



**ARPA FVG**  
Agenzia Regionale per la Protezione  
dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia

Sede di Palmanova

Per la sede di Palmanova relativamente alle attività di: Verifica di conformità legislativa EMAS, Gestione pratiche VIA, Gestione pratiche VAS, Catasto rifiuti, Catasto emissioni, Previsioni inquinamento atmosferico, Gestione pratiche incidenti rilevanti, Previsioni meteorologiche numeriche, Gestione della modellistica applicata alla qualità dell'aria



**Valutazione delle tendenze  
nelle deposizioni totali di Polveri e Benzo(a)pirene  
rilevate nei pressi dello  
stabilimento siderurgico di Servola**

A cura di: dott. Marco Bellini, dott Alessandro Felluga e con il contributo del dott. Andrea Mistaro



Le rilevazioni delle deposizioni di polveri totali sono state effettuate in modalità di autocontrollo dal gestore dell'impianto Siderurgico di Servola e trasmesse all'Agenzia.

Queste rilevazioni sono state di seguito analizzate in modo organico al fine di poter stimare l'area di ricaduta e il flusso di massa medio al metro quadrato per giorno di polveri totali. Unitamente a ciò si è provveduto a stimare il flusso di benzo(a)pirene (di seguito riportato brevemente come "BaP") anch'esso rilevato in modalità di autocontrollo.

Esistono due approcci possibili alla modellizzazione delle ricadute di polvere grossolana. il primo (bottom-up) prevede la parametrizzazione di ciascuna fonte sotto il profilo geometrico ed emissivo in modo da utilizzare la modellistica diffusionale per individuare le aree di ricaduta; il secondo, al contrario, punta a caratterizzare le fonti emmissive a partire dalla analisi dei dati sperimentali non imponendo assunzioni a priori circa la natura delle stesse (top-down).

Nel presente documento si dà corso a questo secondo approccio distinguendo due passaggi funzionali: si procede dapprima alla caratterizzazione spaziale delle ricadute di polvere grossolana al fine di produrre una mappa in cui a ciascun punto della stessa compete un flusso medio di polvere ( $\text{mg}/\text{m}^2$  al giorno); si procede poi alla costruzione di una seconda mappa riportante il flusso medio di benzo(a)pirene ( $\text{ng}/\text{m}^2$  al giorno).

Ottenute le due mappe è possibile stimare il flusso medio di polvere o benzo(a)pirene su un periodo arbitrario semplicemente moltiplicando il competente valore medio per il numero di giorni del periodo d'interesse (ad esempio settimana, mese, anno...). L'ultimo passaggio consiste nel confrontare i dati dell'anno 2016 rispetto all'andamento degli anni precedenti (2011-2015).

## 0) Dati preliminari

Le postazioni più prossime allo stabilimento siderurgico (via del Ponticello e Portineria Operai) rilevano inoltre un quantitativo di deposizioni di polveri totali molto maggiore rispetto a quelle più distanti (via Costalunga e via Carpineto). Le rilevazioni delle deposizioni medie annue di IPA effettuate in modalità di autocontrollo dal gestore dell'impianto Siderurgico di Servola e trasmesse all'Agenzia (figura 1) mostrano una sostanziale stabilità nel corso degli anni sia per le postazioni più prossime all'impianto (via del Ponticello e Portineria Operai) che per quelle più distanti (via Costalunga e via Carpineto) ad eccezione dell'anno 2014 per la postazione di via del Ponticello. L'anno 2014 è stato un anno peculiare sia dal punto di vista meteorologico (anno particolarmente perturbato e piovoso) che per la riduzione nell'attività di altoforno dello stabilimento siderurgico.

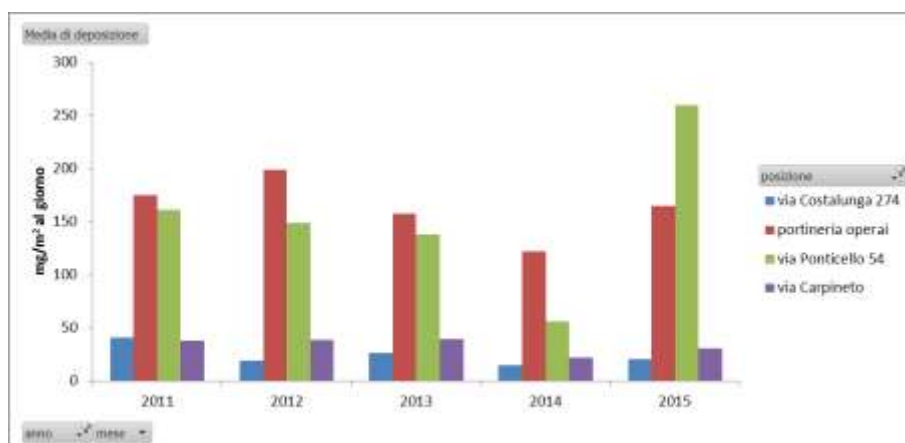


Figura 1 Andamento delle deposizioni medie annue di polveri totali rilevate nelle diverse postazioni di misura ottenute partendo dalle deposizioni medie mensili di polveri totali misurate dalla proprietà dell'impianto siderurgico

Sede di Palmanova

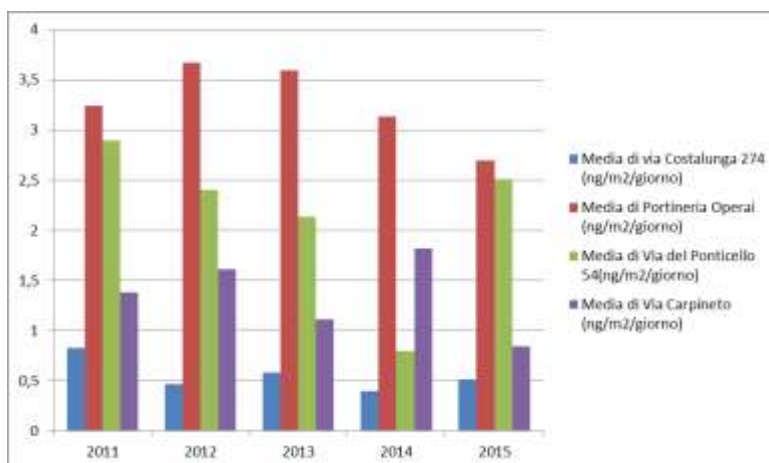


Figura 2 Andamento delle deposizioni medie annue di IPA rilevate nelle diverse postazioni di misura ottenute partendo dalle deposizioni medie mensili di IPA misurate dalla proprietà dell'impianto siderurgico.

L'andamento annuale della frazione di IPA presenti nelle polveri totali depositate (massa di IPA per unità di massa delle polveri depositate; figura 3) rilevate in modalità di autocontrollo dal gestore dell'impianto siderurgico mostra una sostanziale stabilità per le postazioni più prossime all'impianto (via del Ponticello e Portineria Operai) e una maggiore variabilità per le postazioni più distanti dall'impianto (via Costalunga e via Carpineto). La maggiore variabilità rilevata nelle stazioni distanti dall'impianto siderurgico potrebbe essere ascritta sia ad una maggiore dipendenza dalla variabilità meteorologica (e.g., regime dei venti favorevoli al trasporto degli inquinanti) sia alla presenza di sorgenti locali di IPA indipendenti dallo stabilimento siderurgico.

Le stazioni più prossime all'impianto (via del Ponticello e Portineria Operai; figura 3) mostrano anche una minore frazione di IPA per unità di massa di polvere totale depositata. Questa evidenza potrebbe essere ascritta alla maggiore polverosità complessiva osservata nei pressi dell'impianto (figura 1) la quale è dovuta a tutte le attività condotte all'interno dello stabilimento stesso (e.g., movimentazione di materiali) e non solo a quelle connesse alla produzione di IPA.

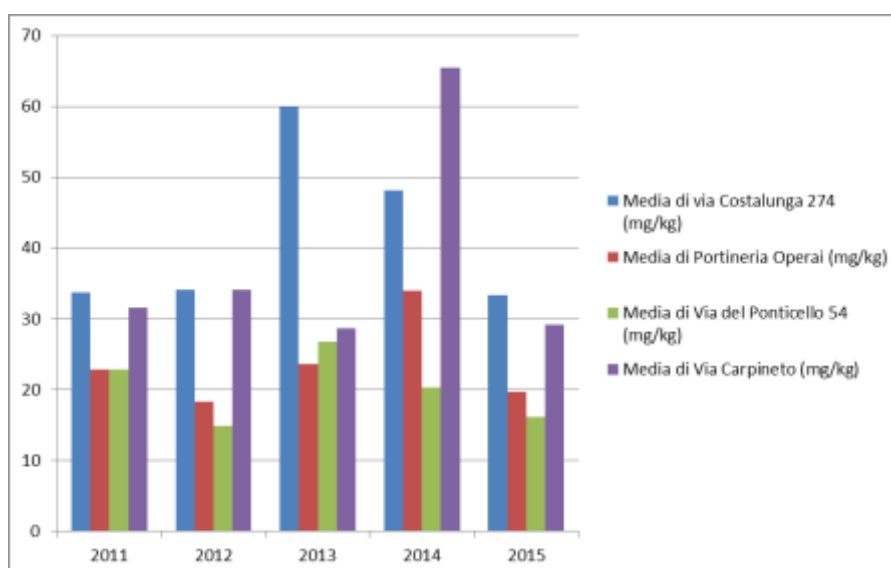


Figura 3 Andamento della frazione media annua di IPA presenti nelle polveri totali depositate nelle diverse postazioni di misura ottenute partendo dalle deposizioni medie mensili rilevate dal gestore dell'impianto Siderurgico. Nel grafico relativo alla postazione di via Costalunga non sono state prese in considerazione le deposizioni medie mensili del mese di settembre 2011 (riportata comunque nei dati trasmessi) in quanto sostanzialmente diverse da tutte quelle degli altri mesi

## 1) Valutazione del campo (mappa) di flusso di massa

Si procede attraverso i seguenti passaggi logici.

**1.1)** Una volta georeferenziati gli 11 deposimetri attivi nel periodo 2011-2015 vengono analizzati i dati di polvere raccolta e si constata che il flusso medio complessivo di ricaduta (espresso in  $\text{mg}/\text{m}^2$  al giorno) è dipendente dalla distanza dall'impianto siderurgico. I deposimetri più vicini registrano cioè valori più alti di polvere depositata.

	2011	2012	2013	2014	2015	Media
palazzina qualità	371.5	351.7	256.8	71.7	493.7	<b>309.1</b>
portineria operai	174.7	198.8	157.7	122.2	164.6	<b>163.6</b>
scalo legnami	197.1	196.3	175.8	114.6	158.1	<b>168.4</b>
via Baiamonti 61	42.1	46.0	42.6	23.5	31.7	<b>37.2</b>
via Carpineto	37.8	38.9	39.3	22.0	30.7	<b>33.8</b>
via Costalunga 274	41.2	19.0	26.2	14.6	20.7	<b>24.3</b>
via di Servola 1	47.1	51.5	47.9	54.9	70.5	<b>54.4</b>
via Pitacco 36	70.0	58.7	72.8	47.9	54.1	<b>60.5</b>
via Ponticello 54	160.8	148.7	138.1	56.4	259.5	<b>152.7</b>
via Racheli	51.6	39.5	81.6	129.9	79.8	<b>76.5</b>
via Valmaura	72.2	61.3	61.2	26.6	47.6	<b>53.7</b>

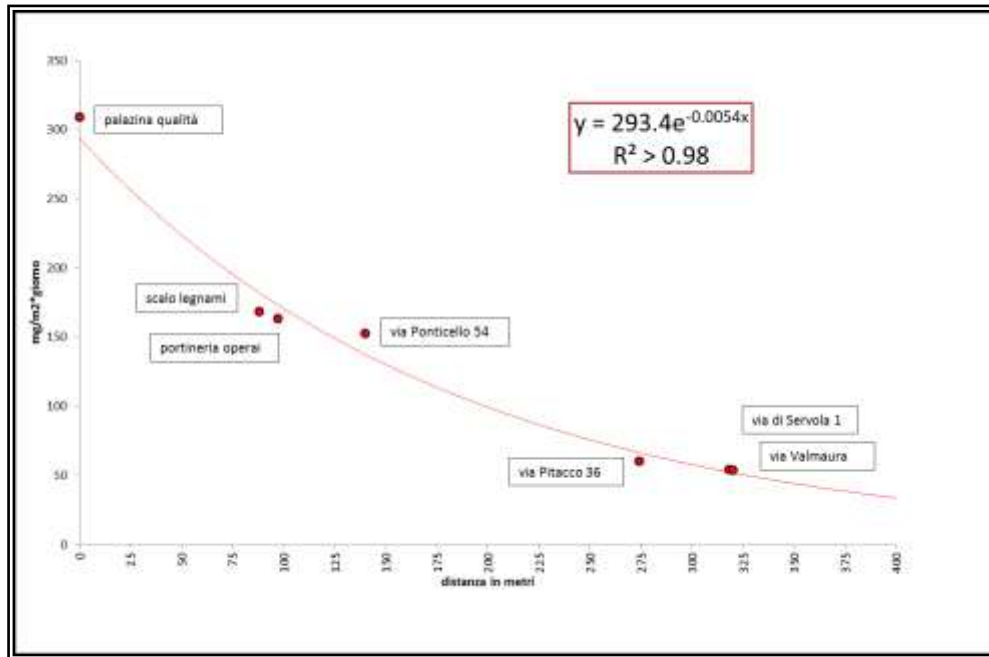
**Tabella 1** Deposizioni medie annuali ( $\text{mg}/\text{m}^2$  al giorno) e media complessiva pluriennale 2011-2015.

**1.2)** Viene definita una linea di confine che separa gli impianti produttivi dello stabilimento siderurgico dall'area abitata del rione di Servola. Questa linea di confine è definita congiungendo i seguenti punti:  $45^{\circ}37'28.87''$  N.  $13^{\circ}46'31.20''$  E ed  $45^{\circ}37'5.97''$  N.  $13^{\circ}47'7.74''$  E.



**Figura 4** Linea di confine assunta. A destra si trovano gli impianti siderurgici a sinistra no. In bianco i deposimetri con valori alti, in fucsia quelli con valori medi e in verde alcuni con valori bassi.

**1.3)** Si calcolano le distanze di ciascun deposimetro dalla linea di confine e si riportano in grafico i valori di deposizione media complessiva (2011-2015) delle 7 postazioni più vicine in funzione della distanza. I valori di deposizione rilevata nei diversi punti si distribuiscono con buona approssimazione secondo una tendenza esponenziale come mostrato in figura 5. Il deposimetro situato nella postazione denominata “palazzina qualità” viene posto a distanza zero in quanto interno all’impianto.



**Figura 5** Relazione funzionale (esponenziale) tra flusso di massa di polveri grossolane e metri dal confine di ciascuna postazione.

Riportando i valori delle deposizioni medie complessive in funzione della distanza lungo il confine degli impianti, cioè percorrendo parallelamente il confine stesso, si evidenzia una sostanziale similitudine nei valori dei deposimetri che presentano distanze simili dal confine. In altri termini muovendosi parallelamente lungo il confine le deposizioni non variano sensibilmente.

Queste osservazioni sperimentali permettono di concludere che il gradiente delle deposizioni ha una sola componente: quella ortogonale al confine.

**1.4)** Si riportano in grafico anche i valori delle deposizioni di via Carpineto, via Baiamonti 61, via Costalunga 274 in funzione della distanza dal confine. I valori rilevati da questi deposimetri si distribuiscono in funzione dalla distanza secondo una retta con una pendenza statisticamente nulla, ovvero si assiste ad una sostanziale indipendenza della quantità di polvere ricaduta dalla distanza dall’impianto siderurgico.



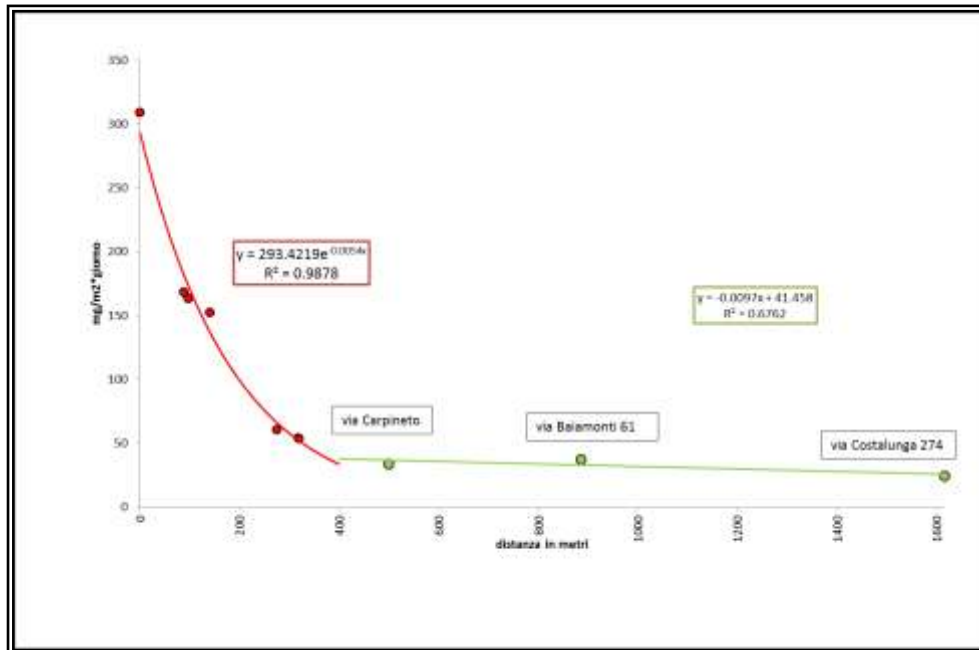


Figura 6 Andamento completo dei valori medi di ricadute in funzione della distanza dal confine. La curva esponenziale rossa si sarebbe potuta estendere anche ai punti più lontani, ma si sarebbe persa l'aderenza tra la curva e punti sperimentali specialmente nella parte iniziale della funzione, dove si riscontrano i valori più alti ovvero più problematici; per ovviare a tale scollamento si sarebbe potuto operare una regressione pesata, ma tale soluzione avrebbe comportato l'introduzione di un certo grado di soggettività che si è preferito evitare al fine di non introdurre nel modello scelte discutibili. Si è optato perciò per l'adozione di un doppio modello: esponenziale nelle vicinanze dell'impianto siderurgico e lineare (costante) per distanze superiori.

La curva esponenziale interseca la retta a un valore di circa 378 metri dal confine dell'impianto siderurgico; tale distanza potrebbe perciò venire assunta come la fine della fascia di maggior impatto delle ricadute.

Ai fini pratici conviene però estendere a circa 400 metri la fine della zona di maggior ricaduta (cioè la fascia in cui sussiste il rapporto esponenziale deposizioni/distanza); questo la linea immaginaria che parte dal campanile della chiesa di Servola e arriva alla risiera di S.Sabba è molto prossima alla linea parallela posta a 400 metri dal confine degli impianti. Inoltre a tale distanza il flusso di polveri grossolane risulta circa un decimo di quello che si registra a distanza zero dallo stabilimento siderurgico.



Figura 7 Sulla destra in rosso il confine degli impianti e sulla sinistra in verde la linea immaginaria dal campanile alla risiera a circa 400 metri dal confine rosso. Tra le due linee l'area di maggior ricaduta. L'altezza delle frontiere in figura è proporzionale alle quantità di polveri.

Ai punti della linea immaginaria parallela al confine degli impianti, posta a circa 128 metri da esso, competono valori di ricadute ( $\text{mg}/\text{m}^2$  al giorno) del 50% rispetto a quelli posti sul confine degli impianti. Nel periodo 2011-2015 il 50% corrisponde a circa  $147 \text{ mg}/\text{m}^2$  al giorno.

In figura 8 vengono riportate alcune isolinee di deposizione media sovrapposte all'abitato. Nel dettaglio, ai punti della linea immaginaria parallela al confine degli impianti, posta a circa 256 metri da esso, competono valori di ricadute ( $\text{mg}/\text{m}^2$  al giorno) del 25% rispetto a quelli posti sul confine degli impianti. Nel periodo 2011-2015 il 25% corrisponde a circa  $73 \text{ mg}/\text{m}^2$  al giorno.



Figura 8 Al centro la linea arancione con valori di ricadute pari al 50% di quelle registrate sulla linea (rossa) di confine; e la linea gialla a cui compete un valore di 25%. L'altezza delle frontiere in figura è proporzionale alle quantità di polveri.

1.5) Dall'analisi fin qui condotta è stato volutamente escluso il deposimetro posto in via Racheli (monte S.Pantaleone) a motivo del fatto che i dati ad esso associati sembrano avere un comportamento anomalo. Tale comportamento è ben evidenziato in figura 9.

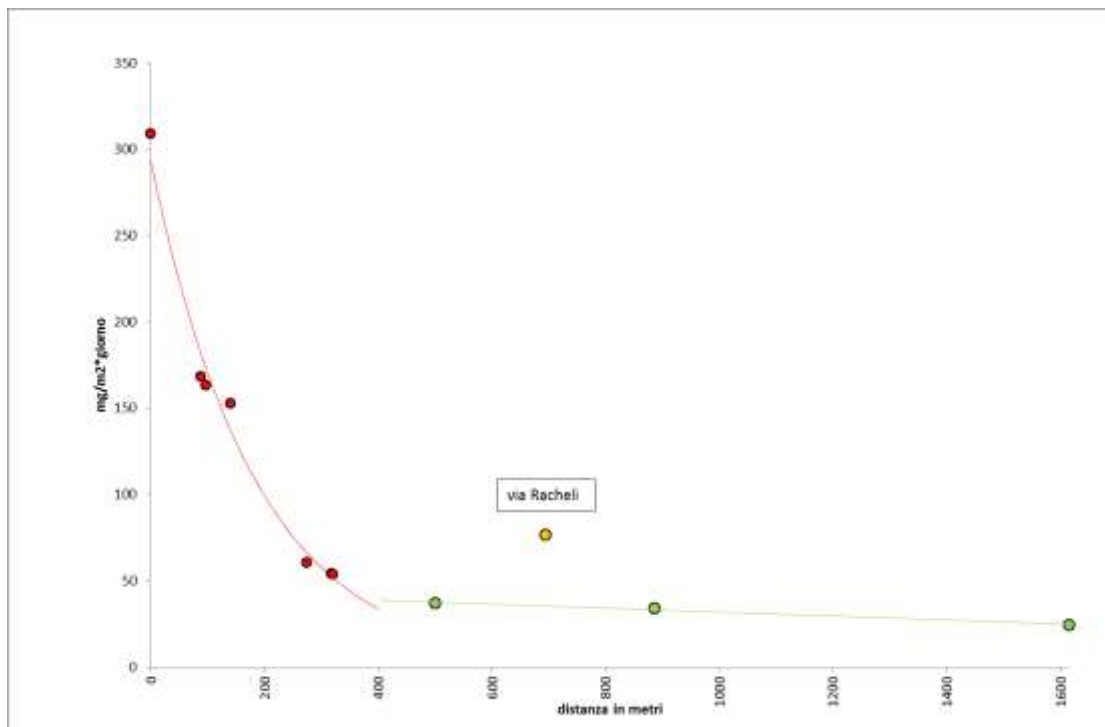


Figura 9 Anomalia del deposimetro di via Racheli.



Tale anomalia è verosimilmente dovuta al fatto che, muovendosi dall'impianto siderurgico in direzione di via Racheli, ci si immerge in una realtà ambientale diversa da quelle considerate finora e ci si avvicina ad altre possibili fonti di materiale particolato grossolano.

**NOTA:** A dare concretezza all'ipotesi che in via Racheli si risenta di una o più fonti diverse da quelle in studio, è il fatto che alcune analisi conoscitive condotte al microscopio elettronico a scansione (SEM/EDX) sulla polvere raccolta dal deposimetro in Portineria Operai e sulla polvere raccolta in alcuni deposimetri siti in via Racheli e via Giarizzole. evidenziano una sostanziale differenza nella tipologia di polvere.

La polvere analizzata in via Racheli e via Giarizzole dimostra di avere un tenore di ossidi di calcio, silicio, alluminio, ferro e magnesio, decisamente superiori a quelli misurati in prossimità dell'impianto siderurgico. Anche il tenore di carbonio e ossigeno è molto diverso nei due siti, come si evince dalla figura sottostante; alto il tenore di carbonio e basso tenore di ossigeno per il deposimetro sito in prossimità dell'impianto siderurgico.

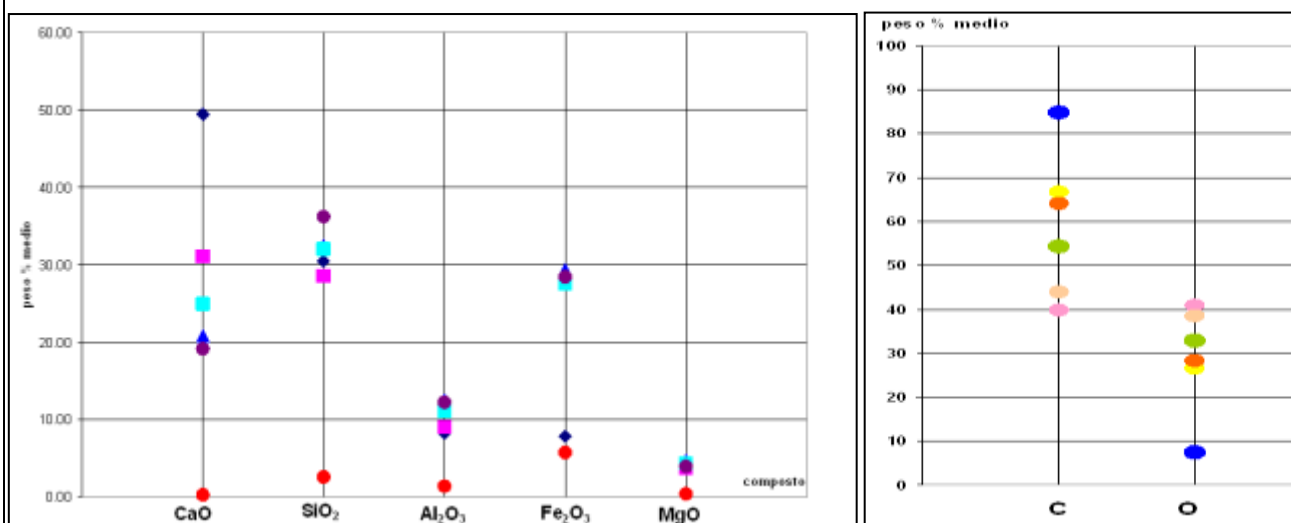


Figure 10 e 11. A sinistra (figura 10) sono riportati in rosso i dati relativi all'analisi del depositato di Portineria Operai, altrimenti colorati i dati relativi a deposimetri posizionati in monte S.Pantaleone; a destra (figura 11) sono riportati in blu i dati relativi all'analisi elementare del depositato di Portineria Operai e altrimenti colorati i dati relativi ai deposimetri posizionati in monte S.Pantaleone.

E' doveroso sottolineare che tali analisi, seppur foriere di preziose informazioni, sono relative a polvere raccolta in tempi diversi (2012 per deposimetri in zona monte S.Pantaleone e 2016 per Portineria Operai) e condotte su polvere risultante da un campionamento di limitata durata.

Pur tuttavia si ritengono sufficienti le considerazioni sopra esposte per escludere via Racheli dall'analisi di caratterizzazione spaziale al fine del presente documento.

## 2) Valutazione del campo (mappa) di flusso di BaP

**2.1)** Le concentrazioni di BaP nella polvere depositata sono state calcolate dividendo i risultati delle determinazioni analitiche espressi in microgrammi/filtro per la quantità di polvere totale espressa in milligrammi/filtro. Il risultato viene espresso in mg/Kg di polvere. I risultati inferiori al limite di quantificazione sono stati sostituiti con valori numerici al fine di non perdere l'informazione: in particolare i valori inferiori al limite di quantificazione sono stati sostituiti con degli zeri (approccio lower bound).

I valori del dataset compilato in Excel® 2010 sono stati aggregati utilizzando delle tabelle pivot. Sono stati elaborati i dati dal 2011 al 2015 in quanto completi di valori mensili. Dal 2016 i valori risultano essere trimestrali e verranno valutati successivamente per il confronto con il profilo 2011-2015 ottenuto. Le postazioni deposimetriche dove sono state condotte le analisi di BaP dal 2011 al 2015 risultano: via Costalunga 274, Portineria Operai, via Carpineto e via Ponticello 54.



Data l'elevata presenza di zeri i test d'ipotesi statistica sono ritenuti significativi, ai fini decisionali, utilizzando un approccio conservativo, ovvero adottando un alto livello di significatività posto pari a  $p = 0.01$ .

Di seguito si riporta il trattamento statistico per il BaP, molecola di maggiore criticità ed interesse.

**2.2)** La prima verifica è stata condotta su dati aggregati in medie mensili, per anno e per stazione, al fine di verificare l'ipotesi che le medie mensili siano uguali tra gli anni. Utilizzando l'ANOVA a una via per dati ripetuti, è stato verificato che in Portineria Operai, via Carpineto e via del Ponticello l'ipotesi non può essere rigettata ( $p=0.30$ ,  $p=0.07$  e  $p=0.69$  rispettivamente).

Per Costalunga il test non è applicabile in quanto risultano eccessivi i risultati pari a zero. Un secondo test non parametrico per dati appaiati (test di Wilcoxon), applicabile a tutti e quattro i punti, non ha evidenziato differenze significative tra coppie di anni. Di conseguenza è accettabile aggregare le medie su più anni per la singola stazione.

E' stata valutata altresì l'ipotesi che le medie tra le quattro stazioni siano uguali confrontando i dati medi mensili tra stazioni; l'ANOVA a una via per dati ripetuti non evidenzia differenze, tuttavia il test di Wilcoxon rivela una differenza  $p < 0.01$  tra le stazioni di Portineria Operai e Ponticello.

Anche se i precedenti test sull'omogeneità tra gli anni tendono a escludere tendenze alla crescita o diminuzione, risulta comunque d'interesse verificare l'esistenza di trend temporali statisticamente significativi. Per verificare gli andamenti è necessario innanzitutto verificare la presenza di dati anomali che possano falsare il risultato finale. Si è proceduto perciò al test di Lilliefors per la forma della distribuzione di probabilità e a quello di Huber per gli outliers, con l'aiuto dei QQ-plot sono stati identificati solo tre outliers ( $p < 0.01$ ) che sono stati perciò eliminati. In tabella 2 sono riportate le medie annuali 2011-2015 senza outliers per le quattro stazioni. I dati mensili eliminati sono stati: 63.70 mg/kg per la postazione di Portineria Operai di agosto 2014, 176.47 mg/kg per la postazione di via Costalunga di settembre 2011 e 9.52 mg/kg per la postazione di via Ponticello di novembre 2013.

Grazie all'utilizzo del test non parametrico di Mann-Kendall per il trend è stato appurato che esistono alcuni trends decrescenti per la concentrazione di BaP in via Costalunga, via Carpineto e via Ponticello, ma essi non sono sufficientemente significativi ( $p > 0.05$ ) per essere confermati oltre ogni ragionevole dubbio. Per Portineria Operai invece non c'è nessun trend, la situazione è statisticamente stabile.

Media di BaP (mg/kg polvere)	SITO			
	Portineria Operai	via Carpineto	via Costalunga 274	via del Ponticello 54
2011	0.91	4.87	3.23	0.97
2012	0.77	1.75	0.37	0.47
2013	1.46	0.33	1.81	0.45
2014	1.54	1.86	1.12	0.54
2015	0.66	0.47	0.00	0.49
<b>Media Generale</b>	<b>1.06</b>	<b>1.79</b>	<b>1.25</b>	<b>0.59</b>
<b>Analisi del trend</b>				
Mann-Kendall S :	0	-4	-6	-2
p (no trend):	0.592	0.242	0.117	0.408
Significativo	no	no	no	no
Tipo di trend	stabile	decrescente	decrescente	decrescente

Tabella 2 Medie annuali di concentrazione di BaP nella polvere grossolana senza i 3 dati outliers.

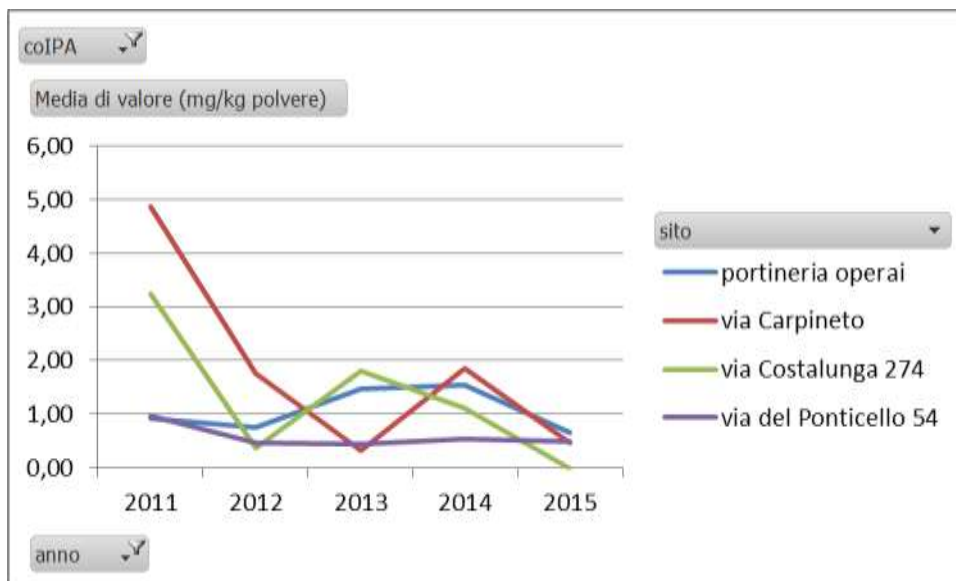


Figura 12 Andamento delle medie annuali della concentrazione di BaP nella polvere grossolana senza i 3 dati outliers.

Infine si è ripetuta l'analisi di omogeneità tra le stazioni, questa volta senza i 3 outliers, ottenendo lo stesso risultato di prima, ovvero una differenza sensibile tra Portineria Operai e via Ponticello, basata su medie annuali dando luogo ad una statistica chiaramente più robusta.

Media di BaP (mg/kg polvere)	SITO			
	Portineria Operai	via Carpineto	via Costalunga 274	via del Ponticello 54
Mese				
GENNAIO	1.28	2.43	4.71	0.84
FEBBRAIO	0.29	2.68	0.00	0.38
MARZO	1.03	3.37	0.00	1.32
APRILE	1.07	0.35	0.57	0.49
MAGGIO	1.59	3.61	0.31	0.20
GIUGNO	1.64	0.65	1.99	0.65
LUGLIO	1.18	2.47	0.35	0.88
AGOSTO	0.89	0.11	0.00	0.73
SETTEMBRE	0.92	0.20	0.00	0.00
OTTOBRE	0.84	1.46	1.80	0.59
NOVEMBRE	0.55	0.00	0.00	0.51
DICEMBRE	1.30	4.22	4.35	0.35
<b>Totale</b>	<b>1.06</b>	<b>1.79</b>	<b>1.25</b>	<b>0.59</b>

Tabella 3 Medie mensili 2011-2015 senza i 3 dati outliers.

**2.3)** Riassumendo: la concentrazione di BaP nelle deposizioni di Portineria Operai è stabile negli anni 2011-2015 mentre in via Carpineto, via Costalunga e via del Ponticello si ha un trend apparentemente decrescente, anche se non statisticamente comprovato.

L'analisi della significatività delle differenze permette di concludere che la concentrazione di BaP nella polvere è simile nelle stazioni di via Carpineto, Portineria Operai e via Costalunga, ma risulta essere significativamente diversa (inferiore) per la postazione di via del Ponticello.



**2.4)** Il flusso di ricaduta di BaP può essere stimato per ciascuna postazione moltiplicando il valore medio pluriennale (2011-2015) di ricadute di polvere grossolana ( $\text{mg}/\text{m}^2$  al giorno) per la concentrazione media di BaP nello stesso periodo ( $\text{mg}/\text{Kg}$ ) ottenendo la seguente tabella:

Anno	Portineria Operai media $\text{ng}/\text{m}^2$ al giorno	Via Ponticello media $\text{ng}/\text{m}^2$ al giorno	via Carpineto media $\text{ng}/\text{m}^2$ al giorno	via Costalunga 274 media $\text{ng}/\text{m}^2$ al giorno
2011	128.7	74.3	87.0	31.9
2012	185.9	106.8	89.8	12.9
2013	237.2	110.6	20.2	9.1
2014	143.2	31.2	47.3	7.8
2015	101.6	73.2	16.1	0.0
<b>Media 2011-2015</b>	<b>159.6</b>	<b>78.7</b>	<b>52.1</b>	<b>12.0</b>

Tabella 4 Medie annuali e complessive nel periodo 2011 – 2015 di flusso di BaP ( $\text{ng}/\text{m}^2$  al giorno).

Va specificato che seppur in via del Ponticello la concentrazione di BaP nella polvere risulti significativamente inferiore, a causa dell'alta ricaduta di polvere sul sito, il valore di flusso di BaP risulta complessivamente medio-alto.

Il test non-parametrico di Mann-Kendall per il trend dimostra che in tutte e quattro le stazioni vi è una tendenza decrescente nella quantità di BaP ricaduta al suolo. Nelle stazioni di Portineria Operai, via Ponticello e Carpineto tale diminuzione non risulta significativa. Al contrario nella stazione di via Costalunga la diminuzione è significativa ( $p < 0.01$ ); la quantità di BaP in questa ultima stazione è effettivamente diminuita nel corso degli anni.

Si è voluto visualizzare l'andamento nel corso degli anni anche utilizzando l'approccio geostatistico offerto dalla tecnica del kriging (Surfer 8.04, Golden Surfer Inc) con algoritmo diffusivo basato sull'inverso del quadrato della distanza. I risultati sono visibili in figura 13.



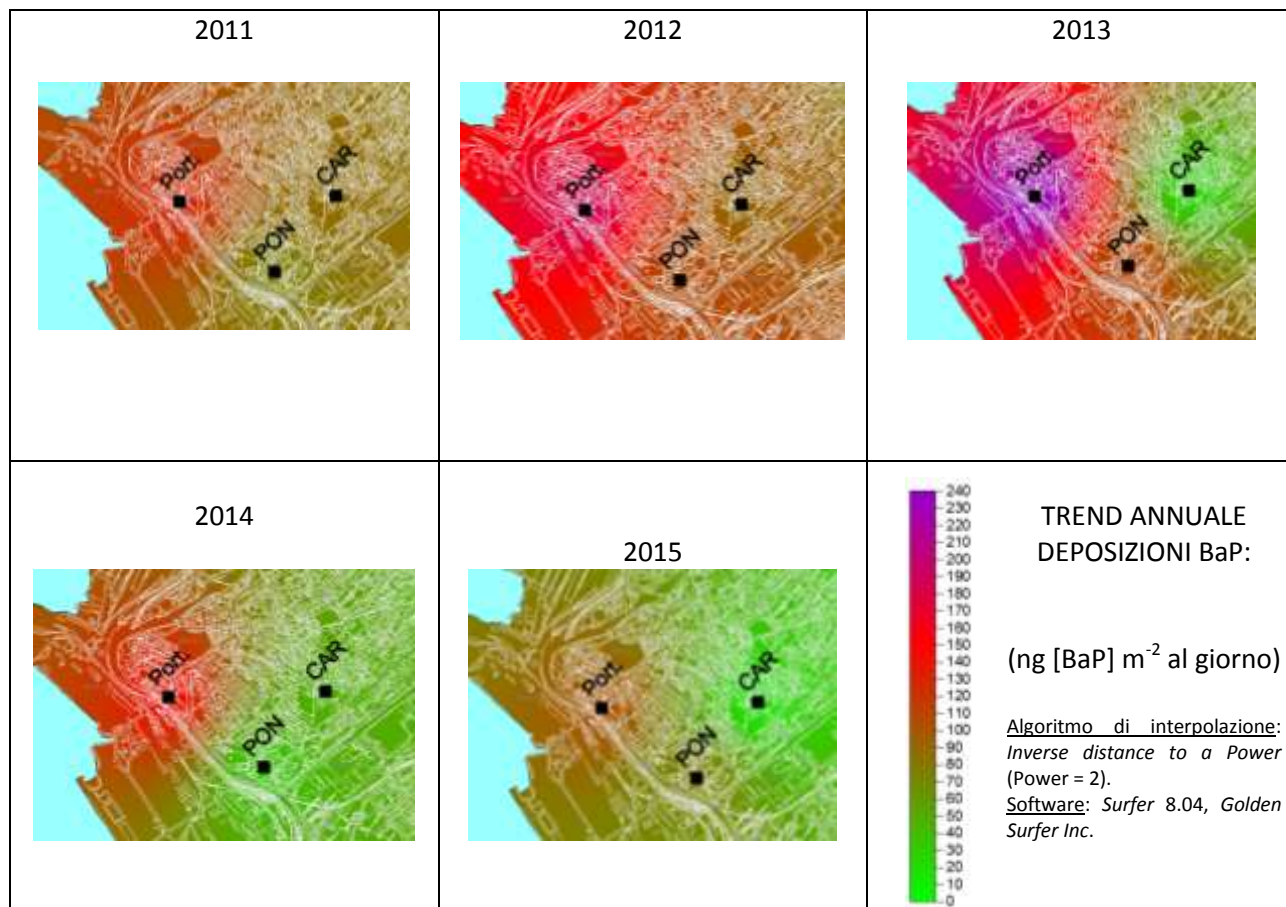


Figura 13 Andamento annuale del flusso medio di BaP (ng/m<sup>2</sup> al giorno). Si osserva qualitativamente una diminuzione dei livelli (come riportato in tabella 4).

Dalla tabella 4 è possibile dedurre la tabella 5 moltiplicando il flusso per 30 (i giorni del mese-tipo) e ottenendo il quantitativo di ricaduta mensile al metro quadrato.

	<b>Portineria Operai</b> media µg/m <sup>2</sup> al mese	<b>Via Ponticello</b> media µg/m <sup>2</sup> al mese	<b>via Carpineto</b> media µg/m <sup>2</sup> al mese	<b>via Costalunga 274</b> media µg/m <sup>2</sup> al mese
gennaio	3.2	1.2	1.3	1.2
febbraio	1.7	1.2	1.1	0.0
marzo	4.4	2.3	0.9	0.0
aprile	6.6	3.0	0.6	0.6
maggio	9.2	2.0	4.8	0.3
giugno	9.9	5.3	1.8	0.7
luglio	6.4	4.8	3.1	0.3
agosto	4.2	5.0	0.3	0.0
settembre	1.9	0.0	0.6	0.0
ottobre	4.7	1.7	1.1	0.5
novembre	1.8	1.2	0.0	0.0
dicembre	4.4	0.8	3.5	0.7
<b>Mese - tipo</b>	<b>4.9</b>	<b>2.4</b>	<b>1.6</b>	<b>0.4</b>

Tabella 5 Mese-tipo nel periodo 2011-2015 e in grassetto la media complessiva (espresso come µg/m<sup>2</sup> al mese).

Appare piuttosto evidente dalla tabella che nelle postazioni di via Ponticello e Portineria Operai, le più vicine all'impianto siderurgico, i flussi di BaP dovuti alla polvere grossolana tendono ad alzarsi nel periodo estivo; tale comportamento è molto simile a quanto già riscontrato per il BaP aerodisperso sulla frazione PM<sub>10</sub>.

Infine in tabella 6 si riporta la somma delle ricadute annuali di BaP e nel periodo 2011-2015.

	Somma Portineria Operai	Somma via Ponticello	Somma via Carpineto	Somma via Costalunga
Da 2011 a 2015	287.7	141.8	95.8	21.7

Tabella 6  $\mu\text{g}$  su  $\text{m}^2$  di BaP ricaduti nel periodo 2011-2015.

2.5) L'analisi fin qui condotta esprime in modo puntuale le ricadute di BaP nelle quattro postazioni deposimetriche di via Costalunga 274, Portineria Operai, via Carpineto e via Ponticello 54; dall'analisi dei dati si evince che il flusso di BaP, a differenza di quanto osservato per il flusso di polvere totale, non viene sufficientemente rendicontato dal modello a "fronte emissivo" visto in precedenza.

Infatti applicando lo stesso modello concettuale si ottiene la scarsa correlazione flusso/distanza mostrata nella figura sottostante.

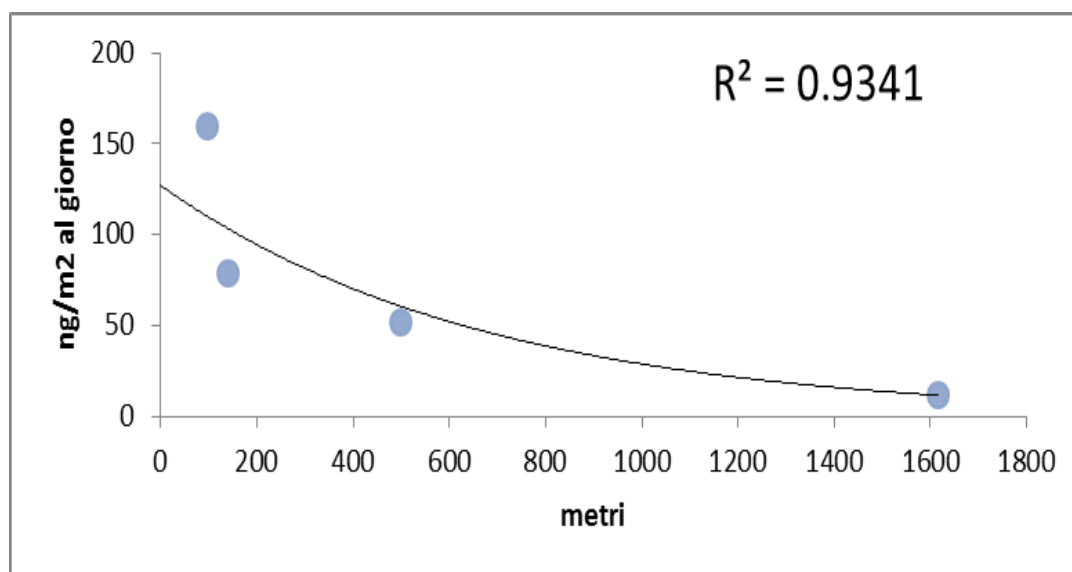
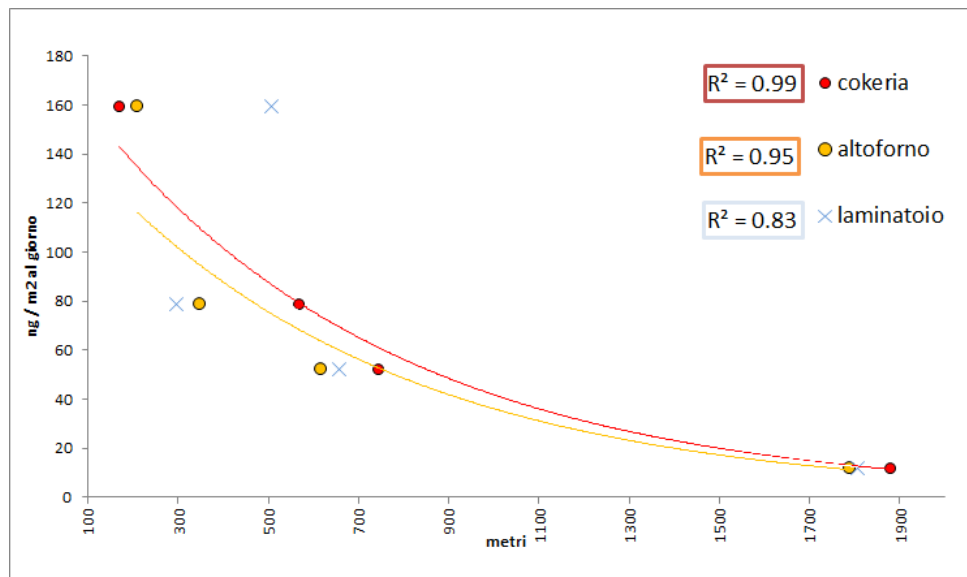


Figura 14 Andamento del flusso medio di BaP ( $\text{ng}/\text{m}^2$  al giorno) vs la distanza dal confine.

Passando dal modello a fronte emissivo al modello sorgente puntuale, si notano miglioramenti significativi nella correlazione distanza/flusso sul modello diffusivo esponenziale. Sono state pertanto ricercate le correlazioni calcolando le distanze da possibili fonti puntuali di BaP quali l'altoforno, campo di colata e cokeria, e per controprova da un punto lontano, non emissivo, allineato all'asse altoforno-cokeria in direzione del laminatoio. I risultati sono visibili in figura 15.



**Figura 15** Diminuzione del flusso medio di BaP (ng/m<sup>2</sup> al giorno) al procedere della distanza da tre punti dell'impianto siderurgico; si noti che la migliore correlazione flusso/distanza la si ha prendendo come fonte puntuale il centro della cokeria. Il punto in direzione del laminatoio perde invece di correlazione, il che da una prova indiretta della validità del modello emissivo puntuale.

In base al risultato evidenziato, utilizzando un tipico modello diffusivo di tipo esponenziale, si può dedurre che la sorgente emissiva con la più alta aderenza ai dati sperimentali è localizzabile in un'area che va dall'altoforno (campo di colata incluso) e cokeria.

Al fine di poter ottenere una stima indicativa del flusso medio di BaP (ng/m<sup>2</sup> al giorno), in virtù dell'alta correlazione trovata, si può utilizzare la seguente funzione esponenziale in cui la variabile "X" rappresenta la distanza in metri dal centro della cokeria e "y" il flusso atteso di BaP.

$$y = 184 \cdot e^{-0.0015X}$$

Si ricorda che tale equazione rendiconta il valore medio nel periodo 2011-2015 fermo restando che, come sopra riportato, nello stesso lasso di tempo l'andamento si è dimostrato tendenzialmente decrescente.

Si ricorda altresì che a causa dell'esiguità dei punti di misura tale semplice equazione non tiene in conto il contributo derivante dal fondo urbano e perciò non potrebbe essere utilizzata per stabilire la distanza alla quale l'impatto della cokeria risulta confondersi con il fondo medesimo.

**2.6)** L'analisi effettuata alla ricerca di eventuali rapporti diagnostici tra i congeneri IPA (idrocarburi policiclici aromatici) non ha portato a conclusioni utili. Questo è in parte dovuto al fatto che una buona parte dei dati di concentrazione di alcune molecole-marker sono inferiori ai limiti di quantificazione strumentale.

### 3) Andamento dei dati nel 2016

L'analisi dei punti seguenti mira a inquadrare l'andamento dell'anno 2016 rispetto agli anni precedenti, sia in termini di quantità di polvere grossolana in ricaduta (mg/m<sup>2</sup> al giorno), sia in termini di concentrazione di BaP (mg/Kg). I deposimetri attivi da febbraio 2016, congruentemente a

quanto riportato nel documento tecnico AIA, sono stati: Portineria operai, Palazzina qualità, via Pitacco 36, via Carpineto, via Costalunga 274, via Ponticello 54 e via Rossi n° 40.

Si è proceduto perciò al confronto con i dati di deposizioni dell'anno 2016 con le postazioni corrispondenti del periodo 2011-2015.

**3.1)** I dati medi annuali 2016 di polvere in ricaduta vengono confrontati con le corrispettive medie del periodo 2011-2015 ottenendo il seguente risultato:

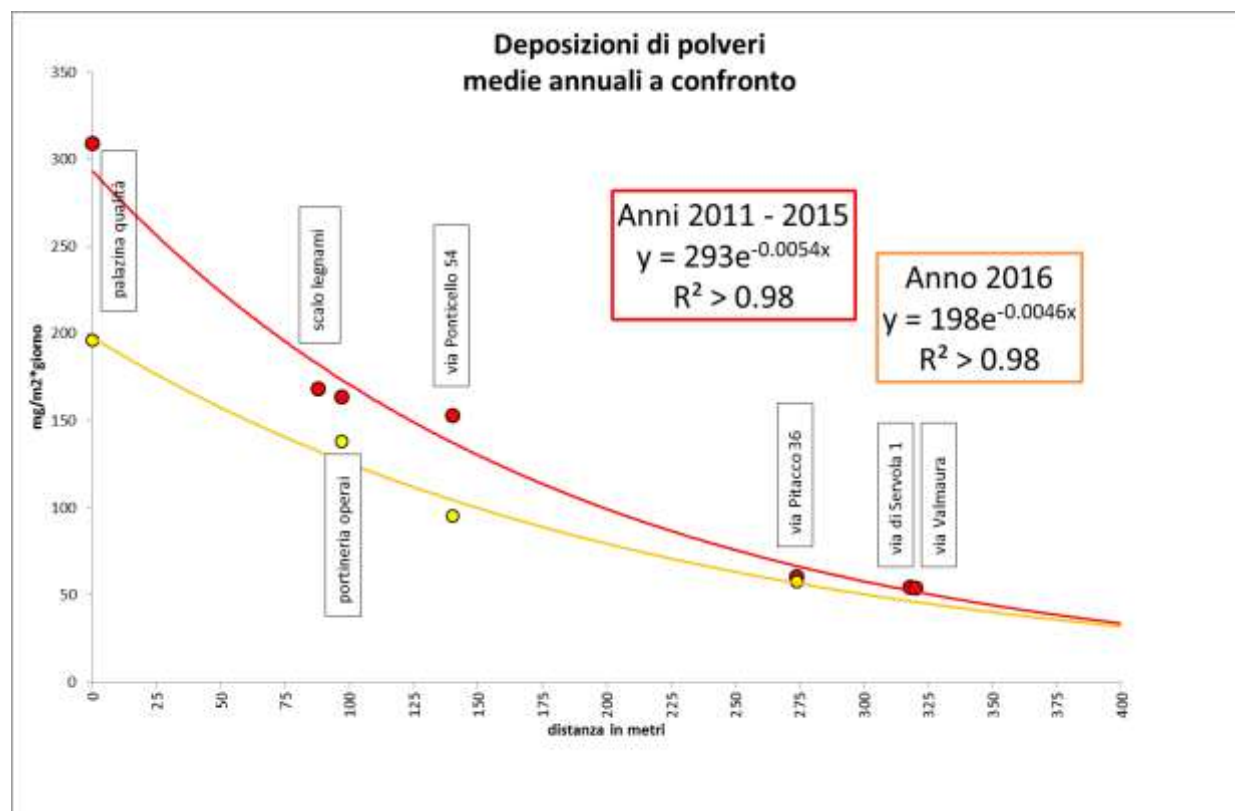


Figura 16 Medie annuali a confronto. 2016 in arancio, 2011-2015 in rosso.

Anche per l'anno 2016 viene rispettato l'andamento esponenziale tra distanza dal confine dello stabilimento e la quantità di polvere ricaduta. Il fattore di forma della funzione esponenziale risulta comparabile tra 2016 e gli anni precedenti, il che suggerisce una comune e consolidata dinamica del fenomeno in studio. Il fatto che le due curve tendano a un valore comune a circa 400 metri dal confine degli impianti avvalorava l'ipotesi, già riportata in precedenza, che a questa distanza la dinamica diffusiva sia sostanzialmente esaurita e si perda perciò il legame tra distanza e quantità di polvere in ricaduta.

La curva rossa (2011-2015) risulta essere più alta della curva arancio, il che suggerisce che nel 2016 il tasso di ricaduta sia stato inferiore. Tuttavia un'analisi statistica più approfondita (basata sul confronto della mediana dei valori del 2016 con i percentili sperimentali del periodo 2011-2015) evidenzia che l'apparente calo non può essere confermato oltre ogni ragionevole dubbio.

**3.2)** Nel 2016 le analisi di BaP sulla polvere sono state condotte con cadenza trimestrale nelle postazioni di Portineria Operai, via Ponticello, via Carpineto e Palazzina qualità. I dati sono





attualmente disponibili fino al mese di luglio 2016, sono disponibili cioè i dati di gennaio, aprile e luglio 2016.

	via Costalunga 274	portineria operai	via Ponticello 54	via Carpineto	Palazzina Qualità
gennaio	0.0	291	175	58	
aprile		98	0.0	0.0	0.0
luglio		152	51	0.0	0.0

Tabella 7 Misure di flusso di BaP effettuate nel 2016 (ng/m<sup>2</sup> al giorno); le misure inferiori al limite di quantificazione del metodo sono stati sostituiti con il valore zero.

Confrontando i valori riportati in tabella 7 con i percentili delle distribuzioni relative agli anni 2011-2015 riportati in tabella 8, si conclude che nessun valore misurato nell'anno 2016 risulta uscire dal profilo caratteristico degli anni precedenti (tra 4° e 96° percentile). Questa considerazione sottolinea come i valori misurati nelle deposizioni di BaP nel 2016, vista la consistenza del campione, non siano statisticamente distinguibili dai valori trovati nei cinque anni precedenti.

Percentile	via Costalunga 274	portineria operai	via Ponticello 54	via Carpineto
4%	0.0	0.0	0.0	0.0
24%	0.0	83.6	0.0	0.0
49%	0.0	129.9	51.3	0.0
74%	0.0	195.2	104.5	48.1
96%	108.7	783.1	487.6	725.9

Tabella 8 Percentili delle distribuzioni dei valori di flusso di BaP (ng/m<sup>2</sup> al giorno) nel periodo 2011- 2015.



#### 4) Conclusioni

Nel periodo 2011-2015 i flussi di deposizione della polvere grossolana sono rappresentabili in modo semplice come mostrato nelle figure 5, 6 e 8 utilizzando la semplice distanza dal fronte dello stabilimento siderurgico. Non vi è pertanto una sola sorgente preponderante associata alla deposizione delle polveri grossolane, ma è l'intero stabilimento ad essere una sorgente di polveri. A circa 400 metri dal confine dello stabilimento siderurgico si perde il legame tra la distanza e il flusso di deposizione della polvere grossolana, si raggiunge pertanto un valore equiparabile ad un valore di fondo.

Nel periodo 2011-2015 i flussi delle deposizioni del BaP si distribuiscono spazialmente come mostrato in figura 15 e secondo quanto riportato al paragrafo 2.5. I medesimi flussi dimostrano un andamento decrescente nel corso degli anni, tuttavia non è possibile comprovare con sufficiente significatività statistica tale osservazione. In particolare risulta stabile la concentrazione di BaP nelle deposizioni di Portineria Operai mentre in via Carpineto, via Costalunga e via del Ponticello si ha un trend decrescente, anche se non statisticamente comprovato oltre ogni ragionevole dubbio.

Nel periodo 2011-2015 la concentrazione di BaP nelle deposizioni è simile per le stazioni di via Carpineto, Portineria Operai e via Costalunga, ma risulta essere significativamente inferiore per la postazione di via del Ponticello. Tale comportamento per l'area di via del Ponticello potrebbe essere giustificabile con l'apporto di polveri grossolane da altre sorgenti aventi un minore tenore di BaP.

Nell'anno 2016 i flussi di polvere depositabile ( $\text{mg}/\text{m}^2$  al giorno) appaiono mediamente più bassi rispetto al quinquennio precedente, anche se questo andamento non è statisticamente supportabile oltre ogni ragionevole dubbio.

Nell'anno 2016 il flusso delle deposizioni di BaP ( $\text{ng}/\text{m}^2$  al giorno) associato alle ricadute di polvere grossolana, vista la consistenza del campione, non risulta statisticamente distinguibile dai valori trovati nei cinque anni precedenti.

Fulvio Stel

*(documento informatico sottoscritto con firma  
digitale ai sensi del d.lgs. 82/2005)*