che favorire indirettamente l'aumento delle concentrazioni di ozono estivo e particolato. Scopo dello studio è stato di stimare gli impatti di carattere ambientale e sanitario di inquinanti peculiari con elevata tossicità e bassa soglia odorigena (aldeidi, idrocarburi aromatici, fenolo/cresolo), quindi di stimare il contributo delle sorgenti industriali locali per quanto riguarda gli inquinanti normati (polveri sottili, NOx, SOx, BTX) e

confrontare i livelli stimati e misurati con i limiti fissati per la qualità dell'aria, infine di verificare l'affidabilità del modello di dispersione utilizzato mediante post-validazione.

**Figura 1.** Il Comune di Quattordio con la sua zona industriale.



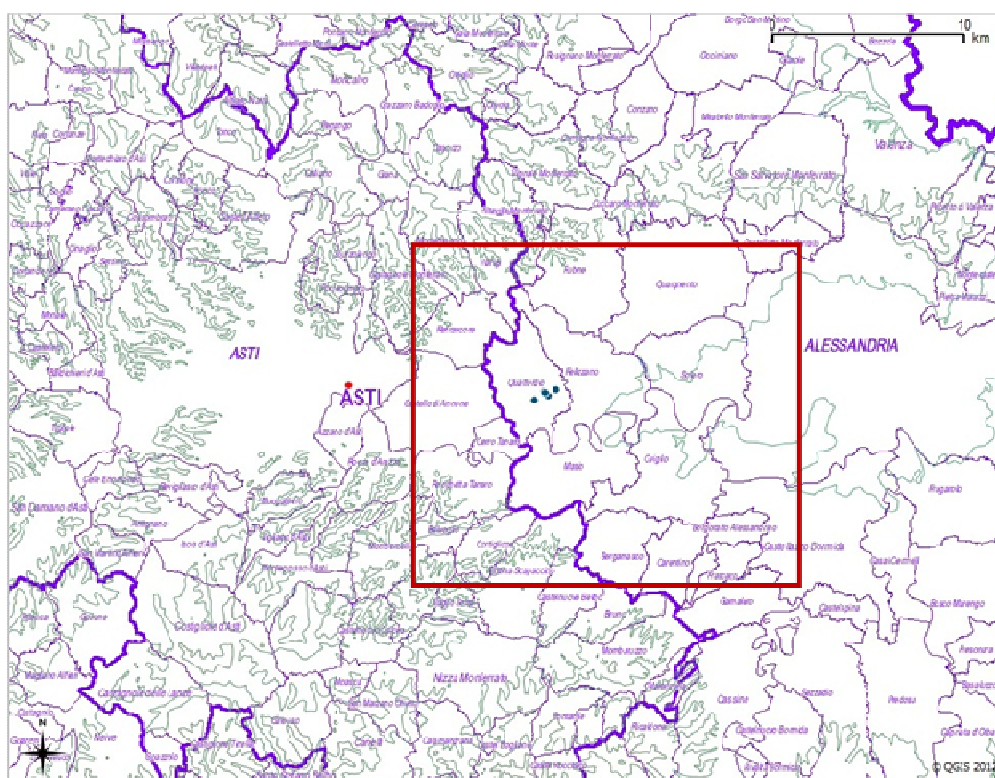
## 2. Simulazione modellistica

Allo scopo di caratterizzare le emissioni e gli impatti in termini di ricadute delle singole aziende e del polo industriale nel suo complesso, è stato necessario modellizzare le emissioni delle singole aziende considerando sia le emissioni di inquinanti peculiari sia quelle di inquinanti ubiquitari. L'uso di un modello di dispersione di tipo gaussiano come valutazione di screening ha permesso di quantificare l'impatto emissivo dell'area industriale e le potenziali aree di ricaduta sul territorio circostante al fine di pianificare interventi mirati di monitoraggio a breve/medio termine più avanti illustrati nel dettaglio.

L'area geografica considerata nello studio modellistico è rappresentata da un dominio di 17x14Km centrato sulla posizione degli impianti industriali considerati, e suddiviso in celle regolari di lato pari a 100 m. L'area è caratterizzata da una zona prevalentemente pianeggiante disegnata dal bacino del fiume Tanaro e coronata a sud-ovest e a nord-ovest dalle colline del Monferrato astigiano e alessandrino, caratteristiche compatibili con utilizzo di un modello di tipo gaussiano con trattazione delle calme di vento. Tale modello utilizza una formulazione gaussiana classica basata sulla parametrizzazione della turbolenza attraverso la definizione delle classi di stabilità atmosferica tramite le classificazioni di Pasquill. [1-2]

I data set meteorologici ed orografici sono forniti da ARPA Piemonte.

**Figura 2.** Inquadramento territoriale ed estensione del dominio di calcolo.



### 2.1. Quadro emissivo

Il polo industriale è costituito da cinque grandi aziende specializzate nella produzione di vernici, adesivi e sigillanti per il settore automobilistico ed industriale, di smalti e resine per conduttori elettrici e nella smaltatura di cavi per telecomunicazioni e di conduttori isolati per avvolgimenti di motori e trasformatori elettrici. Si aggiunge infine una centrale a biomasse a servizio delle utenze residenziali e del polo chimico. Il numero di punti di emissione significativi considerati per ciascuna azienda, intesi come emissioni di tipo convogliato puntuale (camino) secondo quanto riportato nelle autorizzazioni, è di seguito riportato:

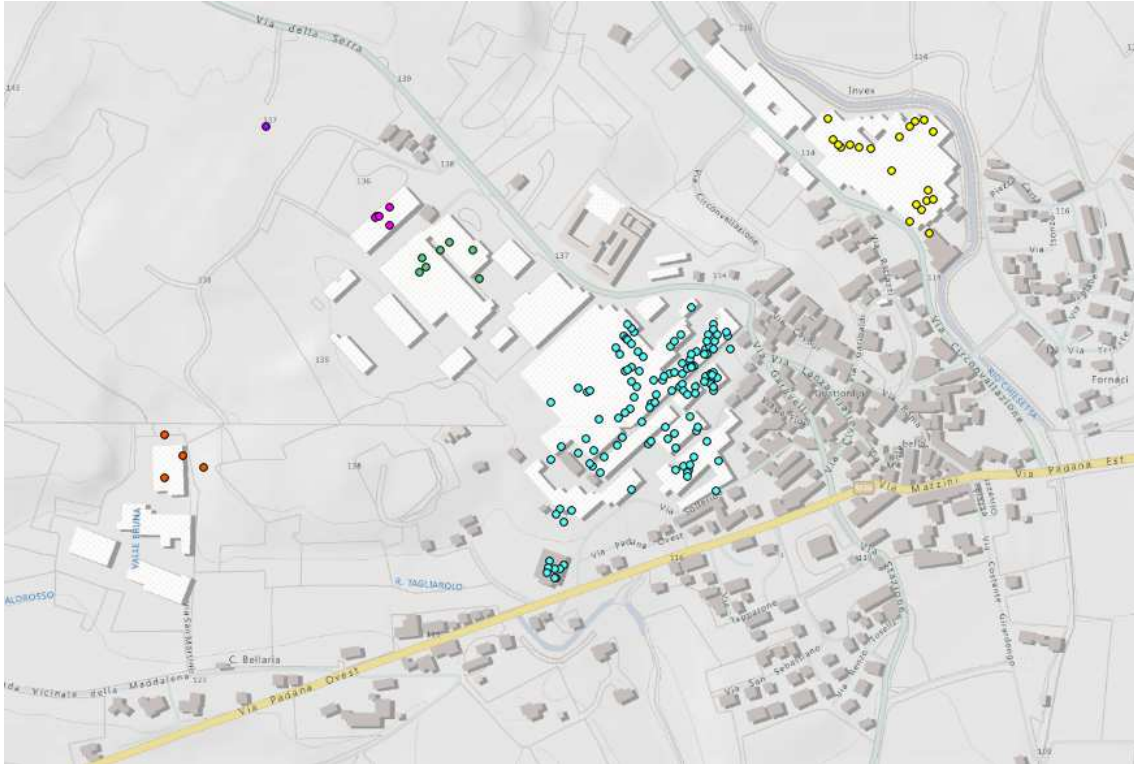
**Tabella 1.** Emissioni convogliate

azienda	N° CAMINI	PRINCIPALI SOSTANZE EMESSE
A1	125	COV, NO <sub>x</sub> , PTS
A2	5	COV, PTS
A3	4	COV, NO <sub>x</sub> , PTS
A4	20	COV, PTS
A5	7	COV, PTS
Centrale biomasse	1	COV, NO <sub>x</sub> , PTS

In via conservativa si sono considerati i flussi di massa autorizzati e si è assunto che le polveri PTS in uscita dai camini fossero tutte della frazione minore PM<sub>10</sub> e che tutti gli NO<sub>x</sub> fossero sotto forma di NO<sub>2</sub>. Per ciascun punto di emissione sono stati inseriti nel modello i seguenti parametri: Coordinate

UTM WGS84, Portata (Nm<sup>3</sup>/h), Temperatura fumi (°C), Altezza camino (m), Diametro camino (m<sup>2</sup>), Velocità di efflusso (m/s), Frequenza Funzionamento (ore/anno), Flusso di massa inquinante (Kg/h).

**Figura 3.** Punti di emissione.

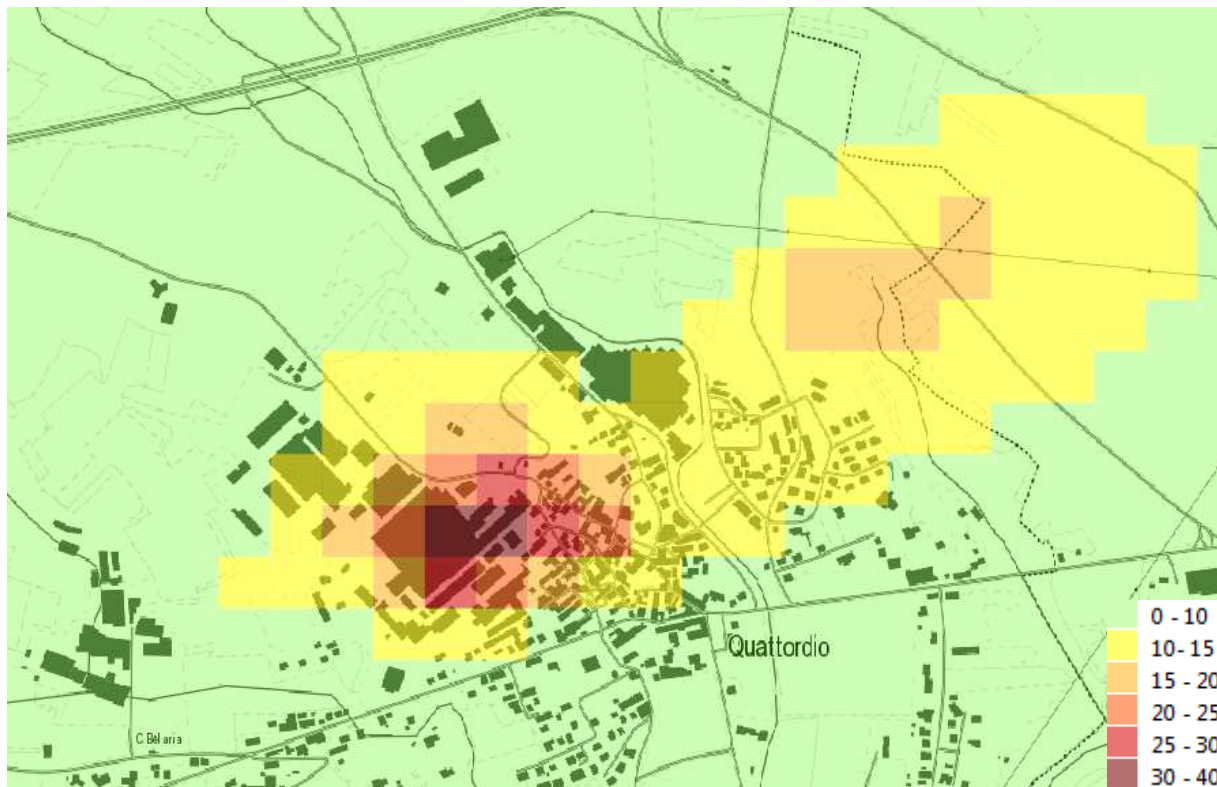


## 2.2. Esiti delle simulazioni

I risultati delle simulazioni evidenziano ricadute significative all'interno dell'area industriale e presso la porzione di centro abitato a questa più vicino. Le ricadute variano inoltre a seconda degli inquinanti emessi e sono influenzate dal notevole dislivello dei vari punti di emissione. Le simulazioni effettuate anche per singole aziende hanno evidenziato che:

- Per quanto riguarda le polveri sottili PM10 la massima ricaduta media annua è di 10.4microgrammi/m<sup>3</sup> e si colloca all'esterno del centro abitato. Il contributo complessivo delle aziende è da ritenersi significativo, dal momento che contribuisce per il 25% del limite annuo pari a 40microgrammi/m<sup>3</sup>; di queste di gran lunga il contributo maggiore è da attribuire ad una sola azienda che da sola emette fino a 8 microgrammi/m<sup>3</sup>. La centrale a biomasse contribuisce in maniera non significativa alle emissioni di polveri.
- Gli ossidi di azoto emessi dalle aziende sono un contributo poco rilevante, pari a circa 1/10 del fondo ambientale presente. Tale contributo si prevede in ulteriore diminuzione grazie alla dismissione di alcune centrali termiche delle aziende.
- Le simulazione di ricaduta di COV indica un grosso apporto di tali insieme di sostanze da parte delle aziende, con una massima ricaduta media annua paria a 38.4microgrammi/m<sup>3</sup>. L'area di maggior ricaduta si situa tra gli stabilimenti ed il centro abitato. Tutte le aziende risultano fornire contributi non trascurabili su classi di sostanze simili (aldeidi e btx).

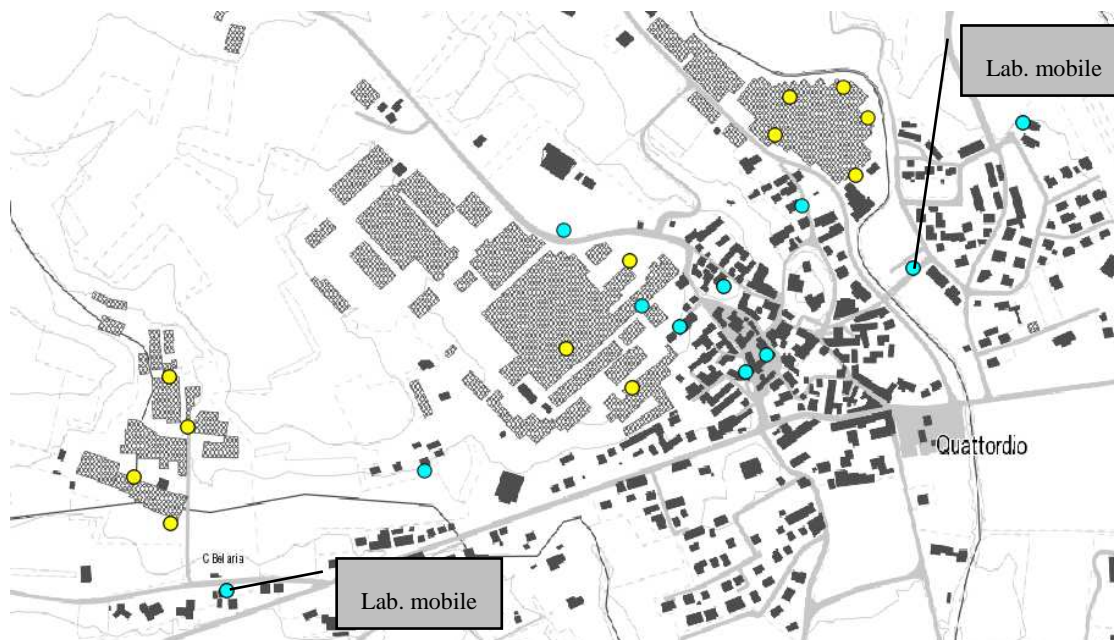
**Figura 4.** Simulazione per COV (microgrammi/m3).



### 3. Monitoraggi

I campionamenti si sono concentrati sulle ricadute di COV emessi da tutte le aziende in varia misura. Le classi di composti peculiari individuati sono aldeidi e idrocarburi aromatici, pertanto si è pianificato un numero punti di campionamento presso le aree industriali e le zone residenziali limitrofe sulla base delle risultanze del modello di ricaduta. Sono state previste due campagne: una estiva e una invernale.

**Figura 5.** Punti di campionamento.



Come mostrato in cartografia, si è ritenuto necessario prevedere campionamenti sia presso ricettori (punti azzurri) che all'interno delle aziende (punti gialli) in modo tale da avere dei risultati correlabili con le attività e le emissioni delle aziende. I campionamenti sono stati eseguiti tutti in ambiente esterno e sono stati sia campionamenti di tipo attivo sulle 24h che passivo su 7giorni. Inoltre in due postazioni rispettivamente sottovento e sopravvento rispetto alle ricadute sono stati posizionati due laboratori mobili per il monitoraggio dei principali contaminanti dell'aria normati ed in particolare dei btex con analizzatore gascromatografico.

### 3.1.Campionamenti attivi

I campionamenti di tipo "attivo" sono stati eseguiti mediante fiale adsorbenti specifiche per ciascun gruppo di inquinanti (aldeidi, btex) in cui viene fatta fluire aria ambiente mediante apposita pompa regolata ad un flusso costante per 24ore. Le attrezzature utilizzate, quali tubi e raccordi, sono realizzate con materiali inerti onde evitare fenomeni di contaminazione dei campioni. Per il campionamento e l'analisi degli inquinanti aerodispersi sono stati utilizzati i metodi elencati nella Tabella 2 che fanno riferimento a metodiche ufficiali di enti nazionali e internazionali di ricerca o alla letteratura scientifica.

**Tabella2.** Metodiche utilizzate per campionamenti attivi

<i>Parametro</i>	<i>Metodo di campionamento</i>	<i>Metodo di analisi</i>
SOSTANZE ORGANICHE VOLATILI	NIOSH 1501: 2003 UNI EN 13649:2002	Analisi quantitativa: UNI EN 13649:2002 U.R.P. M301
		Analisi qualitativa: metodo non normato esterno Ditta Agilent (5988-8631 EN28/01/03 U.R.P.M470
FORMALDEIDE	NIOSH 2016: 2003	NIOSH 2016:2003 – ET.06.2007

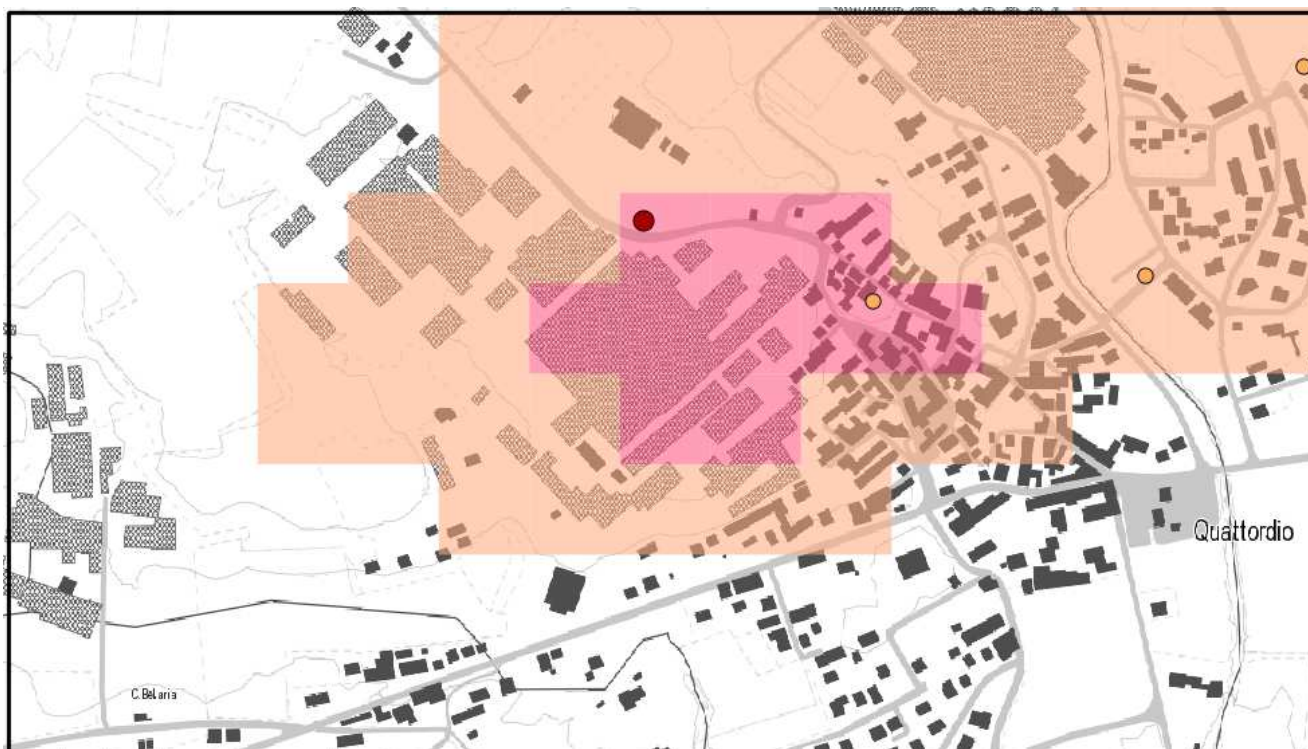
I campionamenti attivi sono stati svolti presso un numero significativo di ricettori distribuiti secondo le indicazioni del modello e ripetuti due volte nell'arco dell'anno (estate e inverno). In tutto sono stati eseguiti i seguenti campionamenti:

- 7 fiale per determinazione di ALDEIDI in 6 punti a Quattordio + 1bianco
- 7 fiale per determinazione di IDROCARBURI AROMATICI in 6 punti a Quattordio + 1bianco
- 2 misure in continuo di BTEX presso i due laboratori mobili

La tabella 3 riassume le classi di sostanze cercate ed i risultati: si evidenziano alcuni valori superiori al fondo dell'area per alcune aldeidi (formaldeide, acetaldeide, propionaldeide, isobutilaldeide) e per gli xileni. In particolare alcuni prelievi attivi hanno evidenziato valori abbastanza elevati di formaldeide in tre postazioni: in questi casi le concentrazioni misurate sono superiori ai livelli indicati dalle Linee guida europee per la qualità dell'aria negli ambienti urbani (20µg/m<sup>3</sup>). Nelle stesse postazioni sono anche stati misurati i valori più elevati di acetaldeide.

Si nota una buona corrispondenza tra i dati più elevati di misura (es. valori di formaldeide > 10 volte il fondo ambientale) e le stime di ricaduta, soprattutto nella zona di centro paese.

**Figura 6.** Valori elevati di formaldeide e zone di ricaduta stimate



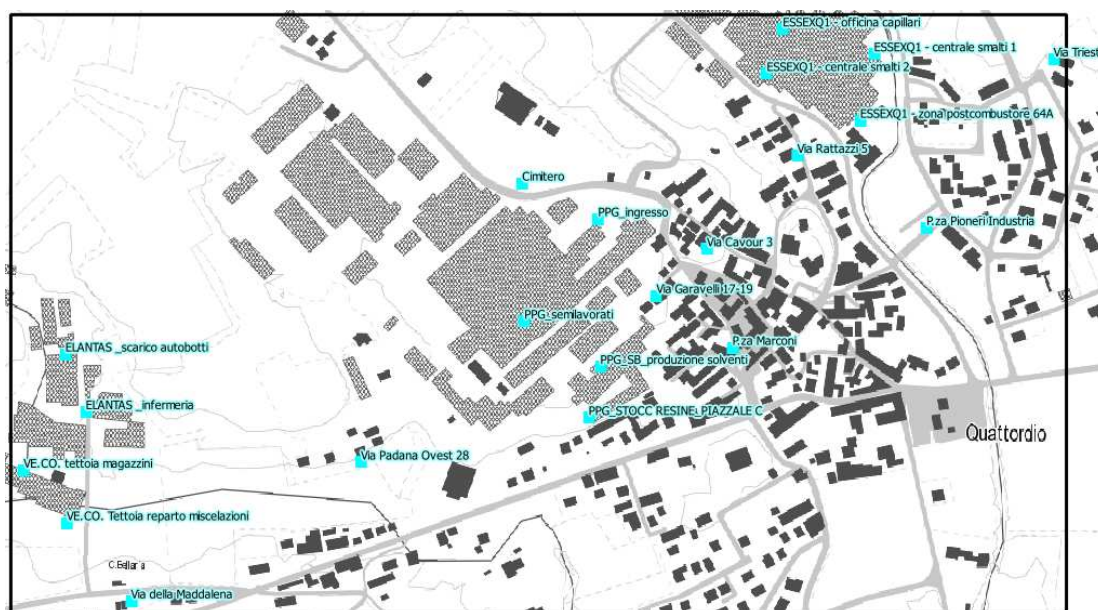
**Tabella3.** Risultati dei campionamenti attivi

ALDEIDI									
N°IDENTIFICATIVO FIALA:		1	2	3	4	5			
N°REGISTRAZIONE CAMPIONE:		58359	58358	58357	58363	58361			
	CAS	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³			
Acetaldeide	75-07-0	18	50	20	64	20	NULLO	12	
Benzaldeide	100-52-7	0,45	2,2	0,85	1,8	< 0,07		0,2	
Buttaldeide + Isobuttaldeide	123-72-8; 78-84-2	< 0,10	< 0,26	3,3	< 0,36	< 0,14		< 0,10	
Crotonaldeide	4170-30-3	< 0,05	< 0,13	< 0,09	< 0,18	< 0,07		< 0,05	
Eptanale	111-71-7	0,10	0,66	0,14	0,40	0,10		0,06	
Esanale	66-25-1	0,24	1,1	0,32	0,76	0,14		0,08	
Formaldeide	50-00-0	4,32	28	4,2	24	4,8		2,6	
Furfurale	98-01-1	0,83	< 0,13	< 0,09	3,1	1,1		< 0,05	
Glutaraldeide	111-30-8	< 0,05	< 0,13	< 0,09	< 0,18	< 0,07		< 0,05	
Isovaleraldeide	590-86-3	< 0,05	0,13	< 0,09	< 0,18	< 0,07		< 0,05	
Propionaldeide	123-38-6	3,91	8,8	1,9	11	2,3		2,0	
Valeraldeide	110-62-3	< 0,05	< 0,13	< 0,09	< 0,18	< 0,07		< 0,05	
SOSTANZE ORGANICHE VOLATILI									
N°IDENTIFICATIVO FIALA:				9	13	10			
N°REGISTRAZIONE CAMPIONE:				58364	58369	58365	58372	58366	58367
	CAS	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
Benzene	71-43-2	2,3	2,6		< 0,60		1,9	2,9	2,4
Toluene	108-88-3	4,3	4,0		< 0,60		3,6	29	4,4
Etilbenzene	100-41-4	2,0	2,1		< 0,60		1,6	2,7	4,0
o,m,p Xileni	1330-20-7	7,8	7,5		< 1,8		6,2	11	14
Stirene	100-42-5	< 0,67	1,8		< 0,60		< 0,60	< 0,60	< 0,60
Isopropilbenzene (cumene)	98-82-8	< 0,67	< 0,88		< 0,60		< 0,60	< 0,60	< 0,60
n-Propilbenzene	103-65-1	< 0,67	< 0,88		< 0,60		< 0,60	0,71	0,75
1,3,5 Trimetilbenzene	25551-13-7	0,67	< 0,88		< 0,60		< 0,60	1,3	1,1
ANALISI QUALITATIVA		Nulla di significativo		Nulla di significativo		Nulla di significativo		Decano	Acetato di butile

### 3.2. Campionamenti passivi

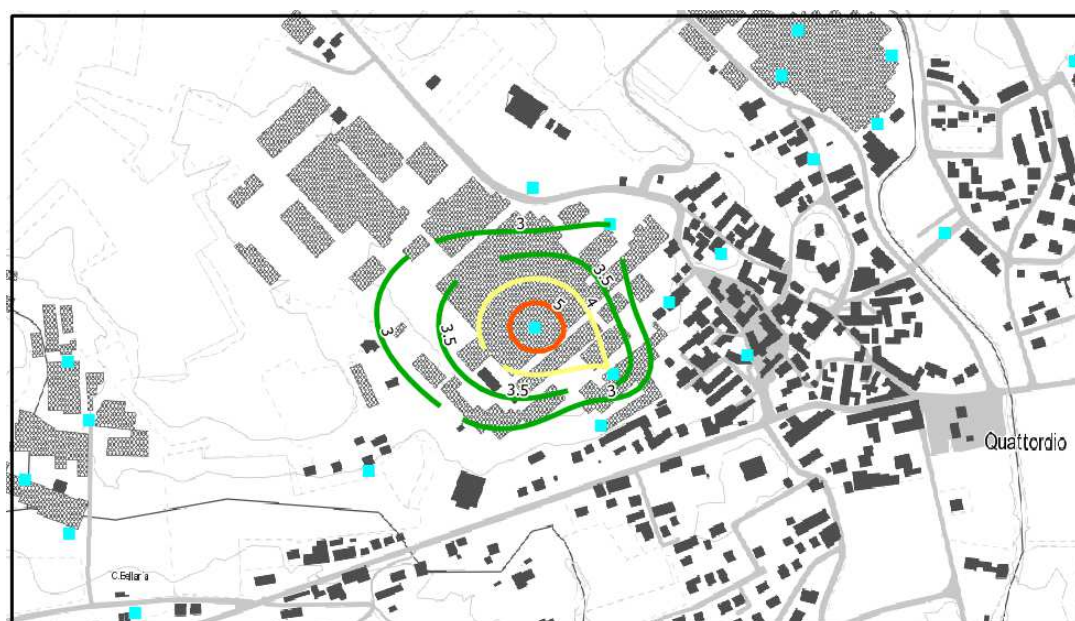
Le misure sono state eseguite mediante campionario passivo con cartuccia adsorbente e successiva analisi quantitativa in GC/MS posizionato in 21 punti più un bianco per una durata di 7 giorni e ripetute due volte nell'arco dell'anno. I campionatori sono stati collocati in ambiente esterno presso ricettori e all'interno del perimetro delle aziende.

**Figura 7.** Punti campionamenti passivi



Le classi di sostanze ricercate sono le stesse dei campionamenti con fiala, ovvero aldeidi ed idrocarburi aromatici. Per quanto riguarda le aldeidi i dati non confermano i valori elevati trovati con le fiale: le concentrazioni sono tutte confrontabili con il fondo ambientale misurato o di poco superiori (3-5 volte) presso le aree circostanti ed interne ad una azienda in particolare.

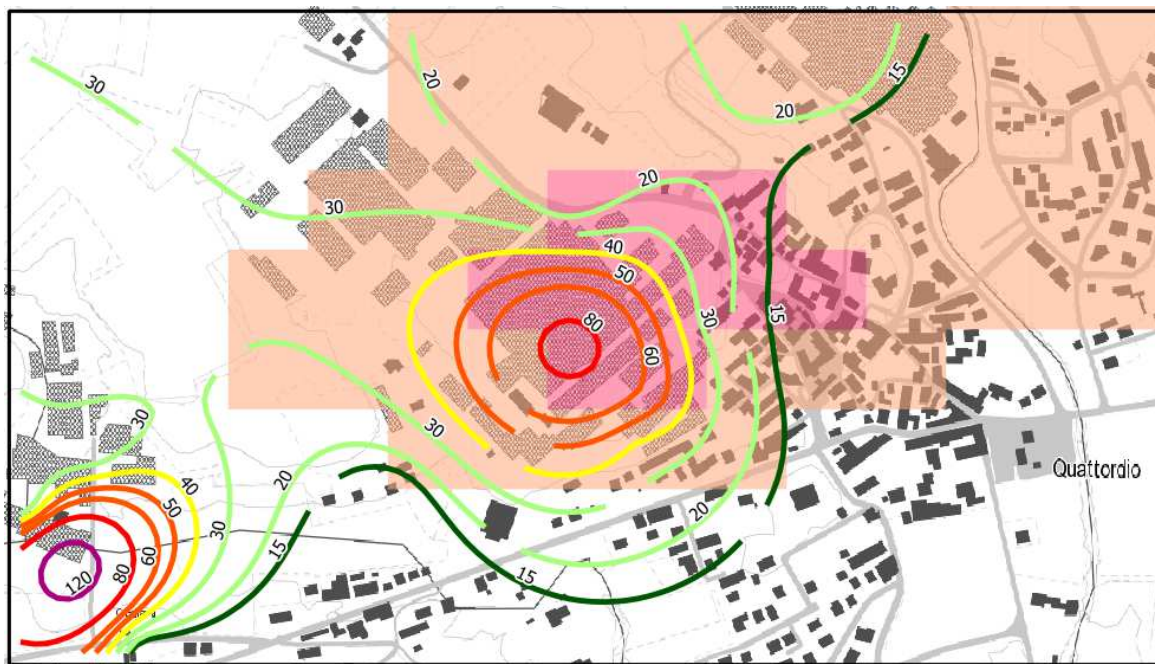
**Figura 8.** Isoplete del rapporto tra concentrazione di isobutilaldeide e livelli di fondo dell'area.



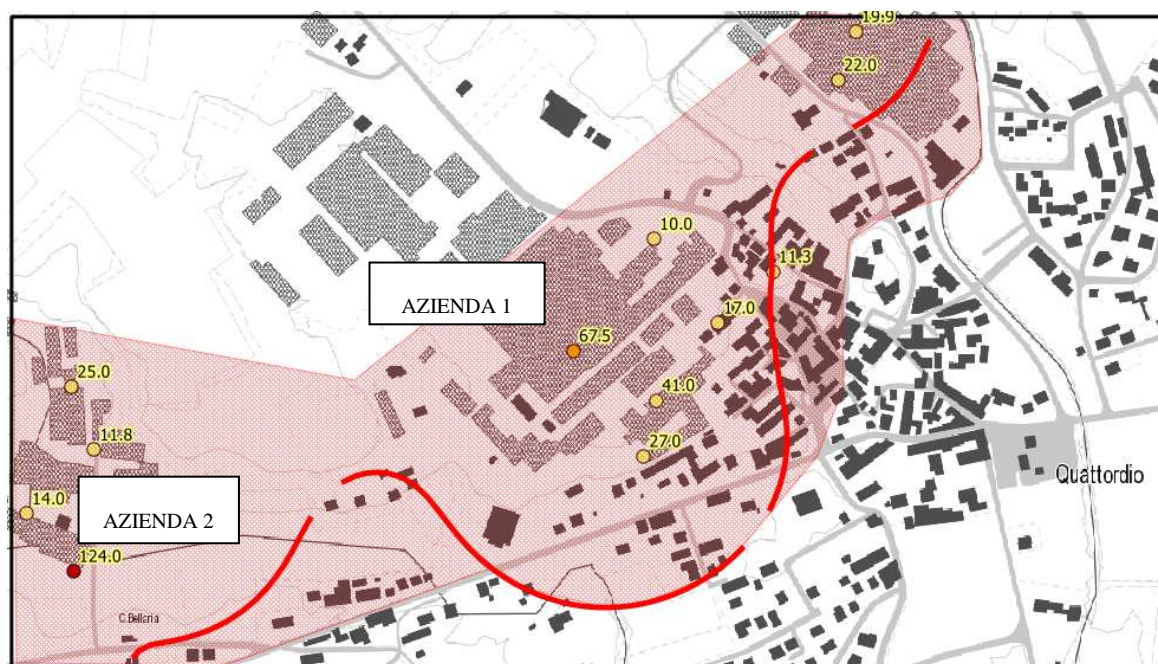


Per quanto riguarda le aldeidi si conferma un moderato contributo legato ad una azienda con interessamento solo di alcune abitazioni sul confine, soprattutto per quanto riguarda butilaldeide + isobutilaldeide. Per quanti riguarda invece gli idrocarburi aromatici si evidenziano concentrazioni sensibilmente più elevate del fondo di xileni ed etilbenzene sia nell'area di ricaduta indicata dal modello sia in un'area (in basso a sinistra in cartografia) dove ci si attendeva livelli di fondo per tali sostanze. Tale inquinamento risulta esteso a diverse zone residenziali, ivi compresa la scuola del paese.

**Figura 9.** Isoplete del rapporto tra concentrazione di xileni e livelli di fondo dell'area e confronto con stime di ricaduta.



**Figura 10.** Aziende con emissioni elevate di xileni (punti con concentrazioni) ed area abitata interessata da concentrazioni 10 volte superiori al fondo.

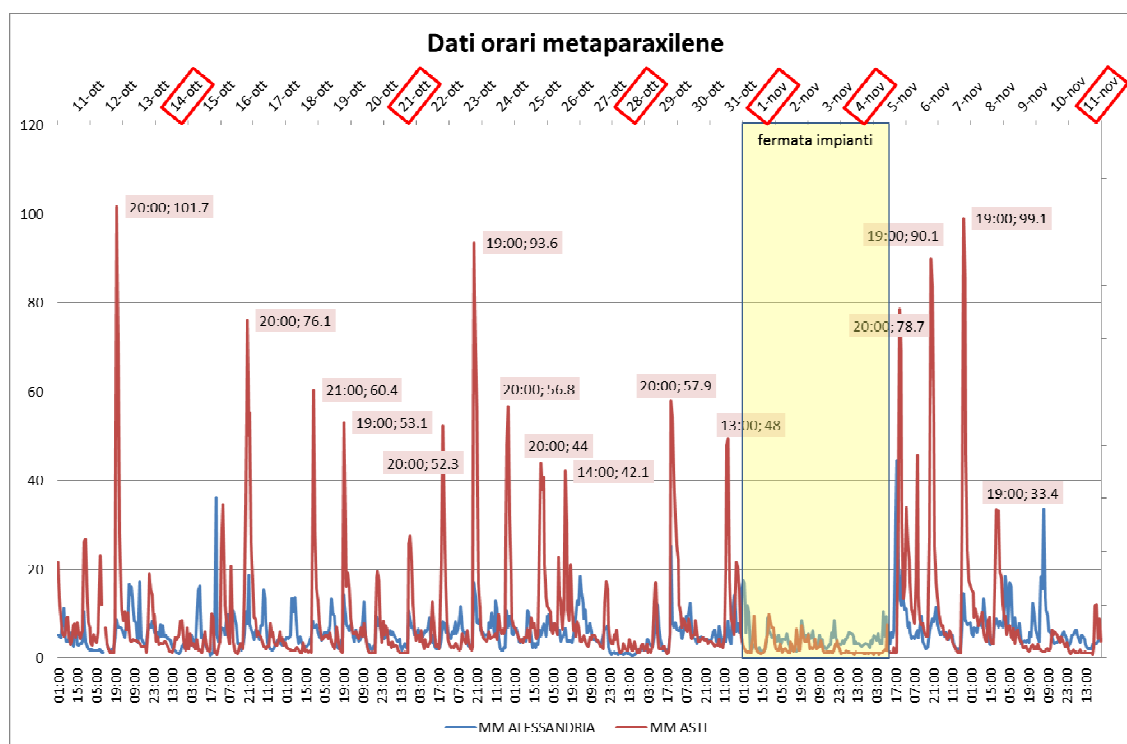


I dati evidenziano la provenienza dei btex da due aziende. La mancata corrispondenza con la simulazione modellistica si spiega con l'accertata presenza di ingenti emissioni diffuse/fuggitive che non erano state considerate nella simulazione.

### 3.3. Monitoraggio btex con laboratorio mobile

In aggiunta ai campionamenti attivi e passivi, i due laboratori mobili posizionati rispettivamente ad ovest e a est dell'area industriale, ci hanno permesso di avere ulteriori dati di btex mediante misura oraria con gascromatografo a fotoionizzazione. L'analisi oraria dei dati ha ulteriormente evidenziato una problematica di picchi anomali di btex, in modo particolare dei picchi molto pronunciati di meta-para-xilene in precise fasce orarie e nei giorni feriali. Il dato orario ha permesso di ricondurre le medie più elevate trovate con gli altri campionamenti a dei precisi picchi legati ai cicli di polmonazione di serbatoi effettuati da un'azienda.

**Figura 11.** Picchi orari di meta-para-xilene (microgrammi/m3).



## 4. Validazione del modello

I dati di ricaduta di inquinanti emessi dalle realtà industriali di Quattordio si sommano al fondo ambientale presente, che viene calcolato mediante simulazione modellistica su scala regionale per l'anno 2010 [3]. Il fondo ambientale (dati disponibili solo per PM10 e NO2) per l'area di Quattordio si può stimare pari a: 30microgrammi/m3 per polveri PM10 e 27microgrammi/m3 per NO2. Se a questo fondo aggiungiamo il contributo delle aziende calcolato per il mese di misura di polveri ed NO2 presso le due postazioni e si confrontano le stime con le misure, possiamo testare l'affidabilità del modello.

**Tabella4.** Contributi delle aziende al fondo ambientale

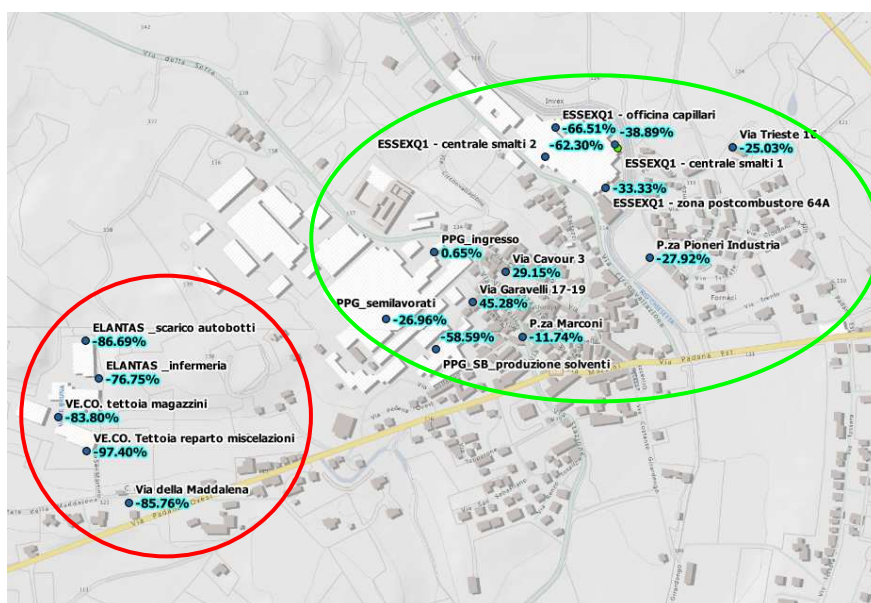
Contributo aziende stimato dal modello su post.1 lab mobile	PM10: 3.7microgrammi/m3	NO2: 2.8microgrammi/m3
Contributo aziende stimato dal modello su post.2 lab mobile	PM10: 1.1microgrammi/m3	NO2: 0.3microgrammi/m3

**Tabella5.** Confronto stime misure

PM10	Post.1	Post.2
TOT stima	34microgrammi/m3	31microgrammi/m3
TOT misura	42microgrammi/m3	36microgrammi/m3
Scostamento stima/misura	≈20%	≈15%
NO2	Post.1	Post.2
TOT stima	30microgrammi/m3	27microgrammi/m3
TOT misura	44microgrammi/m3	30microgrammi/m3
Scostamento stima/misura	≈30%	≈10%

Per quanto riguarda gli inquinanti ubiquitari le differenze tra stima e misura sono compatibili con l'incertezza di misura (15-20%) e quella ancora maggiore dei modelli. Per quanto riguarda gli inquinanti peculiari la cartina sotto riportata mostra come il modello interpreti con un margine di precisione accettabile ( $\pm 30\%$ ) le ricadute di composti organici in alcune zone (zone cerchiata in verde) mentre sottostima, come prevedibile, all'interno delle aziende sia per limiti intrinseci del modello che diventa molto impreciso vicino alle sorgenti, sia per presenza di sorgenti diffuse non considerate nel modello. La differenza tra stime e misure diventa molto forte presso la zona cerchiata in rosso dove le misure danno valori che sono talvolta di un ordine di grandezza superiore rispetto alle stime. Tali differenze sono verosimilmente legate ad emissioni industriali diffuse/fuggitive non considerate nel modello. In generale si può concludere che, per quanto riguarda i composti organici volatili, la previsione modellistica ha sottostimato i dati reali.

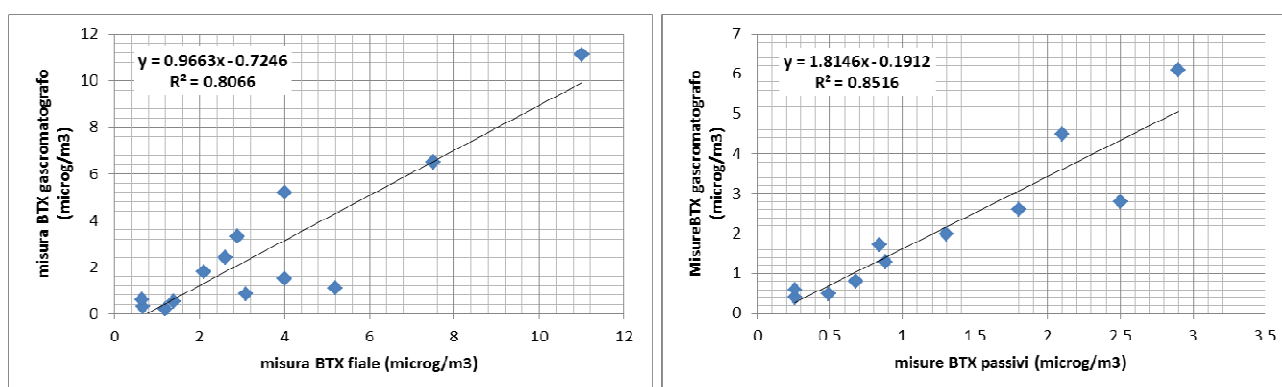
**Figura 11.** Differenza percentuale tra stime modellistiche e misure passive di COV. La percentuale indica di quanto sono inferiori le stime in ogni punto rispetto alle misure in quel punto.



## 5. Confronto tra diverse metodiche di campionamento

I campionamenti di btex effettuati nei medesimi punti con tre differenti metodiche: campionamento passivo su 7 giorni, campionamento attivo su 24h e misura oraria mediante gascromatografo, ha permesso di effettuare alcuni confronti tra metodiche completamente differenti al fine di testarne la confrontabilità. Per quanto riguarda il dato sulle 24 preso mediante fiala a flusso forzato ed il corrispondente dato orario mediato sulle 24ore fornito dal gascromatografo, la correlazione è risultata più che buona ( $R^2 > 0.8$ ) e con un rapporto tra i dati tra 0.8 e 0.9. Vale a dire, considerando le differenti metodiche e l'errore di misura non inferiore al 10% una sostanziale sovrapposibilità del dato. Per quanto riguarda invece la correlazione tra misure eseguite con metodi passivi e quelle con analizzatore, questa risulta ancora migliore ma con un rapporto che si attesta attorno a 1.6, vale a dire che la misura indiretta e più imprecisa eseguita con metodiche passive tende in questo caso a sottostimare nettamente il dato. Di ciò va tenuto conto nella scelta di tale metodica anche in relazione alle determinazioni del tempo di esposizione dei campionatori passivi.

**Figura 12.** Confronto tra diverse metodiche di campionamento



## 6. Conclusioni

Lo studio ha permesso di caratterizzare le emissioni peculiari di attività industriali ed i livelli di esposizione della popolazione residente in un'area già soggetta a piano di risanamento regionale della qualità dell'aria. I dati di misura hanno confermato che insiste sull'area un carico aggiuntivo di inquinanti legato alle attività industriali in termini di polveri e di idrocarburi aromatici rispetto al fondo di pianura presente. Sono state utilizzati e testati strumenti modellistici e varie tecniche di campionamento oggi disponibili che ci hanno permesso di individuare criticità legate alle emissioni sia convogliate che soprattutto diffuse e fuggitive di alcune aziende. E' stato accertato che i due composti cancerogeni (benzene e formaldeide) tra le classi di sostanze ricercate sono presenti in concentrazioni paragonabili a quelle di fondo dell'area ed al di sotto dei valori limite e dei valori soglia indicate delle direttive e linee guida europee [4-5]. Si è dimostrato utile effettuare campionamenti anche all'interno delle aziende dove si è riscontrata una notevole abbondanza di btex, soprattutto xileni, mentre non si è registrato livelli di aldeidi significativamente superiori al fondo dell'area. I valori di concentrazioni di xileni ed etilbenzene in alcune zone del paese ed all'interno di tutte le aziende considerate, sono risultati significativamente elevati rispetto al fondo ambientale, e sono stati ricondotti ad alcune aziende e cicli produttivi specifici che danno luogo ad ingenti emissioni di

carattere diffuso e/o fuggitivo. Lo studio ha portato a circoscrivere la zone di paese sovraesposta a xileni ed a prevedere un piano di contenimento delle emissioni da parte di alcune aziende.

### **Riferimenti bibliografici**

1. Norma UNI 10796. *Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi*, 2000.
2. RTI CTN\_ ACE 4/2001. *Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria*, 2001.
3. Sito web Regione Piemonte. <http://www.regione.piemonte.it/ambiente/aria/index.htm>.
4. D.Lgs.155/2010. *Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa*, 2010
5. WHO Europe. *Air quality guidelines for Europe*, 2000.