

---

## ALLEGATO 1 – REPORT ESTESO SULLE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO E ANALISI DEI DATI

### Sommario

|   |    |
|---|----|
| 1. Analisi esplorativa dei dati di deposizione atmosferica .....                                | 3  |
| 1.1. Dati di riferimento .....  | 3  |
| 1.2. Confronto tra siti interni e siti esterni allo stabilimento .....                          | 4  |
| 1.2.1. Nichel.....  | 4  |
| 1.2.2. Cromo.....   | 6  |
| 1.2.3. Calcio e magnesio.....   | 7  |
| 1.2.4. Polvere totale .....   | 8  |
| 1.2.5. Altri metalli .....  | 10 |
| 1.3. Andamenti temporali degli inquinanti .....   | 12 |
| 1.4. Correlazioni tra gli inquinanti presenti nelle deposizioni .....                           | 14 |
| 1.4.1. Criteri di valutazione delle correlazioni .....  | 14 |
| 1.4.2. Correlazioni tra singoli inquinanti misurati nei diversi siti di misura .....            | 15 |
| 1.4.3. Correlazioni tra i diversi inquinanti misurati negli stessi punti di misura .....        | 20 |
| 2. Influenza delle condizioni meteorologiche sulle deposizioni atmosferiche .....               | 24 |
| 2.1. Influenza dell'intensità del vento .....   | 24 |
| 2.2. Influenza della direzione di provenienza del vento.....                                    | 25 |
| 2.3. Il caso del sodio.....   | 27 |
| 2.4. Influenza dei diversi regimi di vento.....   | 28 |
| 2.5. Influenza delle situazioni meteorologiche tipiche locali .....                             | 33 |
| 2.6. Influenza delle precipitazioni atmosferiche .....  | 36 |
| 3. Attività di monitoraggio delle immagini fotografiche degli eventi di emissione diffusa ..... | 38 |

---

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Analisi esplorativa dei dati .....   | 38 |
| 4. Influenza degli eventi di emissione diffusa sulle deposizioni atmosferiche ..... | 41 |
| 4.1. Descrizione della metodologia di analisi dei dati adottata .....               | 41 |
| 4.2. Sito CAS-C .....   | 42 |
| 4.2.1. Influenza del numero di eventi osservati .....                               | 42 |
| 4.2.2. Influenza dell'azione combinata degli eventi con il vento .....              | 46 |
| 4.3. Sito CAS-Q .....   | 50 |
| 4.3.1. Influenza del numero di eventi osservati .....                               | 50 |
| 4.3.2. Influenza dell'azione combinata degli eventi con il vento .....              | 50 |
| 4.4. Sito CAS-M .....   | 52 |
| 4.4.1. Influenza del numero di eventi osservati .....                               | 52 |
| 4.4.2. Influenza dell'azione combinata degli eventi con il vento .....              | 53 |
| 5. Analisi approfondite di singoli metalli .....                                    | 55 |
| 5.1. Cromo .....  | 55 |
| 5.2. Nichel .....   | 58 |
| 5.3. Cadmio .....   | 60 |
| 5.4. Cobalto .....  | 63 |
| 5.5. Molibdeno .....  | 64 |
| 5.6. Arsenico .....   | 66 |

## 1. Analisi esplorativa dei dati di deposizione atmosferica

### 1.1. Dati di riferimento

Nella Figura 1 seguente viene riportata la mappa dei siti di misura delle deposizioni atmosferiche interni allo stabilimento (CAS-C, CAS-Q, CAS-W, CAS-M) ed esterni allo stabilimento (AO-PEP, AO-PL) presi a riferimento per l'analisi dei dati.



Figura 1 – Siti di misura delle deposizioni atmosferiche all'interno dello stabilimento CAS con indicazione del reparto acciaieria e del reparto trattamento scorie che costituiscono le principali fonti di emissione diffusa di polveri. AO-PEP (Aosta-Pépinère) e AO-PL (Aosta-Plouves) sono siti di misura delle deposizioni atmosferiche sul territorio urbano

Nella Tabella 1 seguente vengono riportate le specifiche relative ai punti di misura e alle tempistiche della campagna di monitoraggio.

Tabella 1 – specifiche dei punti di misura delle deposizioni atmosferiche all'interno dello stabilimento

| SIGLA | TIPOLOGIA                        | DESCRIZIONE   | ESPOSIZIONE                            | N. MISURE DISPONIBILI | NOTE   |
|-------|----------------------------------|---|--|-----------------------|--|
| CAS-C | Interno stabilimento industriale | Terrazzo edificio caldaia                           | Settimanale (dal 11/01/16 al 12/08/16) | 30                    | La misura in questo sito è stata interrotta il 12/08/16 per cause di forza maggiore. Il campionamento della settimana 26 è stato invalidato a causa del ribaltamento del campionatore per il forte vento |
| CAS-W | Interno stabilimento industriale | Tetto cabina in cls situata a ovest dell'acciaieria | Settimanale (dal 16/08/16 al 31/12/16) | 19                    | Sito attivato dal 16/08/16 in sostituzione del sito CAS-C  |

|        |                                  |                             |  |    |  |
|--------|----------------------------------|-----------------------------|--|----|--|
| CAS-Q  | Interno stabilimento industriale | Terrazzo palazzina Qualità  | Settimanale (dal 01/01/16 al 28/12/16) | 51 |  |
| CAS-M  | Interno stabilimento industriale | Nei pressi del locale mensa | Settimanale (dal 01/01/16 al 28/12/16) | 51 |  |
| AO-PL  | Area urbana – fondo urbano       | Aosta Piazza Plouves        | Mensile (dal 01/01/16 al 31/12/16)     | 12 |  |
| AO-CdM | Area urbana – sito industriale   | Aosta Via Col du Mont       | Mensile (dal 01/01/16 al 31/12/16)     | 12 |  |

### **1.2. Confronto tra siti interni e siti esterni allo stabilimento**

Per una prima valutazione delle misure si procede al confronto dei valori misurati nei siti interni allo stabilimento con quelli misurati nei due siti esterni (AO-PEP, AO-PL).

Il confronto viene condotto rispetto al valore medio dell'intero periodo febbraio-luglio 2016 (6 mesi) tenendo conto che le misure nel sito CAS-C sono state condotte dal 11/01 al 16/08 e che nei siti esterni AO-PEP e AO-PL le misure vengono condotte con periodicità mensile.

In questa prima analisi vengono confrontati anche i boxplot dei dati settimanali relativi ai siti interni, per una valutazione della distribuzione dei valori della serie, prendendo in considerazione anche il sito CAS-W, in cui le misure sono state condotte dal 16/08 al 31/12, considerando l'informazione statistica ottenuta dal box-plot confrontabile con quella degli altri siti.

#### **1.2.1. Nichel**

Nel caso del nichel, considerato, assieme al cromo, uno dei principali marker delle emissioni della produzione dell'acciaio inossidabile, i valori dei siti interni sono confrontabili con quelli di AO-PEP e risultano sensibilmente superiori rispetto al valore di fondo urbano di AO-PL (Figura 2).

Pertanto l'entità delle ricadute di nichel all'interno dello stabilimento e nelle aree confinanti è piuttosto uniforme, mentre nel centro cittadino posto a nord dello stabilimento i valori di deposizione calano drasticamente.

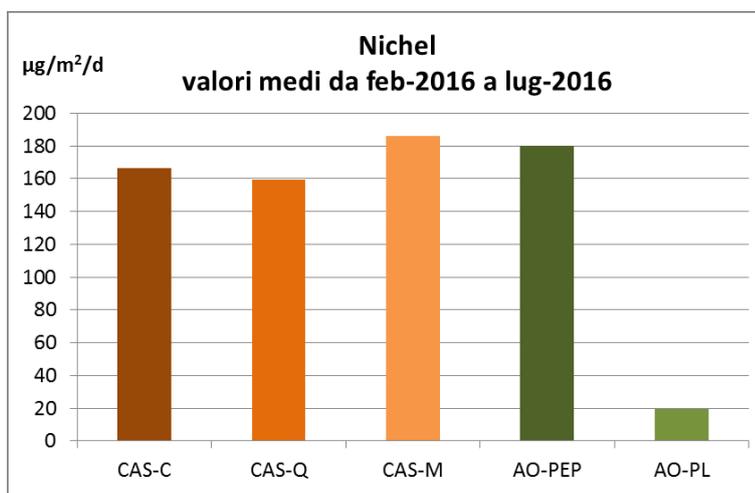


Figura 2 – Valori medi di deposizione di nichel riferiti al periodo febbraio-luglio 2016

L'esame dei boxplot dei dati settimanali della campagna di misura (Figura 3) indica che i 4 siti interni presentano una variabilità confrontabile dei valori di nichel e che il valore medio del sito di CAS-M riportato in Figura 2 è fortemente influenzato dalla presenza dei due outlayers visibili in Figura 3, mentre il valore medio è confrontabile con gli altri siti.

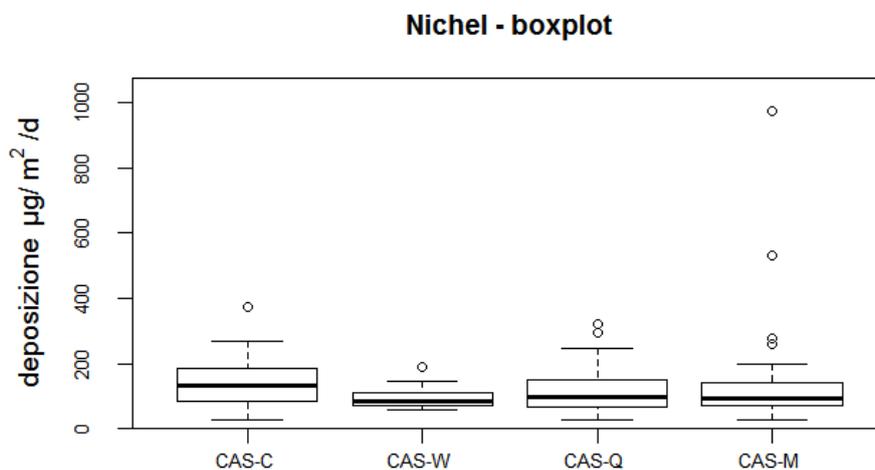


Figura 3 – Boxplot dei valori deposizione di nichel misurati nei siti interni allo stabilimento

### 1.2.2.Cromo

Nel caso del cromo emerge una differenza molto marcata tra i diversi siti di misura (Figura 4).

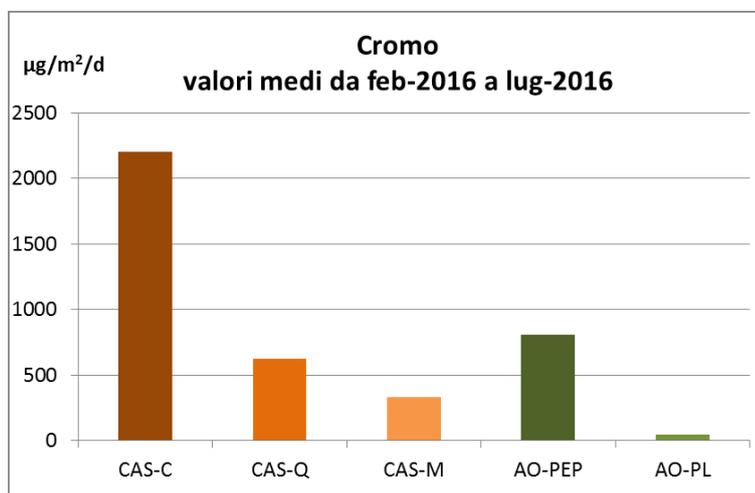


Figura 4 – Valori medi di deposizione di cromo riferiti al periodo febbraio-luglio 2016

Il valore del sito interno CAS-C è molto maggiore rispetto agli altri due siti interni CAS-Q e CAS-M. Desto particolare interesse la forte differenza dei valori misurati in CAS-C e in CAS-Q che sono a poche decine di metri di distanza tra loro e dal reparto acciaieria. Questo significa che l'azione dei venti sulle dinamiche di dispersione dei composti legati al cromo ha un ruolo determinante sulle ricadute delle emissioni diffuse nell'ambiente.

Il valore nel sito industriale AO-PEP è confrontabile con quello di CAS-Q e sensibilmente superiore rispetto a quello di CAS-M. Il valore nel sito di fondo urbano di AO-PL è molto inferiore rispetto agli altri siti.

L'esame dei boxplot indica che i valori di cromo nel sito CAS-C sono caratterizzati da una variabilità molto elevata riconducibile presumibilmente all'impatto delle emissioni diffuse, mentre negli altri siti la variabilità diminuisce drasticamente in relazione alla distanza (Figura 5). Questo indica che le particelle che contengono cromo ricadono a pochi metri dalla fonte di emissione diffusa e che i valori di deposizione diminuiscono molto rapidamente con l'aumentare della distanza dalla fonte di emissione.

### Cromo - boxplot

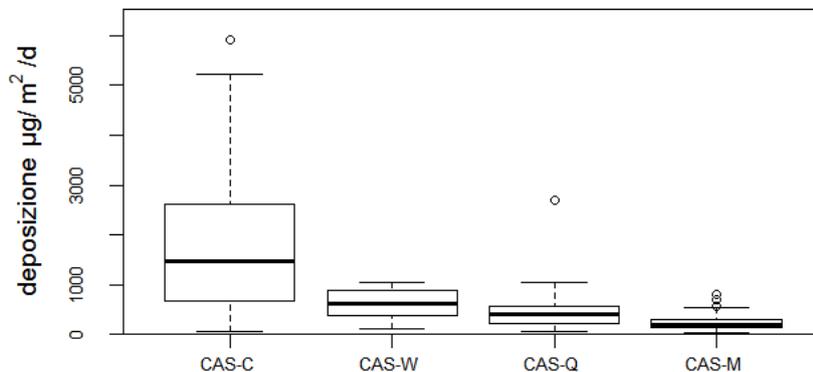


Figura 5 –Boxplot dei valori deposizione di cromo misurati nei siti interni allo stabilimento

### 1.2.3. Calcio e magnesio

Calcio e magnesio sono i principali costituenti della scoria che è un materiale utilizzato nella fusione dell'acciaio e nell'affinazione dell'acciaio liquido e che è costituita prevalentemente da ossidi di calcio e di magnesio. I valori medi di questi metalli misurati in AO-PEP sono notevolmente più elevati rispetto ai due siti interni allo stabilimento (Figura 6 e Figura 7), inducendo ad attribuire tale differenza all'influenza delle emissioni del reparto scorie (indicato in figura con la sigla "SC") situato in vicinanza del sito di misura.

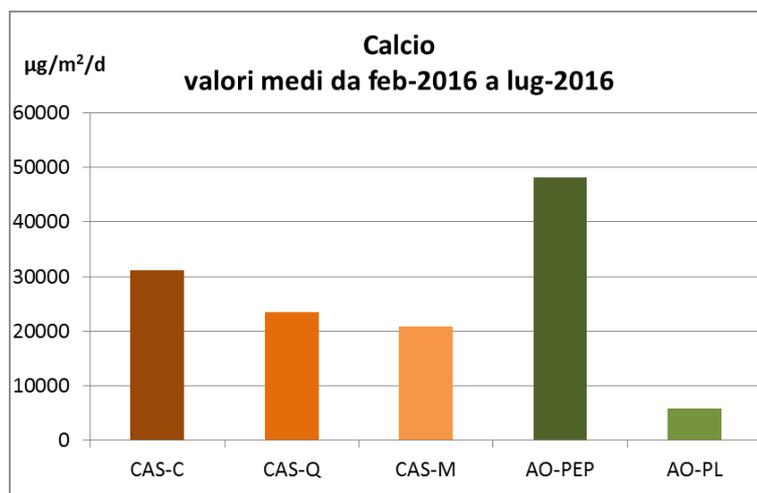


Figura 6 –Valori medi di deposizione di calcio riferiti al periodo febbraio-luglio 2016

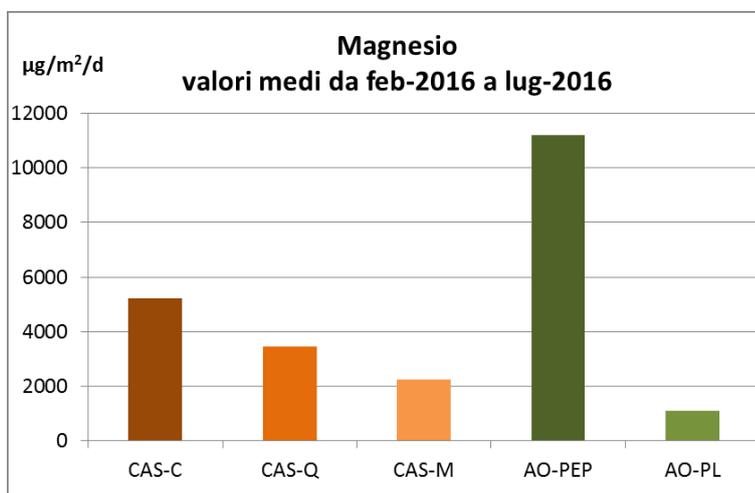


Figura 7 – Valori medi di deposizione di magnesio riferiti al periodo febbraio-luglio 2016

L'analisi dei boxplot (Figura 8) indica che la variabilità dei valori di calcio è elevata in tutti i siti, pur risultando più marcata nel sito CAS-C più vicino all'acciaieria. Pertanto anche l'acciaieria, oltre al reparto scorie, è una fonte di emissione di calcio derivante delle emissioni diffuse del ciclo di fusione dell'acciaio.

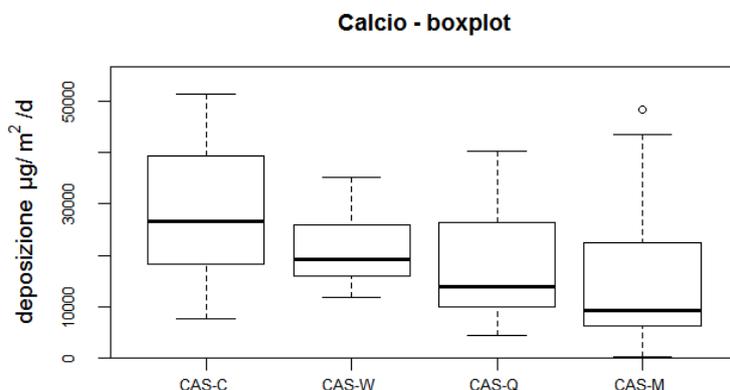


Figura 8 –Boxplot dei valori deposizione di calcio misurati nei siti interni allo stabilimento

### **1.2.4. Polvere totale**

Pur non essendo un inquinante specifico della produzione dell'acciaio, la polvere totale costituisce un parametro di interesse per la valutazione dell'influenza delle emissioni dello stabilimento

rispetto alle altre fonti di emissione (traffico, riscaldamento domestico, fonte crostale legata alla risospensione della polvere della terra).

Il valore medio del sito AO-PEP (Figura 9) è sensibilmente più elevato rispetto ai siti interni allo stabilimento CAS, ricalcando l'andamento osservato per il calcio. Questo induce ad attribuire al reparto scorie una forte influenza sui valori di deposizione di polvere totale nel sito AO-PEP.

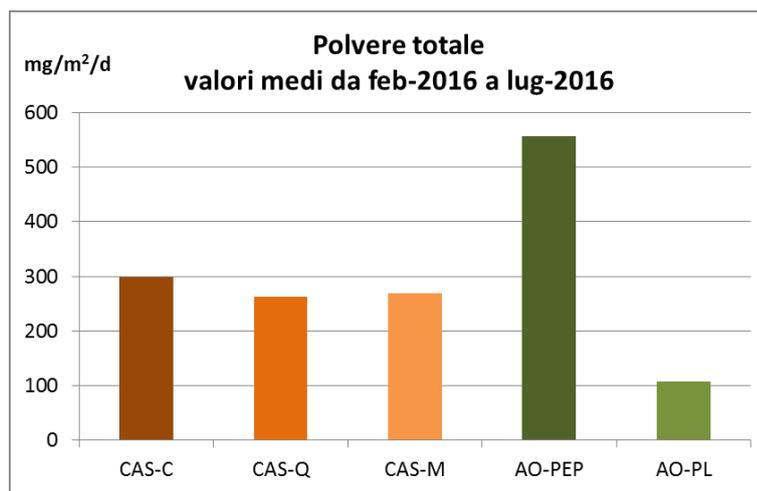


Figura 9 – Valori medi di deposizione di polvere totale riferiti al periodo febbraio-luglio 2016

Le scorie, pur essendo costituite principalmente da calcio e magnesio, contengono anche una certa quantità di metalli presenti negli acciai prodotti durante la fusione. Pertanto le polveri che provengono dalle emissioni del reparto scorie e che ricadono in AO-PEP portano inevitabilmente con sé anche un contributo di metalli legati alla produzione dell'acciaio, tra i quali in particolare nichel e cromo.

L'analisi dei boxplot indica che la variabilità dei valori di polvere totale nei siti interni allo stabilimento (Figura 10) è simile e che il sito CAS-M è caratterizzato dalla presenza di due outliers che ne determinano il valore medio.

**Polvere totale - boxplot**

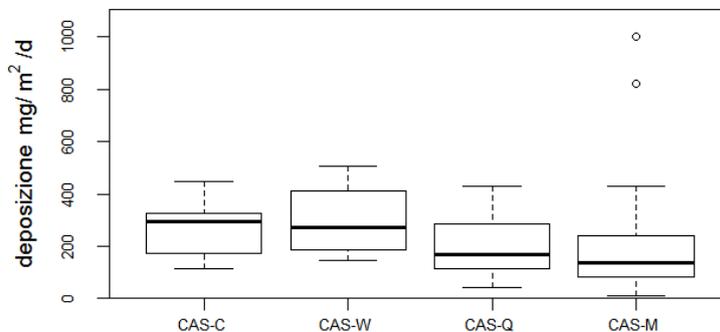
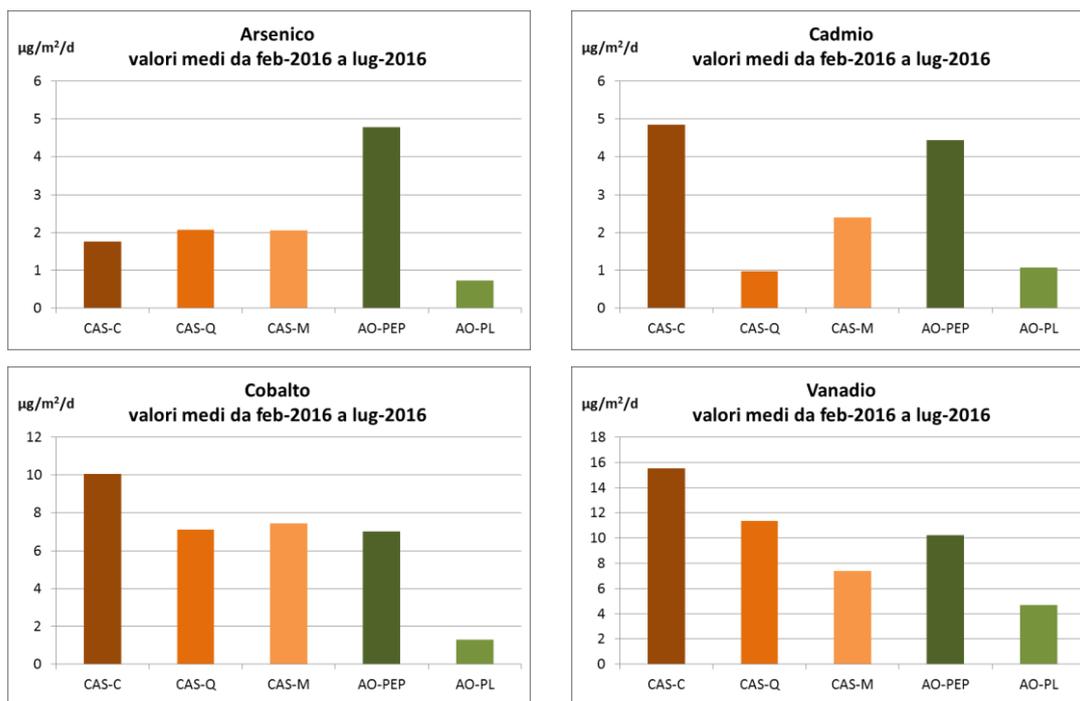


Figura 10 –Boxplot dei valori deposizione di polvere totale misurati nei siti interni allo stabilimento

**1.2.5. Altri metalli**

Nella Figura 11 seguente vengono riportati i grafici dei valori medi del periodo febbraio-luglio 2016 per gli altri metalli misurati nel monitoraggio delle deposizioni atmosferiche.



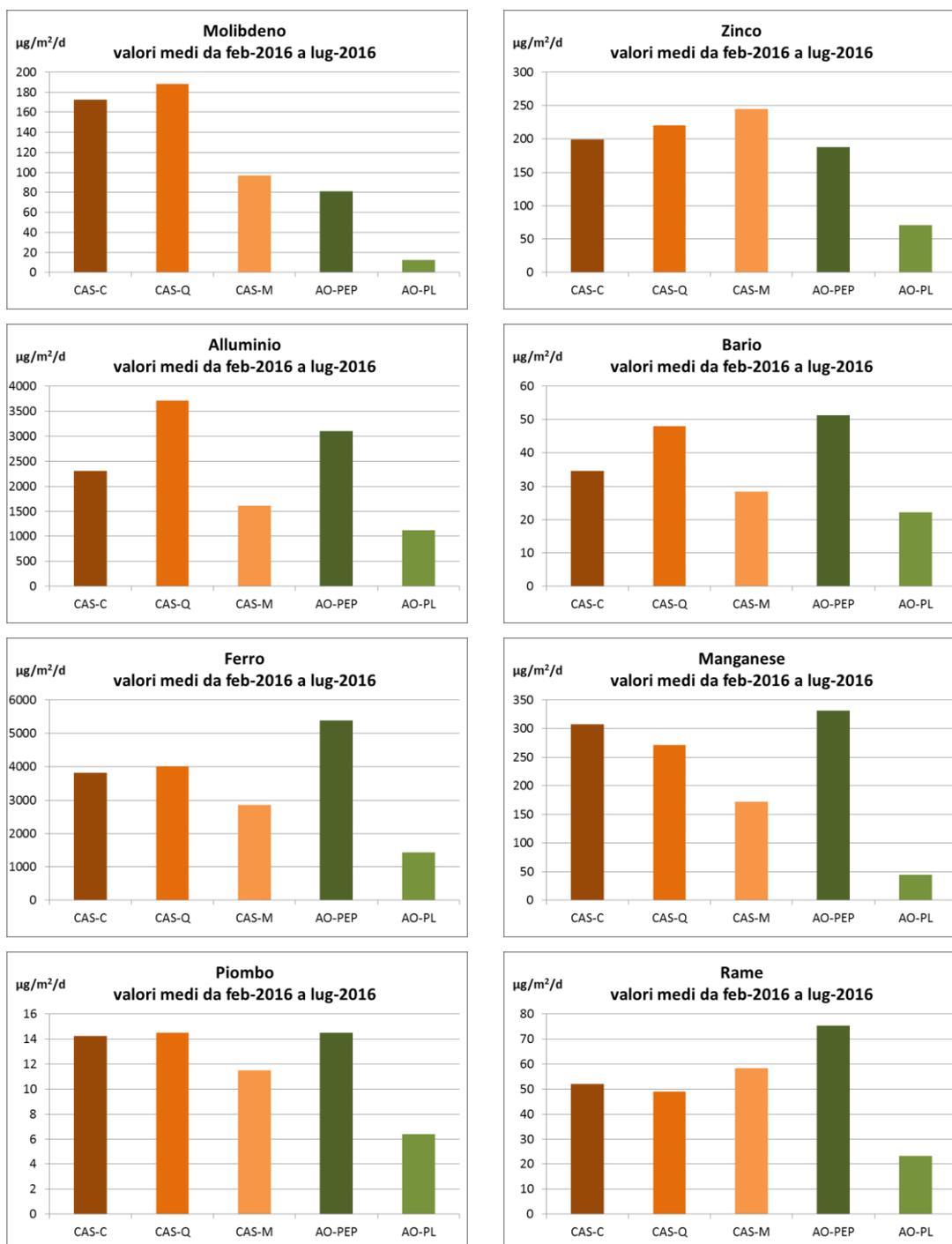


Figura 11 – Valori medi di deposizione riferiti al periodo febbraio-luglio 2016

### 1.3. Andamenti temporali degli inquinanti

Per un quadro di insieme degli andamenti temporali di tutti gli inquinanti misurati nei diversi siti, prendiamo in considerazione la localizzazione temporale dei valori più bassi (< 5° percentile) e dei valori più elevati della serie (> 95° percentile) considerando i siti di misura CAS-Q e CAS-M per i quali è disponibile la serie completa (Figura 12).

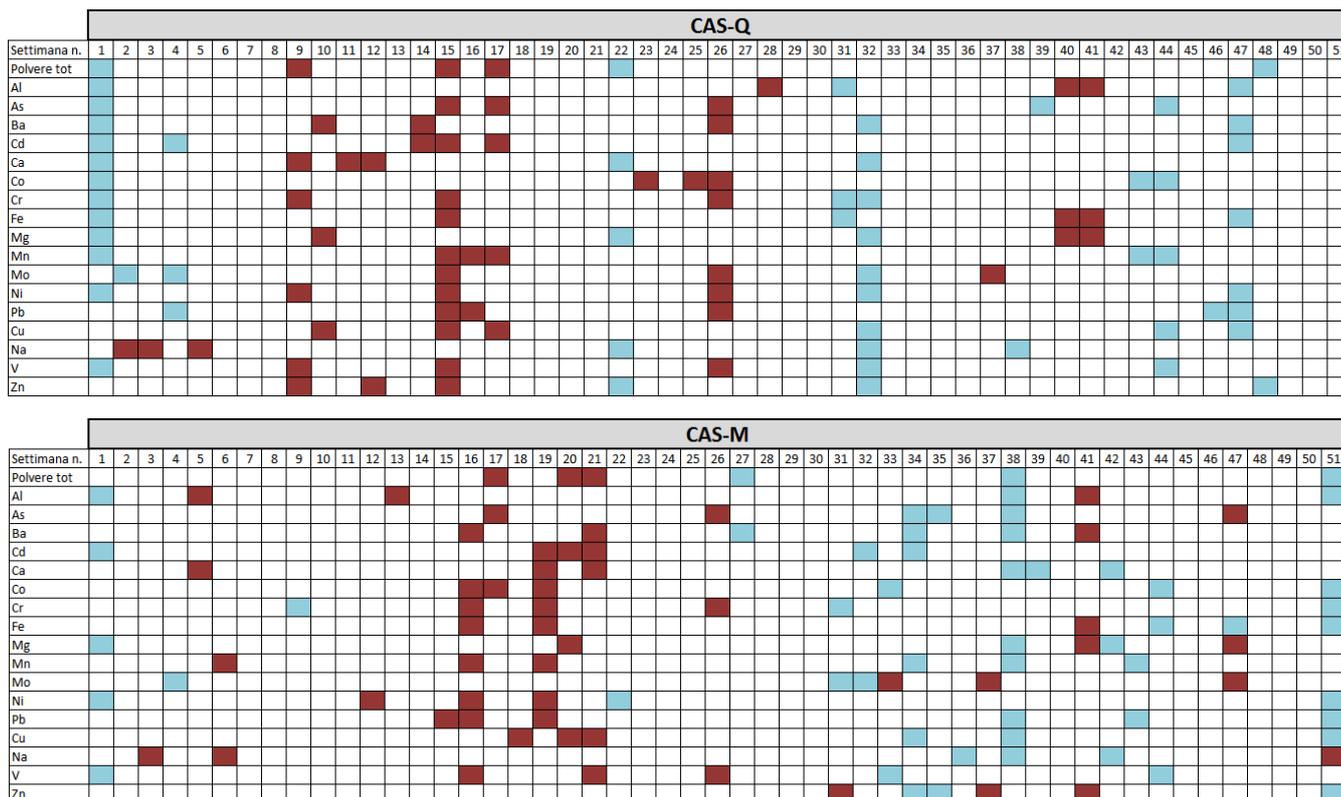


Figura 12 – Rappresentazione grafica della distribuzione temporale dei valori più bassi e più alti della serie di misure nei siti CAS-Q e CAS-M: le celle in azzurro indicano i valori inferiori al 5° percentile, le celle in rosso indicano i valori superiori al 95° percentile

Dai grafici emerge la presenza, per molti metalli, dei valori più bassi della serie (celle in azzurro) nei periodi di chiusura del reparto acciaieria: settimana 1 (1-10 gennaio), settimane 31-32 (1-15 agosto), settimana 51 (19-28 dicembre).

Si osserva una concentrazione di valori elevati della serie nel periodo compreso tra la settimana 9 e la settimana 21, corrispondente al periodo primaverile compreso tra inizio marzo e fine maggio.

Per un quadro più dettagliato prendiamo ora in considerazione, per ognuna delle 51 settimane di monitoraggio, l'indicatore definito dal "numero di parametri con valore superiore alla media della

serie” (Figura 13), escludendo in questo caso il sito CAS-W per la ridotta numerosità dei dati disponibili. Tale indicatore rappresenta l’aumento complessivo dei valori di deposizione dei diversi metalli.

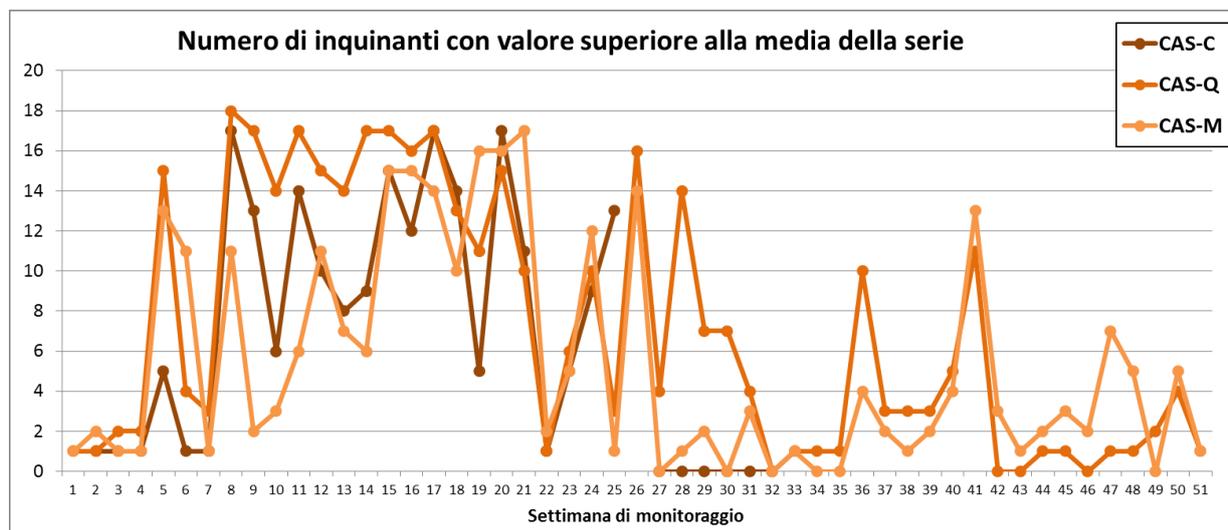


Figura 13 – Rappresentazione grafica del parametro “numero di inquinanti con valore di deposizione superiore alla media della serie”

Dal grafico emerge chiaramente che i valori più elevati delle serie di valori dei siti CAS-C, CAS-Q e CAS-M sono compresi nel periodo compreso tra la settimana 8 e la settimana 28, ovvero tra metà febbraio e metà luglio.

Emergono inoltre alcune corrispondenze tra i tre siti in alcuni valori puntuali di picco (ad esempio nelle settimane 5, 8, 20, 24, 26, 41) e in alcuni valori puntuali di minimo (settimane 7, 22).

Questi elementi inducono a pensare alla presenza di fattori comuni che influiscono sui valori di deposizione nei tre siti di misura, che coinvolgono anche il sito CAS-M nonostante sia ben più distante dall'acciaieria rispetto ai siti CAS-C e CAS-Q.

L'andamento osservato in Figura 13 trova riscontro nell'andamento della polvere totale nel tempo (Figura 14), che appare molto simile. Questo significa che nei periodi in cui i valori di deposizione di polvere sono più alti si riscontrano valori elevati di un maggiore numero di metalli.

Questo è riconducibile al fatto che la polvere proveniente dalle emissioni diffuse contiene i metalli caratteristici della produzione dell'acciaio.

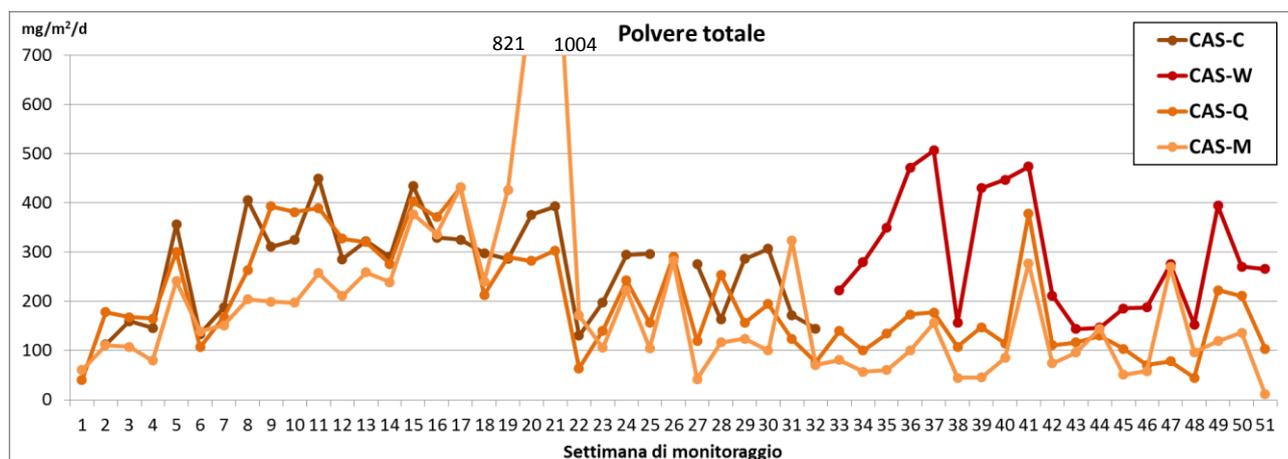


Figura 14 – Andamento temporale della deposizione di polvere totale nei siti interni allo stabilimento. Si osserva un andamento molto simile a quello osservato per l'indicatore “numero di inquinanti con valore superiore alla media della serie”, fatta eccezione per due valori spot del sito CAS-M nelle settimane 20 e 21

#### 1.4. Correlazioni tra gli inquinanti presenti nelle deposizioni

##### 1.4.1. Criteri di valutazione delle correlazioni

Per indagare l'esistenza di relazioni tra i diversi metalli determinati nelle deposizioni facciamo riferimento al coefficiente “r” di Pearson, che è un indice che fornisce informazioni in merito alla direzione e alla forza della correlazione tra due variabili.

Il valore del coefficiente è compreso tra -1 e 1. Valori positivi indicano una correlazione lineare positiva tra le due variabili, valori negativi indicano una correlazione lineare negativa, il valore zero indica l'assenza di correlazione.

Non c'è un criterio matematico o statistico oggettivo per l'interpretazione del grado della correlazione lineare. La prassi ha portato a stabilire una serie di convenzioni e di conseguenza in letteratura sono reperibili diversi criteri di interpretazione del valore del coefficiente di correlazione. Sta a chi fa l'analisi dei dati scegliere il criterio più opportuno, in relazione alle finalità dello studio, alla qualità dei dati e alla natura dei fenomeni oggetto di osservazione.

Nel presente lavoro vengono presi a riferimento i criteri riportati nella Figura 15 seguente.

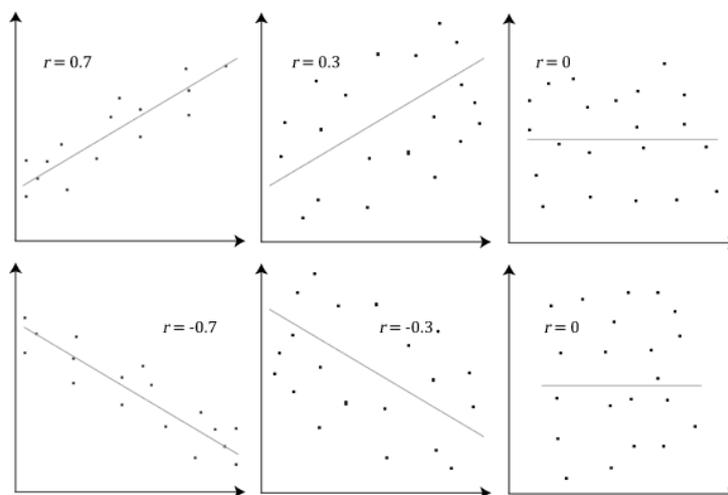


Figura 15 – Interpretazioni del coefficiente di correlazione “r” di Pearson. Per  $r > 0,7$  la correlazione è positiva evidente; per  $r > 0,3$  la correlazione è positiva visibile; per  $r = 0$  la correlazione è assente

Il criterio di valutazione scelto prevede che:

- nel caso di valori di indice di correlazione  $0,3 < r \leq 0,7$  parliamo di “correlazione positiva visibile” (oppure per  $-0,7 \leq r < -0,3$  di “correlazione negativa visibile”);
- nel caso di valori di indice di correlazione  $r > 0,7$  parliamo di “correlazione positiva evidente” (oppure per  $r < -0,7$  di “correlazione negativa evidente”).

#### **1.4.2. Correlazioni tra singoli inquinanti misurati nei diversi siti di misura**

Per la valutazione delle correlazioni tra valori di deposizione, trattandosi di parametri determinati attraverso misure condotte con lo stesso metodo di misura, si decide di prendere in considerazione le correlazioni caratterizzate da un indice di correlazione  $r > 0,7$ .

Procediamo ora a indagare le correlazioni dei valori di deposizione dei singoli metalli nei diversi siti di misura. A tale proposito viene calcolato l'indice di correlazione “r” per ognuna delle coppie di variabili costituite dai valori di uno stesso inquinante misurato contemporaneamente in due siti di misura.

Vengono pertanto analizzate le correlazioni esistenti per ogni inquinante rispetto alle seguenti coppie di siti di misura:

- CAS-C e CAS-Q
- CAS-C e CAS-M

- CAS-Q e CAS-M.

#### 1.4.2.1. Correlazioni tra i siti CAS-C e CAS-Q

Nella Figura 16 seguente vengono riportati gli indici di correlazione relativi ai valori dei singoli metalli misurati contemporaneamente nei siti CAS-C e CAS-Q.

|                | Polv tot    | Al   | As          | Ba   | Cd   | Ca          | Co          | Cr   | Fe   | Mg   | Mn   | Mo          | Ni          | Pb   | Cu   | Na          | V    | Zn          |
|----------------|-------------|------|-------------|------|------|-------------|-------------|------|------|------|------|-------------|-------------|------|------|-------------|------|-------------|
| CAS-C vs CAS-Q | <b>0,75</b> | 0,64 | <b>0,90</b> | 0,68 | 0,35 | <b>0,77</b> | <b>0,75</b> | 0,08 | 0,57 | 0,40 | 0,67 | <b>0,87</b> | <b>0,80</b> | 0,51 | 0,61 | <b>0,87</b> | 0,38 | <b>0,85</b> |

Figura 16 – Indici di correlazione dei valori di deposizione dei singoli metalli misurati contemporaneamente nei siti CAS-C e CAS-Q. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,7$

Fatta eccezione per il sodio, che, come verrà approfonditamente spiegato nei paragrafi successivi, è influenzato in maniera determinante da una fonte emissiva diversa dall'acciaieria, per tutti gli altri metalli valgono le considerazioni seguenti.

I siti CAS-C e CAS-Q, che sono a poche decine di metri di distanza, presentano correlazioni positive visibili ( $r > 0,3$ ) per tutti i parametri eccetto il cromo e correlazioni positive evidenti ( $r > 0,7$ ) per polvere totale, As, Ca, Co, Mo, Ni e Zn. Questo significa che le deposizioni di tali metalli in questi due siti è fortemente influenzata da una unica fonte emissiva presumibilmente costituita dalle emissioni diffuse di polveri del reparto acciaieria.

A titolo di esempio in Figura 17 viene riportato lo scatterplot (diagramma a dispersione di punti) relativo alle coppie di valori di nichel nei due siti. I punti sono evidentemente ben allineati.

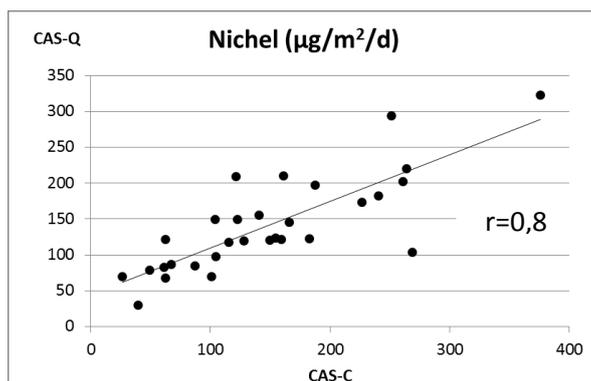


Figura 17 – Scatterplot delle coppie di valori di nichel nei siti CAS-C e CAS-Q. Le due serie di valori mostrano una evidente correlazione

Per altri metalli caratteristici dell'acciaieria (Fe, Mg, Mn) le correlazioni risultano visibilmente positive ma meno evidenti (valori di r compresi tra 0,4 e 0,7) probabilmente perché influenzate da altri fattori, come, ad esempio, altre fonti emissive o l'azione dei venti.

Attenzione particolare merita il cromo che, pur essendo sicuramente un metallo caratteristico della produzione dell'acciaio inossidabile, presenta correlazione praticamente nulla tra i due siti di misura. In realtà la correlazione del cromo tra i siti CAS-C e CAS-Q è influenzata negativamente da un unico valore spot misurato nel sito CAS-Q nella settimana 9, escludendo il quale la correlazione risulta positiva anche se comunque poco significativa (Figura 18).

Il cromo pertanto ha un comportamento piuttosto diverso rispetto agli altri metalli, probabilmente legato al peso molecolare dei composti che questo metallo tende a formare.

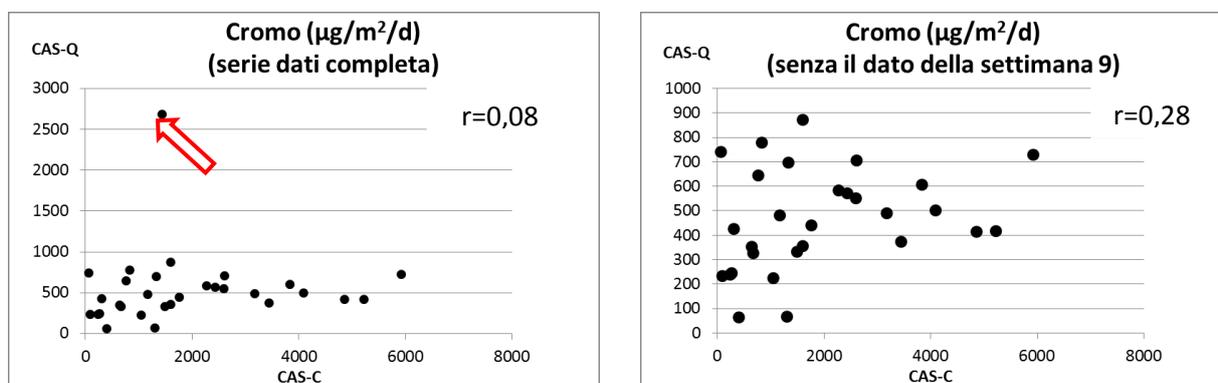


Figura 18 – Scatterplot delle coppie di valori di cromo nei siti CAS-C e CAS-Q. Escludendo dai dati la coppia di valori spot della settimana 9 (freccia rossa) l'indice di correlazione aumenta sensibilmente ( $r=0,28$ ) evidenziando una correlazione positiva anche se poco significativa

#### 1.4.2.2. Correlazioni tra i siti CAS-C e CAS-M

Nella Figura 19 seguente vengono riportati gli indici di correlazione relativi ai valori dei singoli metalli misurati contemporaneamente nei siti CAS-C e CAS-M.

|                | Polv tot | Al   | As          | Ba   | Cd          | Ca   | Co   | Cr    | Fe   | Mg   | Mn   | Mo   | Ni   | Pb   | Cu   | Na          | V    | Zn    |
|----------------|----------|------|-------------|------|-------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|-------|
| CAS-C vs CAS-M | 0,52     | 0,61 | <b>0,78</b> | 0,45 | <b>0,87</b> | 0,54 | 0,24 | -0,01 | 0,25 | 0,21 | 0,24 | 0,42 | 0,12 | 0,24 | 0,08 | <b>0,81</b> | 0,15 | -0,05 |

Figura 19 – Indici di correlazione dei valori di deposizione dei singoli metalli misurati contemporaneamente nei siti CAS-C e CAS-M. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,7$ . L'indice di correlazione relativo al Cd è influenzato dalla presenza di due coppie di valori spot senza le quali l'indice di correlazione risulta più debole ( $r=0,5$ )

Si notano correlazioni generalmente positive per gli stessi metalli considerati nel confronto tra CAS-C e CAS-Q ma con indici di correlazione inferiori, come è logico attendersi per la maggiore distanza di CAS-M rispetto al sito CAS-C e al reparto acciaieria.

Escludendo il sodio, le correlazioni evidenti riguardano As e Cd. Se nel caso dell'arsenico la correlazione trova riscontro nella rappresentazione grafica dello scatterplot (Figura 20), nel caso del cadmio il valore dell'indice di correlazione ( $r=0,87$ ) è determinato dalla presenza di due coppie di valori elevati rilevata nei due siti nel corso delle settimane 19-20 senza le quali la correlazione risulta piuttosto debole (Figura 21).

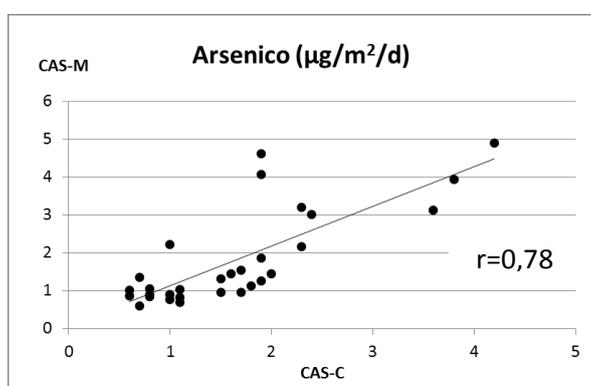


Figura 20 – Scatterplot delle coppie di valori di arsenico nei siti CAS-C e CAS-M

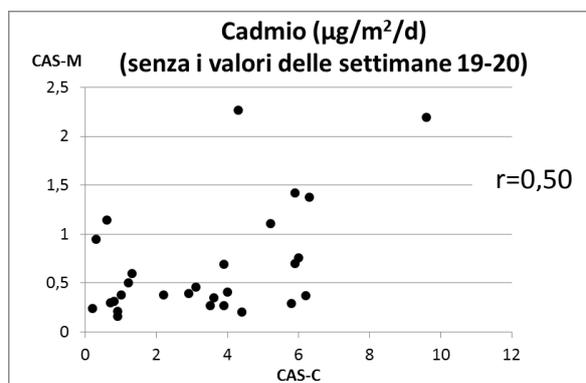
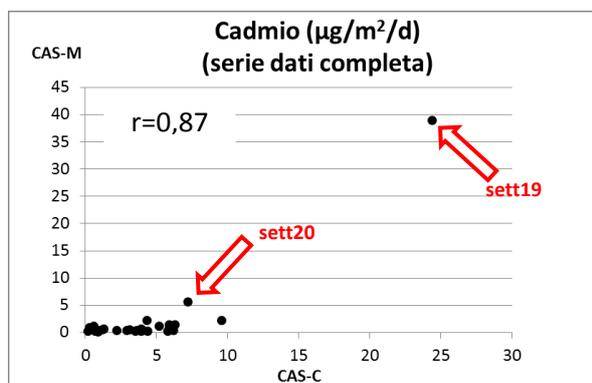


Figura 21 – Scatterplot delle coppie di valori di cadmio nei siti CAS-C e CAS-M. Escludendo dalla serie le coppie di valori spot delle settimane 19 e 20 l'indice di correlazione risulta pari a  $r=0,50$  (grafico a destra), ovvero molto inferiore rispetto al valore  $r=0,87$  della serie completa

La settimana 19 è stata caratterizzata da valori di picco di cadmio molto elevati nei siti CAS-C e CAS-M. Tali valori di picco non trovano riscontro nel sito CAS-Q, nel quale il valore di cadmio della settimana 19 è risultato pari a circa  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ , ovvero di poco superiore alla media della

campagna di misura. Questi aspetti vengono trattati nel paragrafo di approfondimento relativo al cadmio riportato in seguito.

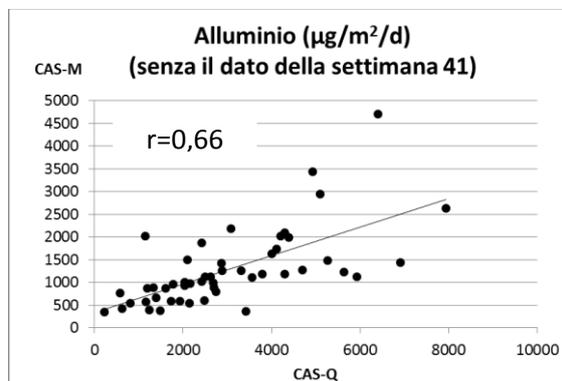
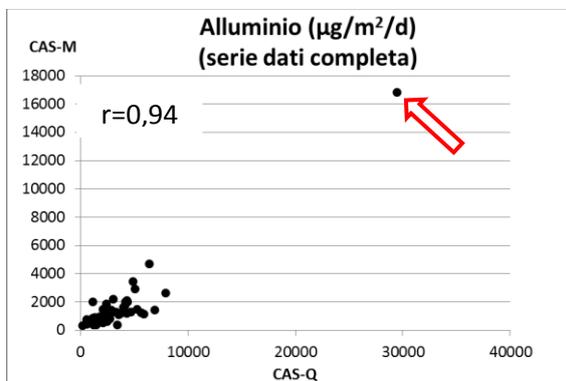
### 1.4.2.3. Correlazioni tra i siti CAS-Q e CAS-M

Nella Figura 22 seguente vengono riportati gli indici di correlazione relativi ai valori dei singoli metalli misurati contemporaneamente nei siti CAS-Q e CAS-M.

|                | Polv tot | Al          | As   | Ba   | Cd   | Ca          | Co   | Cr   | Fe          | Mg   | Mn   | Mo   | Ni   | Pb   | Cu   | Na          | V           | Zn    |
|----------------|----------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------------|-------|
| CAS-Q vs CAS-M | 0,55     | <b>0,95</b> | 0,70 | 0,61 | 0,26 | <b>0,80</b> | 0,40 | 0,17 | <b>0,81</b> | 0,62 | 0,59 | 0,45 | 0,39 | 0,53 | 0,32 | <b>0,80</b> | <b>0,81</b> | -0,07 |

Figura 22 – Indici di correlazione dei valori di deposizione dei singoli metalli misurati contemporaneamente nei siti CAS-Q e CAS-M. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,7$

I valori degli indici di correlazione per Al e Fe tra i siti CAS-Q e CAS-M risultano fortemente influenzati da un unico dato della settimana 41 che risulta molto più elevato rispetto alla media della serie (Figura 23). Senza tale dato la correlazione risulta molto meno evidente di quanto appare dagli indici relativi alla serie completa, anche se comunque risulta buona per entrambi i metalli ( $r=0,66$  per Al,  $r=0,64$  per Fe).



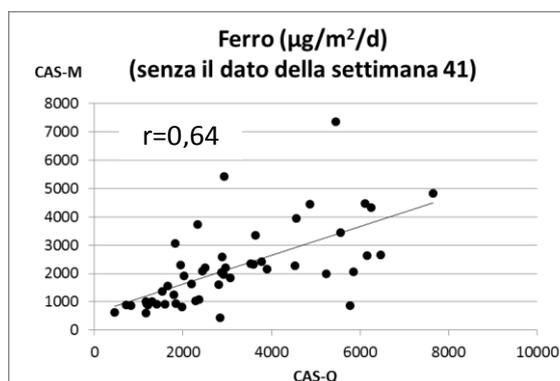
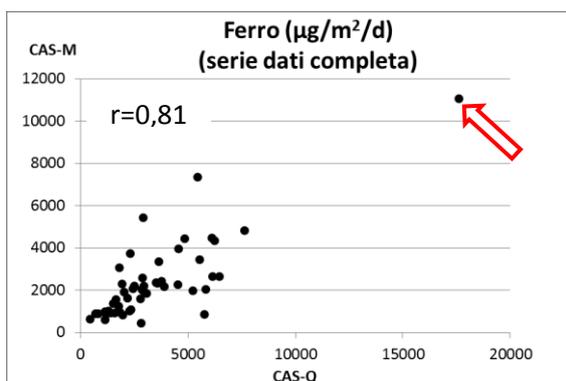


Figura 23 – Scatterplot delle coppie di valori di alluminio (grafici in alto) e di ferro (grafici in basso) nei siti CAS-Q e CAS-M. Escludendo dai dati i valori spot della settimana 41 gli indici di correlazione risultano comunque significativi (0,66 per Al e 0,64 per Fe) ma molto inferiori rispetto agli indici di correlazione della serie completa (0,94 per Al e 0,81 per Fe)

### **1.4.3. Correlazioni tra i diversi inquinanti misurati negli stessi punti di misura**

#### **1.4.3.1. Sito CAS-C**

Nella Figura 24 viene riportata la matrice di correlazione dei metalli per il sito CAS-C, con evidenziazione dei valori  $r > 0,7$ .

| CAS-C    | Polv tot    | Al          | As          | Ba          | Cd    | Ca          | Co          | Cr          | Fe          | Mg          | Mn          | Mo          | Ni          | Pb    | Cu    | Na    | V           | Zn          |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|
| Polv tot |             | 0,53        | 0,60        | 0,64        | 0,26  | <b>0,89</b> | 0,32        | 0,49        | <b>0,71</b> | <b>0,73</b> | <b>0,86</b> | <b>0,72</b> | <b>0,73</b> | 0,28  | 0,41  | -0,29 | <b>0,70</b> | <b>0,72</b> |
| Al       | 0,53        |             | 0,44        | <b>0,81</b> | 0,04  | 0,54        | 0,33        | 0,45        | <b>0,80</b> | 0,54        | 0,51        | 0,25        | 0,45        | 0,28  | 0,38  | -0,24 | 0,57        | 0,43        |
| As       | 0,60        | 0,44        |             | 0,59        | 0,29  | 0,59        | 0,22        | 0,45        | 0,62        | 0,62        | <b>0,72</b> | <b>0,70</b> | 0,64        | 0,29  | 0,49  | -0,31 | 0,65        | 0,46        |
| Ba       | 0,64        | <b>0,81</b> | 0,59        |             | -0,04 | <b>0,70</b> | 0,20        | 0,54        | <b>0,80</b> | <b>0,77</b> | 0,68        | 0,40        | 0,50        | 0,46  | 0,37  | -0,20 | 0,65        | 0,48        |
| Cd       | 0,26        | 0,04        | 0,29        | -0,04       |       | 0,15        | 0,08        | 0,07        | 0,02        | 0,31        | 0,32        | 0,26        | 0,19        | 0,13  | 0,14  | -0,36 | 0,17        | -0,05       |
| Ca       | <b>0,89</b> | 0,54        | 0,59        | <b>0,70</b> | 0,15  |             | 0,18        | 0,45        | <b>0,75</b> | <b>0,82</b> | <b>0,82</b> | 0,64        | <b>0,71</b> | 0,22  | 0,36  | -0,19 | 0,64        | <b>0,72</b> |
| Co       | 0,32        | 0,33        | 0,22        | 0,20        | 0,08  | 0,18        |             | 0,66        | 0,46        | 0,28        | 0,47        | 0,30        | 0,49        | 0,20  | 0,22  | -0,41 | <b>0,71</b> | -0,02       |
| Cr       | 0,49        | 0,45        | 0,45        | 0,54        | 0,07  | 0,45        | 0,66        |             | <b>0,71</b> | 0,64        | 0,66        | 0,45        | 0,57        | 0,18  | 0,54  | -0,35 | <b>0,91</b> | 0,09        |
| Fe       | <b>0,71</b> | <b>0,80</b> | 0,62        | <b>0,80</b> | 0,02  | <b>0,75</b> | 0,46        | <b>0,71</b> |             | <b>0,75</b> | <b>0,79</b> | 0,50        | <b>0,80</b> | 0,22  | 0,45  | -0,24 | <b>0,82</b> | 0,59        |
| Mg       | <b>0,73</b> | 0,54        | 0,62        | <b>0,77</b> | 0,31  | <b>0,82</b> | 0,28        | 0,64        | <b>0,75</b> |             | <b>0,86</b> | 0,59        | 0,64        | 0,26  | 0,41  | -0,21 | <b>0,76</b> | 0,41        |
| Mn       | <b>0,86</b> | 0,51        | <b>0,72</b> | 0,68        | 0,32  | <b>0,82</b> | 0,47        | 0,66        | <b>0,79</b> | <b>0,86</b> |             | <b>0,74</b> | <b>0,85</b> | 0,27  | 0,41  | -0,35 | <b>0,85</b> | 0,59        |
| Mo       | <b>0,72</b> | 0,25        | <b>0,70</b> | 0,40        | 0,26  | 0,64        | 0,30        | 0,45        | 0,50        | 0,59        | <b>0,74</b> |             | 0,68        | 0,23  | 0,61  | -0,32 | 0,60        | 0,44        |
| Ni       | <b>0,73</b> | 0,45        | 0,64        | 0,50        | 0,19  | <b>0,71</b> | 0,49        | 0,57        | <b>0,80</b> | 0,64        | <b>0,85</b> | 0,68        |             | 0,18  | 0,43  | -0,34 | <b>0,76</b> | 0,60        |
| Pb       | 0,28        | 0,28        | 0,29        | 0,46        | 0,13  | 0,22        | 0,20        | 0,18        | 0,22        | 0,26        | 0,27        | 0,23        | 0,18        |       | 0,21  | -0,29 | 0,24        | 0,12        |
| Cu       | 0,41        | 0,38        | 0,49        | 0,37        | 0,14  | 0,36        | 0,22        | 0,54        | 0,45        | 0,41        | 0,41        | 0,61        | 0,43        | 0,21  |       | -0,26 | 0,51        | 0,11        |
| Na       | -0,29       | -0,24       | -0,31       | -0,20       | -0,36 | -0,19       | -0,41       | -0,35       | -0,24       | -0,21       | -0,35       | -0,32       | -0,34       | -0,29 | -0,26 |       | -0,44       | 0,04        |
| V        | <b>0,70</b> | 0,57        | 0,65        | 0,65        | 0,17  | 0,64        | <b>0,71</b> | <b>0,91</b> | <b>0,82</b> | <b>0,76</b> | <b>0,85</b> | 0,60        | <b>0,76</b> | 0,24  | 0,51  | -0,44 |             | 0,30        |
| Zn       | <b>0,72</b> | 0,43        | 0,46        | 0,48        | -0,05 | <b>0,72</b> | -0,02       | 0,09        | 0,59        | 0,41        | 0,59        | 0,44        | 0,60        | 0,12  | 0,11  | 0,04  | 0,30        |             |

Figura 24 –Matrice di correlazione dei metalli nelle deposizioni relativa al sito CAS-C. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,7$

La polvere totale (colonna 1 oppure riga 1 della matrice) risulta correlata positivamente con tutti i metalli ad eccezione del sodio, con valori di  $r$  che in quasi tutti i casi sono superiori a 0,5. Particolarmente evidente è la correlazione con Ca, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni e Zn.

Nella Figura 25 seguente viene riportato lo scatterplot delle coppie di valori di polvere totale e calcio per ognuna delle 30 misure effettuate nel sito CAS-C.

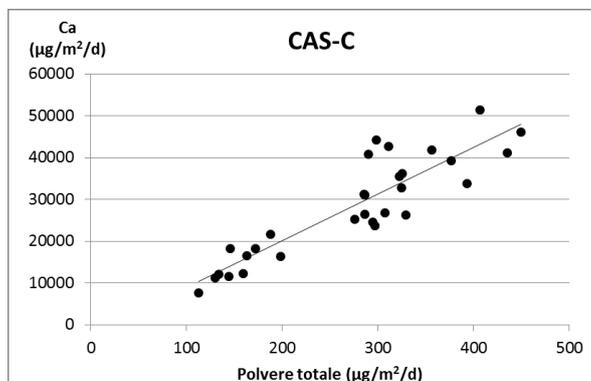


Figura 25 –Scatterplot delle coppie di valori di polvere totale e calcio nel sito CAS-C

I punti sono ben allineati e la correlazione lineare tra i due parametri è molto alta, come indicato dal valore del coefficiente di correlazione  $r=0,89$ .

Oltre all'indice  $r$ , è possibile fare riferimento anche all'indice  $r^2$ , detto coefficiente di determinazione, pari al quadrato del valore di  $r$ . L'indice  $r^2$  esprime la percentuale di variabilità dei valori della variabile "polvere totale" che può essere giustificata dalla variazione della variabile "calcio".

Nel caso in esame questa informazione può essere tradotta interpretando che nel sito CAS-C la variazione dei valori di polvere totale sia riconducibile in una misura pari all'80% circa ( $r^2=0,79$ ) a una fonte che emette polveri caratterizzate da un contenuto di calcio ripetibile nel tempo.

Il calcio è il componente principale della scoria utilizzata nella produzione dell'acciaio e la sua presenza nelle deposizioni è pertanto riconducibile alle emissioni diffuse dell'acciaieria.

Questo ragionamento può essere esteso anche al manganese ( $r=0,86$ ,  $r^2=0,74$ ), con il quale la polvere totale risulta correlata in maniera altrettanto forte e, in misura meno evidente, con altri metalli caratteristici della produzione dell'acciaio, come ad esempio nichel ( $r=0,73$ ,  $r^2=0,53$ ) e molibdeno ( $r=0,72$ ,  $r^2=0,52$ ).

Altre correlazioni di particolare interesse nel sito CAS-C sono:

- la correlazione tra calcio e magnesio ( $r=0,82$ ), che sono i due principali componenti della scoria;

- le correlazioni del ferro, principale costituente dell'acciaio, con gli altri componenti dell'acciaio come nichel ( $r=0,80$ ), manganese ( $r=0,79$ ) e cromo ( $r=0,71$ ).

Il cromo risulta debolmente correlato con gli altri metalli, fatta eccezione per Fe, V e Co.

#### 1.4.3.2. Sito CAS-W

Esaminiamo ora la matrice di correlazione del sito CAS-W, posto ad ovest dell'acciaieria (Figura 26).

| CAS-W    | Polv tot    | Al          | As    | Ba          | Cd          | Ca          | Co          | Cr          | Fe          | Mg          | Mn          | Mo    | Ni          | Pb          | Cu          | Na    | V           | Zn          |
|----------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|
| Polv tot |             | 0,60        | 0,45  | <b>0,82</b> | 0,65        | <b>0,87</b> | <b>0,76</b> | 0,48        | 0,62        | 0,60        | <b>0,82</b> | 0,33  | <b>0,71</b> | <b>0,77</b> | <b>0,80</b> | 0,05  | 0,66        | 0,53        |
| Al       | 0,60        |             | 0,37  | <b>0,81</b> | <b>0,77</b> | 0,41        | 0,60        | 0,53        | <b>0,98</b> | <b>0,94</b> | <b>0,75</b> | 0,38  | 0,35        | 0,48        | 0,40        | -0,06 | 0,37        | 0,14        |
| As       | 0,45        | 0,37        |       | 0,29        | 0,44        | 0,18        | 0,21        | -0,05       | 0,34        | 0,31        | 0,45        | 0,39  | 0,11        | 0,12        | 0,06        | -0,09 | -0,09       | 0,01        |
| Ba       | <b>0,82</b> | <b>0,81</b> | 0,29  |             | 0,63        | <b>0,73</b> | <b>0,83</b> | 0,69        | <b>0,77</b> | 0,70        | <b>0,92</b> | 0,36  | <b>0,72</b> | <b>0,78</b> | <b>0,78</b> | 0,04  | 0,60        | 0,55        |
| Cd       | 0,65        | <b>0,77</b> | 0,44  | 0,63        |             | 0,54        | 0,56        | 0,49        | <b>0,74</b> | <b>0,75</b> | 0,61        | 0,57  | 0,38        | 0,39        | 0,38        | -0,19 | 0,44        | 0,20        |
| Ca       | <b>0,87</b> | 0,41        | 0,18  | <b>0,73</b> | 0,54        |             | 0,70        | 0,60        | 0,42        | 0,44        | 0,68        | 0,24  | <b>0,75</b> | <b>0,72</b> | <b>0,73</b> | -0,07 | <b>0,81</b> | 0,61        |
| Co       | <b>0,76</b> | 0,60        | 0,21  | <b>0,83</b> | 0,56        | 0,70        |             | <b>0,80</b> | 0,62        | 0,58        | <b>0,76</b> | 0,32  | <b>0,86</b> | <b>0,72</b> | <b>0,74</b> | -0,07 | <b>0,82</b> | 0,62        |
| Cr       | 0,48        | <b>0,53</b> | -0,05 | 0,69        | 0,49        | 0,60        | <b>0,80</b> |             | 0,53        | 0,50        | 0,61        | 0,43  | <b>0,71</b> | 0,41        | 0,44        | -0,32 | <b>0,74</b> | 0,41        |
| Fe       | 0,62        | <b>0,98</b> | 0,34  | <b>0,77</b> | <b>0,74</b> | 0,42        | 0,62        | 0,53        |             | <b>0,98</b> | <b>0,73</b> | 0,31  | 0,35        | 0,50        | 0,39        | -0,04 | 0,45        | 0,10        |
| Mg       | 0,60        | <b>0,94</b> | 0,31  | 0,70        | <b>0,75</b> | 0,44        | 0,58        | 0,50        | <b>0,98</b> |             | 0,66        | 0,26  | 0,32        | 0,46        | 0,34        | -0,04 | 0,50        | 0,06        |
| Mn       | <b>0,82</b> | <b>0,75</b> | 0,45  | <b>0,92</b> | 0,61        | 0,68        | <b>0,76</b> | 0,61        | <b>0,73</b> | 0,66        |             | 0,56  | 0,67        | <b>0,73</b> | <b>0,72</b> | 0,02  | 0,49        | 0,53        |
| Mo       | 0,33        | 0,38        | 0,39  | 0,36        | 0,57        | 0,24        | 0,32        | 0,43        | 0,31        | 0,26        | 0,56        |       | 0,35        | 0,06        | 0,18        | -0,44 | 0,06        | 0,12        |
| Ni       | <b>0,71</b> | 0,35        | 0,11  | <b>0,72</b> | 0,38        | <b>0,75</b> | <b>0,86</b> | <b>0,71</b> | 0,35        | 0,32        | 0,67        | 0,35  |             | 0,64        | <b>0,75</b> | -0,13 | <b>0,77</b> | 0,57        |
| Pb       | <b>0,77</b> | 0,48        | 0,12  | <b>0,78</b> | 0,39        | <b>0,72</b> | <b>0,72</b> | 0,41        | 0,50        | 0,46        | <b>0,73</b> | 0,06  | 0,64        |             | <b>0,90</b> | 0,28  | 0,63        | <b>0,72</b> |
| Cu       | <b>0,80</b> | 0,40        | 0,06  | <b>0,78</b> | 0,38        | <b>0,73</b> | <b>0,74</b> | 0,44        | 0,39        | 0,34        | <b>0,72</b> | 0,18  | <b>0,75</b> | <b>0,90</b> |             | 0,32  | 0,61        | 0,68        |
| Na       | 0,05        | -0,06       | -0,09 | 0,04        | -0,19       | -0,07       | -0,07       | -0,32       | -0,04       | -0,04       | 0,02        | -0,44 | -0,13       | 0,28        | 0,32        |       | -0,10       | 0,13        |
| V        | 0,66        | 0,37        | -0,09 | 0,60        | 0,44        | <b>0,81</b> | <b>0,82</b> | <b>0,74</b> | 0,45        | 0,50        | 0,49        | 0,06  | <b>0,77</b> | 0,63        | 0,61        | -0,10 |             | 0,52        |
| Zn       | 0,53        | 0,14        | 0,01  | 0,55        | 0,20        | 0,61        | 0,62        | 0,41        | 0,10        | 0,06        | 0,53        | 0,12  | 0,57        | <b>0,72</b> | 0,68        | 0,13  | 0,52        |             |

Figura 26 – Matrice di correlazione dei metalli nelle deposizioni relativa al sito CAS-W. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,7$

Anche nel sito CAS-W la polvere totale risulta essere correlata positivamente con tutti i metalli, presentando correlazioni evidenti con Ca e Mn (come nel caso di CAS-C) ma anche con Ba, Co, Pb e Cu. In questo sito il cobalto presenta evidenti correlazioni con diversi metalli: Ba, Cr, Mn, Ni, V.

Destano interesse inoltre la forte correlazione tra Pb e Cu ( $r = 0,90$ ) e le fortissime correlazioni tra Al-Fe-Mg, con valori dell'indice  $r$  compresi tra 0,94 e 0,98, che inducono a ricondurre la presenza di questi tre metalli a una fonte emissiva locale comune.

#### 1.4.3.3. Sito CAS-Q

Dall'esame della matrice di correlazione del sito CAS-Q (Figura 27) si ha conferma di quanto osservato nei siti CAS-C e CAS-W.

| CAS-Q    | Polv tot    | Al          | As          | Ba          | Cd    | Ca          | Co          | Cr          | Fe          | Mg          | Mn          | Mo    | Ni          | Pb          | Cu          | Na    | V           | Zn          |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|
| Polv tot |             | 0,45        | 0,69        | <b>0,83</b> | 0,57  | <b>0,85</b> | 0,49        | 0,54        | 0,65        | 0,64        | <b>0,92</b> | 0,23  | <b>0,81</b> | <b>0,77</b> | <b>0,79</b> | 0,04  | 0,54        | <b>0,72</b> |
| Al       | 0,45        |             | 0,06        | 0,50        | 0,22  | 0,16        | 0,13        | 0,14        | <b>0,93</b> | <b>0,91</b> | 0,40        | 0,23  | 0,23        | 0,25        | 0,15        | -0,05 | 0,17        | 0,08        |
| As       | 0,69        | 0,06        |             | 0,58        | 0,59  | 0,57        | 0,58        | 0,48        | 0,29        | 0,21        | <b>0,70</b> | 0,43  | <b>0,77</b> | <b>0,80</b> | <b>0,81</b> | -0,13 | 0,65        | 0,52        |
| Ba       | <b>0,83</b> | 0,50        | 0,58        |             | 0,57  | 0,67        | 0,55        | 0,42        | 0,63        | 0,59        | <b>0,82</b> | 0,29  | <b>0,72</b> | <b>0,77</b> | <b>0,74</b> | -0,07 | 0,61        | 0,50        |
| Cd       | 0,57        | 0,22        | 0,59        | 0,57        |       | 0,51        | 0,33        | 0,50        | 0,37        | 0,34        | 0,61        | 0,36  | 0,67        | 0,53        | 0,57        | -0,05 | 0,40        | 0,33        |
| Ca       | <b>0,85</b> | 0,16        | 0,57        | 0,67        | 0,51  |             | 0,35        | 0,55        | 0,39        | 0,41        | <b>0,84</b> | 0,00  | <b>0,75</b> | 0,60        | 0,70        | 0,10  | 0,42        | <b>0,85</b> |
| Co       | 0,49        | 0,13        | 0,58        | 0,55        | 0,33  | 0,35        |             | 0,51        | 0,31        | 0,17        | 0,53        | 0,34  | 0,67        | 0,65        | 0,55        | -0,13 | <b>0,72</b> | 0,30        |
| Cr       | 0,54        | 0,14        | 0,48        | 0,42        | 0,50  | 0,55        | 0,51        |             | 0,38        | 0,33        | 0,60        | 0,30  | <b>0,80</b> | 0,45        | 0,51        | -0,04 | 0,54        | 0,43        |
| Fe       | 0,65        | <b>0,93</b> | 0,29        | 0,63        | 0,37  | 0,39        | 0,31        | 0,38        |             | <b>0,95</b> | 0,64        | 0,27  | 0,52        | 0,47        | 0,39        | 0,02  | 0,38        | 0,34        |
| Mg       | 0,64        | <b>0,91</b> | 0,21        | 0,59        | 0,34  | 0,41        | 0,17        | 0,33        | <b>0,95</b> |             | 0,60        | 0,22  | 0,43        | 0,39        | 0,34        | -0,02 | 0,25        | 0,31        |
| Mn       | <b>0,92</b> | 0,40        | <b>0,70</b> | <b>0,82</b> | 0,61  | <b>0,84</b> | 0,53        | 0,60        | 0,64        | 0,60        |             | 0,24  | <b>0,88</b> | <b>0,78</b> | <b>0,81</b> | 0,03  | 0,55        | <b>0,75</b> |
| Mo       | 0,23        | 0,23        | 0,43        | 0,29        | 0,36  | 0,00        | 0,34        | 0,30        | 0,27        | 0,22        | 0,24        |       | 0,40        | 0,35        | 0,33        | -0,42 | 0,36        | 0,03        |
| Ni       | <b>0,81</b> | 0,23        | <b>0,77</b> | <b>0,72</b> | 0,67  | <b>0,75</b> | 0,67        | <b>0,80</b> | 0,52        | 0,43        | <b>0,88</b> | 0,40  |             | <b>0,78</b> | <b>0,84</b> | -0,05 | 0,70        | 0,69        |
| Pb       | <b>0,77</b> | 0,25        | <b>0,80</b> | <b>0,77</b> | 0,53  | 0,60        | 0,65        | 0,45        | 0,47        | 0,39        | <b>0,78</b> | 0,35  | <b>0,78</b> |             | <b>0,87</b> | -0,07 | <b>0,76</b> | 0,53        |
| Cu       | <b>0,79</b> | 0,15        | <b>0,81</b> | <b>0,74</b> | 0,57  | 0,70        | 0,55        | 0,51        | 0,39        | 0,34        | <b>0,81</b> | 0,33  | <b>0,84</b> | <b>0,87</b> |             | 0,04  | 0,62        | 0,65        |
| Na       | 0,04        | -0,05       | -0,13       | -0,07       | -0,05 | 0,10        | -0,13       | -0,04       | 0,02        | -0,02       | 0,03        | -0,42 | -0,05       | -0,07       | 0,04        |       | -0,02       | 0,16        |
| V        | 0,54        | 0,17        | 0,65        | 0,61        | 0,40  | 0,42        | <b>0,72</b> | 0,54        | 0,38        | 0,25        | 0,55        | 0,36  | 0,70        | <b>0,76</b> | 0,62        | -0,02 |             | 0,34        |
| Zn       | <b>0,72</b> | 0,08        | 0,52        | 0,50        | 0,33  | <b>0,85</b> | 0,30        | 0,43        | 0,34        | 0,31        | <b>0,75</b> | 0,03  | 0,69        | 0,53        | 0,65        | 0,16  | 0,34        |             |

Figura 27 – Matrice di correlazione dei metalli nelle deposizioni relativa al sito CAS-Q. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,7$

Anche nel sito CAS-Q, come nel caso di CAS-C e CAS-W, la polvere totale presenta correlazioni evidenti con Ca e Mn, oltre che con Ba, Ni, Pb e Cu.

Anche nel sito CAS-Q si osserva, analogamente a quanto emerso nel sito CAS-W, la forte correlazione tra Pb e Cu e tra Fe-Al-Mg (con indici  $r$  compresi tra 0,91 e 0,95).

Per quanto riguarda il cobalto, analogamente a quanto osservato nel sito CAS-C e a differenza di quanto osservato nel sito CAS-W, nel sito CAS-Q si osservano basse correlazioni con gli altri metalli.

Nel sito CAS-Q si osserva inoltre una evidente correlazione tra Ca e Zn, mentre nei siti CAS-C e CAS-W lo zinco non presenta correlazioni significative con gli altri metalli.

#### 1.4.3.4. Sito CAS-M

Nel caso del sito CAS-M la matrice di correlazione (Figura 28) presenta un numero di correlazioni significative molto inferiore rispetto agli altri siti. Il numero di correlazioni evidenti ( $r > 0,7$ ) è infatti pari solo a 13 nel sito CAS-M, mentre è pari a 33 nel sito CAS-C, 41 in CAS-W e 31 in CAS-Q.

Questo è dovuto presumibilmente al fatto che CAS-M è sensibilmente più lontano dall'acciaieria rispetto agli altri siti.

| CAS-M    | Polv tot    | Al          | As          | Ba          | Cd    | Ca          | Co    | Cr          | Fe          | Mg   | Mn          | Mo    | Ni          | Pb          | Cu          | Na    | V           | Zn    |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------------|------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------|
| Polv tot |             | 0,16        | <b>0,71</b> | <b>0,75</b> | 0,30  | <b>0,77</b> | 0,43  | 0,51        | 0,35        | 0,63 | 0,60        | 0,10  | 0,38        | 0,42        | <b>0,90</b> | 0,18  | 0,53        | 0,07  |
| Al       | 0,16        |             | 0,09        | 0,60        | 0,05  | 0,19        | 0,04  | 0,12        | <b>0,84</b> | 0,64 | 0,27        | 0,11  | 0,16        | 0,17        | 0,03        | -0,02 | 0,22        | 0,11  |
| As       | <b>0,71</b> | 0,09        |             | 0,56        | 0,35  | 0,62        | 0,57  | 0,43        | 0,28        | 0,55 | 0,62        | 0,40  | 0,42        | 0,48        | 0,56        | 0,19  | 0,65        | -0,05 |
| Ba       | <b>0,75</b> | 0,60        | 0,56        |             | 0,06  | 0,68        | 0,38  | 0,43        | 0,67        | 0,68 | 0,58        | 0,11  | 0,39        | 0,46        | 0,59        | 0,13  | 0,60        | 0,11  |
| Cd       | 0,30        | 0,05        | 0,35        | 0,06        |       | 0,34        | 0,13  | 0,45        | 0,26        | 0,19 | 0,57        | 0,08  | 0,43        | 0,42        | 0,24        | 0,07  | 0,28        | -0,01 |
| Ca       | <b>0,77</b> | 0,19        | 0,62        | 0,68        | 0,34  |             | 0,37  | 0,42        | 0,39        | 0,63 | <b>0,70</b> | 0,12  | 0,39        | 0,44        | 0,62        | 0,34  | 0,50        | -0,04 |
| Co       | 0,43        | 0,04        | 0,57        | 0,38        | 0,13  | 0,37        |       | 0,42        | 0,28        | 0,19 | 0,48        | 0,07  | 0,51        | 0,49        | 0,35        | 0,02  | 0,39        | -0,07 |
| Cr       | 0,51        | 0,12        | 0,43        | 0,43        | 0,45  | 0,42        | 0,42  |             | 0,51        | 0,33 | <b>0,77</b> | 0,08  | <b>0,77</b> | 0,70        | 0,53        | 0,11  | <b>0,77</b> | -0,06 |
| Fe       | 0,35        | <b>0,84</b> | 0,28        | 0,67        | 0,26  | 0,39        | 0,28  | 0,51        |             | 0,66 | 0,62        | 0,07  | 0,57        | 0,54        | 0,24        | 0,08  | 0,54        | 0,01  |
| Mg       | 0,63        | 0,64        | 0,55        | 0,68        | 0,19  | 0,63        | 0,19  | 0,33        | 0,66        |      | 0,58        | 0,35  | 0,28        | 0,31        | 0,53        | 0,22  | 0,42        | 0,04  |
| Mn       | 0,60        | 0,27        | 0,62        | 0,58        | 0,57  | <b>0,70</b> | 0,48  | <b>0,77</b> | 0,62        | 0,58 |             | 0,15  | <b>0,84</b> | <b>0,85</b> | 0,57        | 0,32  | <b>0,70</b> | -0,08 |
| Mo       | 0,10        | 0,11        | 0,40        | 0,11        | 0,08  | 0,12        | 0,07  | 0,08        | 0,07        | 0,35 | 0,15        |       | 0,15        | 0,18        | 0,02        | -0,14 | 0,20        | 0,30  |
| Ni       | 0,38        | 0,16        | 0,42        | 0,39        | 0,43  | 0,39        | 0,51  | <b>0,77</b> | 0,57        | 0,28 | <b>0,84</b> | 0,15  |             | <b>0,96</b> | 0,39        | 0,05  | 0,62        | -0,05 |
| Pb       | 0,42        | 0,17        | 0,48        | 0,46        | 0,42  | 0,44        | 0,49  | 0,70        | 0,54        | 0,31 | <b>0,85</b> | 0,18  | <b>0,96</b> |             | 0,40        | 0,10  | 0,61        | -0,04 |
| Cu       | <b>0,90</b> | 0,03        | 0,56        | 0,59        | 0,24  | 0,62        | 0,35  | 0,53        | 0,24        | 0,53 | 0,57        | 0,02  | 0,39        | 0,40        |             | 0,22  | 0,43        | 0,00  |
| Na       | 0,18        | -0,02       | 0,19        | 0,13        | 0,07  | 0,34        | 0,02  | 0,11        | 0,08        | 0,22 | 0,32        | -0,14 | 0,05        | 0,10        | 0,22        |       | 0,27        | -0,13 |
| V        | 0,53        | 0,22        | 0,65        | 0,60        | 0,28  | 0,50        | 0,39  | <b>0,77</b> | 0,54        | 0,42 | <b>0,70</b> | 0,20  | 0,62        | 0,61        | 0,43        | 0,27  |             | -0,06 |
| Zn       | 0,07        | 0,11        | -0,05       | 0,11        | -0,01 | -0,04       | -0,07 | -0,06       | 0,01        | 0,04 | -0,08       | 0,30  | -0,05       | -0,04       | 0,00        | -0,13 | -0,06       |       |

Figura 28 – Matrice di correlazione dei metalli nelle deposizioni relativa al sito CAS-M. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,7$

Anche nel sito CAS-M è evidente la correlazione tra la polvere totale e il calcio ( $r=0,77$ ). In questo sito la polvere totale è fortemente correlata anche il rame ( $r=0,90$ ).

Altre correlazioni degne di interesse sono: Al-Fe, Cr-Ni, Cr-Mn, Cr-V e Ni-Pb. Si tratta comunque di correlazioni di tipo diverso rispetto a quelle osservate negli altri siti e questo induce a pensare che nel sito CAS-M intervengano fonti emissive diverse rispetto ai siti più vicini all'acciaieria.

## 2. Influenza delle condizioni meteorologiche sulle deposizioni atmosferiche

### 2.1. Influenza dell'intensità del vento

Per indagare l'influenza dell'azione dei venti sulle deposizioni atmosferiche, indaghiamo in primo luogo le correlazioni tra i valori di deposizione nei diversi siti e la velocità del vento, prendendo a riferimento i valori medi settimanali (Figura 29).

In questo caso prendiamo in considerazione le "correlazioni positive visibili" con indice di correlazione  $r > 0,3$ .

Nella valutazione prendiamo in considerazione anche il sito di CAS-W, pur avendo a disposizione solo 19 misurazioni, perché fornisce un'informazione utile in qualità di conferma delle correlazioni osservate negli altri siti.

| Velocità vento | Polv tot | Al    | As    | Ba   | Cd   | Ca   | Co   | Cr   | Fe   | Mg   | Mn   | Mo    | Ni   | Pb   | Cu   | Na    | V    | Zn    |
|----------------|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| CAS-C          | 0,31     | 0,19  | 0,42  | 0,20 | 0,34 | 0,19 | 0,51 | 0,36 | 0,28 | 0,22 | 0,46 | 0,38  | 0,45 | 0,44 | 0,24 | -0,81 | 0,49 | 0,06  |
| CAS-W          | 0,37     | 0,10  | -0,14 | 0,27 | 0,35 | 0,56 | 0,30 | 0,40 | 0,12 | 0,16 | 0,36 | 0,43  | 0,42 | 0,28 | 0,30 | -0,18 | 0,50 | 0,48  |
| CAS-Q          | 0,39     | -0,01 | 0,56  | 0,41 | 0,41 | 0,28 | 0,56 | 0,37 | 0,13 | 0,01 | 0,45 | 0,36  | 0,53 | 0,60 | 0,56 | -0,21 | 0,37 | 0,27  |
| CAS-M          | 0,37     | -0,12 | 0,27  | 0,18 | 0,12 | 0,23 | 0,35 | 0,35 | 0,06 | 0,00 | 0,20 | -0,19 | 0,27 | 0,25 | 0,37 | -0,10 | 0,29 | -0,06 |

Figura 29 – Valori dei coefficienti di correlazione delle deposizioni atmosferiche rispetto alla velocità media del vento nelle settimane di campionamento. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

In generale si nota, soprattutto nei siti più vicini all'acciaieria (CAS-C, CAS-W, CAS-Q), la presenza di un gran numero di correlazioni positive visibili che coinvolgono quasi tutti i metalli. Fanno eccezione Al, Fe, Mg, per i quali le correlazioni sono molto basse o quasi nulle, e il sodio che risulta l'unico metallo ad avere un coefficiente negativo in tutti e tre i siti, particolarmente evidente per il sito CAS-C.

Emblematico è il parametro della polvere totale che presenta correlazione evidentemente positiva in tutti e quattro i siti: questo significa che all'aumentare della ventosità del periodo di campionamento aumenta la quantità di polvere depositata.

Quanto evidenziato trova conferma nella correlazione con la % di ore di calma di vento nei periodi di misura (Figura 30). In questo caso sono numerose le correlazioni negative: all'aumentare della % di ore di calma del periodo diminuiscono i valori di deposizione. Questo risulta evidente nei siti più prossimi all'acciaieria. Fa eccezione anche in questo caso il sodio, il cui caso verrà analizzato in seguito.

| Calma vento | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na   | V     | Zn    |
|-------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| CAS-C       | -0,19    | -0,20 | -0,27 | -0,16 | -0,39 | -0,18 | -0,41 | -0,22 | -0,21 | -0,27 | -0,35 | -0,29 | -0,35 | -0,34 | -0,17 | 0,76 | -0,35 | 0,01  |
| CAS-W       | -0,28    | -0,12 | 0,20  | -0,22 | -0,31 | -0,58 | -0,17 | -0,39 | -0,13 | -0,17 | -0,21 | -0,32 | -0,32 | -0,17 | -0,15 | 0,56 | -0,48 | -0,25 |
| CAS-Q       | -0,37    | -0,01 | -0,41 | -0,41 | -0,44 | -0,29 | -0,47 | -0,38 | -0,15 | -0,06 | -0,40 | -0,38 | -0,48 | -0,48 | -0,47 | 0,20 | -0,34 | -0,25 |
| CAS-M       | -0,22    | 0,10  | -0,10 | -0,07 | -0,16 | -0,16 | -0,17 | -0,28 | -0,04 | 0,06  | -0,11 | 0,07  | -0,20 | -0,18 | -0,17 | 0,17 | -0,21 | -0,07 |

Figura 30 – Valori dei coefficienti di correlazione delle deposizioni atmosferiche rispetto alla % delle ore di calma di vento delle settimane di campionamento. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

## 2.2. Influenza della direzione di provenienza del vento

Nella Figura 31 viene riportata la distribuzione % delle ore dell'anno per direzione di provenienza del vento; nel 20% circa delle ore dell'anno si hanno condizioni di calma di vento ( $v < 0,5$  m/s), concentrate prevalentemente nei mesi invernali (novembre, dicembre, gennaio).

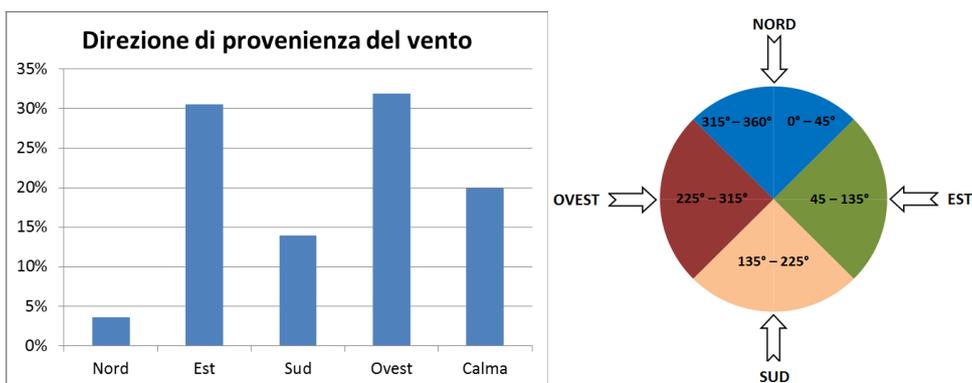


Figura 31 – Distribuzione della direzione di provenienza del vento (% di ore dell'anno) con distinzione delle condizioni di calma ( $v < 0,5$  m/s). Nella figura a destra viene schematizzato il criterio adottato per discriminare le direzioni di provenienza del vento

Il vento soffia pertanto prevalentemente nelle direzioni est-ovest, parallelamente all'asse vallivo, in relazione alla prevalenza dei venti di brezza.

Per verificare la correlazione tra le deposizioni e la direzione di provenienza del vento prendiamo in considerazione le direzioni di provenienza est e ovest che sono quelle dei venti di brezza. Per il calcolo dei coefficienti di correlazione (Figura 32) è stata presa a riferimento la % di ore di vento provenienti da est e da ovest nel corso di ogni settimana di campionamento secondo il criterio illustrato in Figura 31.

| Vento da EST | Polv tot | Al    | As    | Ba   | Cd   | Ca    | Co   | Cr   | Fe   | Mg    | Mn   | Mo    | Ni   | Pb   | Cu   | Na    | V    | Zn    |
|--------------|----------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| CAS-C        | 0,34     | 0,18  | 0,30  | 0,16 | 0,33 | 0,19  | 0,46 | 0,49 | 0,20 | 0,33  | 0,44 | 0,47  | 0,29 | 0,11 | 0,30 | -0,58 | 0,56 | -0,09 |
| CAS-W        | 0,32     | 0,29  | -0,04 | 0,25 | 0,49 | 0,36  | 0,48 | 0,63 | 0,35 | 0,38  | 0,33 | 0,55  | 0,44 | 0,07 | 0,12 | -0,53 | 0,56 | 0,04  |
| CAS-Q        | 0,10     | -0,02 | 0,34  | 0,24 | 0,27 | 0,00  | 0,37 | 0,09 | 0,05 | -0,06 | 0,19 | 0,48  | 0,31 | 0,35 | 0,30 | -0,46 | 0,21 | 0,09  |
| CAS-M        | 0,21     | -0,06 | 0,14  | 0,14 | 0,07 | -0,03 | 0,17 | 0,20 | 0,07 | -0,06 | 0,00 | -0,08 | 0,13 | 0,11 | 0,22 | -0,39 | 0,19 | -0,02 |

| Vento da OVEST | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na   | V     | Zn   |
|----------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| CAS-C          | -0,33    | -0,11 | -0,18 | -0,12 | -0,15 | -0,15 | -0,35 | -0,51 | -0,16 | -0,26 | -0,35 | -0,42 | -0,19 | 0,01  | -0,35 | 0,32 | -0,48 | 0,10 |
| CAS-W          | -0,16    | -0,32 | -0,08 | -0,15 | -0,41 | 0,02  | -0,40 | -0,48 | -0,37 | -0,36 | -0,25 | -0,50 | -0,27 | 0,12  | 0,03  | 0,34 | -0,26 | 0,16 |
| CAS-Q          | 0,18     | -0,01 | -0,06 | 0,05  | 0,04  | 0,26  | -0,10 | 0,14  | 0,02  | 0,09  | 0,11  | -0,35 | -0,01 | -0,05 | -0,01 | 0,43 | -0,03 | 0,13 |
| CAS-M          | -0,05    | -0,05 | -0,04 | -0,07 | 0,10  | 0,19  | -0,02 | -0,06 | -0,08 | -0,01 | 0,09  | -0,04 | 0,00  | 0,03  | -0,13 | 0,33 | -0,09 | 0,04 |

Figura 32 – Valori dei coefficienti di correlazione delle deposizioni atmosferiche rispetto alla % delle ore di vento proveniente da EST (matrice sopra) e da OVEST (matrice sotto). In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

Ad eccezione del sodio, che fa caso a sé, si nota un buon numero di correlazioni positive con la % di ore di vento proveniente da est e un buon numero di correlazioni negative con la % di ore di

vento proveniente da ovest per i siti più vicini al reparto acciaieria (CAS-C, CAS-W e CAS-Q) che sono localizzati a ovest rispetto al reparto stesso (Figura 33).

Il sito che presenta il maggior numero di correlazioni significative è il sito CAS-W posto sotto vento rispetto all'acciaieria e ad una distanza leggermente maggiore di CAS-C, che è molto prossimo alla fonte di emissione.

Il sito CAS-M, posto più lontano rispetto all'acciaieria presenta invece correlazioni quasi nulle per tutti i metalli ad eccezione del sodio.



Figura 33 –Le deposizioni di polveri e metalli nei siti CAS-C, CAS-W e CAS-Q sono correlate positivamente con la % di ore di vento proveniente da est e negativamente con la % di ore di vento proveniente da ovest

### 2.3. Il caso del sodio

Il sodio ha un comportamento completamente diverso rispetto agli altri metalli: presenta correlazioni positive con il vento proveniente da ovest e correlazioni negative con il vento proveniente da est per tutti i siti. Questo è presumibilmente da ricondurre alla pratica di salatura della strada ad alta percorrenza posta ad ovest dell'acciaieria attuata nel periodo invernale per prevenire il ghiaccio e trova conferma nell'andamento temporale della deposizione di sodio nel tempo nei siti più vicini all'acciaieria (Figura 34), dal quale si evince chiaramente che i valori più alti della serie annuale si hanno in corrispondenza dei mesi invernali più freddi (gennaio, febbraio, dicembre).

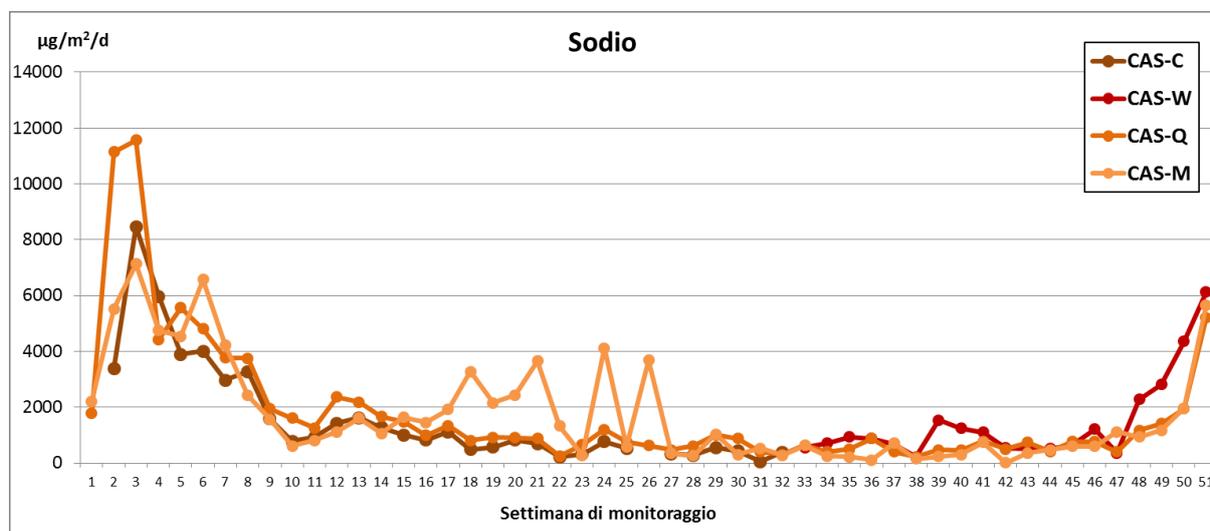


Figura 34 – Andamento temporale della deposizione di sodio nei diversi siti. I valori più elevati si hanno nei mesi invernali più freddi in relazione alla pratica di salatura delle strade per prevenire la formazione del ghiaccio

#### 2.4. Influenza dei diversi regimi di vento

Per approfondire l'influenza dell'azione dei venti, prendiamo ora in considerazione in maniera congiunta l'intensità e la direzione del vento. Regimi di vento intenso e intermittente (vento a raffiche) hanno un'influenza sui fenomeni di risollevarimento e dispersione delle polveri più marcata rispetto a regimi di vento debole e costante.

Escludendo le condizioni di calma di vento (velocità < 0,5 m/s), vengono individuate cinque diverse classi di intensità del vento secondo il criterio seguente:

- classe 0 (calma di vento): velocità < 0,5 m/s;
- classe 1: velocità tra 0,5 (compreso) e 1 m/s;
- classe 2: velocità tra 1 (compreso) e 3 m/s;
- classe 3: velocità tra 3 (compreso) e 5 m/s;
- classe 4: velocità maggiore o uguale a 5 m/s.

Scegliamo di limitare l'analisi dei dati alle sole due direzioni prevalenti est/ovest, trascurando i venti provenienti da nord e da sud.

In tal modo vengono individuate 8 classi di vento: le 4 classi di vento proveniente da est (est-1, est-2, est-3, est-4) e le 4 classi di vento proveniente da ovest (ovest-1, ovest-2, ovest-3, ovest-4).

Nella Figura 35 seguente viene riportata la distribuzione delle % di ore annuali nelle 8 classi così definite.

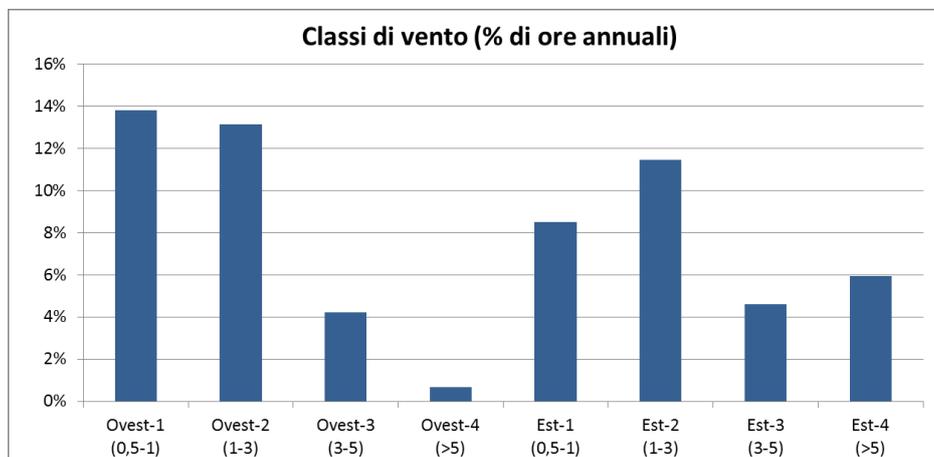


Figura 35 – Distribuzione % delle ore di vento in classi di velocità (da 1 a 4) definite per intervalli di velocità (valori in m/s). Vengono considerati solo i dati relativi alle direzioni principali Est e Ovest, considerate quelle più influenti sulla dispersione delle emissioni diffuse in relazione alle caratteristiche meteorologiche locali

Procediamo ora a indagare le correlazioni tra i valori di deposizione misurati nei diversi siti e le diverse classi di vento appena definite.

Nella Figura 36 seguente vengono riportate le due matrici di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-C rispetto alla % di ore di vento proveniente rispettivamente da est e da ovest suddivisa per le 4 diverse classi di velocità.

| CAS-C   | polv_tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na    | V     | Zn    |
|---------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Est-1   | 0,02     | 0,03  | 0,11  | -0,02 | 0,23  | 0,04  | -0,38 | -0,24 | -0,08 | 0,06  | 0,03  | 0,08  | -0,14 | -0,13 | -0,13 | 0,34  | -0,15 | 0,20  |
| Est-2   | 0,31     | 0,14  | 0,17  | 0,14  | 0,37  | 0,18  | 0,40  | 0,42  | 0,15  | 0,38  | 0,37  | 0,39  | 0,21  | 0,11  | 0,27  | -0,55 | 0,46  | -0,15 |
| Est-3   | 0,29     | 0,12  | 0,12  | 0,04  | 0,16  | 0,07  | 0,53  | 0,41  | 0,17  | 0,05  | 0,34  | 0,34  | 0,36  | 0,14  | 0,19  | -0,69 | 0,46  | -0,02 |
| Est-4   | 0,34     | 0,20  | 0,37  | 0,24  | 0,11  | 0,24  | 0,60  | 0,64  | 0,29  | 0,32  | 0,44  | 0,49  | 0,35  | 0,14  | 0,43  | -0,63 | 0,67  | -0,15 |
| CAS-C   | polv_tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na    | V     | Zn    |
| Ovest-1 | -0,33    | -0,24 | -0,38 | -0,18 | -0,46 | -0,16 | -0,37 | -0,36 | -0,37 | -0,25 | -0,48 | -0,34 | -0,51 | -0,30 | -0,23 | 0,63  | -0,46 | -0,15 |
| Ovest-2 | -0,20    | 0,06  | -0,01 | -0,02 | 0,09  | -0,11 | -0,05 | -0,24 | 0,05  | -0,09 | -0,08 | -0,23 | 0,09  | 0,01  | -0,21 | -0,05 | -0,17 | 0,05  |
| Ovest-3 | -0,08    | -0,08 | 0,00  | -0,04 | -0,02 | 0,01  | -0,29 | -0,34 | -0,01 | -0,15 | -0,12 | -0,19 | 0,05  | 0,22  | -0,20 | 0,11  | -0,29 | 0,30  |
| Ovest-4 | -0,01    | 0,08  | 0,21  | 0,01  | 0,41  | -0,03 | -0,11 | -0,23 | -0,03 | -0,07 | -0,01 | -0,14 | -0,01 | 0,50  | -0,08 | -0,22 | -0,15 | 0,14  |

Figura 36 – Matrici di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-C rispetto alla % di ore di vento proveniente da EST (matrice sopra) e da OVEST (matrice sotto) suddivisa per classi di velocità di vento a intensità crescente. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

Nel caso di vento proveniente da est non si osservano correlazioni significative con regime di vento debole (< 1 m/s, classe Est-1), mentre numerose sono le correlazioni positive per regimi di vento con velocità > 1 m/s (Est-2, Est-3, Est-4).

La correlazione negativa tra deposizione di cobalto e la classe di vento Est-1 ( $r=-0,38$ ) è in realtà influenzata dai due valori spot delle settimane 25 e 27 (casi che verranno approfonditi in seguito), escludendo i quali l'indice diventa poco significativo.

Nel caso di vento proveniente da ovest tutti i metalli e anche le polveri totali presentano indici di correlazione negativi con regime di vento debole (0,5-1 m/s, Ovest-1). Occorre considerare che la classe di vento Ovest-1 risulta ben correlata con il regime di calma di vento: nelle settimane in cui la % di ore di calma di vento è alta lo è anche il regime di venti deboli da ovest (Ovest-1).

Si osservano due correlazioni positive con le ore di vento di classe Ovest-4 che coinvolgono Cd e Pb. Esaminando gli scatterplot si osserva un allineamento dei punti piuttosto evidente per il Pb e molto meno evidente per il Cd. Occorre tuttavia tenere conto che il regime di vento Ovest-4 rappresenta solo l'1% delle ore annuali.

Nella Figura 37 seguente vengono riportate le stesse matrici di correlazione riferite al sito CAS-W, per il quale valgono considerazioni analoghe a quelle dedotte per il sito CAS-C.

In aggiunta alle correlazione osservate per CAS-C si osservano le correlazioni per Ca, Fe e Zn per venti da est con  $v>1$  m/s (classi Est-2, Est-3, Est-4).

Ca e Zn presentano correlazioni positive anche con le classi di vento Ovest-2 e Ovest-3, ovvero con la % di ore di vento da ovest con velocità compresa tra 1 e 5 m/s.

| CAS-W   | polv_tot    | Al          | As    | Ba    | Cd           | Ca           | Co           | Cr           | Fe          | Mg           | Mn          | Mo           | Ni           | Pb    | Cu          | Na           | V            | Zn          |
|---------|-------------|-------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| Est-1   | -0,18       | -0,13       | 0,08  | -0,18 | -0,09        | -0,22        | -0,03        | -0,10        | -0,13       | -0,11        | -0,31       | -0,17        | -0,03        | -0,21 | -0,20       | -0,27        | -0,07        | -0,39       |
| Est-2   | 0,23        | <b>0,39</b> | -0,18 | 0,26  | <b>0,47</b>  | 0,29         | <b>0,35</b>  | <b>0,59</b>  | <b>0,44</b> | <b>0,47</b>  | 0,28        | <b>0,37</b>  | 0,24         | 0,03  | 0,03        | <b>-0,47</b> | <b>0,49</b>  | -0,05       |
| Est-3   | 0,27        | 0,28        | 0,01  | 0,22  | <b>0,37</b>  | <b>0,31</b>  | <b>0,40</b>  | <b>0,55</b>  | <b>0,35</b> | <b>0,36</b>  | <b>0,39</b> | <b>0,51</b>  | <b>0,30</b>  | 0,10  | 0,09        | -0,26        | <b>0,43</b>  | 0,17        |
| Est-4   | <b>0,44</b> | 0,12        | 0,02  | 0,26  | <b>0,40</b>  | <b>0,48</b>  | <b>0,45</b>  | <b>0,48</b>  | 0,15        | 0,17         | <b>0,42</b> | <b>0,64</b>  | <b>0,57</b>  | 0,22  | <b>0,34</b> | <b>-0,33</b> | <b>0,50</b>  | <b>0,36</b> |
| CAS-W   | polv_tot    | Al          | As    | Ba    | Cd           | Ca           | Co           | Cr           | Fe          | Mg           | Mn          | Mo           | Ni           | Pb    | Cu          | Na           | V            | Zn          |
| Ovest-1 | -0,26       | -0,25       | 0,12  | -0,25 | <b>-0,53</b> | <b>-0,38</b> | <b>-0,37</b> | <b>-0,55</b> | -0,26       | <b>-0,31</b> | -0,28       | <b>-0,50</b> | <b>-0,33</b> | -0,06 | -0,10       | <b>0,36</b>  | <b>-0,49</b> | -0,26       |
| Ovest-2 | 0,06        | -0,14       | -0,16 | 0,04  | 0,00         | <b>0,34</b>  | -0,14        | -0,04        | -0,19       | -0,14        | -0,05       | -0,10        | -0,02        | 0,15  | 0,12        | 0,01         | 0,12         | <b>0,33</b> |
| Ovest-3 | 0,01        | -0,14       | -0,25 | 0,05  | -0,10        | 0,26         | -0,08        | -0,12        | -0,17       | -0,15        | 0,00        | -0,23        | -0,03        | 0,22  | 0,13        | 0,25         | 0,13         | <b>0,51</b> |
| Ovest-4 | -0,14       | -0,20       | -0,21 | -0,20 | -0,08        | -0,12        | <b>-0,42</b> | <b>-0,41</b> | -0,21       | -0,18        | -0,14       | -0,14        | -0,29        | 0,08  | 0,00        | <b>0,44</b>  | <b>-0,30</b> | 0,07        |

Figura 37 – Matrici di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-W rispetto alla % delle ore di vento proveniente da EST (matrice sopra) e da OVEST (matrice sotto) suddivisa per classi di velocità di vento a intensità crescente. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r>0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r<0,3$

Nel caso del sito CAS-Q (Figura 38) si ritrovano le stesse tendenze osservate per i siti CAS-C e CAS-W per quanto riguarda le correlazioni con i regimi di vento provenienti da est e il regime Ovest-1, mentre emergono numerose correlazioni positive con i regimi di vento da ovest con velocità > 3 m/s (Ovest-3, Ovest-4).

| CAS-Q | polv_tot | Al    | As          | Ba    | Cd    | Ca    | Co          | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo          | Ni          | Pb          | Cu          | Na           | V     | Zn   |
|-------|----------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------|------|
| Est-1 | -0,07    | -0,09 | -0,10       | -0,15 | -0,03 | 0,02  | -0,29       | -0,12 | -0,10 | -0,07 | -0,03 | -0,04       | -0,11       | -0,23       | -0,17       | 0,04         | -0,16 | 0,04 |
| Est-2 | 0,10     | 0,01  | 0,25        | 0,27  | 0,28  | 0,02  | <b>0,33</b> | 0,10  | 0,08  | -0,01 | 0,18  | <b>0,34</b> | 0,29        | <b>0,36</b> | <b>0,31</b> | <b>-0,40</b> | 0,20  | 0,08 |
| Est-3 | 0,12     | 0,04  | 0,28        | 0,20  | 0,09  | -0,01 | <b>0,41</b> | 0,14  | 0,11  | 0,01  | 0,16  | <b>0,39</b> | 0,28        | <b>0,34</b> | 0,22        | <b>-0,45</b> | 0,19  | 0,11 |
| Est-4 | 0,13     | 0,00  | <b>0,42</b> | 0,26  | 0,30  | -0,01 | <b>0,45</b> | 0,10  | 0,05  | -0,08 | 0,19  | <b>0,56</b> | <b>0,34</b> | <b>0,38</b> | <b>0,37</b> | <b>-0,40</b> | 0,27  | 0,03 |

| CAS-Q   | polv_tot    | Al    | As           | Ba    | Cd           | Ca          | Co           | Cr           | Fe    | Mg    | Mn           | Mo           | Ni           | Pb           | Cu           | Na          | V            | Zn          |
|---------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Ovest-1 | -0,27       | 0,07  | <b>-0,46</b> | -0,26 | <b>-0,33</b> | -0,22       | <b>-0,48</b> | <b>-0,40</b> | -0,08 | 0,06  | <b>-0,38</b> | <b>-0,32</b> | <b>-0,47</b> | <b>-0,49</b> | <b>-0,46</b> | 0,14        | <b>-0,34</b> | -0,28       |
| Ovest-2 | 0,27        | -0,10 | 0,19         | 0,15  | 0,26         | <b>0,31</b> | 0,22         | <b>0,37</b>  | 0,02  | -0,01 | 0,27         | -0,04        | 0,25         | 0,19         | 0,22         | 0,26        | 0,16         | 0,23        |
| Ovest-3 | <b>0,39</b> | -0,01 | 0,27         | 0,27  | 0,20         | <b>0,42</b> | 0,16         | <b>0,42</b>  | 0,13  | 0,12  | <b>0,37</b>  | -0,20        | <b>0,31</b>  | <b>0,32</b>  | <b>0,34</b>  | <b>0,40</b> | 0,20         | <b>0,34</b> |
| Ovest-4 | <b>0,38</b> | 0,05  | <b>0,36</b>  | 0,28  | 0,28         | <b>0,42</b> | 0,18         | 0,14         | 0,12  | 0,16  | <b>0,41</b>  | -0,13        | 0,27         | <b>0,43</b>  | <b>0,35</b>  | -0,03       | 0,11         | <b>0,40</b> |

Figura 38 – Matrici di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-Q rispetto alla % delle ore di vento proveniente da EST (matrice sopra) e da OVEST (matrice sotto) suddivisa per classi di velocità di vento a intensità crescente. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

Nel caso del sito CAS-M (Figura 39) non si osservano correlazioni significative nel caso di vento proveniente da est. Nel caso di vento proveniente da ovest si ha conferma di correlazioni negative per venti di intensità debole (0,5-1 m/s, Ovest-1), mentre con venti da ovest di intensità > 3 m/s (Ovest-3 e soprattutto Ovest-4) si osservano molte correlazioni positive così come già osservato nel caso del sito CAS-Q.

| CAS-M | polv_tot | Al    | As   | Ba   | Cd    | Ca    | Co   | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu   | Na           | V    | Zn    |
|-------|----------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------|------|-------|
| Est-1 | 0,09     | 0,01  | 0,18 | 0,16 | 0,15  | 0,14  | 0,08 | -0,01 | 0,06  | 0,14  | 0,17  | 0,26  | 0,12  | 0,16  | 0,10 | 0,05         | 0,04 | 0,12  |
| Est-2 | 0,06     | -0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,15  | -0,09 | 0,07 | 0,21  | 0,11  | -0,15 | 0,00  | -0,13 | 0,15  | 0,14  | 0,04 | <b>-0,38</b> | 0,16 | -0,08 |
| Est-3 | 0,20     | -0,04 | 0,05 | 0,13 | -0,05 | -0,02 | 0,16 | 0,18  | 0,06  | -0,06 | -0,03 | -0,16 | 0,13  | 0,08  | 0,22 | <b>-0,37</b> | 0,14 | -0,10 |
| Est-4 | 0,24     | -0,07 | 0,15 | 0,11 | -0,08 | -0,05 | 0,17 | 0,13  | -0,05 | -0,03 | -0,10 | -0,13 | -0,02 | -0,07 | 0,27 | <b>-0,31</b> | 0,15 | 0,03  |

| CAS-M   | polv_tot     | Al    | As          | Ba    | Cd          | Ca          | Co           | Cr           | Fe          | Mg    | Mn           | Mo    | Ni           | Pb           | Cu           | Na          | V            | Zn    |
|---------|--------------|-------|-------------|-------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------|
| Ovest-1 | <b>-0,34</b> | 0,07  | -0,28       | -0,21 | -0,21       | -0,28       | <b>-0,34</b> | <b>-0,43</b> | -0,16       | -0,02 | <b>-0,32</b> | 0,14  | <b>-0,34</b> | <b>-0,34</b> | <b>-0,37</b> | 0,03        | <b>-0,34</b> | 0,00  |
| Ovest-2 | 0,10         | -0,12 | 0,09        | 0,00  | 0,20        | 0,27        | 0,13         | 0,18         | -0,04       | -0,03 | 0,23         | -0,07 | 0,15         | 0,19         | 0,05         | 0,25        | 0,10         | 0,15  |
| Ovest-3 | 0,21         | -0,06 | 0,14        | 0,12  | 0,16        | <b>0,39</b> | 0,20         | 0,17         | 0,07        | 0,02  | 0,26         | -0,22 | 0,17         | 0,21         | 0,16         | <b>0,34</b> | 0,12         | -0,14 |
| Ovest-4 | <b>0,32</b>  | 0,03  | <b>0,33</b> | 0,19  | <b>0,43</b> | <b>0,43</b> | <b>0,51</b>  | <b>0,49</b>  | <b>0,31</b> | 0,17  | <b>0,56</b>  | 0,01  | <b>0,61</b>  | <b>0,57</b>  | 0,27         | 0,07        | <b>0,31</b>  | -0,07 |

Figura 39 – Matrici di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-M rispetto alla % delle ore di vento proveniente da EST (matrice sopra) e da OVEST (matrice sotto) suddivisa per classi di velocità di vento a intensità crescente. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

Anche se le correlazioni con il regime di vento Ovest-4 sono statisticamente poco significative perché tale regime di vento si presenta solo per l'1% delle ore dell'anno, occorre considerare che la correlazione coinvolge molti metalli e anche le polveri totali.

Consideriamo ad esempio lo scatterplot della correlazione tra la deposizione di nichel nel sito CAS-M e il regime di vento Ovest-4 (Figura 40). La correlazione appare influenzata dalla presenza di un valore spot della settimana 16 che corrisponde al valore massimo della serie per il nichel in CAS-M in coincidenza con la % massima di ore di vento da ovest con velocità > 5 m/s. Anche escludendo tale dato dalla serie la correlazione rimane buona sia visivamente sia come valore di indice di correlazione ( $r = 0,55$ ).

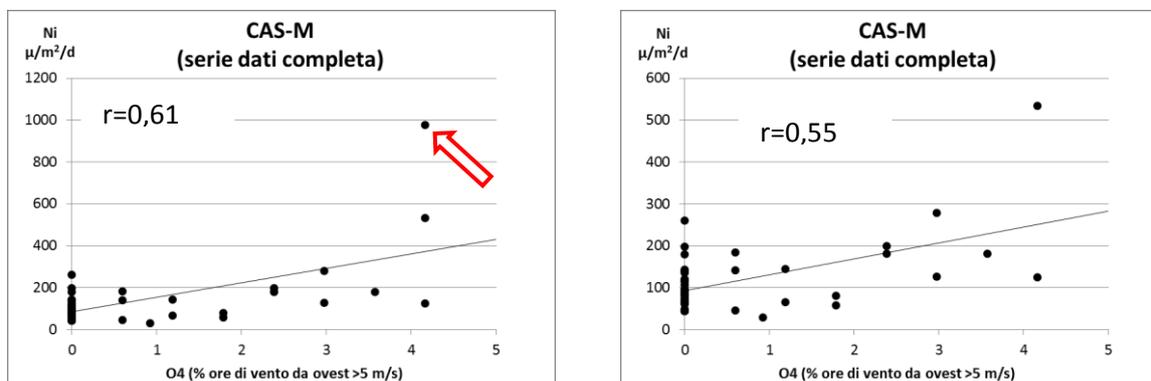


Figura 40 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dalla deposizione di nichel nel sito CAS-M e dalla % di ore dell'anno con vento da ovest con velocità > 5 m/s (classe Ovest-4). Escludendo dai dati la coppia di valori spot della settimana 16 l'indice di correlazione risulta comunque significativo ( $r=0,55$ ) e si osserva un buon allineamento dei punti

È pertanto possibile riassumere le informazioni fin qui dedotte in questo modo:

- il regime di vento proveniente da ovest con intensità debole (0,5-1 m/s) si presenta spesso nelle stesse giornate in cui si ha prevalenza di calma di vento, pertanto i due regimi di vento (calma di vento e Ovest-1) mostrano lo stesso effetto sui valori di deposizione con valori degli indici di correlazione negativi;
- nel caso di vento proveniente da est, l'effetto di trasporto delle polveri dall'acciaieria non è visibile in condizioni di vento debole (0,5-1 m/s), ma diventa sensibile per regimi di vento con intensità > 1 m/s;

- i regimi di vento da est con intensità  $> 1$  m/s (Est-2, Est-3, Est-4) presentano numerose correlazioni positive con i metalli caratteristici dell'acciaieria nei siti CAS-C, CAS-W e CAS-Q posti ad ovest rispetto all'acciaieria stessa;
- nel caso di vento da ovest di intensità  $> 3$  m/s non si osserva alcuna correlazione con le deposizioni nei siti CAS-C e CAS-W mentre nei siti CAS-Q e CAS-M si osserva un effetto di aumento delle deposizioni atmosferiche che potrebbe essere riconducibile ad un effetto di risospensione e successivo trasporto delle polveri presenti sulla superficie dei piazzali, delle vie di transito e delle coperture degli edifici interni allo stabilimento.

Quest'ultima deduzione trova conferma nell'analisi condotta nel paragrafo successivo.

### **2.5. Influenza delle situazioni meteorologiche tipiche locali**

Le situazioni meteorologiche tipiche locali risultano di particolare interesse nell'interpretazione delle dinamiche di dispersione degli inquinanti nell'aria ambiente e possono essere sinteticamente descritte dalle seguenti sigle:

- STAB - stabilità atmosferica: condizioni di calma di vento;
- BREZZA: nelle ore diurne vento da est di tipo intermittente di intensità medio-alta; nelle ore notturne vento proveniente da ovest di intensità moderata e costante;
- IN\_US: incanalati uscenti: vento proveniente da ovest di intensità moderata costante;
- IN\_EN: incanalati entranti: vento proveniente da est di intensità moderata costante;
- FOEHN: vento proveniente da ovest-nord-ovest forte e intermittente (vento a raffiche).

Escludendo le giornate caratterizzate dalla presenza di perturbazioni piovose e nevose (PERT) e le giornate caratterizzate da regimi di vento complessi non catalogabili secondo le suddette tipologie (NC), è possibile classificare ogni giornata dell'anno secondo una delle 5 situazioni meteorologiche sopra descritte.

In tal modo procediamo a definire 5 variabili i cui valori in ognuna delle 51 settimane di monitoraggio sono dati dal numero di giornate catalogate per ogni situazione meteorologica tipica corrispondente (STAB, BREZZA, IN\_US, IN\_EN, FOEHN).

È così possibile costruire per ogni sito una matrice di correlazione in cui vengono incrociati i valori di deposizione e le 5 situazioni meteorologiche tipiche.

Nel caso del sito CAS-C (Figura 41) si osservano molte correlazioni positive visibili (colore grigio) rispetto ai venti di brezza che durante il giorno soffiano da est e provocano la risospensione e il

trasporto delle polveri dal reparto acciaieria e molte correlazioni negative (colore rosso) rispetto alle condizioni di stabilità atmosferica (STAB) in cui la risospensione e il trasporto eolico delle polveri sono sfavoriti.

Si osservano correlazioni positive visibili tra i venti incanalati entranti (IN\_EN) che soffiano da est e le deposizioni di Co, Cr, V.

Si osservano correlazioni negative visibili tra i venti incanalati uscenti (IN\_US) che soffiano da ovest e le deposizioni di Mg, Mn, V.

| CAS-C  | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na    | V     | Zn    |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| STAB   | -0,37    | -0,35 | -0,37 | -0,38 | -0,30 | -0,32 | -0,35 | -0,38 | -0,40 | -0,36 | -0,44 | -0,37 | -0,41 | -0,31 | -0,26 | 0,85  | -0,48 | -0,06 |
| BREZZA | 0,44     | 0,34  | 0,35  | 0,33  | 0,01  | 0,36  | 0,58  | 0,51  | 0,38  | 0,36  | 0,49  | 0,46  | 0,42  | 0,06  | 0,24  | -0,58 | 0,64  | 0,12  |
| IN_US  | -0,26    | -0,09 | -0,28 | -0,20 | -0,06 | -0,29 | -0,16 | -0,27 | -0,19 | -0,32 | -0,31 | -0,30 | -0,29 | -0,15 | -0,20 | 0,19  | -0,32 | -0,08 |
| IN_EN  | 0,14     | 0,00  | 0,12  | -0,11 | 0,24  | 0,04  | 0,44  | 0,35  | 0,11  | 0,02  | 0,16  | 0,02  | 0,16  | -0,08 | -0,11 | -0,45 | 0,39  | -0,18 |
| FOEHN  | 0,09     | 0,18  | 0,27  | 0,15  | 0,28  | 0,14  | -0,08 | -0,16 | 0,17  | 0,17  | 0,18  | 0,02  | 0,19  | 0,41  | -0,06 | -0,29 | -0,02 | 0,26  |

Figura 41 – matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-C rispetto al numero delle giornate classificate secondo le situazioni meteorologiche tipiche. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

Nel caso del sito CAS-W (Figura 42), oltre alle stesse correlazioni osservate per CAS-C per le condizioni di brezza e di stabilità atmosferica, si osserva anche una evidente correlazione positiva dei venti incanalati entranti (IN\_EN) che soffiano da est ovvero dall'acciaieria in direzione del sito di misura, che è posto sottovento rispetto all'acciaieria. Questo dimostra che il sito CAS-W è particolarmente adatto per il monitoraggio della ricaduta delle emissioni diffuse del reparto acciaieria.

| CAS-W  | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb   | Cu   | Na    | V     | Zn    |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| STAB   | -0,28    | -0,34 | -0,16 | -0,28 | -0,55 | -0,38 | -0,15 | -0,37 | -0,30 | -0,32 | -0,34 | -0,62 | -0,18 | 0,04 | 0,02 | 0,60  | -0,24 | -0,05 |
| BREZZA | 0,39     | 0,47  | 0,04  | 0,44  | 0,44  | 0,47  | 0,43  | 0,63  | 0,52  | 0,52  | 0,42  | 0,25  | 0,34  | 0,17 | 0,13 | -0,37 | 0,53  | 0,01  |
| IN_US  | 0,30     | -0,01 | -0,15 | 0,17  | 0,26  | 0,51  | 0,19  | 0,22  | 0,00  | 0,04  | 0,10  | -0,01 | 0,24  | 0,20 | 0,23 | 0,02  | 0,42  | 0,37  |
| IN_EN  | 0,47     | 0,32  | 0,14  | 0,39  | 0,12  | 0,44  | 0,45  | 0,34  | 0,40  | 0,46  | 0,46  | 0,07  | 0,53  | 0,33 | 0,26 | -0,09 | 0,56  | 0,23  |
| FOEHN  | -0,15    | 0,05  | -0,20 | -0,04 | 0,00  | -0,14 | -0,17 | -0,25 | 0,01  | 0,03  | -0,13 | -0,25 | -0,31 | 0,11 | 0,05 | 0,33  | -0,11 | 0,18  |

Figura 42 – matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-W rispetto al numero delle giornate tipiche di vento del periodo di misura. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

Nel caso del sito CAS-Q (Figura 43), oltre all'influenza delle condizioni di brezza e di stabilità atmosferica osservata anche negli altri due siti CAS-C e CAS-W, emerge una forte influenza dei venti di foehn che soffiano da ovest, caratterizzati da forti raffiche.

| CAS-Q  | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na    | V     | Zn    |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| STAB   | -0,23    | -0,17 | -0,30 | -0,34 | -0,41 | -0,14 | -0,34 | -0,28 | -0,22 | -0,16 | -0,34 | -0,49 | -0,34 | -0,37 | -0,28 | 0,44  | -0,24 | -0,14 |
| BREZZA | 0,23     | 0,14  | 0,34  | 0,35  | 0,32  | 0,12  | 0,45  | 0,16  | 0,23  | 0,12  | 0,31  | 0,32  | 0,41  | 0,37  | 0,32  | -0,39 | 0,25  | 0,19  |
| IN_US  | -0,07    | -0,06 | -0,17 | -0,02 | -0,08 | -0,12 | -0,05 | -0,08 | -0,05 | -0,11 | -0,06 | -0,18 | -0,14 | -0,09 | -0,11 | 0,47  | -0,05 | -0,08 |
| IN_EN  | 0,09     | -0,05 | 0,29  | 0,10  | 0,11  | 0,05  | 0,38  | 0,04  | 0,00  | -0,11 | 0,14  | 0,09  | 0,20  | 0,25  | 0,11  | -0,27 | 0,19  | 0,02  |
| FOEHN  | 0,49     | 0,05  | 0,45  | 0,39  | 0,30  | 0,47  | 0,33  | 0,41  | 0,19  | 0,19  | 0,50  | 0,02  | 0,43  | 0,56  | 0,50  | -0,10 | 0,38  | 0,35  |

Figura 43 – matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-Q rispetto al numero delle giornate tipiche di vento del periodo di misura. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

L'influenza dei venti di foehn in tale sito potrebbe essere riconducibile alla particolare localizzazione del deposimetro CAS-Q che si trova sul terrazzo della palazzina degli uffici qualità che si affaccia su un piccolo piazzale interno delimitato a est e a sud da edifici più alti e comunicante a ovest con una via di transito interna (Figura 44). L'azione delle raffiche di vento di foehn da ovest, incanalandosi nel corridoio indicato dalla freccia riportata in Figura 44 provoca presumibilmente il risollevamento delle polveri accumulate sulla superficie della via di transito e del piazzale con un effetto di accumulo all'interno del volume di aria racchiuso dagli edifici che delimitano il piazzale e la successiva rideposizione delle polveri nella stessa area in cui è presente il deposimetro CAS-Q.



Figura 44 – Localizzazione dei siti di misura rispetto all'acciaieria e particolare della localizzazione del deposimetro CAS-Q. Le “nuvolette” di polvere inserite nell'immagine di destra intendono rappresentare il fenomeno locale di risospensione della polvere ad opera dei venti che soffiano da ovest

Anche nel caso del sito CAS-M (Figura 45) si osserva una correlazione positiva dei metalli con le giornate di foehn nelle quali il vento trasporta gli inquinanti dall'acciaieria in direzione ovest verso il sito CAS-M.

| CAS-M  | Polv tot    | Al    | As          | Ba    | Cd    | Ca          | Co          | Cr    | Fe    | Mg    | Mn          | Mo    | Ni          | Pb          | Cu          | Na           | V           | Zn    |
|--------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------|
| STAB   | -0,23       | -0,12 | -0,19       | -0,20 | -0,11 | -0,20       | -0,12       | -0,24 | -0,15 | -0,14 | -0,13       | -0,11 | -0,10       | -0,12       | -0,16       | <b>0,39</b>  | -0,17       | -0,13 |
| BREZZA | 0,24        | 0,05  | 0,06        | 0,18  | -0,15 | -0,01       | 0,09        | 0,15  | 0,12  | 0,01  | -0,08       | -0,19 | 0,03        | -0,01       | 0,20        | <b>-0,38</b> | 0,14        | 0,01  |
| IN_US  | -0,05       | -0,01 | -0,14       | -0,08 | 0,09  | 0,05        | -0,09       | 0,11  | 0,00  | -0,05 | 0,04        | -0,09 | -0,05       | -0,06       | -0,05       | 0,28         | 0,00        | 0,02  |
| IN_EN  | <b>0,33</b> | -0,05 | 0,24        | 0,12  | 0,21  | 0,14        | 0,26        | 0,13  | 0,04  | 0,01  | 0,08        | -0,19 | 0,06        | 0,03        | <b>0,32</b> | -0,13        | 0,20        | -0,09 |
| FOEHN  | 0,21        | -0,04 | <b>0,33</b> | 0,18  | 0,19  | <b>0,33</b> | <b>0,42</b> | 0,22  | 0,16  | 0,04  | <b>0,38</b> | -0,01 | <b>0,41</b> | <b>0,46</b> | 0,16        | 0,11         | <b>0,32</b> | -0,13 |

Figura 45 – matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche del sito CAS-M rispetto al numero delle giornate tipiche di vento del periodo di misura. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$

## 2.6. Influenza delle precipitazioni atmosferiche

Nel presente paragrafo si procede a indagare l'eventuale correlazione tra i valori di deposizione e le precipitazioni atmosferiche. Nella Figura 46 seguente vengono riportate le correlazioni tra le deposizioni nei diversi siti di misura e le precipitazioni atmosferiche misurate nella stazione di misura della qualità dell'aria di Aosta – Piazza Plouves.

Le correlazioni significative sono in numero molto ridotto e riguardano solo alcuni metalli.

Si osserva in generale una certa coerenza tra gli indici di correlazione e la solubilità dei metalli nelle deposizioni. Le correlazioni positive significative, osservate per As, Ba, Mg, Mo, riguardano i metalli caratterizzati da una maggiore solubilità, ovvero da una maggiore % di massa nella parte solubile del campione. Gli indici di correlazione negativi, in particolare nel caso di Cr e V, riguardano i metalli con una minore % di massa nella parte solubile del campione.

| PREC                         | Polv tot | Al    | As          | Ba          | Cd   | Ca   | Co    | Cr           | Fe    | Mg          | Mn    | Mo          | Ni    | Pb    | Cu    | Na    | V            | Zn    |
|------------------------------|----------|-------|-------------|-------------|------|------|-------|--------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|
| CAS-C                        | 0,17     | 0,08  | 0,29        | <b>0,38</b> | 0,17 | 0,23 | -0,15 | 0,20         | 0,18  | <b>0,40</b> | 0,24  | 0,14        | 0,06  | 0,09  | 0,15  | 0,15  | 0,17         | 0,04  |
| CAS-W                        | 0,09     | -0,04 | <b>0,75</b> | -0,11       | 0,15 | 0,02 | -0,27 | <b>-0,34</b> | -0,10 | -0,08       | 0,00  | 0,23        | -0,17 | -0,22 | -0,25 | -0,15 | <b>-0,37</b> | -0,23 |
| CAS-Q                        | -0,08    | 0,10  | -0,04       | -0,11       | 0,08 | 0,01 | -0,13 | -0,04        | 0,02  | 0,09        | -0,02 | 0,14        | -0,11 | -0,14 | -0,12 | -0,02 | 0,05         | -0,05 |
| CAS-M                        | 0,18     | 0,18  | <b>0,51</b> | 0,22        | 0,10 | 0,27 | -0,02 | 0,03         | 0,08  | <b>0,48</b> | 0,21  | <b>0,51</b> | -0,05 | 0,02  | 0,07  | 0,15  | 0,17         | 0,21  |
| % massa in soluzione (media) | 82%      | 34%   | 75%         | 66%         | 84%  | 98%  | 20%   | 6%           | 23%   | 81%         | 65%   | 84%         | 42%   | 87%   | 71%   | 98%   | 34%          | 90%   |

Figura 46 – indici di correlazione delle deposizioni atmosferiche nei diversi siti di misura rispetto ai mm di precipitazione atmosferica del periodo di misura. In grigio vengono evidenziate le correlazioni positive con  $r > 0,3$  e in rosso le correlazioni negative con  $r < -0,3$ . Nella riga in fondo vengono riportati i valori medi della % di massa di metallo in soluzione nel campione di deposizione

Le correlazioni positive di As e Mo nel sito CAS-M ( $r=0,51$  in entrambi i casi) risultano entrambe influenzate dal dato relativo alla settimana 47, risultata di gran lunga la più piovosa dell'anno (107 mm), in corrispondenza della quale sono stati misurati i valori massimi di As e Mo in tale sito dell'intera campagna. Escludendo le coppie di dati relativi alla settimana 47 gli indici di

correlazione risultano molto meno significativi, pari a 0,31 per As (Figura 47) e 0,20 per Mo (Figura 48). Pertanto si tratta di “correlazioni apparenti”. Rimane tuttavia utile l’informazione legata al fatto che i valori massimi di As e Mo della serie sono legati al valore massimo di precipitazione annuale nei periodi di monitoraggio.

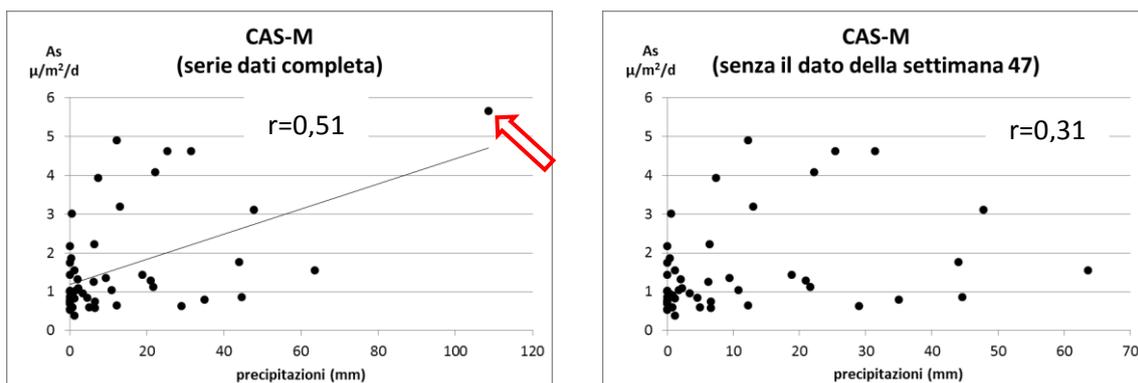


Figura 47 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dalla deposizione di arsenico nel sito CAS-M e dai mm di precipitazione del periodo di esposizione del deposimetro. Escludendo la coppia di valori spot della settimana 47 l’indice di correlazione scende sensibilmente passando da 0,51 a 0,20

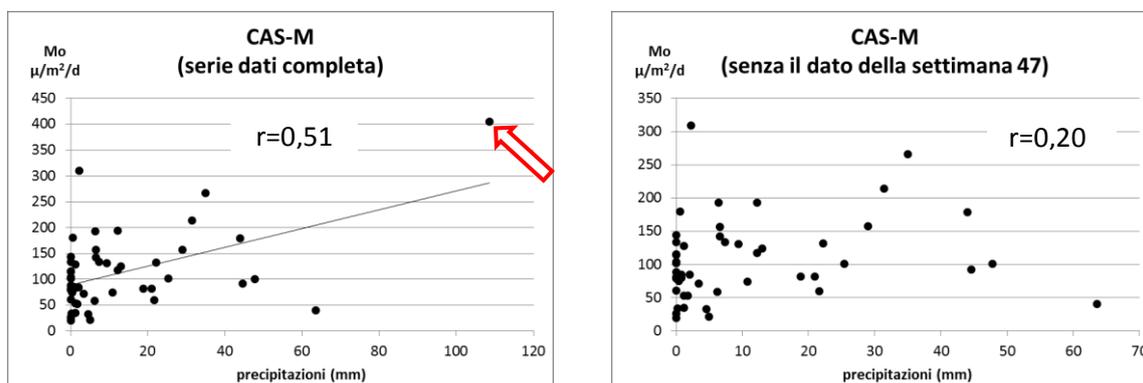


Figura 48 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dalla deposizione di molibdeno nel sito CAS-M e dai mm di precipitazione del periodo di esposizione del deposimetro. Escludendo la coppia di valori spot della settimana 47 l’indice di correlazione scende sensibilmente passando da 0,51 a 0,20

### 3. Attività di monitoraggio delle immagini fotografiche degli eventi di emissione diffusa

#### 3.1. Analisi esplorativa dei dati

È necessario precisare che i dati illustrati si riferiscono agli eventi osservati attraverso la visione delle immagini acquisite dalla fotocamera con cadenza pari a un'immagine istantanea ogni 5 minuti. Gli eventi di emissione diffusa provocano un riscontro visibile a occhio nudo che spesso dura per un intervallo di tempo inferiore a 5 minuti. Questo significa che è possibile che tra l'acquisizione di due immagini successive siano occorsi eventi di emissione diffusa che non sono stati acquisiti, oppure che l'immagine acquisita si riferisca ad un evento di intensità maggiore avvenuto pochi secondi prima.

Si tratta ovviamente di un monitoraggio di tipo qualitativo, sia per la frequenza di acquisizione che per il fatto che è affidato alla sensibilità soggettiva di un individuo e non ad una misura oggettiva.

Le informazioni ricavate da tale monitoraggio hanno pertanto carattere conoscitivo-esplorativo circoscritto alle finalità del presente progetto, ovvero indagare l'esistenza di un effettivo impatto di tali eventi sulle deposizioni atmosferiche di polveri e metalli.

Nella Tabella 2 seguente viene riportato un quadro riassuntivo del numero di eventi di emissione diffusa osservati suddivisi per zona di provenienza e livello di intensità, etichettati con le sigle: BT1, SA1, CB1, BT2, SA2, CB2, BT3, SA3, CB3.

Tabella 2 – Numero di eventi di emissione diffusa osservati nel corso del 2016 suddivisi per zona di provenienza (BT – Blocco Torre, SA – Secondario Acciaieria, CB – Capannone Basso) e livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata)

|                          | Eventi intensità 1 |      |      | Eventi intensità 2 |     |     | Eventi intensità 3 |     |     |
|--------------------------|--------------------|------|------|--------------------|-----|-----|--------------------|-----|-----|
|                          | BT1                | SA1  | CB1  | BT2                | SA2 | CB2 | BT3                | SA3 | CB3 |
| Numero di eventi annuali | 4062               | 2193 | 2100 | 874                | 305 | 595 | 40                 | 8   | 38  |
|                          | 8355               |      |      | 1774               |     |     | 86                 |     |     |
| Numero medio settimanale | 80                 | 43   | 41   | 17                 | 6   | 12  | 0,8                | 0,2 | 0,7 |
|                          | 164                |      |      | 35                 |     |     | 1,7                |     |     |

Circa l'80% degli eventi osservati sono di entità 1-lieve, il 18% degli eventi sono di intensità 2-media, mentre solo circa l'1% degli eventi è di intensità 3-elevata.

I dati sono stati organizzati sulla stessa base temporale del monitoraggio delle deposizioni atmosferiche, ovvero determinando per ognuno dei 51 periodi di misura delle deposizioni il numero di eventi suddivisi per zona di provenienza e livello di intensità. Nelle figure seguenti vengono riportati i grafici relativi al numero di eventi di emissione diffusa di diversa intensità suddivisi per le diverse zone di provenienza, osservati nelle 51 settimane di monitoraggio delle deposizioni.

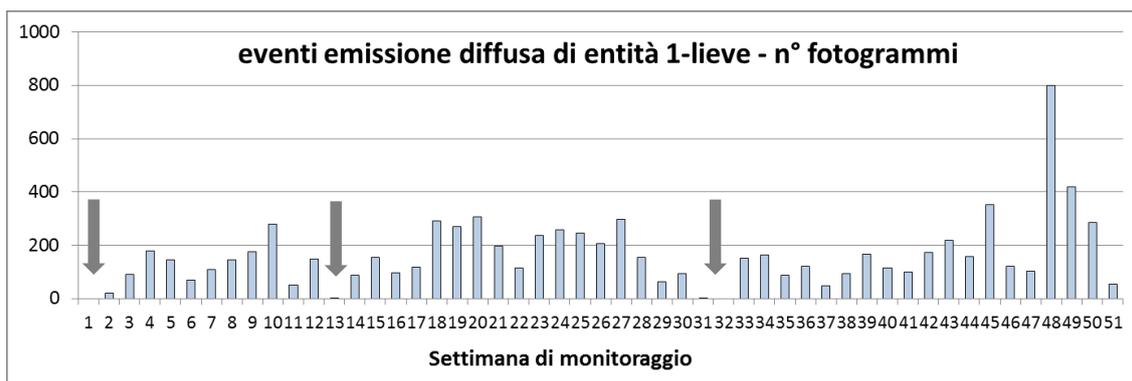


Figura 49 – Numero di eventi di intensità 1-lieve osservati nei 51 periodi di misura delle deposizioni atmosferiche. Le frecce indicano i periodi di fermata dello stabilimento (settimane 1, 13, 31, 32).

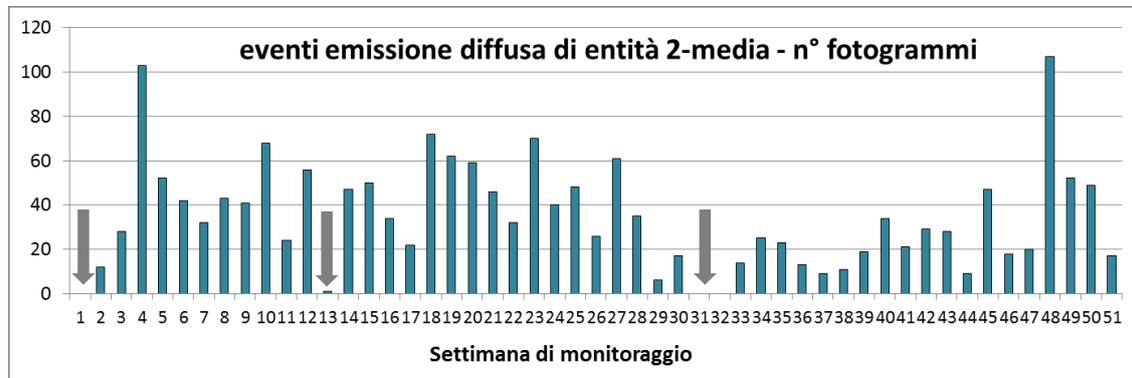


Figura 50 – Numero di eventi di intensità 2-media osservati nei 51 periodi di misura delle deposizioni atmosferiche. Le frecce indicano i periodi di fermata dello stabilimento (settimane 1, 13, 31, 32).

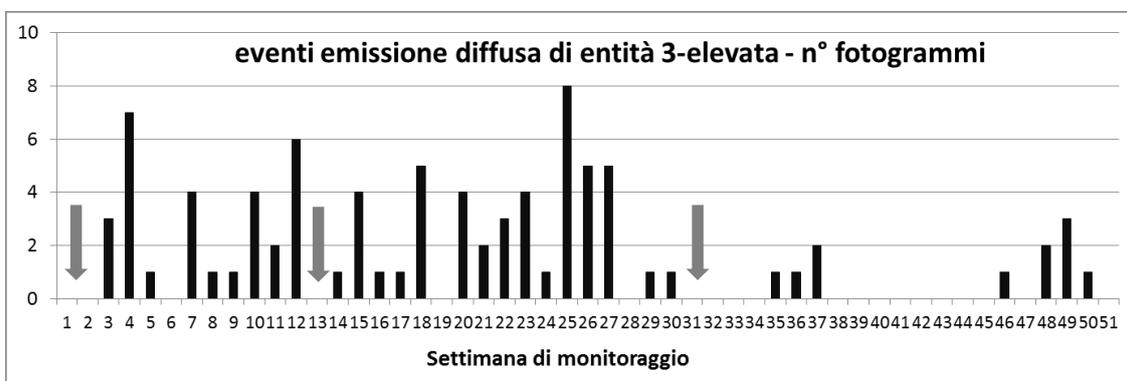


Figura 51 – Numero di eventi di intensità 3-elevata osservati nei 51 periodi di misura delle deposizioni atmosferiche. Le frecce indicano i periodi di fermata dello stabilimento (settimane 1, 13, 31, 32).

Dal grafico si nota chiaramente che non sono stati osservati eventi di emissione diffusa nei periodi di fermo degli impianti dell'acciaieria: settimana 1 (Natale 2015), settimana 13 (Pasqua), settimane 31 e 32 (fermata estiva).

Nel grafico della Figura 52 vengono riportati i valori degli scostamenti % del numero di eventi di emissione diffusa rispetto alla media settimanale per le diverse 3 classi di intensità definite. Si osserva che nel periodo compreso tra le settimane 4 e 28, così come nelle settimane 48 e 49, gli eventi sono stati osservati con frequenza ben superiore alla media mentre nel periodo compreso tra le settimane 29 e 47 le osservazioni sono state quasi sempre pari o inferiori alla media.

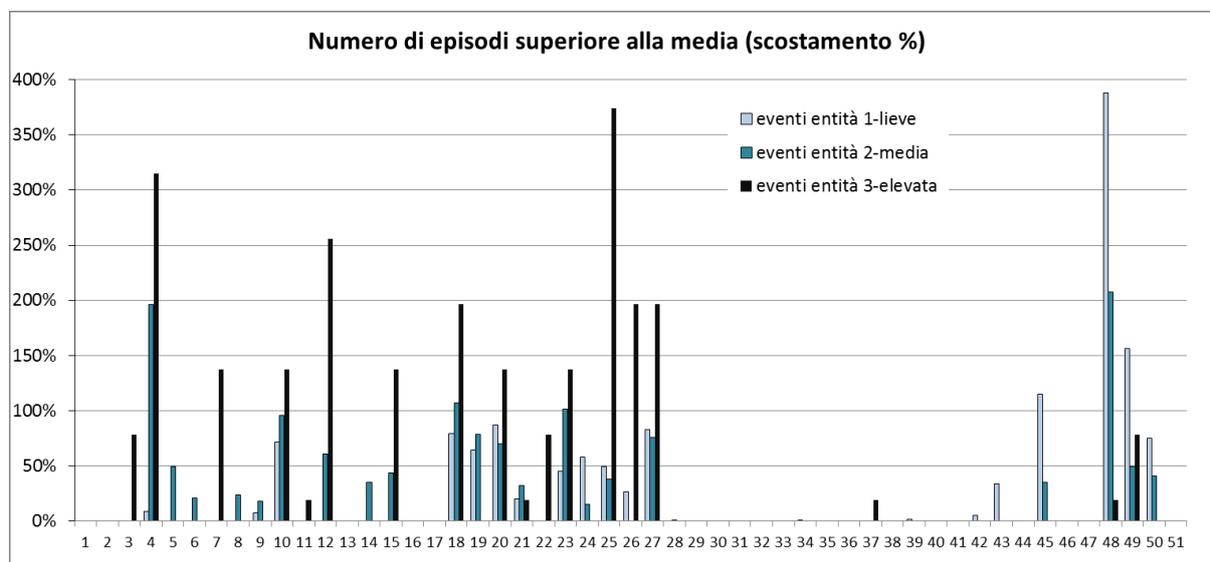


Figura 52 – Rappresentazione grafica del numero di eventi di emissione diffusa superiore alla media. I valori sono espressi come scostamento % rispetto alla media settimanale per ognuno dei tre livelli di intensità.

## 4. Influenza degli eventi di emissione diffusa sulle deposizioni atmosferiche

### 4.1. Descrizione della metodologia di analisi dei dati adottata

Per poter indagare in che misura gli eventi di emissione diffusa influiscano sulle deposizioni atmosferiche è stato creato una database incrociando i dati relativi agli eventi di emissione diffusa rilevati dalla telecamera con i valori misurati delle deposizioni atmosferiche, organizzati sulla stessa base temporale costituita dai 51 periodi di misura delle deposizioni del 2016.

In tal modo, per ognuno dei punti di misura delle deposizioni è stato possibile costruire una matrice di correlazione contenente i coefficienti  $r$  di Pearson per tutte le coppie ottenute dall'incrocio delle seguenti variabili:

- il numero di eventi di emissione diffusa suddivisi per livello di intensità (BT1, SA1, CB1, BT2, SA2, CB2, BT3, SA3, CB3);
- gli inquinanti misurati nelle deposizioni atmosferiche (polvere totale, Al, As, Ba, Cd, Ca, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Cu, Na, V, Zn).

In questo caso il sito di CAS-W non è stato preso in considerazione per la costruzione della matrice di correlazione in quanto il numero di osservazioni disponibili è troppo ridotto (secondo la prassi occorrono almeno 30 osservazioni per poter parlare dell'esistenza di un legame di correlazione fra le variabili, nel caso di CAS-W le osservazioni sono solo 19).

Gli eventi di intensità elevata (3), pur essendo in numero estremamente esiguo e quindi statisticamente non significativo, sono stati comunque inclusi nell'analisi di correlazione perché all'atto pratico si sono dimostrati utili per l'interpretazione di alcune situazioni di valori spot di deposizione.

È stata inoltre indagata anche l'influenza sulle deposizioni atmosferiche dell'azione dei venti combinata con gli eventi di emissione diffusa. A tale proposito è stato creato un apposito database in cui ad ogni evento di emissione diffusa osservato è stata associata la direzione di provenienza del vento nell'ora in cui è stato osservato, prendendo in considerazione le condizioni di vento proveniente da est e da ovest e le condizioni di calma di vento, che sono quelle più frequenti e statisticamente più significative.

Per l'interpretazione del coefficiente di correlazione, tenendo conto che le variabili relative agli eventi di emissione diffusa costituiscono una traduzione in termini quantitativi di informazioni qualitative ottenute attraverso osservazioni soggettive di tipo visivo, si è deciso di considerare significativi valori dell'indice di correlazione superiori a 0,30 ( $r > 0,30$ ), corrispondenti a "correlazioni

positive visibili”, e valori dell’indice di correlazione inferiori a -0,30 ( $r < -0,30$ ), corrispondenti a “correlazioni negative visibili”, secondo il criterio interpretativo illustrato nel paragrafo 1.4.1 precedente.

## 4.2. Sito CAS-C

### 4.2.1. Influenza del numero di eventi osservati

Nella Figura 53 seguente viene riportata la matrice di correlazione dei valori di deposizione rispetto al numero di eventi di emissione diffusa relativa al sito CAS-C, con evidenziati i valori di  $r > 0,3$ .

| CAS-C               | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd          | Ca   | Co          | Cr          | Fe    | Mg    | Mn          | Mo   | Ni   | Pb    | Cu    | Na    | V           | Zn   |
|---------------------|----------|-------|-------|-------|-------------|------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|------|------|-------|-------|-------|-------------|------|
| <b>Eventi 1 tot</b> | 0,29     | -0,03 | 0,01  | -0,02 | <b>0,43</b> | 0,25 | <b>0,46</b> | <b>0,32</b> | 0,13  | 0,27  | <b>0,38</b> | 0,18 | 0,28 | 0,15  | -0,06 | -0,21 | <b>0,32</b> | 0,14 |
| <b>Eventi 2 tot</b> | 0,13     | -0,21 | -0,13 | -0,14 | 0,22        | 0,19 | 0,15        | 0,02        | -0,08 | 0,05  | 0,15        | 0,08 | 0,05 | -0,07 | -0,21 | 0,15  | 0,00        | 0,17 |
| <b>Eventi 3 tot</b> | 0,06     | -0,11 | -0,11 | -0,20 | -0,10       | 0,04 | <b>0,43</b> | 0,28        | 0,02  | -0,06 | 0,13        | 0,13 | 0,18 | -0,24 | -0,09 | 0,09  | 0,20        | 0,10 |

Figura 53 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche nel sito CAS-C e del numero di eventi di emissione diffusa di diversa intensità. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Si notano correlazioni positive visibili tra gli eventi di entità 1-lieve e le deposizioni di Cd, Co, Cr, Mn e V. Anche polvere totale, Ni e Mg presentano correlazioni positive significative con valori dell’indice di correlazione di poco inferiore a 0,3.

Prendiamo in considerazione il cromo, che dall’analisi esplorativa è sembrato il metallo più sensibile all’influenza delle emissioni diffuse del reparto acciaieria. Lo scatterplot relativo ai valori di deposizione di cromo in CAS-C e agli eventi di intensità 1-lieve (Figura 54) mostra un discreto allineamento dei punti che migliora sensibilmente se si escludono i valori spot delle settimane 8 e 29 fino ad ottenere un indice di correlazione pari a 0,50.

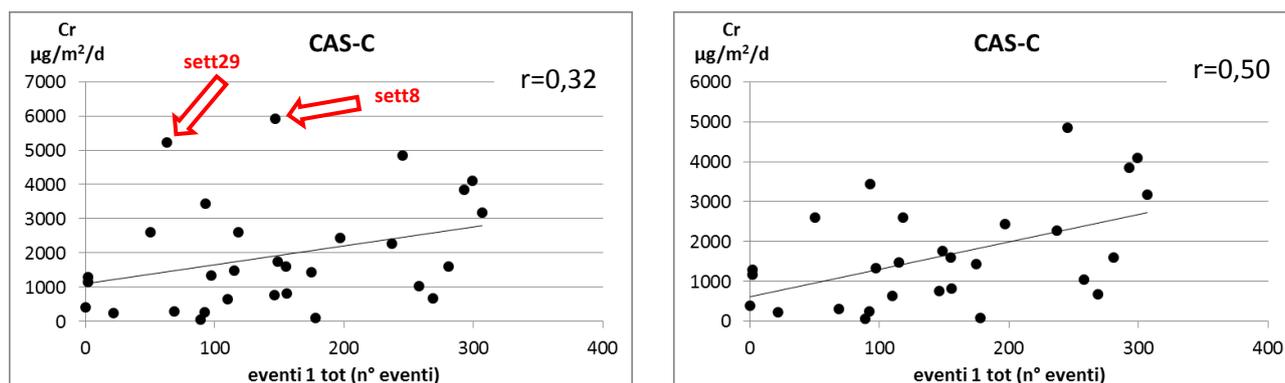


Figura 54 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dal numero totale di eventi di entità 1 e dalla deposizione di cromo nel sito CAS-C. Eliminando i valori spot delle settimane 8 e 29 i punti dimostrano una buona correlazione

Esaminiamo ora le correlazioni tra i valori di deposizione e il numero di eventi suddivisi per livello di intensità e zona di provenienza (Figura 55).

|   | CAS-C | Polv tot    | Al    | As    | Ba    | Cd          | Ca          | Co          | Cr          | Fe    | Mg          | Mn          | Mo    | Ni          | Pb    | Cu    | Na    | V           | Zn    |
|---|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| 1 | BT1   | 0,22        | -0,11 | -0,10 | -0,10 | <b>0,36</b> | 0,16        | <b>0,44</b> | 0,25        | 0,03  | 0,17        | 0,30        | 0,10  | 0,20        | 0,06  | -0,12 | -0,12 | 0,25        | 0,10  |
|   | SA1   | <b>0,32</b> | 0,03  | 0,02  | 0,05  | <b>0,40</b> | 0,29        | <b>0,51</b> | <b>0,39</b> | 0,20  | <b>0,31</b> | <b>0,39</b> | 0,20  | 0,30        | 0,19  | -0,04 | -0,23 | <b>0,37</b> | 0,15  |
|   | CB1   | <b>0,35</b> | 0,05  | 0,19  | 0,07  | <b>0,52</b> | <b>0,32</b> | <b>0,34</b> | <b>0,30</b> | 0,21  | <b>0,35</b> | <b>0,46</b> | 0,27  | <b>0,35</b> | 0,25  | 0,03  | -0,30 | <b>0,35</b> | 0,20  |
| 2 | BT2   | 0,07        | -0,27 | -0,20 | -0,21 | 0,25        | 0,11        | 0,18        | 0,00        | -0,17 | 0,02        | 0,09        | -0,03 | -0,01       | -0,07 | -0,27 | 0,16  | -0,02       | 0,04  |
|   | SA2   | 0,12        | -0,09 | -0,01 | -0,05 | 0,15        | 0,22        | 0,01        | -0,05       | 0,00  | 0,05        | 0,13        | 0,08  | 0,06        | -0,11 | -0,13 | 0,23  | -0,06       | 0,29  |
|   | CB2   | 0,18        | -0,14 | -0,07 | -0,07 | 0,17        | 0,23        | 0,16        | 0,09        | 0,01  | 0,08        | 0,22        | 0,20  | 0,12        | -0,04 | -0,13 | 0,04  | 0,07        | 0,24  |
| 3 | BT3   | -0,13       | -0,18 | -0,18 | -0,25 | -0,13       | -0,04       | 0,09        | 0,11        | -0,06 | -0,05       | -0,02       | -0,03 | 0,04        | -0,36 | -0,19 | 0,30  | 0,00        | -0,03 |
|   | SA3   | 0,05        | 0,02  | 0,01  | -0,06 | -0,04       | 0,06        | 0,04        | -0,01       | 0,05  | -0,04       | 0,04        | 0,25  | 0,04        | -0,09 | 0,04  | 0,12  | -0,03       | 0,25  |
|   | CB3   | 0,21        | -0,02 | -0,02 | -0,08 | -0,02       | 0,09        | <b>0,61</b> | <b>0,37</b> | 0,08  | -0,04       | 0,23        | 0,17  | 0,25        | -0,05 | 0,02  | -0,17 | <b>0,35</b> | 0,12  |

Figura 55 – Matrici di correlazione delle deposizioni atmosferiche nel sito CAS-C e del numero di eventi di emissione diffusa di diversa intensità e provenienza. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Si osservano molte correlazioni positive visibili che interessano gli eventi di entità 1:

- gli eventi BT1 sono correlati con le deposizioni di Cd e Co;
- gli eventi SA1 sono correlati con le deposizioni di polvere totale, Cd, Co, Cr, Mg, Mn, V;
- gli eventi CB1 sono correlati con le deposizioni di polvere totale, Cd, Ca, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, V.

Gli eventi che hanno un'influenza visibile sul maggior numero di metalli sono quelli di entità 1-lieve provenienti dal Capannone Basso (CB) e dal Secondario AOD (SA) che sono leggermente più distanti dal deposimetro CAS-C rispetto a BT (Figura 56).



Figura 56 – Localizzazione del punto di misura CAS-C rispetto alle zone di fuoriuscita delle emissioni diffuse (BT, SA, CB)

A titolo di esempio si riportano nella Figura 57 seguente gli scatterplot che mettono in relazione il numero di eventi CB1 e i valori di deposizione di nichel e manganese nel sito CAS-C. Anche se la dispersione dei punti intorno alla retta è alta, le correlazioni appaiono comunque evidenti.

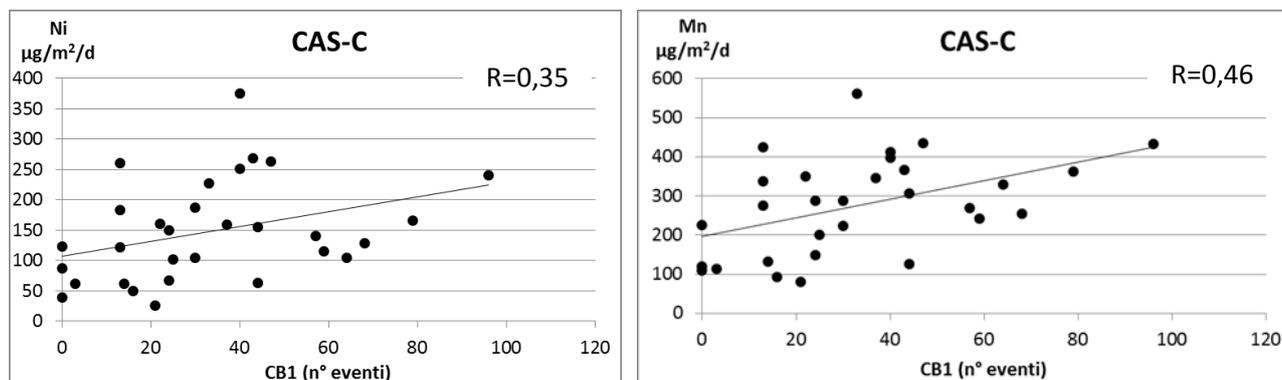


Figura 57 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dal numero di eventi CB1 (eventi di entità 1 provenienti dal Capannone Basso) e dalla deposizione di nichel (a sinistra) e manganese (a destra) nel sito CAS-C

Allo stesso modo appare visibile la correlazione tra gli eventi SA1 e i valori di deposizione di cromo e manganese (Figura 58).

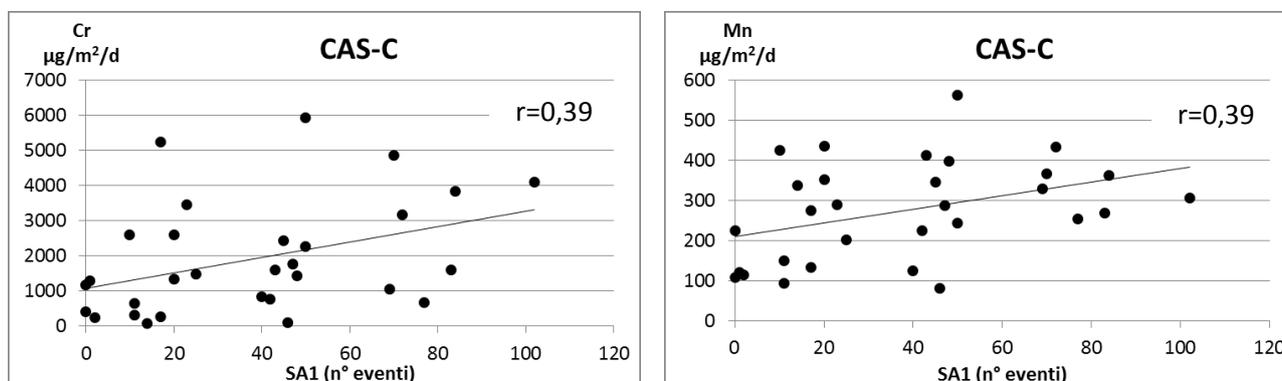


Figura 58 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dal numero di eventi SA1 (eventi di entità 1 provenienti dal Secondario AOD) e dalla deposizione di cromo (a sinistra) e manganese (a destra) nel sito CAS-C

#### 4.2.1.1. Correlazioni tra Cr, Co, V e numero di eventi CB3

Se per gli eventi di entità 1 risultano visibili molte correlazioni con i valori di deposizione, nel caso del numero di eventi di entità 2 e 3, invece, non si osservano correlazioni visibili, con la sola eccezione di Cr, Co e V rispetto agli eventi CB3.

Questi tre metalli presentano evidenti correlazioni tra di loro nel sito CAS-C ( $r_{Cr-Co}=0,66$ ,  $r_{Cr-V}=0,91$ ,  $r_{Co-V}=0,71$ ). Osservando lo scatterplot della coppia di valori deposizione di cobalto/eventi CB3 (Figura 59) emerge che l'indice di correlazione è determinato dalle coppie di valori relative alle settimane 25 e 27, durante le quali sono stati osservati rispettivamente 4 e 5 eventi di emissione diffusa di entità 3-elevata dal Capannone Basso. Escludendo tali valori la correlazione è assente.

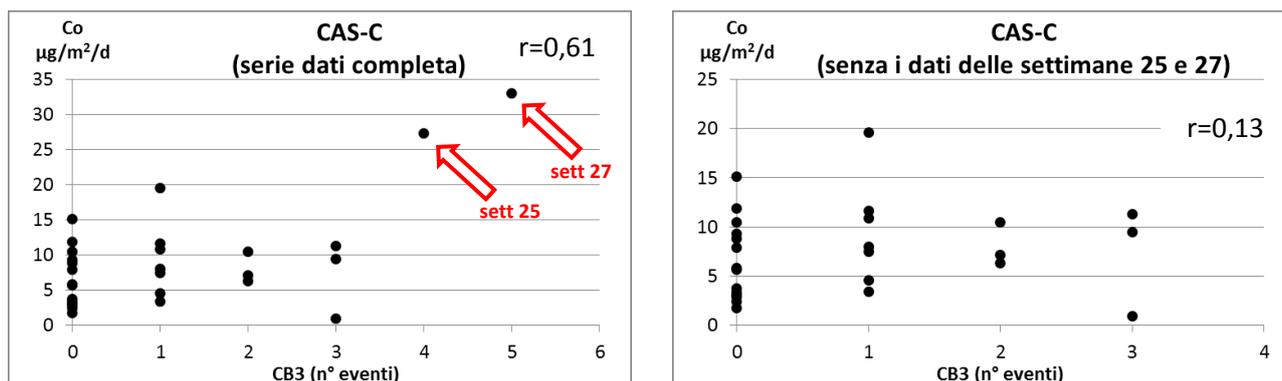


Figura 59 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dal numero di eventi CB3 (eventi di entità 3 provenienti dal Capannone Basso) e dalla deposizione di cobalto nel sito CAS-C. L'indice di correlazione “apparente” della serie completa è determinato dai due valori spot delle settimane 25 e 27 senza i quali non vi è correlazione visibile

In queste stesse settimane si è verificato un picco di deposizione anche per cromo e vanadio, come emerge chiaramente dal grafico della Figura 60 seguente nel quale vengono riportati i valori di Cr, Co e V normalizzati rispetto ai rispettivi valori medi della campagna nel sito CAS-C.

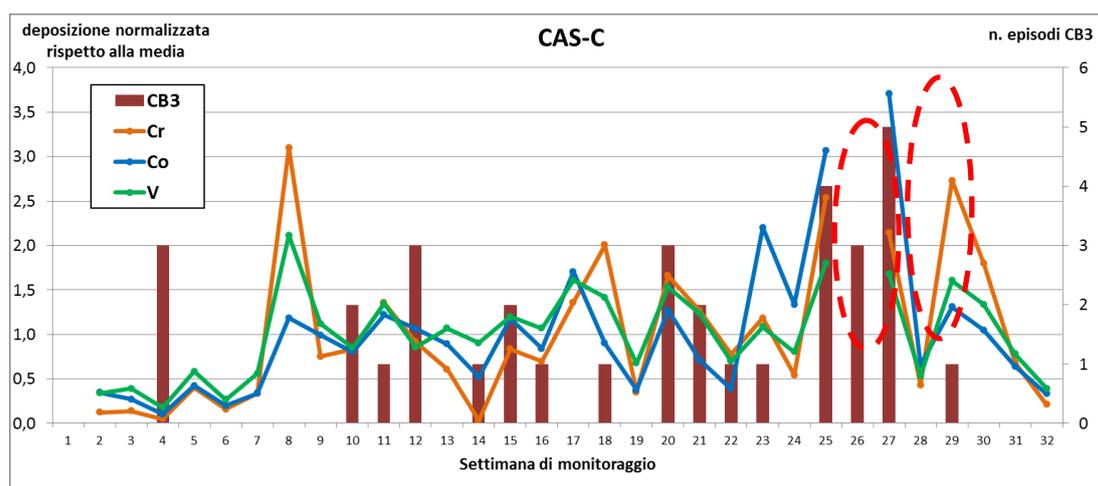


Figura 60 – Andamento temporale delle deposizioni di Cr, Co e V nel sito CAS-C (valori normalizzati rispetto ai rispettivi valori medi della campagna). Nelle settimane 25 e 27 si verificano dei valori di picco di tutti e tre i metalli in corrispondenza del numero massimo di eventi CB3 osservati. Il campione di deposizione di CAS-C della settimana 26 è stato invalidato per cause incidentali

#### **4.2.2. Influenza dell'azione combinata degli eventi con il vento**

Procediamo ora a indagare l'influenza del vento sugli eventi di emissione diffusa, associando ad ogni evento le corrispondenti condizioni del vento nel momento in cui è stato osservato.

In tal modo ogni evento è stato etichettato in base alla zona di provenienza (BT, SA, CB), al livello di intensità (1-lieve, 2-medio, 3-elevato) e alla direzione di provenienza del vento nel momento in cui si è verificato l'evento (calma di vento, vento da est, vento da ovest).

In prima istanza, per poter condurre l'analisi su di un numero di eventi statisticamente significativo, gli eventi vengono raggruppati per livello di intensità (eventi totali 1, eventi totali 2, eventi totali 3).

Successivamente l'analisi viene condotta approfondendo nel dettaglio le correlazioni rispetto a zona di provenienza e livello di intensità dei singoli eventi.

##### **4.2.2.1. Eventi di emissione diffusa in condizioni di vento da est**

Considerando che il sito CAS-C è posto a ovest dell'acciaieria e che è emersa una correlazione positiva delle deposizioni con le ore di vento proveniente da est, ci si aspetta che in condizioni di vento da est aumenti l'influenza degli eventi di emissione diffusa sulle deposizioni.

Nella Figura 61 seguente viene riportata la matrice di correlazione relativa al sito CAS-C nel caso di vento da est raggruppando gli eventi per livello di intensità.

|              | CAS-C        | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd          | Ca   | Co          | Cr          | Fe    | Mg          | Mn          | Mo   | Ni    | Pb    | Cu    | Na    | V           | Zn    |
|--------------|--------------|----------|-------|-------|-------|-------------|------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Vento da est | Eventi 1 tot | 0,29     | -0,01 | 0,01  | -0,04 | <b>0,55</b> | 0,21 | <b>0,51</b> | <b>0,36</b> | 0,11  | <b>0,31</b> | <b>0,39</b> | 0,18 | 0,17  | 0,06  | -0,01 | -0,24 | <b>0,38</b> | 0,03  |
|              | Eventi 2 tot | 0,12     | -0,13 | -0,05 | -0,13 | <b>0,41</b> | 0,19 | 0,14        | 0,12        | -0,05 | 0,16        | 0,20        | 0,13 | -0,02 | -0,11 | -0,10 | 0,02  | 0,09        | 0,05  |
|              | Eventi 3 tot | 0,01     | -0,18 | -0,11 | -0,24 | 0,02        | 0,00 | <b>0,48</b> | <b>0,33</b> | 0,00  | -0,04       | 0,13        | 0,12 | 0,11  | -0,05 | -0,10 | -0,23 | 0,28        | -0,16 |

Figura 61 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-C e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di vento da est. Gli eventi sono raggruppati per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Le correlazioni positive visibili sono in buon numero e indicano:

- l'influenza degli eventi di entità 1 sulle deposizioni di Cd, Co, Cr, Mg, Mn, V;
- l'influenza degli eventi di entità 2 sulle deposizioni di Cd;
- l'influenza degli eventi di entità 3 sulle deposizioni di Co e Cr.

Approfondendo l'analisi delle correlazioni rispetto alle zone di provenienza degli eventi (Figura 62), si osserva che gli eventi più influenti sono quelli provenienti dal Capannone Basso (CB) rispetto ai quali emergono correlazioni visibili anche per polvere totale, Ca e Mg.

|              |   | CAS-C      | Polv tot    | Al    | As    | Ba    | Cd          | Ca          | Co          | Cr          | Fe    | Mg          | Mn          | Mo   | Ni    | Pb    | Cu    | Na    | V           | Zn    |
|--------------|---|------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Vento da Est | 1 | <b>BT1</b> | 0,23        | -0,06 | -0,06 | -0,12 | <b>0,55</b> | 0,12        | <b>0,51</b> | <b>0,30</b> | 0,02  | 0,24        | <b>0,33</b> | 0,13 | 0,13  | 0,02  | -0,04 | -0,26 | <b>0,33</b> | -0,04 |
|              |   | <b>SA1</b> | 0,28        | 0,03  | -0,01 | 0,01  | <b>0,41</b> | 0,20        | <b>0,54</b> | <b>0,36</b> | 0,15  | 0,28        | <b>0,33</b> | 0,17 | 0,13  | 0,12  | 0,01  | -0,20 | <b>0,35</b> | 0,05  |
|              |   | <b>CB1</b> | <b>0,37</b> | 0,05  | 0,19  | 0,06  | <b>0,61</b> | <b>0,34</b> | <b>0,36</b> | <b>0,40</b> | 0,23  | <b>0,45</b> | <b>0,51</b> | 0,24 | 0,26  | 0,07  | 0,03  | -0,21 | <b>0,43</b> | 0,13  |
|              | 2 | <b>BT2</b> | 0,12        | -0,19 | -0,08 | -0,21 | <b>0,49</b> | 0,07        | 0,25        | 0,08        | -0,15 | 0,10        | 0,16        | 0,09 | -0,04 | -0,11 | -0,13 | 0,04  | 0,09        | -0,03 |
|              |   | <b>SA2</b> | 0,08        | -0,02 | -0,02 | -0,10 | <b>0,30</b> | 0,18        | -0,07       | -0,03       | -0,07 | 0,07        | 0,10        | 0,10 | -0,10 | -0,09 | -0,03 | 0,07  | -0,07       | 0,13  |
|              |   | <b>CB2</b> | 0,12        | -0,09 | -0,03 | -0,03 | <b>0,25</b> | 0,27        | 0,11        | 0,21        | 0,08  | 0,24        | 0,25        | 0,14 | 0,05  | -0,09 | -0,07 | -0,02 | 0,17        | 0,08  |
|              | 3 | <b>BT3</b> | -0,12       | -0,26 | -0,15 | -0,24 | 0,04        | 0,03        | -0,16       | 0,07        | -0,11 | -0,07       | -0,01       | 0,05 | -0,05 | -0,22 | -0,13 | -0,05 | -0,03       | -0,15 |
|              |   | <b>SA3</b> | nd          | nd    | nd    | nd    | nd          | nd          | nd          | nd          | nd    | nd          | nd          | nd   | nd    | nd    | nd    | nd    | nd          | nd    |
|              |   | <b>CB3</b> | 0,09        | -0,06 | -0,04 | -0,14 | 0,00        | -0,02       | <b>0,70</b> | <b>0,38</b> | 0,08  | 0,00        | 0,17        | 0,13 | 0,17  | 0,08  | -0,04 | -0,26 | <b>0,37</b> | -0,10 |

Figura 62 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-C e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di vento da est. Gli eventi sono suddivisi per zona di provenienza (BT, SA, CB) e per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Le correlazioni visibili degli eventi CB3-est con le deposizioni di Co e Cr confermano quanto già evidenziato nel paragrafo precedente in merito agli effetti dei singoli eventi di emissione diffusa accaduti nelle settimane 25 e 27. Tali eventi sono accaduti in condizioni di prevalenza di vento proveniente da est dimostrando pertanto l'influenza dei venti sulle ricadute delle deposizioni.

#### 4.2.2.2. Eventi di emissione diffusa in condizioni di vento da ovest

Considerando la posizione del sito CAS-C e le correlazioni negative riscontrate con le ore di vento da ovest, ci si aspetta che in condizioni di vento da ovest non vi siano correlazioni positive tra gli eventi di emissione diffusa e le deposizioni.

Questo trova conferma nei valori degli indici della matrice di correlazione di Figura 63 che contiene solo due correlazioni positive visibili che coinvolgono Cd e Zn.

|                |              | CAS-C | Polv tot | Al    | As    | Ba          | Cd   | Ca   | Co    | Cr    | Fe    | Mg   | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na    | V           | Zn |
|----------------|--------------|-------|----------|-------|-------|-------------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|----|
| Vento da ovest | Eventi 1 tot | 0,17  | 0,04     | 0,01  | 0,07  | <b>0,33</b> | 0,24 | 0,20 | 0,05  | 0,12  | 0,20  | 0,22 | 0,04  | 0,20  | 0,27  | -0,14 | -0,11 | 0,08  | 0,27        |    |
|                | Eventi 2 tot | 0,06  | -0,10    | -0,16 | -0,04 | 0,14        | 0,13 | 0,03 | -0,12 | -0,09 | -0,02 | 0,00 | -0,04 | -0,07 | 0,11  | -0,24 | 0,15  | -0,15 | 0,23        |    |
|                | Eventi 3 tot | 0,17  | 0,01     | 0,08  | -0,05 | -0,02       | 0,17 | 0,18 | 0,09  | 0,05  | 0,08  | 0,15 | 0,29  | 0,11  | -0,12 | 0,02  | 0,06  | 0,08  | <b>0,31</b> |    |

Figura 63 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-C e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di vento da ovest. Gli eventi sono raggruppati per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Nel caso del cadmio, il valore dell'indice di correlazione riflette in realtà una correlazione "apparente" in quanto influenzata dal valore spot della settimana 19, escludendo il quale non c'è correlazione visibile (Figura 64).

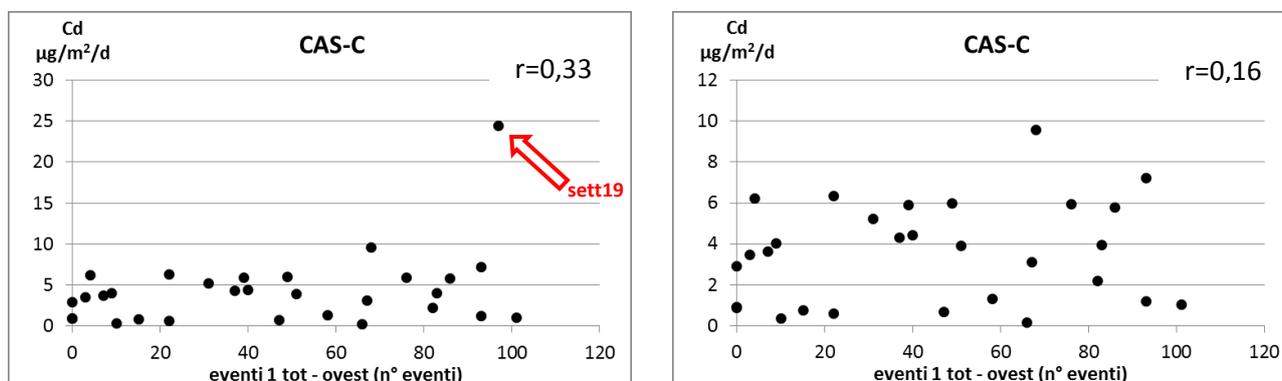


Figura 64 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dal numero di eventi totali di entità 1 con vento proveniente da ovest e dalla deposizione di cadmio nel sito CAS-C. L'indice di correlazione "apparente" della serie completa è determinato dal valore spot della settimana 19 senza il quale non vi è correlazione visibile

Nel caso dello Zn, invece, la correlazione con il numero di "eventi 3 tot-ovest" non può essere presa in considerazione perché comprende solo 23 eventi nell'intero periodo della campagna di monitoraggio, costituendo una base dati troppo esigua.

#### 4.2.2.3. Eventi di emissione diffusa in condizioni di calma di vento

In precedenza è emerso che in generale le condizioni di calma di vento presentano correlazione negativa con le deposizioni, ovvero che all'aumentare delle ore di calma di vento nel periodo di esposizione i valori di deposizione diminuiscono.

Dalla matrice di correlazione deposizioni-eventi relativa alle condizioni di calma di vento (Figura 65) si nota la presenza di un certo numero di correlazioni positive:

- gli eventi SA1 presentano una correlazione positiva visibile con le deposizioni di Co, Cr e V;
- gli eventi CB1 presentano una correlazione positiva visibile con le deposizioni di polvere totale, Co, Cr, Mn, Mo, Ni e V.

Questo indica che, anche in condizioni di calma di vento che risultano generalmente sfavorevoli all'aumento delle deposizioni, gli eventi di emissione diffusa provocano un aumento visibile delle deposizioni nel sito CAS-C.

|                |   | CAS-C | Polv tot    | Al    | As          | Ba    | Cd    | Ca    | Co          | Cr          | Fe    | Mg    | Mn          | Mo          | Ni          | Pb    | Cu    | Na    | V           | Zn          |
|----------------|---|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|
| Calma di vento | 1 | BT1   | 0,08        | -0,32 | -0,03       | -0,30 | 0,13  | -0,01 | 0,09        | 0,17        | -0,15 | -0,09 | 0,10        | 0,15        | 0,13        | -0,25 | -0,06 | 0,12  | 0,10        | -0,01       |
|                |   | SA1   | 0,12        | -0,14 | 0,06        | -0,13 | 0,14  | -0,09 | <b>0,30</b> | <b>0,42</b> | 0,07  | 0,09  | 0,24        | 0,25        | 0,28        | -0,13 | 0,06  | -0,08 | <b>0,33</b> | -0,05       |
|                |   | CB1   | <b>0,30</b> | -0,04 | 0,17        | 0,05  | 0,04  | 0,23  | <b>0,37</b> | <b>0,40</b> | 0,23  | 0,23  | <b>0,41</b> | <b>0,44</b> | <b>0,51</b> | -0,12 | 0,08  | -0,18 | <b>0,41</b> | 0,15        |
|                | 2 | BT2   | -0,08       | -0,34 | -0,05       | -0,35 | 0,11  | -0,09 | -0,02       | 0,00        | -0,23 | -0,19 | -0,05       | -0,04       | -0,01       | -0,30 | -0,11 | 0,29  | -0,06       | -0,07       |
|                |   | SA2   | 0,26        | 0,02  | <b>0,32</b> | 0,02  | 0,12  | 0,24  | 0,20        | 0,23        | 0,24  | 0,16  | <b>0,38</b> | 0,21        | <b>0,45</b> | -0,05 | 0,01  | 0,14  | 0,30        | <b>0,33</b> |
|                |   | CB2   | -0,16       | -0,30 | -0,06       | -0,28 | -0,11 | -0,18 | 0,07        | 0,00        | -0,18 | -0,24 | -0,02       | 0,04        | 0,07        | -0,30 | -0,10 | 0,19  | -0,03       | -0,06       |
|                | 3 | BT3   | 0,14        | 0,20  | 0,10        | 0,09  | -0,05 | 0,08  | <b>0,31</b> | 0,23        | 0,30  | 0,10  | 0,23        | 0,05        | <b>0,46</b> | -0,05 | 0,01  | 0,02  | 0,25        | <b>0,31</b> |
|                |   | SA3   | -0,13       | -0,12 | -0,11       | -0,12 | -0,05 | 0,00  | -0,14       | 0,02        | -0,04 | 0,02  | -0,06       | -0,07       | -0,11       | -0,08 | -0,10 | 0,40  | -0,05       | -0,03       |
|                |   | CB3   | -0,17       | -0,12 | -0,13       | -0,16 | -0,14 | -0,16 | 0,11        | 0,12        | -0,13 | -0,20 | -0,17       | -0,14       | -0,06       | -0,21 | 0,07  | 0,26  | -0,03       | -0,24       |

Figura 65 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-C e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di calma di vento. Gli eventi sono suddivisi per zona di provenienza (BT, SA, CB) e per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

In condizioni di calma di vento emerge un certo numero di correlazioni positive anche con gli episodi di entità 2 provenienti dal Secondario AOD. Nella Figura 66 seguente viene riportato lo scatterplot del Ni rispetto al numero di eventi classificati come SA2-calma. Dalla distribuzione dei punti la correlazione appare piuttosto visibile anche se il numero di eventi classificati come SA2-calma nel periodo di riferimento è pari a 32, ovvero solo allo 0,6% del numero totale di eventi osservati.

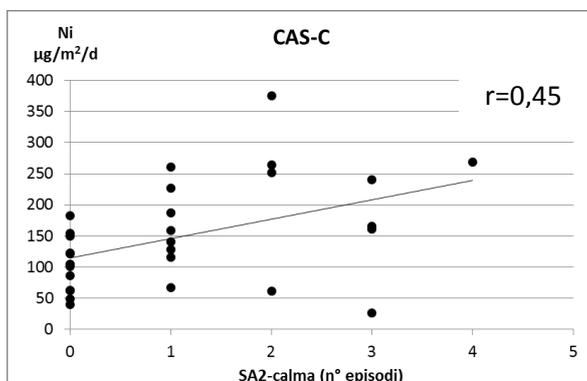


Figura 66 – Scatterplot delle coppie di valori costituite dal numero di eventi SA2 in condizioni di calma di vento e dalla deposizione di nichel nel sito CAS-C. La correlazione appare piuttosto visibile anche se il numero di eventi SA2-calma è pari solo allo 0,6% del numero totale di eventi osservati nel periodo di monitoraggio del sito CAS-C

Le correlazioni visibili per cobalto e nichel rispetto ad eventi di intensità 3 dal blocco torre (BT3-calma) sono invece determinate dal valore spot della settimana 25, nel corso della quale si sono verificati anche eventi di intensità 3 dal Capannone Basso.

### 4.3. Sito CAS-Q

#### 4.3.1. Influenza del numero di eventi osservati

Nella Figura 67 seguente viene riportata la matrice di correlazione dei valori di deposizione rispetto al numero di eventi di emissione diffusa relativa al sito CAS-Q, con evidenziati i valori di  $r > 0,3$ .

| CAS-Q    | Polv tot | Al    | As    | Ba   | Cd    | Ca          | Co          | Cr   | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni          | Pb    | Cu    | Na    | V    | Zn          |
|----------|----------|-------|-------|------|-------|-------------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|------|-------------|
| 1-totale | -0,05    | -0,07 | -0,02 | 0,02 | -0,12 | 0,01        | 0,10        | 0,04 | -0,09 | -0,02 | -0,07 | -0,05 | -0,01       | -0,09 | -0,06 | -0,19 | 0,01 | -0,12       |
| 2-totale | 0,16     | -0,02 | 0,09  | 0,14 | 0,08  | <b>0,31</b> | 0,18        | 0,16 | 0,04  | 0,07  | 0,16  | -0,19 | 0,20        | 0,01  | 0,15  | 0,04  | 0,06 | 0,21        |
| 3-totale | 0,19     | -0,10 | 0,25  | 0,09 | -0,03 | 0,23        | <b>0,52</b> | 0,13 | 0,02  | -0,06 | 0,15  | 0,06  | <b>0,30</b> | 0,16  | 0,29  | 0,05  | 0,26 | <b>0,30</b> |

Figura 67 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche nel sito CAS-Q e del numero di eventi di emissione diffusa di diversa intensità. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Si notano correlazioni positive visibili degli eventi di entità 2-media con il calcio e degli eventi di intensità 3-elevata con Co, Ni e Zn.

Dall'analisi delle correlazioni con il numero di eventi suddivisi per livello di intensità e zona di provenienza (Figura 68) emerge che anche nel sito CAS-Q è visibile un'influenza degli eventi di emissione diffusa, in particolare degli eventi di intensità 2-media e 3-elevata che interessano il Secondario AOD e il Capannone Basso. In particolare si notano correlazioni visibili:

- tra il numero di eventi SA2 e le deposizioni di Ca, Mn, Ni e Zn;
- tra il numero di eventi SA3 e CB3 e le deposizioni di Co, Ni, V.

| CAS-Q | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co          | Cr          | Fe   | Mg    | Mn    | Mo          | Ni    | Pb          | Cu    | Na          | V     | Zn          |             |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|------|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------------|
| 1     | BT1      | -0,01 | -0,08 | -0,01 | 0,05  | -0,11 | 0,04        | 0,15        | 0,06 | -0,10 | -0,04 | -0,06       | -0,05 | 0,00        | -0,08 | -0,04       | -0,17 | 0,03        | -0,10       |
|       | SA1      | -0,08 | -0,08 | -0,01 | 0,02  | -0,14 | 0,01        | 0,13        | 0,06 | -0,09 | -0,04 | -0,06       | -0,03 | 0,01        | -0,07 | -0,04       | -0,20 | 0,05        | -0,09       |
|       | CB1      | -0,07 | -0,04 | -0,02 | -0,01 | -0,11 | -0,03       | 0,00        | 0,00 | -0,08 | 0,02  | -0,07       | -0,06 | -0,05       | -0,13 | -0,10       | -0,19 | -0,05       | -0,15       |
| 2     | BT2      | 0,12  | -0,11 | 0,03  | 0,09  | 0,06  | 0,28        | 0,17        | 0,06 | -0,07 | -0,03 | 0,08        | -0,27 | 0,09        | -0,04 | 0,07        | 0,07  | 0,00        | 0,14        |
|       | SA2      | 0,25  | 0,03  | 0,19  | 0,18  | 0,19  | <b>0,42</b> | 0,21        | 0,28 | 0,15  | 0,15  | <b>0,31</b> | -0,17 | <b>0,34</b> | 0,11  | 0,27        | 0,09  | 0,14        | <b>0,39</b> |
|       | CB2      | 0,13  | 0,07  | 0,08  | 0,13  | 0,01  | 0,21        | 0,13        | 0,18 | 0,11  | 0,14  | 0,14        | -0,05 | 0,19        | 0,01  | 0,14        | -0,04 | 0,06        | 0,13        |
| 3     | BT3      | 0,06  | -0,13 | 0,07  | -0,06 | -0,11 | 0,15        | 0,27        | 0,08 | -0,05 | -0,10 | 0,03        | -0,10 | 0,11        | -0,04 | 0,14        | 0,19  | 0,03        | 0,19        |
|       | SA3      | 0,25  | 0,02  | 0,28  | 0,22  | 0,09  | 0,22        | <b>0,31</b> | 0,14 | 0,18  | 0,11  | 0,28        | 0,24  | <b>0,34</b> | 0,30  | <b>0,38</b> | 0,12  | <b>0,39</b> | <b>0,37</b> |
|       | CB3      | 0,19  | -0,06 | 0,28  | 0,14  | 0,01  | 0,19        | <b>0,54</b> | 0,10 | 0,03  | -0,04 | 0,15        | 0,13  | <b>0,32</b> | 0,22  | 0,25        | -0,13 | <b>0,30</b> | 0,23        |

Figura 68 – Matrici di correlazione delle deposizioni atmosferiche nel sito CAS-Q e del numero di eventi di emissione diffusa di diversa intensità e provenienza. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

#### 4.3.2. Influenza dell'azione combinata degli eventi con il vento

Procediamo ora a indagare l'influenza del vento sugli eventi di emissione diffusa così come già fatto per CAS-C, associando ad ogni evento le corrispondenti condizioni del vento nel momento in cui è stato osservato. Il sito CAS-Q è posto in direzione nord-ovest rispetto alle zone di fuoriuscita

delle emissioni diffuse (Figura 69). Nell'analisi condotta precedentemente rispetto alle diverse condizioni di vento è emerso che, in generale, i valori di deposizione in CAS-Q:

- sono più bassi nei periodi di calma di vento;
- sono correlati positivamente con le ore di vento da est per As, Co, Mo, Ni e Pb;
- non presentano correlazioni con le ore di vento da ovest.



Figura 69 – Localizzazione del punto di misura CAS-Q rispetto alle zone di fuoriuscita delle emissioni diffuse (BT, SA, CB)

Considerando ora l'azione combinata dei venti e degli eventi di emissione diffusa, emerge quanto segue.

Gli eventi accaduti in condizioni di calma di vento non presentano alcuna correlazione con i valori di deposizione (Figura 70).

|                |   | CAS-Q | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na          | V     | Zn    |
|----------------|---|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Calma di vento | 1 | BT1   | -0,11    | -0,04 | -0,11 | -0,12 | -0,27 | -0,20 | -0,08 | -0,18 | -0,11 | -0,04 | -0,25 | -0,06 | -0,21 | -0,19 | -0,21 | -0,09       | -0,12 | -0,25 |
|                |   | SA1   | -0,18    | -0,05 | -0,08 | -0,12 | -0,24 | -0,21 | 0,02  | -0,07 | -0,10 | -0,06 | -0,23 | -0,02 | -0,14 | -0,18 | -0,19 | -0,15       | -0,06 | -0,25 |
|                |   | CB1   | -0,15    | -0,04 | -0,12 | -0,10 | -0,24 | -0,18 | -0,09 | -0,08 | -0,10 | -0,02 | -0,20 | -0,12 | -0,17 | -0,22 | -0,22 | -0,10       | -0,13 | -0,24 |
|                | 2 | BT2   | -0,13    | -0,16 | -0,07 | -0,20 | -0,22 | -0,05 | -0,10 | -0,15 | -0,20 | -0,14 | -0,20 | -0,24 | -0,18 | -0,24 | -0,19 | 0,11        | -0,20 | -0,16 |
|                |   | SA2   | 0,07     | 0,06  | 0,12  | -0,01 | -0,02 | 0,12  | 0,17  | 0,15  | 0,08  | 0,08  | 0,10  | -0,06 | 0,15  | -0,01 | 0,04  | 0,02        | -0,02 | 0,05  |
|                |   | CB2   | -0,08    | -0,10 | -0,02 | -0,16 | -0,17 | -0,11 | -0,05 | -0,04 | -0,13 | -0,10 | -0,17 | -0,10 | -0,11 | -0,21 | -0,13 | 0,07        | -0,16 | -0,15 |
|                | 3 | BT3   | 0,17     | -0,05 | 0,14  | 0,08  | -0,05 | 0,21  | 0,27  | 0,13  | 0,04  | 0,11  | 0,16  | -0,11 | 0,18  | 0,05  | 0,14  | 0,08        | 0,01  | 0,29  |
|                |   | SA3   | -0,02    | -0,04 | -0,04 | -0,06 | -0,02 | 0,04  | -0,04 | -0,01 | -0,01 | -0,06 | 0,01  | -0,09 | -0,01 | -0,05 | 0,02  | <b>0,38</b> | -0,04 | 0,08  |
|                |   | CB3   | -0,09    | -0,08 | -0,05 | -0,12 | -0,21 | -0,09 | 0,14  | -0,09 | -0,12 | -0,15 | -0,20 | -0,06 | -0,09 | -0,18 | -0,06 | 0,06        | -0,12 | -0,10 |

Figura 70 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-Q e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di calma di vento. Gli eventi sono suddivisi per zona di provenienza (BT, SA, CB) e per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Gli eventi accaduti in condizioni di vento da est presentano correlazioni positive visibili con i valori di deposizione per gli eventi SA3 e CB3, coinvolgendo As, Co, Pb e V (Figura 71).

|              |   | CAS-Q | Polv tot | Al    | As          | Ba    | Cd    | Ca    | Co          | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb          | Cu    | Na    | V           | Zn    |       |
|--------------|---|-------|----------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Vento da Est | 1 | BT1   | -0,01    | -0,16 | 0,06        | 0,06  | -0,02 | 0,03  | 0,18        | -0,04 | -0,18 | -0,14 | -0,03 | 0,07  | 0,01  | 0,02        | 0,02  | -0,26 | 0,06        | -0,11 |       |
|              |   | SA1   | -0,10    | -0,13 | -0,05       | -0,03 | -0,20 | -0,04 | 0,02        | -0,07 | -0,15 | -0,07 | -0,08 | -0,05 | -0,10 | -0,09       | -0,10 | -0,09 | -0,21       | -0,04 | -0,11 |
|              |   | CB1   | -0,06    | -0,04 | -0,04       | 0,00  | -0,12 | -0,04 | -0,05       | -0,11 | -0,08 | 0,02  | -0,05 | -0,08 | -0,09 | -0,14       | -0,11 | -0,19 | -0,10       | -0,17 |       |
|              | 2 | BT2   | 0,09     | -0,07 | 0,06        | 0,04  | 0,05  | 0,18  | 0,03        | -0,05 | -0,07 | -0,05 | 0,05  | -0,17 | 0,03  | -0,06       | 0,05  | -0,02 | -0,10       | 0,05  |       |
|              |   | SA2   | 0,09     | 0,03  | 0,06        | 0,10  | -0,02 | 0,22  | -0,02       | -0,01 | 0,06  | 0,08  | 0,13  | -0,11 | 0,09  | 0,02        | 0,12  | -0,04 | -0,02       | 0,19  |       |
|              |   | CB2   | 0,04     | 0,09  | 0,01        | 0,08  | 0,02  | 0,11  | 0,03        | 0,12  | 0,11  | 0,11  | 0,08  | -0,03 | 0,11  | -0,02       | 0,07  | -0,09 | 0,03        | 0,01  |       |
|              | 3 | BT3   | 0,00     | -0,09 | 0,05        | -0,02 | -0,02 | 0,05  | 0,08        | 0,06  | -0,05 | -0,13 | -0,01 | 0,09  | 0,09  | 0,08        | 0,08  | -0,08 | 0,18        | 0,03  |       |
|              |   | SA3   | 0,12     | 0,02  | <b>0,33</b> | 0,23  | 0,05  | 0,03  | <b>0,49</b> | 0,22  | 0,11  | 0,02  | 0,08  | 0,29  | 0,28  | <b>0,46</b> | 0,24  | -0,07 | <b>0,84</b> | -0,01 |       |
|              |   | CB3   | 0,00     | -0,07 | 0,11        | -0,01 | -0,05 | -0,07 | <b>0,47</b> | 0,07  | -0,02 | -0,11 | 0,03  | 0,12  | 0,14  | 0,15        | 0,08  | -0,16 | 0,16        | -0,04 |       |

Figura 71 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-Q e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di vento da est. Gli eventi sono suddivisi per zona di provenienza (BT, SA, CB) e per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Gli eventi accaduti in condizioni di vento da ovest presentano un certo numero di correlazioni positive visibili con i valori di deposizione per gli eventi di entità 2 e 3, soprattutto con gli eventi SA2 e CB3. In realtà tale correlazione appare riconducibile all'azione dei venti e in particolare alle dinamiche locali di sollevamento e trasporto delle polveri dalle vie e dai piazzali interni vicini alla palazzina qualità in occasione degli episodi di foehn come già evidenziato in precedenza.

|                |   | CAS-Q | Polv tot    | Al    | As          | Ba    | Cd    | Ca          | Co          | Cr          | Fe    | Mg    | Mn          | Mo    | Ni          | Pb          | Cu          | Na    | V           | Zn          |
|----------------|---|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|
| Vento da Ovest | 1 | BT1   | 0,06        | -0,03 | -0,02       | 0,12  | -0,05 | 0,19        | 0,09        | 0,18        | -0,01 | 0,06  | 0,06        | -0,19 | 0,08        | -0,06       | 0,02        | -0,04 | 0,06        | 0,07        |
|                |   | SA1   | 0,04        | -0,05 | 0,05        | 0,14  | -0,01 | 0,20        | 0,17        | 0,19        | -0,02 | 0,03  | 0,10        | -0,09 | 0,14        | 0,04        | 0,08        | -0,11 | 0,13        | 0,10        |
|                |   | CB1   | 0,02        | -0,04 | 0,09        | 0,09  | -0,03 | 0,13        | 0,10        | 0,10        | -0,04 | 0,03  | 0,06        | -0,11 | 0,07        | 0,00        | 0,03        | -0,14 | 0,09        | 0,02        |
|                | 2 | BT2   | 0,18        | -0,01 | -0,01       | 0,24  | 0,09  | <b>0,35</b> | 0,16        | 0,07        | 0,04  | 0,08  | 0,17        | -0,26 | 0,12        | 0,08        | 0,14        | 0,09  | 0,10        | 0,27        |
|                |   | SA2   | <b>0,34</b> | -0,02 | 0,22        | 0,24  | 0,13  | <b>0,49</b> | 0,27        | <b>0,31</b> | 0,13  | 0,11  | <b>0,35</b> | -0,14 | <b>0,38</b> | 0,20        | <b>0,38</b> | 0,13  | 0,18        | <b>0,50</b> |
|                |   | CB2   | <b>0,30</b> | 0,09  | 0,17        | 0,29  | 0,07  | <b>0,43</b> | 0,19        | 0,14        | 0,16  | 0,21  | 0,30        | -0,11 | 0,27        | 0,16        | 0,28        | 0,02  | 0,18        | <b>0,41</b> |
|                | 3 | BT3   | 0,03        | -0,10 | 0,05        | -0,06 | -0,02 | 0,12        | 0,04        | 0,00        | -0,05 | -0,08 | 0,01        | -0,04 | 0,02        | -0,05       | 0,12        | 0,17  | -0,04       | 0,10        |
|                |   | SA3   | 0,20        | 0,03  | 0,20        | 0,18  | 0,16  | 0,10        | 0,19        | 0,09        | 0,11  | 0,10  | 0,23        | 0,27  | 0,23        | 0,17        | <b>0,32</b> | -0,09 | 0,11        | 0,12        |
|                |   | CB3   | 0,24        | 0,01  | <b>0,32</b> | 0,18  | 0,10  | <b>0,30</b> | <b>0,36</b> | 0,14        | 0,14  | 0,11  | 0,28        | 0,17  | <b>0,40</b> | <b>0,32</b> | <b>0,32</b> | -0,07 | <b>0,42</b> | <b>0,43</b> |

Figura 72 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-Q e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di vento da ovest. Gli eventi sono suddivisi per zona di provenienza (BT, SA, CB) e per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

#### 4.4. Sito CAS-M

##### 4.4.1. Influenza del numero di eventi osservati

Nella Figura 73 seguente viene riportata la matrice di correlazione dei valori di deposizione rispetto al numero di eventi di emissione diffusa relativa al sito CAS-M, con evidenziati i valori di  $r > 0,3$ .

|   | CAS-M | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca          | Co   | Cr          | Fe    | Mg    | Mn          | Mo    | Ni          | Pb    | Cu          | Na    | V           | Zn    |
|---|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------------|------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| 1 | BT1   | 0,08     | -0,08 | -0,01 | -0,01 | 0,14  | 0,00        | 0,06 | 0,19        | -0,02 | 0,02  | 0,08        | 0,06  | 0,08        | 0,03  | 0,20        | -0,06 | 0,11        | -0,21 |
|   | SA1   | 0,01     | -0,07 | 0,00  | -0,03 | 0,13  | -0,02       | 0,04 | 0,14        | -0,02 | 0,00  | 0,05        | 0,10  | 0,06        | 0,00  | 0,10        | -0,13 | 0,11        | -0,17 |
|   | CB1   | 0,05     | -0,03 | 0,01  | 0,01  | 0,10  | -0,02       | 0,13 | 0,10        | 0,00  | 0,07  | 0,07        | 0,10  | 0,06        | -0,01 | 0,15        | -0,13 | 0,06        | -0,13 |
| 2 | BT2   | 0,11     | -0,12 | 0,03  | 0,01  | 0,26  | 0,21        | 0,06 | 0,25        | 0,03  | 0,08  | 0,27        | -0,13 | 0,19        | 0,15  | 0,20        | 0,19  | 0,12        | -0,29 |
|   | SA2   | 0,19     | 0,04  | 0,08  | 0,15  | 0,16  | <b>0,33</b> | 0,18 | <b>0,42</b> | 0,25  | 0,22  | <b>0,42</b> | -0,16 | <b>0,32</b> | 0,23  | 0,27        | 0,24  | 0,27        | -0,20 |
|   | CB2   | 0,16     | 0,06  | 0,01  | 0,14  | 0,06  | 0,15        | 0,07 | 0,22        | 0,14  | 0,16  | 0,16        | -0,10 | 0,09        | 0,02  | 0,28        | 0,05  | 0,13        | -0,15 |
| 3 | BT3   | -0,04    | -0,12 | -0,09 | -0,09 | -0,11 | -0,02       | 0,07 | -0,04       | -0,07 | -0,14 | -0,05       | -0,27 | -0,05       | -0,12 | 0,06        | 0,27  | -0,02       | -0,07 |
|   | SA3   | 0,05     | -0,06 | 0,10  | 0,03  | -0,06 | 0,05        | 0,02 | 0,22        | 0,04  | -0,04 | 0,08        | 0,07  | 0,09        | 0,01  | 0,08        | 0,13  | <b>0,31</b> | 0,26  |
|   | CB3   | 0,24     | -0,09 | 0,12  | 0,11  | -0,05 | 0,09        | 0,11 | <b>0,30</b> | 0,03  | 0,05  | 0,08        | -0,13 | 0,14        | 0,06  | <b>0,31</b> | -0,02 | 0,29        | -0,12 |

Figura 73 – Matrici di correlazione delle deposizioni atmosferiche nel sito CAS-M e del numero di eventi di emissione diffusa di diversa intensità e provenienza. In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

Si notano correlazioni positive per Ca, Cr, Mn, Ni con gli eventi SA2, per il vanadio con gli eventi SA3 e per Cr e Cu con gli eventi CB3.

#### **4.4.2. Influenza dell'azione combinata degli eventi con il vento**

Dall'analisi dei venti sui valori di deposizione nel sito CAS-M è emerso che non vi sono correlazioni visibili con le ore di calma di vento e di vento da est, mentre ci sono numerose correlazioni con i regimi di vento da ovest di intensità  $> 5$  m/s (regime Ovest-4) e con le giornate di foehn.



Figura 74 – Localizzazione del punto di misura CAS-M rispetto alle zone di fuoriuscita delle emissioni diffuse (BT, SA, CB)

Data la posizione del sito CAS-M rispetto all'acciaieria (Figura 74) è logico attendersi delle correlazioni positive con gli eventi di emissione diffusa in condizioni di vento da ovest. Questo

trova conferma nella matrice di correlazione di Figura 75, dalla quale emergono numerose correlazioni positive visibili con gli eventi di intensità 2 e 3 provenienti dal Capannone Basso.

|                |   | CAS-M | Polv tot    | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca          | Co    | Cr          | Fe    | Mg    | Mn          | Mo    | Ni    | Pb    | Cu          | Na          | V           | Zn          |       |
|----------------|---|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| Vento da Ovest | 1 | BT1   | -0,03       | -0,08 | -0,06 | -0,05 | 0,13  | 0,05        | 0,04  | 0,15        | -0,02 | -0,03 | 0,10        | -0,03 | 0,06  | 0,03  | 0,03        | 0,00        | 0,06        | 0,06        | -0,16 |
|                |   | SA1   | 0,07        | -0,07 | 0,03  | -0,01 | 0,19  | 0,10        | 0,08  | 0,22        | 0,00  | 0,03  | 0,13        | 0,02  | 0,09  | 0,06  | 0,13        | -0,06       | 0,15        | 0,15        | -0,15 |
|                |   | CB1   | 0,15        | -0,05 | 0,13  | 0,07  | 0,18  | 0,12        | 0,24  | 0,27        | 0,05  | 0,09  | 0,18        | 0,08  | 0,15  | 0,10  | 0,20        | -0,05       | 0,19        | 0,19        | -0,13 |
|                | 2 | BT2   | 0,00        | -0,08 | -0,05 | -0,04 | 0,25  | 0,18        | -0,03 | 0,25        | 0,08  | 0,00  | 0,21        | -0,18 | 0,14  | 0,13  | 0,02        | 0,10        | 0,13        | 0,13        | -0,22 |
|                |   | SA2   | 0,18        | -0,06 | 0,10  | 0,09  | 0,13  | <b>0,33</b> | 0,09  | 0,27        | 0,09  | 0,09  | 0,23        | -0,19 | 0,15  | 0,10  | 0,17        | 0,19        | 0,18        | 0,18        | -0,18 |
|                |   | CB2   | 0,30        | 0,06  | 0,13  | 0,18  | 0,25  | <b>0,34</b> | 0,07  | <b>0,46</b> | 0,23  | 0,24  | <b>0,32</b> | -0,05 | 0,22  | 0,16  | <b>0,30</b> | 0,10        | <b>0,30</b> | 0,10        | -0,08 |
|                | 3 | BT3   | -0,05       | -0,07 | -0,05 | -0,08 | -0,06 | 0,03        | -0,08 | -0,14       | -0,04 | -0,04 | -0,02       | -0,11 | -0,05 | -0,04 | -0,01       | <b>0,31</b> | -0,06       | 0,11        | 0,11  |
|                |   | SA3   | 0,03        | -0,06 | 0,00  | 0,02  | -0,04 | 0,02        | 0,00  | 0,07        | -0,06 | -0,01 | 0,01        | 0,09  | 0,02  | 0,00  | 0,00        | -0,15       | 0,03        | <b>0,42</b> | 0,42  |
|                |   | CB3   | <b>0,34</b> | -0,01 | 0,26  | 0,13  | 0,04  | 0,19        | 0,13  | <b>0,44</b> | 0,13  | 0,24  | 0,17        | 0,04  | 0,17  | 0,06  | <b>0,38</b> | 0,02        | <b>0,43</b> | 0,43        | -0,06 |

Figura 75 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-M e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di vento da ovest. Gli eventi sono suddivisi per zona di provenienza (BT, SA, CB) e per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

|                |   | CAS-M | Polv tot | Al    | As    | Ba    | Cd    | Ca    | Co    | Cr    | Fe    | Mg    | Mn    | Mo    | Ni    | Pb    | Cu    | Na          | V     | Zn    |
|----------------|---|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Calma di vento | 1 | BT1   | -0,05    | 0,00  | -0,07 | -0,03 | -0,03 | -0,18 | -0,02 | -0,10 | -0,04 | -0,01 | -0,10 | 0,03  | -0,06 | -0,10 | 0,05  | -0,06       | -0,07 | -0,17 |
|                |   | SA1   | -0,10    | -0,01 | -0,09 | -0,05 | -0,06 | -0,22 | 0,00  | -0,05 | -0,04 | -0,06 | -0,10 | 0,05  | -0,05 | -0,11 | 0,02  | -0,12       | -0,01 | -0,12 |
|                |   | CB1   | -0,13    | -0,01 | -0,13 | -0,02 | -0,09 | -0,19 | -0,01 | -0,12 | -0,08 | -0,06 | -0,11 | 0,03  | -0,09 | -0,12 | -0,06 | -0,13       | -0,08 | -0,10 |
|                | 2 | BT2   | 0,00     | -0,13 | 0,01  | -0,06 | 0,07  | -0,04 | 0,08  | -0,06 | -0,12 | 0,00  | 0,04  | -0,04 | 0,03  | -0,01 | 0,11  | 0,18        | -0,08 | -0,16 |
|                |   | SA2   | 0,12     | 0,09  | 0,05  | 0,12  | 0,01  | 0,06  | 0,28  | 0,16  | 0,16  | 0,13  | 0,19  | -0,09 | 0,23  | 0,16  | 0,21  | 0,05        | 0,09  | -0,10 |
|                |   | CB2   | -0,02    | -0,07 | -0,10 | 0,04  | -0,13 | -0,14 | 0,10  | -0,14 | -0,15 | -0,11 | -0,11 | -0,17 | -0,11 | -0,11 | 0,05  | 0,04        | -0,15 | -0,16 |
|                | 3 | BT3   | 0,05     | -0,08 | -0,02 | 0,01  | -0,07 | 0,04  | 0,25  | 0,05  | -0,01 | -0,02 | 0,00  | -0,14 | 0,02  | -0,07 | 0,05  | -0,04       | 0,01  | -0,12 |
|                |   | SA3   | -0,02    | -0,05 | -0,02 | -0,09 | -0,03 | -0,01 | -0,03 | -0,05 | -0,01 | -0,06 | 0,04  | -0,10 | 0,01  | -0,04 | 0,15  | <b>0,38</b> | -0,02 | -0,05 |
|                |   | CB3   | -0,15    | -0,07 | -0,16 | -0,15 | -0,06 | -0,18 | -0,04 | -0,07 | -0,08 | -0,15 | -0,14 | -0,21 | -0,06 | -0,12 | -0,10 | 0,07        | -0,12 | -0,06 |

Figura 76 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-M e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di calma di vento. Gli eventi sono suddivisi per zona di provenienza (BT, SA, CB) e per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

In condizioni di calma di vento non si osservano invece correlazioni visibili (Figura 76), come è logico attendersi in quanto in tali condizioni non si ha il fenomeno di trasporto delle polveri da emissioni diffuse verso il sito CAS-M.

In caso di vento da est, invece, si osservano alcune correlazioni positive (Figura 77). Si tratta tuttavia di correlazioni “apparenti”. In particolare i coefficienti di correlazione del cadmio con BT1-est e BT2-est sono determinati dai valori spot della settimana 19, mentre le correlazioni tra As e V e gli eventi SA3-est non sono da prendere in considerazione in quanto determinati da un unico evento SA3-est.

|              |   | CAS-M | Polv tot | Al    | As          | Ba    | Cd          | Ca    | Co    | Cr          | Fe    | Mg    | Mn   | Mo    | Ni          | Pb    | Cu    | Na    | V           | Zn    |
|--------------|---|-------|----------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Vento da Est | 1 | BT1   | 0,18     | -0,14 | 0,16        | -0,01 | <b>0,32</b> | 0,04  | 0,10  | 0,27        | -0,04 | 0,02  | 0,16 | 0,18  | 0,13        | 0,29  | -0,10 | 0,20  | -0,21       |       |
|              |   | SA1   | -0,02    | -0,11 | 0,08        | -0,07 | 0,17        | -0,05 | 0,04  | 0,08        | -0,03 | -0,02 | 0,07 | 0,19  | 0,10        | 0,05  | 0,06  | -0,15 | 0,08        | -0,19 |
|              |   | CB1   | 0,04     | -0,03 | 0,07        | -0,02 | 0,18        | -0,04 | 0,17  | 0,09        | 0,05  | 0,07  | 0,11 | 0,11  | 0,11        | 0,03  | 0,14  | -0,14 | 0,06        | -0,17 |
|              | 2 | BT2   | 0,17     | -0,04 | 0,13        | 0,06  | <b>0,37</b> | 0,13  | 0,08  | 0,24        | 0,09  | 0,09  | 0,30 | -0,02 | 0,27        | 0,23  | 0,28  | 0,08  | 0,11        | -0,21 |
|              |   | SA2   | 0,03     | 0,07  | 0,04        | 0,01  | 0,16        | 0,06  | 0,08  | <b>0,32</b> | 0,19  | 0,04  | 0,29 | 0,01  | <b>0,33</b> | 0,21  | 0,18  | 0,10  | 0,18        | -0,11 |
|              |   | CB2   | 0,05     | 0,11  | 0,01        | 0,09  | 0,07        | 0,05  | 0,05  | 0,12        | 0,15  | 0,11  | 0,15 | -0,06 | 0,11        | 0,03  | 0,21  | 0,03  | 0,10        | -0,11 |
|              | 3 | BT3   | 0,03     | -0,07 | 0,03        | 0,02  | -0,05       | 0,03  | -0,04 | -0,02       | -0,06 | -0,09 | 0,01 | -0,13 | -0,03       | -0,04 | 0,20  | 0,15  | 0,10        | -0,08 |
|              |   | SA3   | 0,07     | 0,01  | <b>0,33</b> | 0,12  | 0,00        | -0,02 | 0,06  | 0,27        | 0,08  | -0,01 | 0,04 | 0,20  | 0,04        | 0,07  | 0,00  | 0,15  | <b>0,66</b> | -0,04 |
|              |   | CB3   | -0,08    | -0,09 | 0,00        | -0,08 | -0,06       | -0,11 | 0,09  | 0,04        | -0,04 | -0,12 | 0,01 | -0,04 | 0,13        | 0,10  | 0,03  | -0,13 | 0,09        | -0,09 |

Figura 77 – Matrice di correlazione delle deposizioni atmosferiche misurate nel sito CAS-M e degli eventi di emissione diffusa accaduti in condizioni di vento da est. Gli eventi sono suddivisi per zona di provenienza (BT, SA, CB) e per livello di intensità (1-lieve, 2-media, 3-elevata). In grassetto sono evidenziati i casi in cui  $r > 0,3$

## 5. Analisi approfondite di singoli metalli

### 5.1. Cromo

Dall'analisi condotta fino ad ora le deposizioni di cromo hanno mostrato un andamento molto peculiare.

I valori di deposizione di cromo sono infatti molto elevati nel sito CAS-C che è il più vicino al reparto acciaieria e diminuiscono fortemente con la distanza dal reparto stesso. In particolare il sito CAS-Q, posto a poche decine di metri da CAS-C ma localizzato in direzione nord-ovest rispetto al reparto acciaieria presenta valori di deposizione molto inferiori a quelli di CAS-C e poco superiori a quelli di CAS-M.

Inoltre, al contrario di tutti gli altri metalli, il cromo è l'unico metallo per il quale non vi sono correlazioni positive evidenti tra i valori del sito CAS-C e i valori degli altri due siti CAS-Q e CAS-M, rivelando dinamiche di dispersione peculiari, diverse da tutti gli altri metalli.

I valori di deposizione di cromo in CAS-C presentano una variabilità molto forte (Figura 78), superiore rispetto agli altri metalli, dovuta presumibilmente all'influenza degli eventi di emissione diffusa.

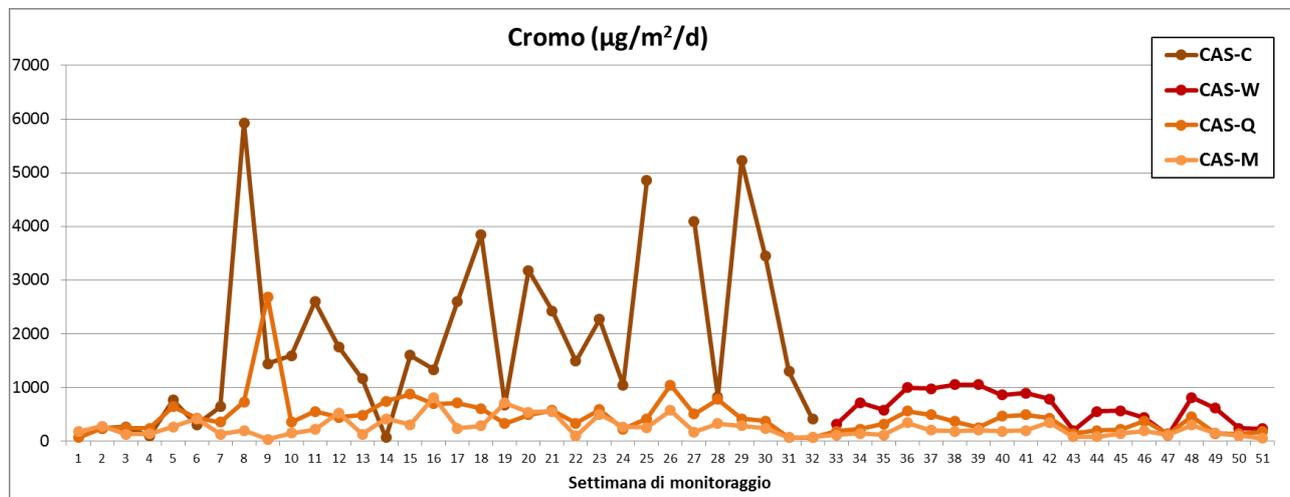


Figura 78 – Andamento temporale della deposizione di cromo nel corso dell'intera campagna di monitoraggio 2016 nei siti all'interno dello stabilimento CAS

Nei paragrafi precedenti abbiamo già evidenziato una correlazione visibile tra le deposizioni di cromo nel sito CAS-C e gli eventi di emissione diffusa osservati di entità 1. In particolare sono emerse correlazioni positive evidenti con gli eventi di entità 1 accaduti in condizioni di calma di vento provenienti dal Secondario Acciaieria e dal Capannone Basso. Questo sembra confermare l'ipotesi che il cromo tende a formare composti ad alto peso molecolare che una volta emessi in atmosfera tendono a ricadere in vicinanza della fonte di emissione.

Le stesse correlazioni con gli eventi SA1-calma e CB1-calma si osservano oltre che per il cromo anche per cobalto e vanadio.

Osservando l'andamento temporale delle deposizioni di cromo nel sito esterno AO-PEP (Figura 79) si nota una forte variabilità dei valori e un andamento "a campana" nel periodo febbraio-luglio 2016.

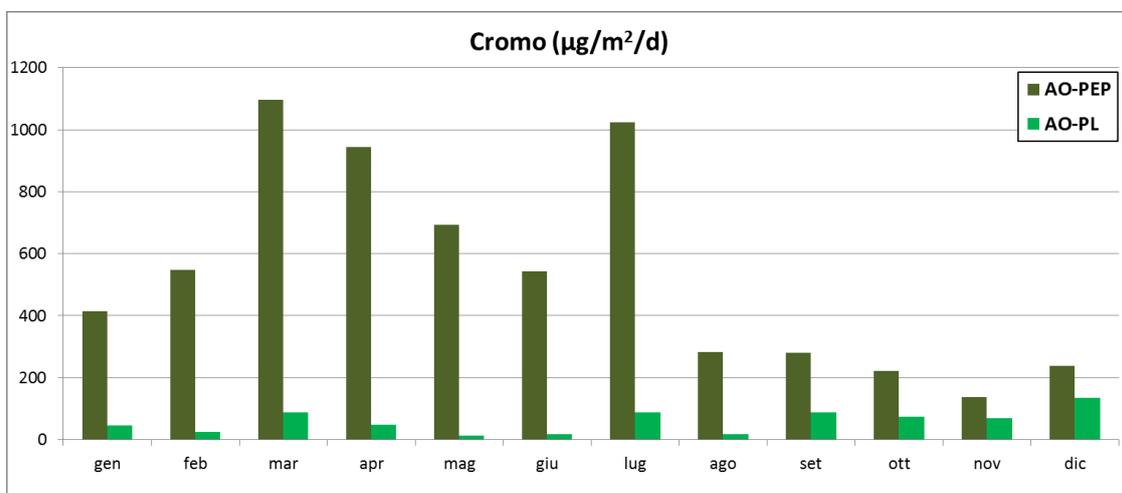


Figura 79 – Andamento temporale della deposizione di cromo nel corso del 2016 nei siti esterni all'acciaieria (campionamenti con frequenza mensile)

Il periodo compreso tra febbraio e luglio 2016 è stato caratterizzato da un maggiore numero di eventi di emissione diffusa rilevati dalla telecamera rispetto all'intero periodo annuale e da una forte presenza di venti di foehn provenienti da nord-ovest che favoriscono il trasporto delle polveri dal reparto acciaieria in direzione del sito AO-PEP (Figura 80).

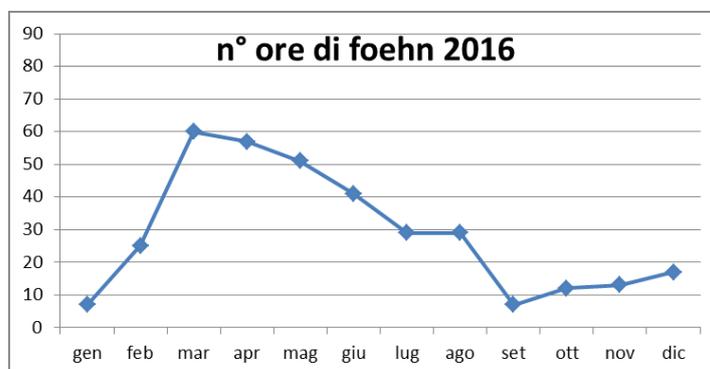


Figura 80 – Numero mensile di ore di vento di foehn nel corso del 2016

Si può pertanto ipotizzare che i valori di deposizione di cromo nel sito AO-PEP siano stati fortemente influenzati dall'azione combinata degli eventi di emissione diffusa del reparto acciaieria e dell'azione di trasporto delle polveri da parte dei venti di foehn. Questo trova conferma nel fatto che anche per il cromo, così come osservato per il cadmio nel paragrafo precedente, si osserva

una correlazione evidente tra il numero di ore di vento di foehn e i valori di deposizione per il 2016 (Figura 81).

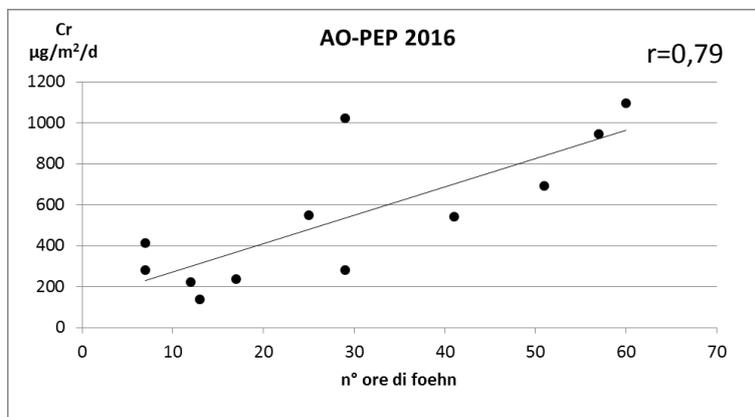


Figura 81 – Correlazione tra i valori di deposizione di cromo nel sito AO-PEP e il numero di ore di foehn nel mese di campionamento. La correlazione è evidente e riflette l'effetto di trasporto del cromo dal reparto acciaieria verso il sito AO-PEP

## 5.2. Nichel

Nella Figura 82 seguente vengono riportati gli andamenti temporali dei valori di deposizione di nichel nei diversi siti.

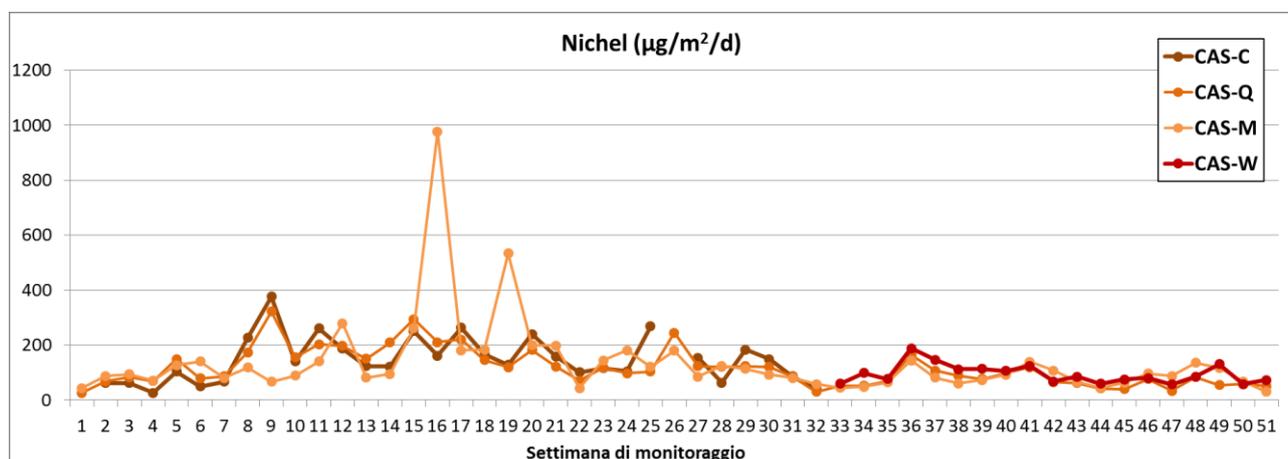


Figura 82 – Andamento temporale della deposizione di nichel nei siti interni allo stabilimento. Risultano evidenti alcuni valori di picco rilevati nel sito CAS-M (settimane 16 e 19)

Come già evidenziato in precedenza, i valori di deposizione di nichel nei diversi siti sono generalmente confrontabili tra di loro. I valori di nichel nei siti CAS-C e CAS-Q sono evidentemente

correlati tra di loro ( $r=0,80$ ). Tali elementi, se messi a confronto con quanto riscontrato per il cromo, inducono a pensare che la presenza di nichel nelle deposizioni sia veicolata da polveri a granulometria più fine rispetto al cromo.

I due valori di picco di nichel rilevati nel sito CAS-M nelle settimane 16 e 19 sono da ricondurre al fatto che entrambe queste settimane sono state caratterizzate da prevalenza di venti di foehn favorevoli al trasporto degli inquinanti dal reparto acciaieria in direzione di CAS-M. I due valori di picco trovano conferma in valori di picco nello stesso sito rilevati per il cobalto nella settimana 16 e per il cadmio nella settimana 19.

Anche per il nichel, così come per cromo, cadmio e cobalto, emerge una correlazione evidente ( $r=0,78$ ) tra i valori di deposizione mensili in AO-PEP e il numero di ore di vento di foehn a conferma dell'effetto di trasporto degli inquinanti dal reparto acciaieria al sito AO-PEP.

### 5.3. Cadmio

Nella Figura 83 seguente vengono riportati gli andamenti temporali dei valori di deposizione di cadmio nei diversi siti. Emerge chiaramente che nella settimana 19 (9-16 maggio) c'è stato un picco di cadmio nei siti CAS-C e CAS-M con valori rispettivamente di 24 e 39  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ .

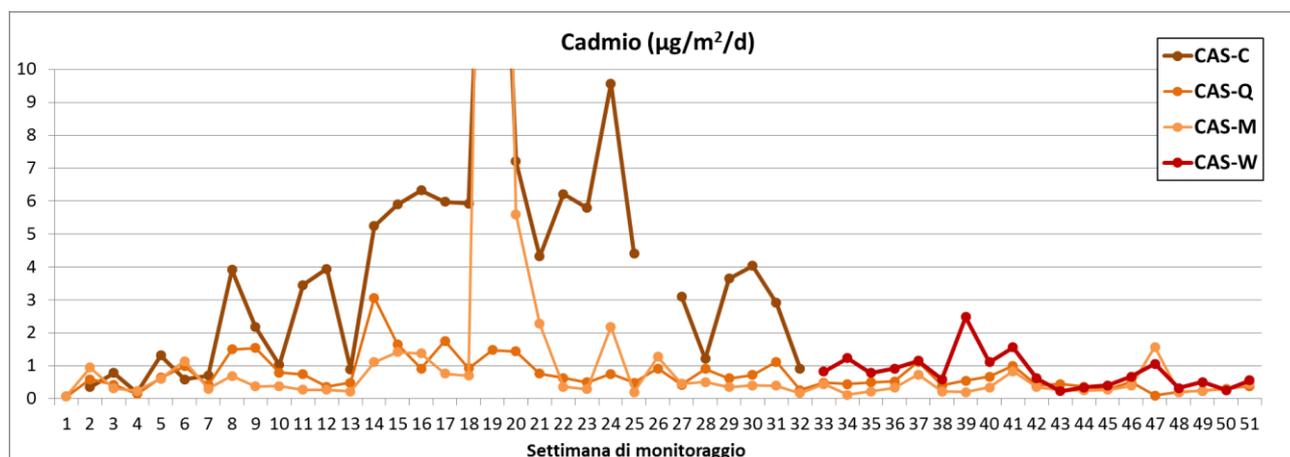
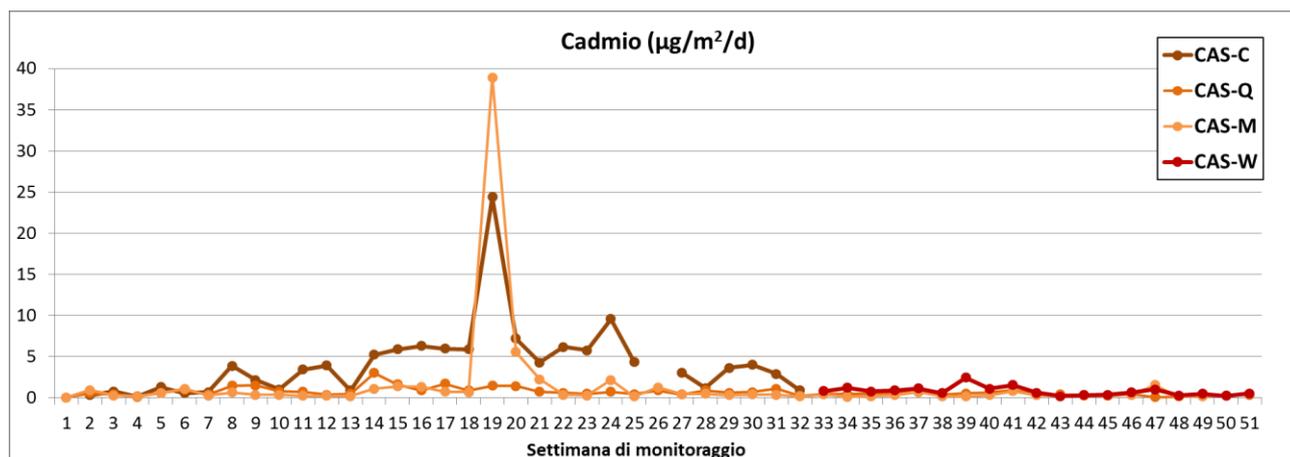


Figura 83 – Andamento temporale della deposizione di cadmio nei siti interni allo stabilimento. Risulta evidente il picco di deposizione nei siti CAS-C e CAS-M nella settimana 19 (grafico sopra). Nel grafico sotto vengono riportati gli stessi dati con una scala ridotta per poter apprezzare meglio le differenze negli andamenti nei diversi siti

Il picco della settimana 19 riscontrato nei siti CAS-C e CAS-M non trova riscontro nel sito CAS-Q in cui il valore di cadmio risulta pari a circa 1,5  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ .

La settimana 19 è stata caratterizzata da un numero elevato di eventi di emissione diffusa di intensità 1 e 2 riscontrati dalla telecamera, sensibilmente superiore alla media annuale.

Le condizioni meteo delle settimana 19 hanno compreso:

- nelle giornate 10-11-12 maggio tempo perturbato con la caduta di 22,2 mm di pioggia complessivamente, valore superiore dell'80% rispetto alla precipitazione media settimanale dell'anno 2016;
- nella giornata del 13 maggio prevalenza di venti incanalati uscenti (da ovest verso est), condizioni favorevoli al trasporto delle polveri dal reparto acciaieria in direzione del sito CAS-M;
- nelle giornate 14-15 maggio prevalenza di venti di foehn, con vento da ovest/nord-ovest verso est/sud-est, condizioni favorevoli al trasporto delle polveri dal reparto acciaieria in direzione del sito CAS-M.

Il cadmio è un metallo molto solubile, in media l'84% della massa del metallo è presente nella soluzione acquosa filtrata. Si può pertanto presumere che nei primi giorni della settimana le precipitazioni abbiano favorito la deposizione del cadmio dall'aria al suolo e sui tetti all'interno dello stabilimento e successivamente l'azione dei venti abbia favorito la risospensione e il trasporto delle polveri contenenti cadmio in direzione ovest verso il sito CAS-M, mentre il sito CAS-Q, posto sopravento rispetto al reparto acciaieria, è rimasto escluso dal fenomeno.

Al di là del picco della settimana 19, dal grafico in scala ridotta di Figura 83 emerge che i valori di deposizione di cadmio nel sito CAS-C sono più elevati rispetto agli altri siti interni in quasi tutte le settimane, inducendo a pensare che il cadmio provenga dal reparto acciaieria. Si può ipotizzare che i valori più elevati di deposizione di cadmio rilevati siano riconducibili alla fusione di una partita di rottame contaminata.

Osservando l'andamento temporale della deposizione di cadmio nei siti di misura all'esterno dello stabilimento (Figura 84), nel sito di AO-PEP emerge un andamento molto simile a quello osservato nel sito interno CAS-C, con una sorta di "campana" nel periodo febbraio-luglio e un valore di picco nel mese di maggio. Questo potrebbe essere dovuto al trasporto delle polveri dal reparto acciaieria al sito AO-PEP ad opera dei venti di foehn che provengono da nord-ovest, ma anche alle lavorazioni nel reparto scorie che è situato in prossimità del sito AO-PEP condotte nello stesso periodo. Nel corso del processo le scorie vengono infatti trasportate dall'acciaieria al reparto scorie per la lavorazione e potrebbe essere avvenuta una contaminazione di cadmio nelle scorie durante la fase di fusione dell'acciaio.

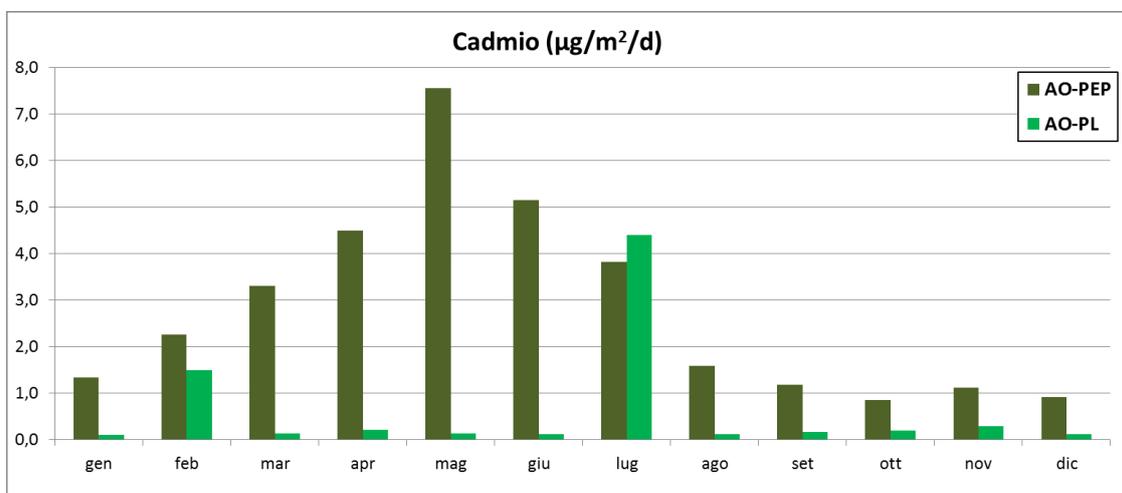


Figura 84 – Andamento temporale della deposizione di cadmio nel corso del 2016 nei siti esterni all'acciaiera (campionamenti con frequenza mensile)

Una analisi più approfondita dei venti consente di determinare il numero di ore di vento di foehn in ogni giornata. Prendendo in considerazione il numero di ore di foehn di ogni periodo di esposizione dei deposimetri emerge una forte correlazione tra il numero di ore di foehn e i valori mensili di deposizione di cadmio nel sito AO-PEP (Figura 85). Pur essendo calcolata per un numero molto limitato di dati (solo 12 coppie di valori), la correlazione appare ben visibile nel grafico e quindi si può considerare rappresentativa del fenomeno di trasporto del cadmio dal reparto acciaiera in direzione del sito AO-PEP da parte dei venti di foehn.

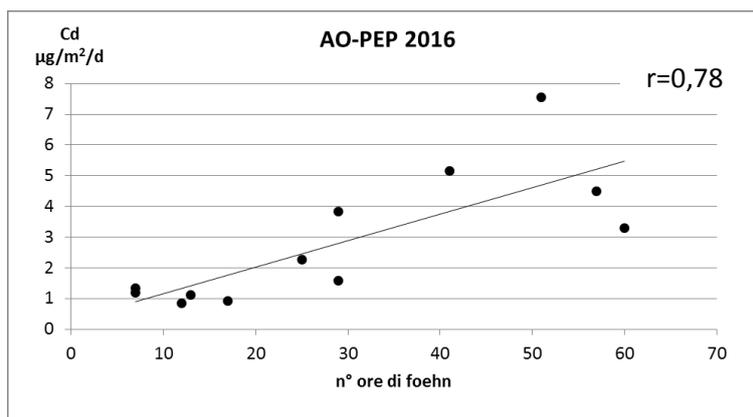


Figura 85 – Correlazione tra i valori di deposizione di cadmio nel sito AO-PEP e il numero di ore di foehn nel mese di campionamento. La correlazione appare evidente e riflette l'effetto di trasporto del cadmio dal reparto acciaiera verso il sito AO-PEP

## 5.4. Cobalto

Nella Figura 86 seguente vengono riportati gli andamenti temporali dei valori di deposizione di cobalto nei diversi siti.

Si osservano dei valori di picco superiori a  $15 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ , in particolare:

- nella settimana 16 nel sito CAS-M;
- nella settimana 17 nei siti CAS-C e CAS-M;
- nella settimana 23 nel sito CAS-C;
- nella settimana 25 nei siti CAS-C e CAS-Q;
- nella settimana 27 nel sito CAS-C.

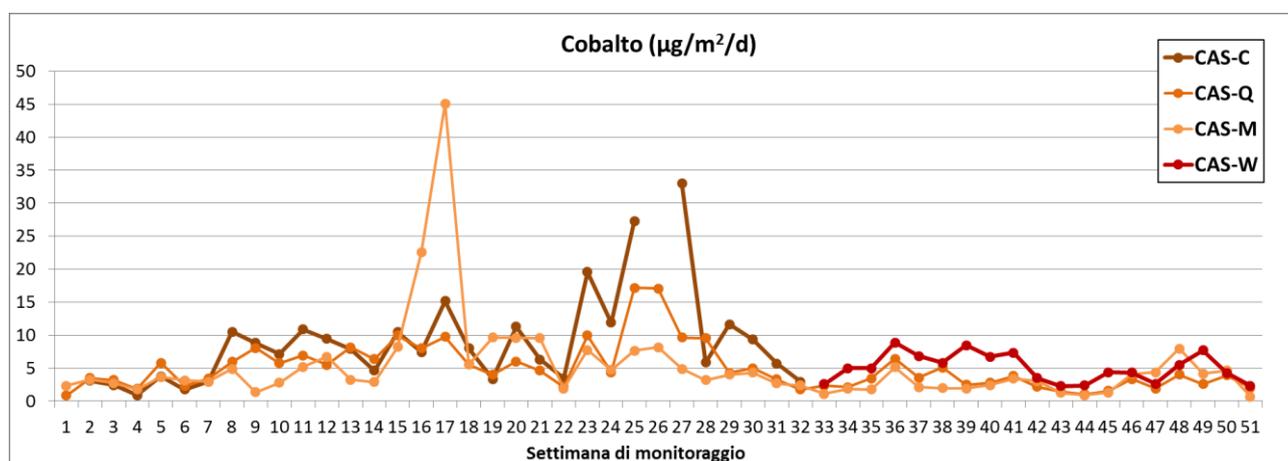


Figura 86 – Andamento temporale della deposizione di cobalto nei siti interni allo stabilimento. Risultano evidenti alcuni valori di picco superiori a  $15 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$

Come già rilevato nell'analisi delle correlazioni tra valori di deposizione ed eventi di emissione diffusa osservati, i valori di picco di cobalto nel sito CAS-C delle settimane 25 e 27 trovano corrispondenza con gli eventi di emissione diffusa di entità 3 provenienti dal Capannone Basso (eventi CB3) osservati in queste due settimane. In particolare tali eventi sono accaduti in condizioni di vento proveniente da est, favorevole al trasporto degli inquinanti dal Capannone Basso verso il sito CAS-C. Questo emerge chiaramente dallo scatterplot della Figura 87 seguente.

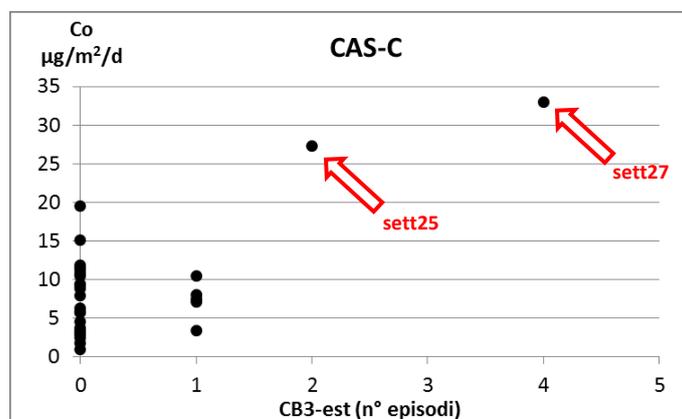


Figura 87 – Scatterplot dei valori di deposizione di cobalto in CAS-C e del numero di eventi CB3-est (eventi di entità 3 provenienti dal Capannone Basso in condizioni di vento da est). I due punti indicati con le frecce rosse indicano che i valori di picco di cobalto sono stati rilevati in due settimane in cui sono stati osservati degli episodi di emissione diffusa CB3-est

Per quanto riguarda i valori di picco di cobalto rilevati nel sito CAS-M nelle settimane 16 e 17, si rileva tali settimane sono state caratterizzate da un numero di eventi di emissione diffusa osservati nella media e da condizioni di vento favorevoli al trasporto degli inquinanti dal reparto acciaieria in direzione del sito CAS-M, con prevalenza di venti di foehn in 4/7 giorni della settimana 16 e in 3/7 giorni della settimana 17.

I valori di deposizione di cobalto misurati nel sito CAS-C presentano correlazioni positive evidenti con gli eventi di emissione diffusa di entità 1 provenienti da tutte e tre le zone di fuoriuscita BT, SA, CB. Inoltre le deposizioni di cobalto presentano correlazioni positive con i venti da est nei siti CAS-C, CAS-Q e CAS-W.

Si rileva infine che anche per il cobalto, così come per cromo e cadmio, emerge una correlazione evidente ( $r=0,85$ ) tra i valori di deposizione mensili in AO-PEP e il numero di ore di vento di foehn. Pertanto la presenza di cobalto nelle deposizioni dei siti interni e nel sito AO-PEP è da ricondurre all'attività del reparto acciaieria e potrebbe essere legata anche a qualche particolare attività del ciclo produttivo condotta nel Capannone Basso suscettibile di provocare saltuariamente eventi di emissioni diffusa di entità rilevante.

### 5.5. Molibdeno

Nella Figura 88 seguente vengono riportati gli andamenti temporali dei valori di deposizione di molibdeno nei diversi siti.

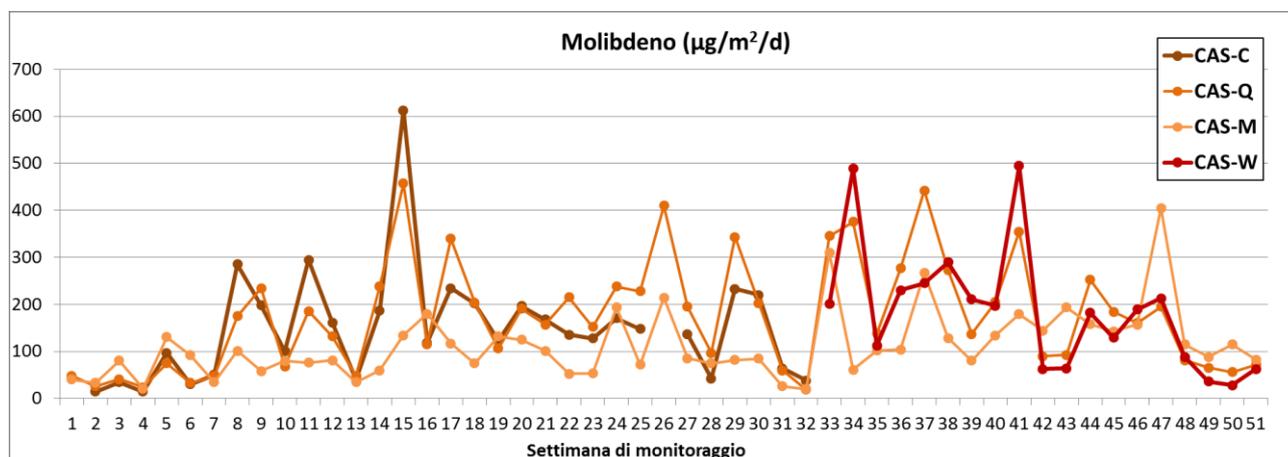


Figura 88 – Andamento temporale della deposizione di molibdeno nei siti interni allo stabilimento

I valori di deposizione di molibdeno nei siti CAS-C e CAS-Q sono confrontabili tra loro e sono caratterizzati da una evidente correlazione ( $r=0,87$ ), mentre nel sito CAS-M i valori sono leggermente inferiori rispetto a questi due siti. Questo potrebbe indurre a pensare che anche per il molibdeno la fonte di emissione sia costituita dalle emissioni diffuse del reparto acciaieria.

In realtà il molibdeno, a differenza di altri metalli caratteristici della produzione dell'acciaieria CAS, non mostra correlazioni positive visibili con gli eventi di emissione diffusa, a parte la corrispondenza tra i valori di picco dei siti CAS-C e CAS-Q della settimana 15 nel corso della quale si sono verificati molti eventi di entità 3 nel reparto acciaieria.

Il molibdeno, a differenza degli altri metalli caratteristici dell'acciaieria (cromo, nichel, cobalto), non presenta correlazioni tra i valori in CAS-Q e CAS-M e il numero di giornate di foehn. Come già evidenziato in precedenza tali correlazioni sono da ricondurre, presumibilmente, al risollevarimento di polvere nel piazzale di fronte a CAS-Q (secondo la dinamica rappresentata in Figura 44) e alla risospensione e trasporto di inquinanti nel sito CAS-M. Il fatto che questo non accada per il molibdeno induce a pensare che la fonte emissiva di tale metallo non sia costituita prevalentemente dall'acciaieria.

Il molibdeno presenta correlazioni evidenti con la % di ore di vento proveniente da est, con valori dell'indice di correlazione che aumenta all'aumentare dell'intensità del vento.

Considerando tali elementi nel loro insieme, si è indotti a ipotizzare la presenza di una sorgente di emissione di molibdeno diversa dal reparto acciaieria, situata a est rispetto al reparto stesso.

Tale ipotesi trova conferma anche nel fatto che, a differenza degli altri metalli caratteristici dell'acciaieria, i valori di deposizione di molibdeno in AO-PEP non mostrano alcuna correlazione con il numero di ore di vento di foehn (Figura 89). Pertanto si può concludere ipotizzando ragionevolmente che la principale fonte di emissione del molibdeno non sia costituita dal reparto acciaieria e che sia comunque localizzata all'interno dello stabilimento a est rispetto al reparto acciaieria stesso.

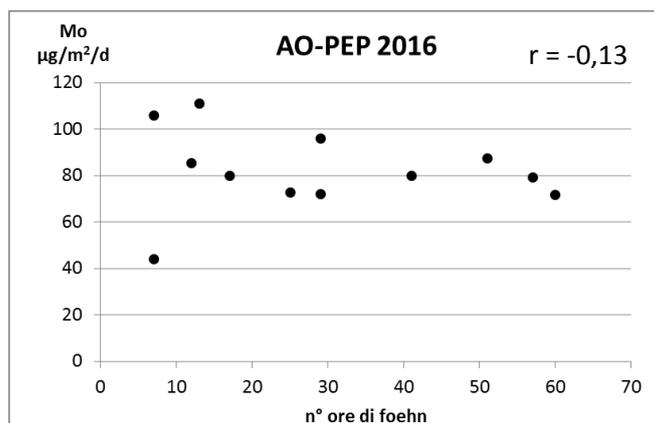


Figura 89 – Scatterplot dei valori di deposizione di molibdeno nel sito AO-PEP e il numero di ore di foehn nel mese di campionamento. La correlazione in questo caso è assente

### 5.6. Arsenico

Nella Figura 90 seguente vengono riportati gli andamenti temporali dei valori di deposizione di arsenico nei diversi siti.

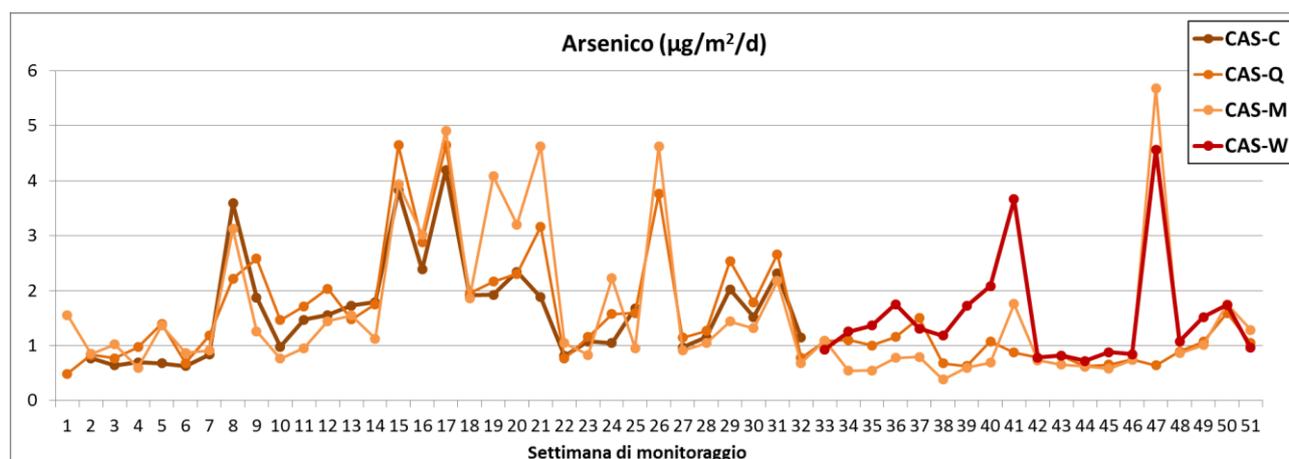


Figura 90 – Andamento temporale della deposizione di arsenico nei siti interni allo stabilimento

I valori di arsenico sono caratterizzati da valori e andamenti confrontabili tra i diversi siti. I valori di CAS-C sono fortemente correlati con quelli di CAS-Q ( $r=0,90$ ) e anche con quelli di CAS-M ( $r=0,78$ ).

L'arsenico non presenta correlazioni visibili con gli eventi di emissione diffusa.

Le correlazioni delle deposizioni di arsenico in CAS-C e in CAS-Q con le ore di vento da est sono positive ma non troppo evidenti ( $r=0,30 \div 0,34$ ).

I valori di arsenico nel sito AO-PEP sono caratterizzati dalla presenza di un andamento "a campana" nel periodo febbraio-luglio, analogamente a quanto osservato per cadmio e cromo, e in particolare da un valore medio di  $13,6 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$  per il mese di maggio 2016, valore sensibilmente più elevato rispetto a quelli misurati nei siti interni allo stabilimento che sono sempre risultati inferiori a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$  (Figura 91). Questo indica la presenza di una fonte di emissione di arsenico diversa dal reparto acciaieria che influisce sul sito AO-PEP.

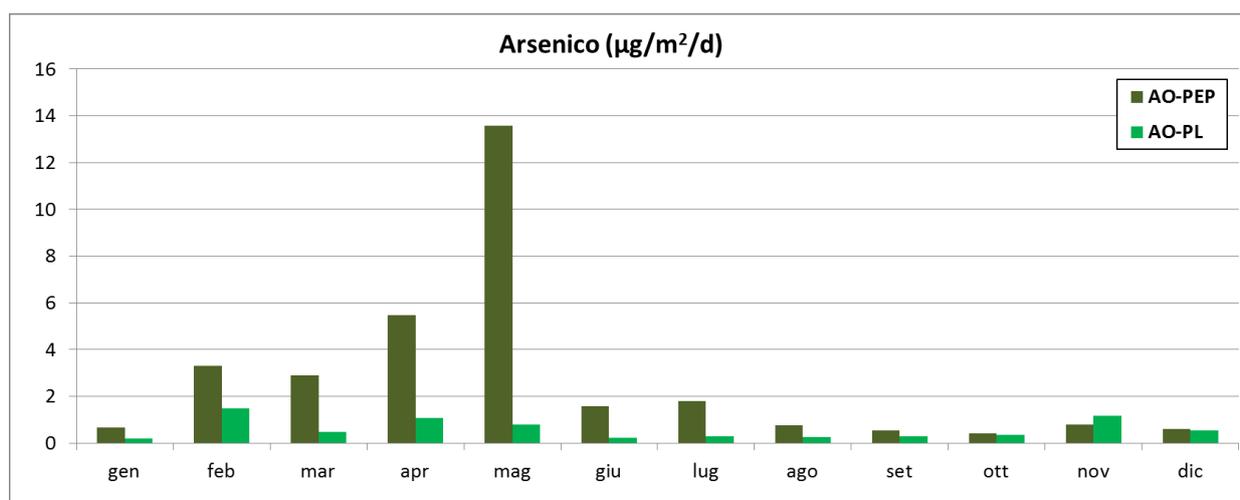


Figura 91 – Andamento temporale della deposizione di arsenico nel corso del 2016 nei siti esterni all'acciaieria (campionamenti con frequenza mensile). Il valore del mese di maggio è sensibilmente più elevato di quelli misurati nei siti interni allo stabilimento CAS

Le deposizioni di arsenico nel sito AO-PEP mostrano una correlazione evidente con il numero di ore di vento di foehn, analogamente a quanto osservato per gli altri metalli caratteristici dell'acciaieria (Figura 92).

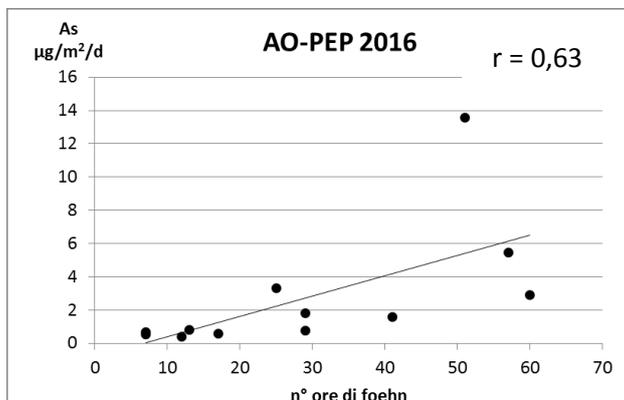


Figura 92 – Correlazione dei valori di deposizione di arsenico nel sito AO-PEP e il numero di ore di foehn nel mese di campionamento. L'indice di correlazione della serie completa è pari a  $r=0,63$ ; escludendo dalla serie il punto "anomalo" relativo al mese di maggio l'indice di correlazione è pari a  $r=0,78$

Pertanto sulla base delle informazioni a disposizione si può ipotizzare che il valore di deposizione di arsenico in AO-PEP del mese di maggio possa essere stato determinato da una emissione anomala di arsenico da una zona dello stabilimento diversa dal reparto acciaieria, presumibilmente localizzata in direzione nord-ovest rispetto al sito AO-PEP.