



**MONITORAGGIO E SPECIAZIONE DEL
PARTICOLATO SOTTILE (PM10, PM2,5)
NELL'AREA INDUSTRIALE DI
SIRACUSA PER L'ANNO 2013.**

Riferimento

CIPA R2015.01

Gennaio 2015

Committente:

ISAB SRL



INTRODUZIONE

Il CIPA (Consorzio Industriale per la Protezione dell'Ambiente) è un consorzio di aziende che operano nel comprensorio industriale di Siracusa e nasce come strumento tecnico di controllo e informazione dello stato della qualità dell'aria. Tale consorzio ha una rete di monitoraggio costituita da 12 stazioni, distribuite strategicamente in tutta l'area industriale, tali da poter controllare tutta l'area soggetta alle emissioni del petrolchimico. Ogni stazione è corredata con una serie di analizzatori per la misura in continuo dei principali composti chimici immessi al suolo (Biossido di Zolfo, Ossidi di Azoto, Ozono, Idrocarburi, Idrogeno Solforato, Benzene, Polveri PM10 e PM2.5) e per il controllo dei principali parametri fisici dell'atmosfera (Temperatura, Umidità Relativa, Direzione del Vento, Velocità del Vento, Radiazioni Solari, Pressione Atmosferica e Accumulo Pioggia).

Secondo quanto riportato dalle linee guida dell'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), uno dei composti chimici più critici sugli effetti della salute dell'uomo **sono le polveri sottili**.

Le polveri sottili, sono particelle solide o liquide di dimensioni abbastanza piccole così da rimanere sospese nell'aria. Le sorgenti possono essere **naturali** (spray marino, ceneri vulcaniche e sabbie desertiche) o **antropogeniche** (traffico industriale, riscaldamento urbano, emissioni industriali).

Il **DLgs 155/2010** contempla l'analisi di PM 10, polveri sottili che hanno un diametro inferiore o uguale a 10 micron e PM 2,5, polveri che hanno con un diametro inferiore o uguale 2,5 micron. Sempre secondo Il DLgs 155/2010, **i limiti di immissione consentiti** sono 40 µg/m³ per la media annuale di 50 µg/m³ per la media giornaliera da non superare per 35 giorni l'anno.

IL CIPA, nella sua rete di monitoraggio, possiede 6 analizzatori di PM10 e 6 analizzatori di PM 2.5.

Nell'ordine le stazioni sono le seguenti:

- **SAN FOCA (PM10-PM2,5)**
- **BELVEDERE (PM10-PM2,5)**
- **FARODROMO (PM10)**
- **OGLIASTRO (PM10-PM2,5)**
- **MELILLI (PM10-PM2,5)**
- **SIRACUSA (PM2,5)**
- **AUGUSTA (PM10-PM2,5)**

Nella figura 1 riportiamo la distribuzione nella zona nord di Siracusa delle 12 stazioni della rete del CIPA, così da individuare quelle che analizzano particolato sottile (PM10, PM2,5)

Fig 1 – Rete di monitoraggio del CIPA



Le concentrazioni di PM10 sono solo una misurazione di massa e allo stato attuale non permettono una distinzione dei diversi apporti, siano essi antropogenici siano essi di origine naturale.

Questi ultimi, specialmente nella nostra area, rappresentano un fondo consistente e incidono notevolmente nei livelli di concentrazioni rilevati. A riprova di ciò, in particolare per quanto riguarda il contributo dovuto alle sabbie desertiche, valgono anche le risultanze del rapporto tecnico preparato dal CIPA in collaborazione con l'Istituto di Fisica dell'Atmosfera dell'Università di Atene e pubblicato nel Dicembre 2010 *"Analysis of the Particulate Matter Exceedances in Sicily, Italy for 2007"*. In tale lavoro è stato dimostrato scientificamente che l'incidenza del "dust load" (immissione di polvere) nell'area monitorata dalla rete del CIPA, originato dalle sabbie desertiche, risulta essere attorno al 25%.



Nella figura 2 è riportato il risultato dell'incidenza delle sabbie desertiche nella provincia di Siracusa

FIG 2 – Analisi dell'incidenza del “dust load”

Stations	PM10 average concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$)	PM10 residual average concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Dust contribution to PM ₁₀ concentration (%)	Number of daily exceedances	Dust contribution to exceedances (%)	PM10 residual contribution to exceedances (%)
San Focà	32.9	24.1	26.7	33	48.5	51.5
Belvedere	29.9	21.7	27.4	17	52.9	47.1
Melilli	26.2	20.4	22.1	20	65.0	35.0

Come più volte auspicato, finalmente il DLgs 155/10 ha fornito chiare indicazioni dell'opportunità di effettuare una distinzione dei contributi attraverso un'analisi chimico fisica del particolato. Continuare a non tener conto della distinzione delle diverse sorgenti sicuramente si sarebbe tradotto in una penalizzazione in special modo per delle aree dell'Europa meridionale più sottoposte alle ricadute di polveri provenienti dalle zone desertiche dell'Africa Settentrionale. Al fine di avere una corrispondenza il CIPA riceve quotidianamente dall'Università di Atene i valori di immissione delle sabbie desertiche in modo da stabilire l'incidenza di quest'ultime sui valori registrati dalla strumentazione.

Inoltre, un altro aspetto importante per comprendere l'origine dei diversi apporti delle polveri, consiste nella valutazione della presenza dei metalli pesanti .

Le analisi dei metalli pesanti avvengono attraverso una speciazione dei filtri utilizzati per misurare le concentrazioni di PM10 e PM 2.5. I metalli vengono analizzati attraverso un speciazione dei filtri in fibra di quarzo, utilizzati per campionare le polveri sottili.

Per quanto riguarda la definizione di metallo pesante bisogna evidenziare che non esiste una definizione universalmente accettata. In un primo momento sono state proposte delle definizioni in base alla densità o al peso atomico. D'altra parte le principali caratteristiche chimiche dei metalli pesanti fa includere nell'elenco anche elementi, come il selenio e l'arsenico, che non sono metalli, sebbene siano dotati di proprietà fisiche e chimiche simili a quelle dei metalli in senso stretto. Per questi motivi è stato talora proposto di abbandonare la classificazione in base alla densità o al peso atomico in favore di una nuova classificazione degli elementi chimici a seconda che esibiscano una prevalente affinità per gli atomi di ossigeno, per quelli di azoto e zolfo, o infine un comportamento intermedio tra le due precedenti categorie. Dal punto di vista normativo, i metalli pesanti sono regolati dagli **allegati XI - Piombo e XIII - Arsenico, Cadmio, Nichel** del decreto legislativo n.155 del 13 agosto 2010. Per il Piombo è presente un Valore limite di $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre è presente un Valore obiettivo di $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ per l'Arsenico, $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ per il Cadmio e $20 \text{ ng}/\text{m}^3$ per il Nichel.

Alla categoria dei metalli pesanti appartengono circa 70 elementi. Le fonti antropiche responsabili dell'incremento della quantità naturale di metalli sono l'attività mineraria, le fonderie e le raffinerie, la produzione energetica, l'incenerimento dei rifiuti e l'attività agricola. I metalli pesanti sono diffusi in atmosfera con le polveri (le cui dimensioni e composizione chimica dipendono fortemente



dalla tipologia della sorgente). La principale fonte di inquinamento atmosferico da piombo nelle aree urbane era, fino a pochi anni fa, costituita dagli scarichi dei veicoli alimentati con benzina 'rossa super' (il piombo tetraetile veniva usato come additivo antidetonante). Le altre fonti antropiche sono rappresentate dai processi di combustione, di estrazione e lavorazione dei minerali che contengono Pb, dalle fonderie, dalle industrie ceramiche e dagli inceneritori di rifiuti. Il livello di piombo nel sangue è l'indicatore più attendibile di esposizione ambientale. Le linee guida dell'OMS indicano un valore critico di Pb pari ad una concentrazione di 100 µg/l e su questa base è stata proposta una stima della concentrazione media annuale consentita dalla normativa in atmosfera (0,5 µg/m³, DLgs 155/2010).

Monitoraggio delle frazioni PM2.5 e PM10 del particolato aero-disperso e valutazioni statistiche

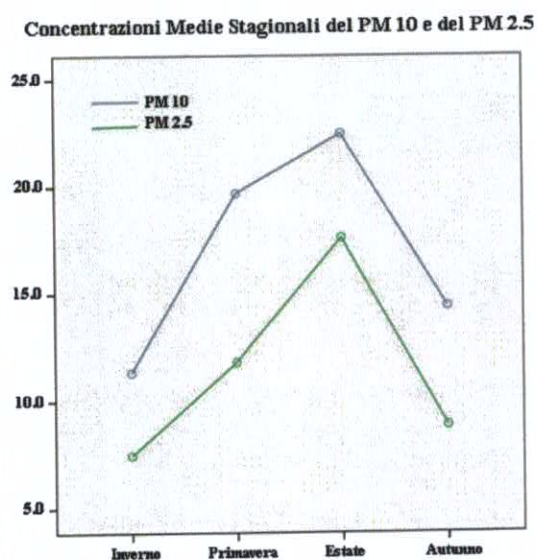
Durante il monitoraggio atmosferico condotto nel 2013, relativo alle frazioni di polveri PM 2.5 e PM10, non sono stati rilevati superamenti delle medie annuali massime previste dal D.Lgs. 155/2010. Sono stati registrati invece solo due casi di superamenti giornalieri della concentrazione di 50 µg/mc per i PM10, a fronte del limite di 35 casi ammessi per legge, superati nel 2009 e nel 2010 presso la centralina di Augusta. In tabella 1 sono riassunte tramite statistica descrittiva le concentrazioni delle due frazioni di polvere areo-disperse registrate durante l'anno, specificando anche i contributi che potrebbero essere ascrivibile all'area industriale, ottenuti in funzione della direzioni dei venti giornalieri.

Tabella 1.

PM Origin	PM Fraction	Mean (µg/mc)	Min	Max	Std. Dev.	N.
Industries	PM10	19,725	9.1	32.7	5,4139	77
	PM2.5	15,322	3.6	24.7	5,2149	65
	Total	17,709	3.6	32.7	5,7436	142
Others	PM10	16,590	3.9	54.8	9,0885	91
	PM2.5	10,071	0.8	25.1	5,8958	109
	Total	13,037	0.8	54.8	8,1740	200
Total	PM10	18,027	3.9	54.8	7,7658	168
	PM2.5	12,032	0.8	25.1	6,1847	174
	Total	14,977	0.8	54.8	7,6123	342

Dall'elaborazione statistica dei dati è emerso che la frazione di polveri PM 10, nel corso nel 2013, è sempre stata significativamente superiore a quella delle polveri PM 2.5 ($p < 0.001$), con maggiori concentrazioni nei periodi più caldi ($p < 0.001$) (Fig.1). Tale dato è stato confermato inoltre dal test di Pearson, il quale mediante una elaborazione puntuale ha evidenziato una correlazione positiva tra i µg di polvere e le temperature giornaliere ($r = 0.538$; $p < 0.01$).

Figura 1

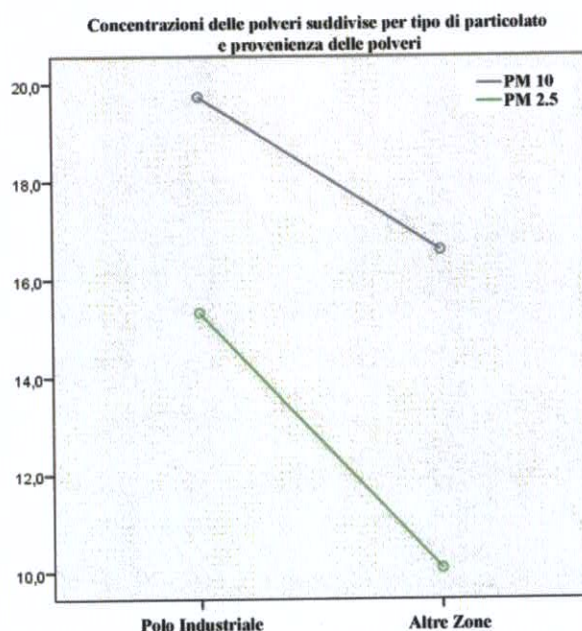




Sulla base della direzione dei venti, suddividendo le frazioni di particolato provenienti dall'area industriale da quelle provenienti da altre zone, sebbene il contributo del polo industriale sia risultato più alto in entrambe le frazioni ($p < 0.001$) (Fig. 2), le concentrazioni massime sono state osservate sulla frazione PM10 proveniente da altre zone, in giorni in cui si è parallelamente registrato una significativa componente aero-dispersa ascrivibile alle sabbie di provenienza africana.

Inoltre, la correlazione tra l'intensità del vento e le concentrazioni delle polveri eseguita mediante il test di Pearson, ha evidenziato che queste ultime diminuiscono all'aumentare dell'intensità ($r = -0.167$; $p < 0.01$).

Figura 2



Monitoraggio dei metalli nel particolato atmosferico e valutazioni statistiche

Dall'analisi dei metalli regolamentati sulle frazioni di particolato, non sono stati osservati superamenti dei valori limite previsti dal regolamento 155/2010 (Tab. 2).

Tabella 2. Valori dei metalli regolamentati e non nelle frazioni PM10 e PM2,5

Metallo	Particolato	D. Lgs. 155/2010	Media	Dev. Std.	N.
Pb μg/mc	PM 10	0,5	0,0026	0,002	168
	PM 2.5	-	0,0025	0,001	174
	Totale	-	0,0026	0,002	342
Cd ng/mc	PM 10	5	0,0579	0,044	168
	PM 2.5	-	0,0852	0,11	174
	Totale	-	0,0718	0,085	342
As ng/mc	PM 10	6	0,1753	0,151	168
	PM 2.5	-	0,2754	0,549	174
	Totale	-	0,2262	0,408	342
Ni ng/mc	PM 10	20	1,3526	1,691	168
	PM 2.5	-	1,5572	1,439	174
	Totale	-	1,4567	1,569	342
Co ng/mc	PM 10	-	0,1254	0,149	168
	PM 2.5	-	0,1137	0,144	174
	Totale	-	0,1194	0,146	342
Cr ng/mc	PM 10	-	0,7915	0,638	168
	PM 2.5	-	1,5842	3,597	174
	Totale	-	1,1948	2,63	342
V ng/mc	PM 10	-	4,1744	3,711	168
	PM 2.5	-	5,0069	4,543	174
	Totale	-	4,598	4,17	342
Se ng/mc	PM 10	-	0,2564	0,126	168
	PM 2.5	-	0,515	0,326	174
	Totale	-	0,3879	0,28	342

Inoltre, la valutazione quali e quantitativa della composizione in metalli delle polveri in funzione della provenienza di esse (Tab.3), ha evidenziato che le concentrazioni di alcuni metalli sono significativamente superiori nelle polveri provenienti dall'area industriale; questi sono: Co, Ni, Se, V, ($p < 0.001$), Pb ($p < 0.01$) e As ($p < 0.05$). E' stata anche evidenziata una forte correlazione negativa tra intensità del vento e concentrazioni di Pb ($r = -0.202$; $p < 0.001$), V ($r = -0.142$; $p < 0.001$) e Se ($r = -0.183$; $p < 0.001$). Una correlazione più debole, ma pur sempre con un livello di significatività di $p < 0.05$ è stata evidenziata per il Co ($r = -0.125$) e per il Ni ($r = -0.134$). Viceversa, è stata osservata una forte correlazione positiva tra la temperatura atmosferica e il Pb ($r = 0.201$; $p < 0.001$), Cd ($r = 0.214$; $p < 0.001$), As ($r = 0.298$; $p < 0.001$), V ($r = 0.405$; $p < 0.001$), Co ($r = 0.319$; $p < 0.001$), Se ($r = 0.441$; $p < 0.001$) e Ni ($r = 0.194$; $p < 0.001$). Quindi, al diminuire dell'intensità del vento e all'aumentare della temperatura atmosferica, le polveri aero-disperse e di conseguenza i metalli legate ad esse, sono più concentrati e il rischio per la salute dell'uomo aumenta.

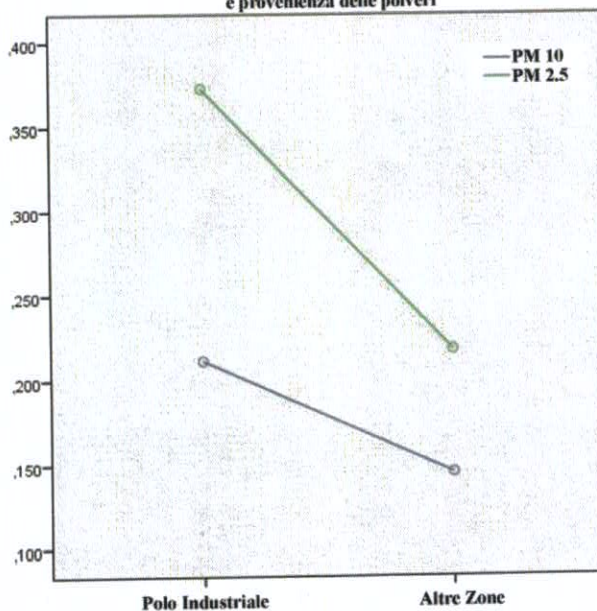
Tabella 3. Valori dei metalli regolamentati e non in funzione della provenienza delle polveri.

Metallo	Provenienza	N.	Media	Dev. Std.	Err.Std.	Min.	Max
Pb ng/mc	Industries	142	2,846	1,612	0,135	0,500	12,80
	Other	200	2,360	1,653	0,117	0,300	16,50
	Total	342	2,562	1,651	0,089	0,300	16,50
Cd ng/mc	Industries	142	0,079	0,079	0,007	0,040	0,455
	Other	200	0,066	0,090	0,006	0,040	0,638
	Totale	342	0,072	0,085	0,005	0,040	0,638
As ng/mc	Industries	142	0,285	0,523	0,044	0,068	5,979
	Other	200	0,184	0,298	0,021	0,068	3,605
	Total	342	0,226	0,409	0,022	0,068	5,979
Ni ng/mc	Industries	142	2,025	1,876	0,157	0,635	14,04
	Other	200	1,053	1,155	0,082	0,635	8,198
	Total	342	1,457	1,569	0,085	0,635	14,04
Co ng/mc	Industries	142	0,169	0,185	0,016	0,004	1,076
	Other	200	0,084	0,096	0,007	0,004	0,611
	Total	342	0,119	0,146	0,008	0,004	1,076
Cr ng/mc	Industries	142	1,096	1,731	0,145	0,673	12,02
	Other	200	1,265	3,118	0,220	0,673	33,19
	Total	342	1,195	2,630	0,142	0,673	33,19
V ng/mc	Industries	142	6,557	4,392	0,369	0,542	21,46
	Other	200	3,207	3,384	0,239	0,025	23,54
	Total	342	4,598	4,170	0,225	0,025	23,54
Se ng/mc	Industries	142	0,452	0,296	0,025	0,101	1,463
	Other	200	0,343	0,259	0,018	0,031	1,410
	Total	342	0,388	0,280	0,015	0,031	1,463

Analizzando l'andamento dei singoli metalli all'interno delle frazioni di particolato è emerso che l'As è maggiormente associato alla frazione PM 2.5 ($p < 0.001$), e soprattutto a quella proveniente dalla zona industriale ($p < 0.05$) (Fig.3).

Figura 3

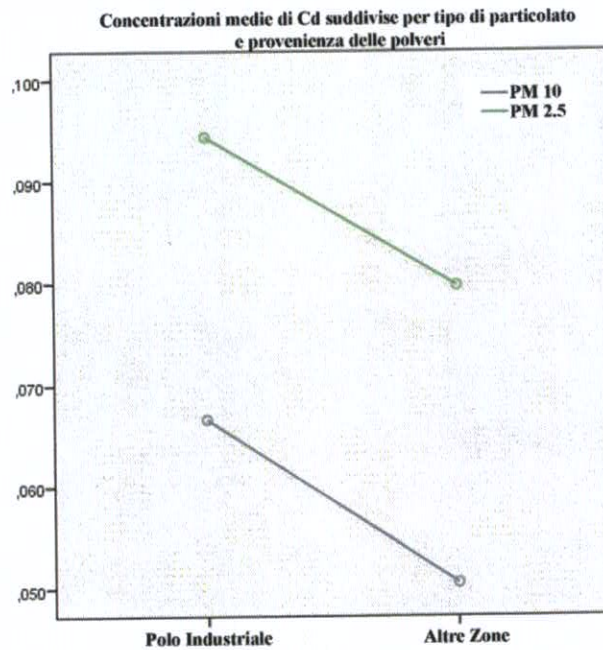
Concentrazioni medie di As suddivise per tipo di particolato e provenienza delle polveri





Così come l'As, il Cd risulta maggiormente associato alla frazione PM2.5 ($p < 0.001$). Sebbene i valori di Cd nella frazione PM proveniente dalla zona industriale sembrano più alti rispetto a quelli della frazione PM proveniente da altre zone, tali concentrazioni non sono statisticamente differenti (Fig.4).

Figura 4



Il Pb non risulta associato ad un particolare tipo di frazione (Fig. 5) e le concentrazioni crescono inoltre proporzionalmente all'aumentare delle polveri ($r = + 0.352$, $p < 0.001$) (Fig. 6).

Figura 5

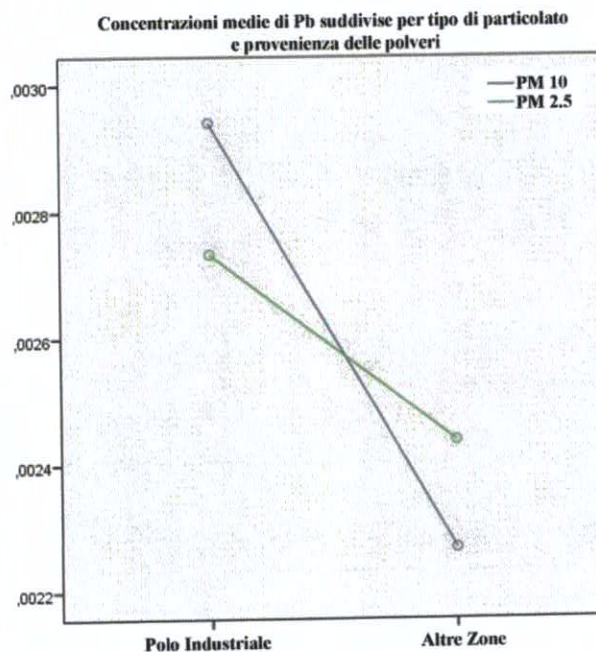
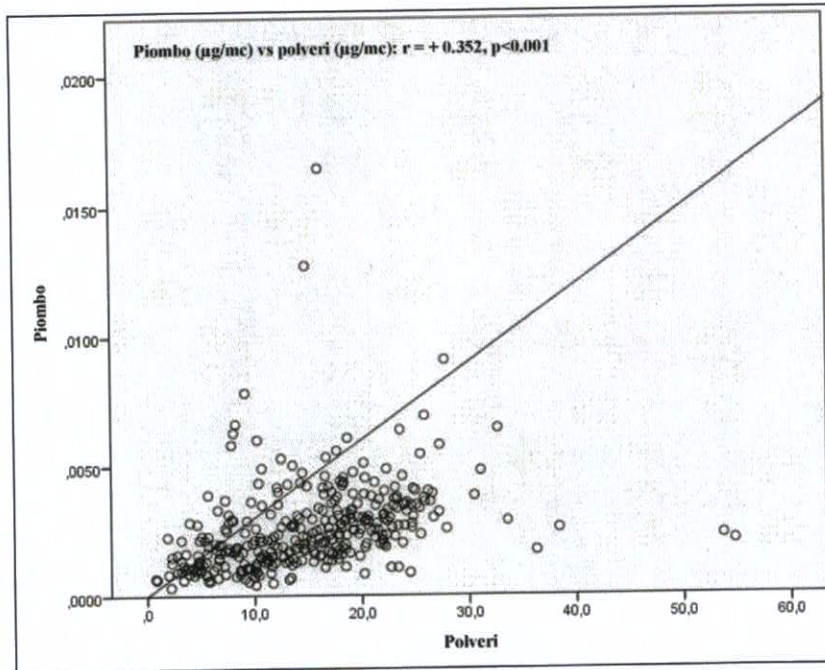


Figura 6



Il Ni non risulta associato a nessun tipo di frazione in particolare (Fig. 7) e le concentrazioni crescono proporzionalmente all'aumentare delle polveri ($r = + 0.327, p < 0.001$) (Fig. 8).

Figura 7

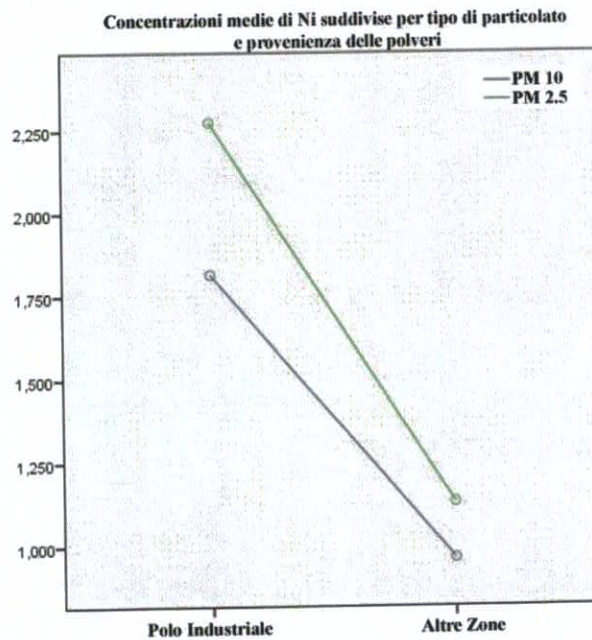
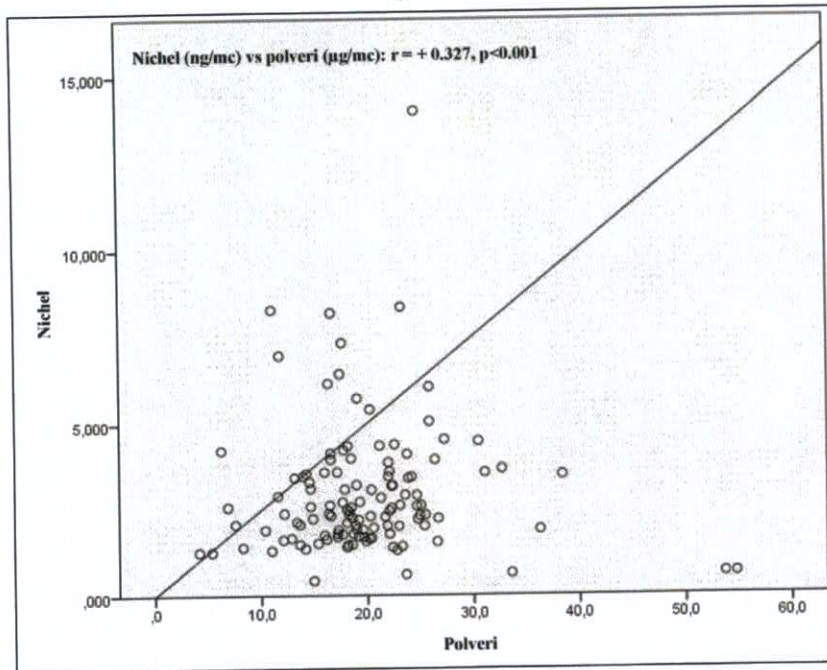


Figura 8



Il Co non risulta associato ad un particolare tipo di frazione (Fig.9), e le concentrazioni crescono proporzionalmente all'aumentare delle polveri ($r = + 0.441$, $p < 0.001$) (Fig. 10).

Figura 9

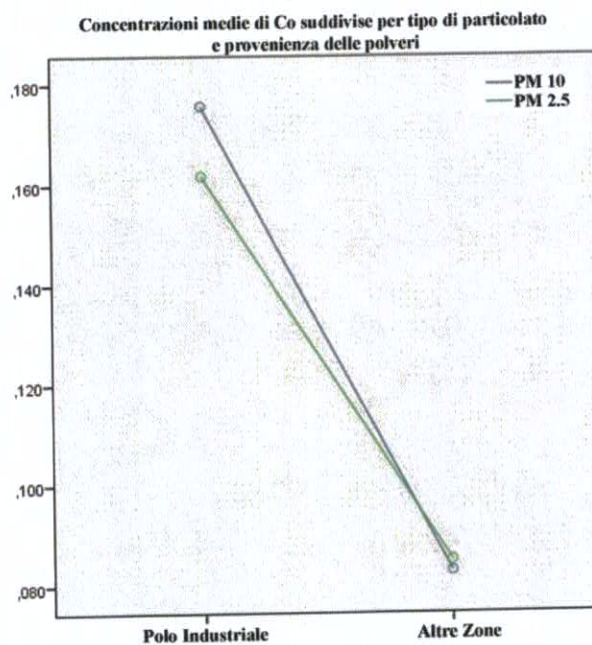
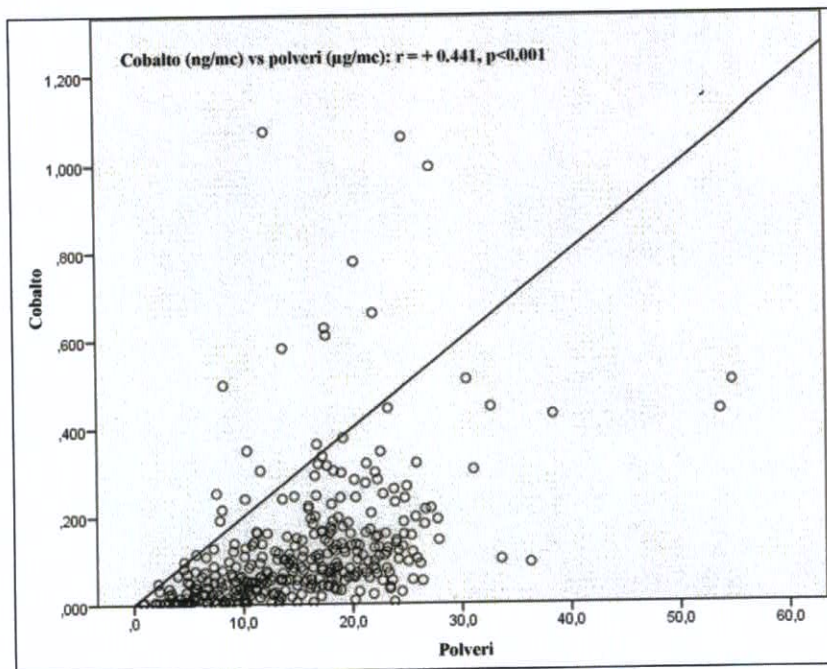


Figura 10



Le concentrazioni di Se sul PM2.5 risultano significativamente superiori a quelle riscontrate sul PM10 ($P < 0.001$) (Fig. 11) e le concentrazioni crescono proporzionalmente all'aumentare delle polveri ($r = + 0.241$, $p < 0.001$) (Fig. 12).

Figura 11

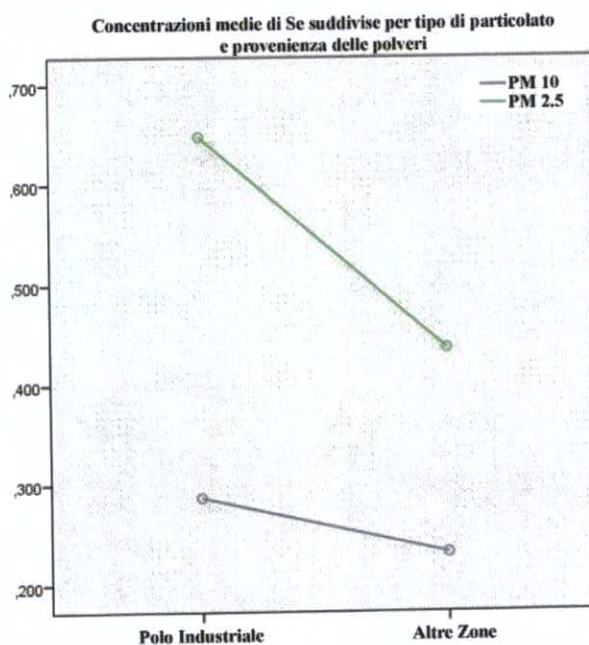
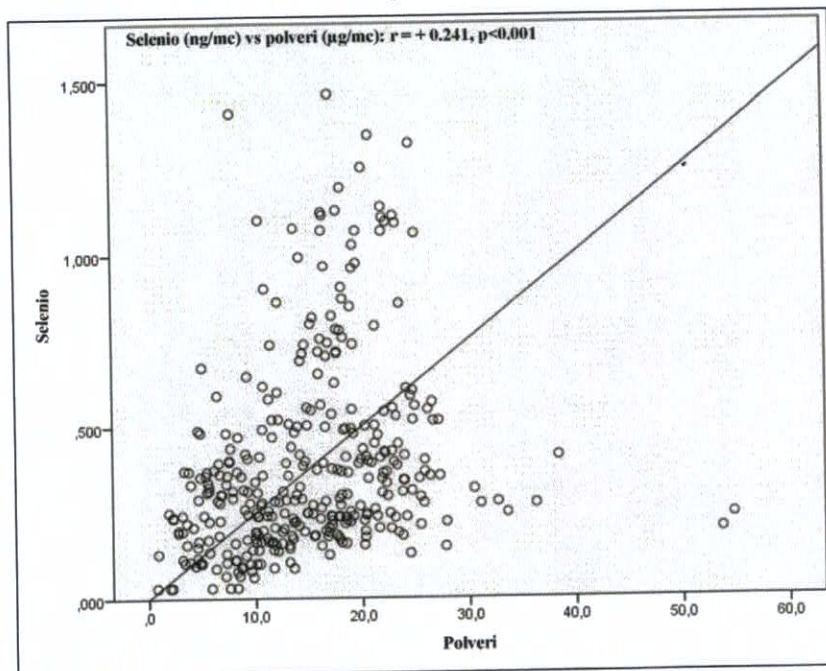


Figura 12



Il V varia significativamente rispetto al tipo di polvere, legandosi maggiormente alle PM2.5 ($P < 0.001$) (Fig. 13) e tra tutti è il metallo con la correlazione più stretta tra le concentrazioni dello stesso e l'aumentare delle polveri ($r = + 0.472$, $p < 0.001$) (Fig. 14).

Figura 13

Concentrazioni medie di V suddivise per tipo di particolato e provenienza delle polveri

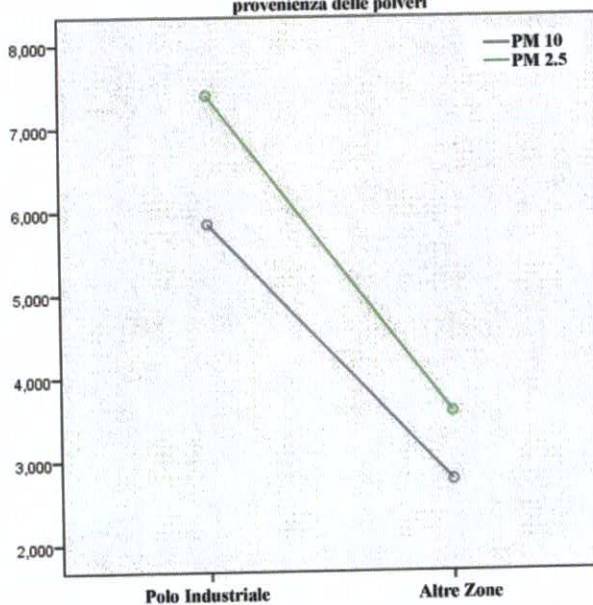
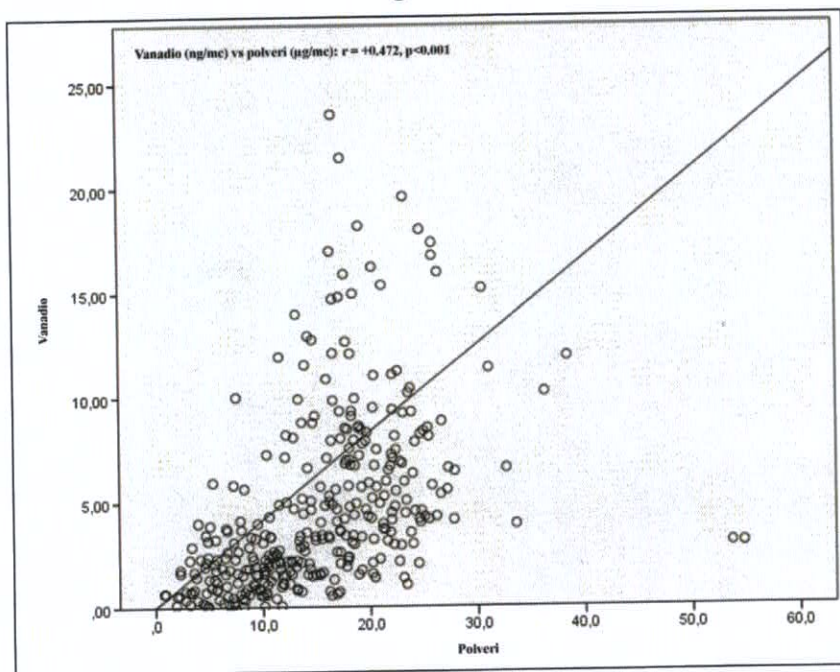


Figura 14



L'evoluzione delle normative in merito al monitoraggio della qualità dell'aria, ha seguito di pari passo l'aumento della consapevolezza della pericolosità e della tossicità di determinati inquinanti per la salute dell'uomo. Inizialmente, queste norme erano solo indicative, e solo in seguito, quando sono emerse sempre più strette correlazioni tra la presenza di inquinanti di origine industriale nell'aria e l'aumento di incidenza di numerose malattie nella popolazione locale, le sanzioni sono diventate più severe e i limiti sempre più stringenti.

Il progressivo adeguarsi delle politiche industriali alle norme in materia di qualità dell'aria ha prodotto notevoli effetti positivi, che è possibile riscontrare con l'analisi dei dati raccolti negli anni dal C.I.P.A.

Dall'analisi specifica dei dati raccolti nel 2013, sebbene emerge una forte associazione tra il particolato PM10, il V, il Co, il Se e il Ni con il polo industriale, e in minor misura anche con il Pb e l'As, non sono emersi nel corso dell'anno dei valori critici. Inoltre il Pb, il Co e il Ni non sono risultati associati ad una specifica frazione di particolato, al contrario degli altri metalli analizzati tutti strettamente correlati alla frazione PM2.5 che contribuisce in misura maggiore al rischio per la salute umana.

Durante tutto l'arco del 2013, per ciò che concerne la concentrazione dei metalli veicolati dal particolato atmosferico, non ci sono stati superamenti dei valori limite, né dei valori obiettivo. Per un'indagine più completa e approfondita, è stato seguito l'andamento annuale di altri metalli attualmente non regolamentati, al fine di comprendere, il peso del loro contributo sull'impatto dell'inquinamento atmosferico. Tra questi, potrebbe essere attenzionato il Vanadio, metallo che si trova a concentrazioni significativamente più alte rispetto agli altri metalli analizzati e che è strettamente correlato alle polveri provenienti dalla zona industriale, fermo restando che la concentrazione soglia suggerita dal WHO ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sia ben lontana dalle più alte concentrazioni trovate nel corso del 2013.

Complessivamente, i dati ottenuti mostrano un quadro positivo per quanto riguarda le emissioni di elementi in tracce in atmosfera, che necessitano un continuo monitoraggio specialmente nei periodi più caldi. I dati sono, inoltre, in linea con le tendenze osservate negli ultimi anni dal CIPA, confermando l'efficacia delle misure di miglioramento adottate negli anni.

In base ai risultati ottenuti in merito alle concentrazioni dei metalli sulle polveri si può evidenziare come il rischio della salute della popolazione esposta si sia notevolmente ridotto negli anni.

Infine, nonostante la percezione del rischio nella popolazione locale rimanga comunque elevata in merito a questo tipo di inquinanti, l'intensificarsi negli ultimi anni delle campagne di comunicazione ha come obiettivo principale quello di fornire un quadro concreto e reale della situazione legata alle emissioni di origine prettamente industriale.