



Agenzia Regionale per la Prevenzione  
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

## Vetriere di Murano

### Simulazione modellistica di dispersione in atmosfera del Cadmio rilasciato durante le fusioni dai forni autorizzati e sottoposti a telecontrollo

**Stime periodo settembre-dicembre 2017**

#### Sommario

Premessa.....	2
1 Oggetto delle simulazioni.....	2
2 Obiettivo delle simulazioni .....	2
3 Impostazione delle simulazioni .....	2
3.1 Strumento modellistico.....	2
3.2 Domini e configurazioni di calcolo .....	3
3.3 Inquinanti valutati e loro trattazione.....	4
3.4 Arco temporale delle simulazioni.....	4
3.5 Parametri emissivi .....	5
3.5.1 Parametrizzazione delle sorgenti e relative fonti dei dati utilizzata.....	5
3.5.2 Descrizione dello scenario emissivo modellizzato .....	5
4 Dati di monitoraggio disponibili per il confronto con le stime del modello.....	11
5 I risultati delle simulazioni .....	12
5.1 Concentrazioni giornaliere stimate per i punti di misura.....	12
5.2 Confronto tra le stime modellistiche associate a ciascuna vetreria sui punti di misura.....	16
5.3 Analisi di correlazione tra misure e stime modellistiche .....	22
5.3.1 Sito Ugo Foscolo .....	22
5.3.2 Sito Sacca Serenella.....	25
5.3.3 Sito Calle da Muran .....	27
6 Concentrazioni massime stimate per ciascuna vetreria .....	29
7 Conclusioni .....	34
Riferimenti bibliografici essenziali .....	35

## Premessa

La presente relazione espone gli esiti delle simulazioni di dispersione in atmosfera svolte dall'Ufficio Inventari e Modellistica Aria (IMA) dell'Osservatorio Aria a supporto delle indagini ambientali svolte dal Dipartimento Provinciale di Venezia sull'isola di Murano e sull'impatto delle vetrerie artistiche.

La relazione aggiorna le stime presentate in precedenti relazioni a cura del medesimo Ufficio (ARPAV, Osservatorio Aria, 2014).

## 1 Oggetto delle simulazioni

L'arco temporale delle simulazioni è relativo al quadrimestre **settembre-dicembre 2017**.

Le simulazioni presentate si riferiscono alla dispersione in atmosfera di Cadmio emesso dai forni fusori delle **26** vetrerie artistiche di Murano e Venezia autorizzate, nel periodo in questione, ad utilizzare Cadmio in miscela di fusione e sottoposte a telecontrollo.

## 2 Obiettivo delle simulazioni

L'applicazione modellistica è stata principalmente focalizzata a verificare se le emissioni in fase di fusione dei forni autorizzati ad utilizzare miscele contenenti Cadmio potessero giustificare o comunque fossero in qualche modo correlabili alle concentrazioni ambientali misurate nel medesimo periodo nell'isola di Murano.

In particolare, l'approfondimento modellistico ha voluto valorizzare la nuova disponibilità dei dati di temperatura dei forni registrati dal sistema di telecontrollo, ponendoli in relazione con le misure ambientali contemporaneamente disponibili.

## 3 Impostazione delle simulazioni

Volendo utilizzare una descrizione semplice, il calcolo di dispersione prende in input il flusso di massa di inquinante (la cui unità di misura è in g/s), la temperatura e la velocità dei fumi e stima la concentrazione al suolo sulla base del trasporto e della dispersione che subisce il pennacchio una volta emesso in atmosfera. Trasporto e dispersione dipendono dalle condizioni meteorologiche e di stabilità dell'atmosfera.

### 3.1 Strumento modellistico

Le simulazioni sono state condotte utilizzando il modello di dispersione non stazionario CALPUFF (Scire et al., 2001, v. 5.8), in catena al preprocessore meteorologico CALMET (Scire et al., 2000, v. 5.8), così come già fatto nei precedenti approfondimenti modellistici.

CALPUFF è un modello non stazionario<sup>1</sup> a puff gaussiani per il calcolo della dispersione degli inquinanti rilasciati da diverse categorie di sorgenti emissive (puntuali, areali, lineari, volumetriche). CALPUFF implementa algoritmi per la trattazione della deposizione secca e umida, di alcune trasformazioni chimiche e di alcuni effetti prossimi alla sorgente (*building downwash*, fumigazione, innalzamento progressivo del pennacchio) nonché considera un'eventuale penetrazione parziale nello strato rimescolato. Pur essendo prevista l'opzione dell'utilizzo di dati meteorologici puntuali (similmente ai più comuni modelli gaussiani stazionari), le piene potenzialità del codice di CALPUFF vengono attivate se utilizzato in congiunzione con i campi meteorologici tridimensionali generati da CALMET. CALMET, a sua volta, è un modello meteorologico diagnostico che, a partire da dati osservati (al suolo e di profilo) e da dati geofisici produce campi orari tridimensionali di vento e bidimensionali di diverse variabili meteorologiche e micrometeorologiche.

L'utilizzo della catena CALMET-CALPUFF è ritenuta idonea al caso studio che deve trattare sorgenti (camini delle vetrerie) posizionate in un'isola di piccole dimensioni all'interno della laguna di Venezia.

---

<sup>1</sup> Consente di simulare gli effetti di condizioni meteorologiche variabili nel tempo e nello spazio.

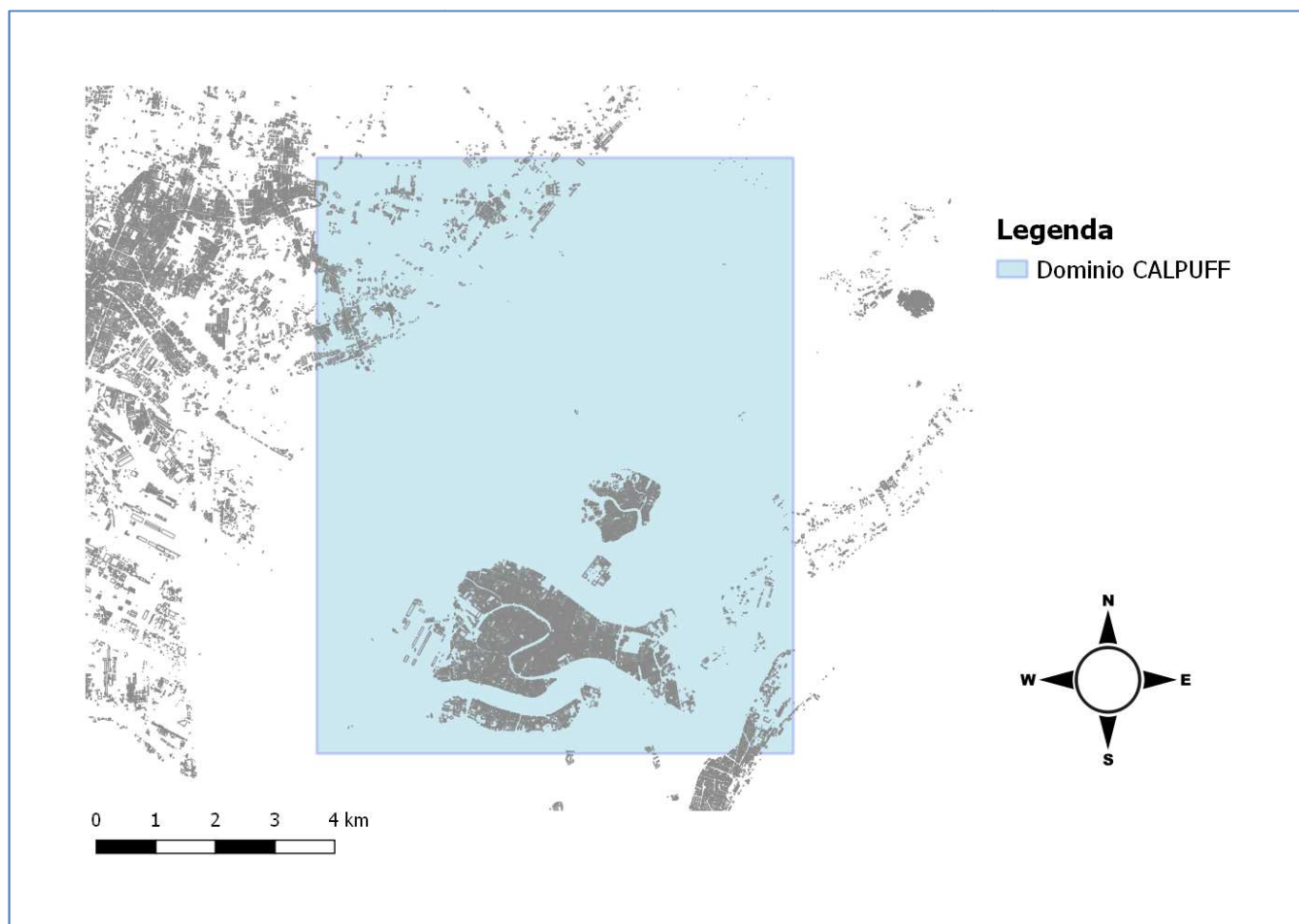
### 3.2 Domini e configurazioni di calcolo

La simulazione di CALMET è stata svolta dall'Ufficio Previsioni DS del Centro Meteo di Teolo di ARPAV. I campi meteorologici sono stati calcolati con CALMET per il periodo 31 agosto-31 dicembre 2017, su un'area (dominio meteorologico) di dimensione 8x10 km<sup>2</sup> che ricopre Venezia e le isole, con griglia a risoluzione di 500 m.

Le stazioni meteo al suolo utilizzate sono quelle che ricadono nell'area di studio e che fanno parte della configurazione di CALMET ottimizzata a scala regionale (Pernigotti *et al.*, 2005, Sansone *et al.*, 2005), costituite principalmente dalle stazioni della rete meteo di Teolo di ARPAV con palo meteo a 10 m di altezza dal suolo. A queste stazioni si aggiungono la stazione n. 5 dell'EZI (Ente della Zona Industriale di Porto Marghera) posizionata a Porto Marghera (di cui si ringrazia per la fornitura dei dati) e la stazione meteo sulla piattaforma al largo del Comune di Venezia, essenziale per la descrizione dell'interfaccia terra-mare.

Le concentrazioni di Cadmio sono state stimate tramite CALPUFF su un'area di 8x9 km<sup>2</sup>, con risoluzione di 250 m (Figura 1).

Figura 1 Domini di calcolo di CALPUFF.



Gli output del modello sono stati calcolati anche per vari punti del territorio della Venezia insulare e dell'entroterra di Mestre (punti recettori) nei quali sono presenti le stazioni di misura delle reti di qualità dell'aria o che corrispondono alla posizione di campagne di monitoraggio, svolte nel passato o recentemente non solo per gli scopi della presente indagine sull'impatto delle vetrerie artistiche.

La lista dei punti recettori è riportata nella seguente Tabella 1.

Tabella 1. Elenco punti recettore.

ID	PUNTO_MONITOR
1	Scuola Ugo Foscolo
2	Sacca Fisola
3	San Basilio
4	Rio Novo
5	Rialto, riva del Vin
6	Giudecca EZI 21
7	Sant`Elena
8	Parco Bissuola
9	Stazione Sperimentale del Vetro
10	San Michele
11	Santa Marta
12	Sacca San Mattia
13	Fondamenta Radi
14	Colonna
15	Mazorbo - Fond. di Santa Caterina
16	Campo San Donato
17	Calle dietro gli orti
18	Sacca_Serenella
19	Calle Marco da Muran

### 3.3 Inquinanti valutati e loro trattazione

La valutazione modellistica si è focalizzata sul Cadmio in quanto i dati di monitoraggio presso i siti di misura di Murano, anche per il periodo settembre – dicembre 2017, hanno evidenziato in alcune giornate concentrazioni estremamente elevate (ARPAV, Dipartimento Provinciale di Venezia, 2018).

La trattazione del Cadmio è stata svolta con CALPUFF con gli stessi parametri già adottati negli approfondimenti modellistici delle passate edizioni, e dunque simulandone la dispersione come specie veicolata dal particolato fine, a sua volta caratterizzato in CALPUFF con i parametri di *default* proposti dalla bibliografia del codice per le polveri PM10. La parametrizzazione del particolato in CALPUFF richiede nello specifico di definire una media geometrica del diametro delle particelle e una deviazione standard geometrica di tale media. Per le polveri fini i valori di *default* proposti da CALPUFF sono rispettivamente di 0.48 µm per la media geometrica e di 2 µm per la deviazione standard, parametrizzazione che corrisponde all'assunzione di una distribuzione della dimensione del particolato di tipo lognormale unimodale con moda su 0.48 µm e con taglio 2 µm (ovvero PM2.5).

Per il calcolo della deposizione umida va inoltre definito il *coefficiente di scavenging*<sup>2</sup> per le precipitazioni liquide e solide. Anche per tale parametro è stato mantenuto il valore di *default* proposto da CALPUFF per le polveri fini (precipitazioni liquide:  $3 \cdot 10^{-5}$ , precipitazioni solide:  $1 \cdot 10^{-5}$ ).

### 3.4 Arco temporale delle simulazioni

La simulazione modellistica ha riguardato l'arco temporale 31 agosto – 31 dicembre 2017, periodo del quale erano disponibili dati di temperatura dei forni fusori registrati dal sistema di telecontrollo (rif?) e delle contemporanee misure ambientali delle campagne di monitoraggio svolte a Murano presso 4 siti di misura (ARPAV, Dipartimento Provinciale di Venezia, 2018).

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

### 3.5 Parametri emissivi

Per il calcolo di dispersione con CALPUFF è necessario indicare per ciascun camino i seguenti dati:

- localizzazione della sorgente;
- altezza e diametro del camino;
- flusso di massa dell'inquinante;
- velocità e temperatura di uscita dei fumi;
- ore di emissione del camino fusorio nel periodo considerato.

#### 3.5.1 Parametrizzazione delle sorgenti e relative fonti dei dati utilizzata

I dati necessari per l'applicazione modellistica sono stati desunti da diverse fonti, di seguito brevemente descritte.

- elenco delle vetrerie autorizzate ad utilizzare cadmio in miscela di fusione: elenco fornito da Città Metropolitana di Venezia - Unità Operativa Tutela dell'Atmosfera;
- localizzazione del camino fusorio di ciascuna vetreria e relativa altezza: valori forniti da Città Metropolitana di Venezia - Unità Operativa Tutela dell'Atmosfera e ricavati dall'incrocio degli schemi d'impianto presentati dalle ditte per il rilascio dell'autorizzazione con la base cartografica digitale del Comune di Venezia, contenente anche il dato di quota;
- diametro del camino: rapporti di prova di controlli o autocontrolli a camino (dati di archivio già utilizzati nelle precedenti simulazioni modellistiche) e in mancanza del dato valore tipico riscontrato nei camini noti;
- flussi di massa di Cadmio: valore stimato a partire dalle portate dei camini fusori indicate nella schede annesse alla richiesta di autorizzazione all'emissione (fonte archivi Città Metropolitana di Venezia - Unità Operativa Tutela dell'Atmosfera) e dall'ipotesi che i fumi emessi eguagliano le concentrazioni massime autorizzate, ovvero per cadmio il valore di  $0.1 \text{ mg/Nm}^3$  riferito ad una percentuale di Ossigeno dei fumi pari al 13% (limiti di cui al Dlgs 152/06 Parte V – All I). Sono state tralasciate emissioni eventualmente associate ad altre fasi lavorative del vetro artistico (composizione, ricottura, ecc.).
- velocità dei fumi in uscita: calcolati da portata e diametro.
- temperatura dei fumi in uscita: dati di archivio ricavati dai rapporti di prova dei controlli ed autocontrolli e già utilizzati nelle precedenti simulazioni modellistiche;
- ore di emissione del camino fusorio nel periodo considerato: le specifiche ore di fusione di ciascun camino delle **26** vetrerie considerate è stato desunto dalle relative registrazioni delle temperature di fusione dei forni inseriti nel sistema di telecontrollo. Più precisamente, l'estrazione dei dati di telecontrollo è stata svolta da Città Metropolitana di Venezia - Unità Operativa Tutela dell'Atmosfera imponendo un filtro "passa alto" (valore soglia  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) alle temperature registrate per i forni. Dalle registrazioni a risoluzione di circa 2 o 3 minuti, con cadenza irregolare, lo scrivente Ufficio ha elaborato il profilo emissivo per ciascuna ora del periodo modellizzato.

#### 3.5.2 Descrizione dello scenario emissivo modellizzato

La simulazione modellistica ha trattato le emissioni a camino dei forni fusori di **26** vetrerie artistiche, di cui 25 nell'isola di Murano ed una in Venezia Centro storico.

Lo scenario emissivo che si è modellizzato può essere considerato uno scenario con stime per eccesso (scenario cautelativo) in riferimento alle emissioni convogliate delle fasi di fusione che avvengono in regime di funzionamento corretto degli impianti di abbattimento a monte dei camini che colleghino i fumi emessi dai forni fusori, questo perché si sono utilizzati i dati di portata di impianto e le concentrazioni massime autorizzate.

La modellizzazione non tratta però situazioni di apertura dei camini di bypass o di dispersione di emissioni diffuse dai capannoni o dalle varie linee delle diverse fasi lavorative del vetro.

L'emissione totale annua trattata nella simulazione modellistica e derivante dalle assunzioni sopra esplicitate corrisponde a quanto descritto in Tabella 2. In tabella sono anche riportati i valori stimati nella precedente simulazione modellistica di Settembre 2014 (ARPAV, Osservatorio Aria, 2014) per un confronto con i risultati del precedente approfondimento.

Tabella 2. Bilancio emissivo.

<b>Emissioni di Cadmio</b>		
<b>Presente simulazione (26 vetrerie)</b>	<b>Simulazione Settembre 2014 (76 vetrerie)</b>	<b>Unità</b>
2.4	6.7	somma g/h
2.2	---	kg/periodo settembre-dicembre
6.1 Valore ottenuto considerando l'emissione media mensile del periodo di studio e estrapolando il valore all'anno considerando il mese di agosto come periodo di fermo produzione	39.4	kg/anno

Come si può osservare con i dati dell'ultima riga di Tabella 2, la presente simulazione considera una situazione emissiva drasticamente diversa rispetto a quella della simulazione precedente: dalle 76 vetrerie si è infatti passati a 26 e da una stima annua di Cadmio emesso di circa 39 kg si è passati, estrapolando all'anno le stime utilizzate per i 4 mesi di dati di telecontrollo, a circa 6 kg/anno.

Lo studio è stato svolto considerando separatamente le 26 vetrerie e dunque simulando per l'intero arco temporale ciascuna di esse. Questo approccio consente di analizzare i risultati delle concentrazioni generate nel territorio da ciascuna singola vetreria, sia come valore spazializzato sulla mappa di Murano e Venezia, che come concentrazione giornaliera per i punti recettori per i 4 mesi della simulazione. Poiché il Cadmio è trattato come inquinante inerte che non subisce alcuna trasformazione una volta rilasciato in atmosfera, l'impatto totale in termini di concentrazione al suolo delle 26 vetrerie viene calcolato sommando gli output modellistici associati ad ogni singola vetreria.

L'elenco delle 26 vetrerie considerate nella simulazione modellistica è riportato in Tabella 3.

Tabella 3. Elenco delle vetrerie inserite nella simulazione modellistica.

ID	CODICE	RAGIONE SOCIALE
1	BLA	VETRERIA ARTISTICA OBALL
2	BRV	BAROVIER & TOSO Vetriere Artistiche Riunite
3	CMD	COMPONENTI DONA'
4	CRL	Carlo Moretti
5	DST	D'ESTE E ZANE ART GLASS
6	FFE	VETRERIA ARTISTICA EFFE
7	FFT	EFFETRE MURANO
8	GFR	Eugenio Ferro & C. 1929
9	GMB	Gambaro & Tagliapietra
10	LNV	LINEA VALENTINA di Dalla Valentina Adriano & C.
11	MDF	Lavorazioni Artistiche di Amadi Fabiano
12	MRR	LA MURRINA
13	MSD	MOSAICI DONA' MURANO di Donà Stefano
14	NBC	Nuova Biemmecci di Mattiello Stefano & C.
15	NFR	ANFORA DI RENZO FERRO
16	NGL	ANGELO ORSONI
17	NSM	NASONMORETTI
18	NTC	ANTICHI ANGELI
19	RSM	ARS MURANO
20	RTL	VETRERIA 3 ARTISTICO LAMPADARI di Ongaro Fabio & C.
21	RTM	ARTIGIANATO MURANESE di Cammozzo E. e Costantini S.
22	SGC	SIMONE GIOVANNI CENEDESE MURANO
23	SGG	SALVADORE
24	SSH	SSHG
25	STL	STRIULLI A. VETRI D'ARTE
26	VNN	VENINI

Nella successiva Tabella 5 sono ricapitolati i dati di input utilizzati per la simulazione di ciascuna vetreria, nonché le distanze relative tra i 3 punti di monitoraggio e il camino della singola vetreria.

Tabella 4. Parametri usati nella modellazione delle 26 vetrerie e distanze dai punti di misura (\*).

ID	Codice Vetreria	Altezza camino	Flusso di massa Cadmio (stima ORAR)	Numero ore di fusione	Emissioni di Cadmio periodo (stima ORAR)	distanza da monitor (m)		
						Ugo Foscolo	Sacca Serenella	Calle da Muran
		m	mg/s	h/periodo	kg/periodo			
1	BLA	8.9	3.4E-02	499	6.2E-02	277	989	424
2	BRV	7.9	4.2E-02	2110	<b>3.2E-01</b>	477	599	324
3	CMD	7.3	3.3E-02	1171	<b>1.4E-01</b>	333	<b>437</b>	486
4	CRL	10.9	5.2E-03	987	1.9E-02	363	776	<b>132</b>
5	DST	7.4	1.6E-02	210	1.2E-02	530	1168	711
6	FFE	2.8	2.5E-02	257	2.3E-02	291	1015	403
7	FFT	7.7	5.2E-02	2084	<b>3.9E-01</b>	<b>109</b>	768	<b>138</b>
8	GFR	3.2	2.5E-02	235	2.1E-02	271	996	320
9	GMB	7.2	2.3E-02	338	2.7E-02	481	466	667
10	LNV	10.1	2.1E-02	356	2.7E-02	<b>237</b>	498	313
11	MDF	8.9	1.6E-02	445	2.5E-02	566	<b>402</b>	736
12	MRR	8.4	1.7E-02	548	3.4E-02	<b>156</b>	691	392
13	MSD	8.6	1.4E-02	880	4.4E-02	441	<b>450</b>	621
14	NBC	7.1	2.5E-02	701	6.3E-02	500	822	740
15	NFR	7.3	3.3E-02	599	7.1E-02	553	<b>209</b>	576
16	NGL	4.7	1.4E-02	833	4.2E-02	2657	2122	2531
17	NSM	10.8	6.9E-03	1895	4.7E-02	346	<b>398</b>	387
18	NTC	5.2	2.5E-02	263	2.3E-02	463	1028	680
19	RSM	4.7	3.5E-02	2281	<b>2.9E-01</b>	521	1072	738
20	RTL	9.7	3.0E-02	433	4.6E-02	424	583	286
21	RTM	10.0	1.6E-02	1442	8.1E-02	558	571	415
22	SGC	9.0	2.1E-02	1470	1.1E-01	327	548	<b>245</b>
23	SGG	4.2	2.1E-02	241	1.8E-02	<b>220</b>	519	291
24	SSH	6.8	8.7E-02	567	<b>1.8E-01</b>	612	1233	795
25	STL	5.3	1.1E-02	69	2.8E-03	<b>95</b>	822	<b>244</b>
26	VNN	13.4	1.1E-02	2533	1.0E-01	385	552	<b>275</b>

(\*) in grassetto sono evidenziate le 5 vetrerie per le quali si sono stimate emissioni maggiori e le 5 vetrerie più vicine a ciascuno dei 3 siti di monitoraggio.

La posizione delle 26 vetrerie è presentata in Figura 2, assieme ai punti recettori di cui alla Tabella 1. Un'immagine di dettaglio maggiore su Murano è presentata in Figura 3.



Figura 2. Posizione delle vetrerie artistiche modellizzate e punti recettore.

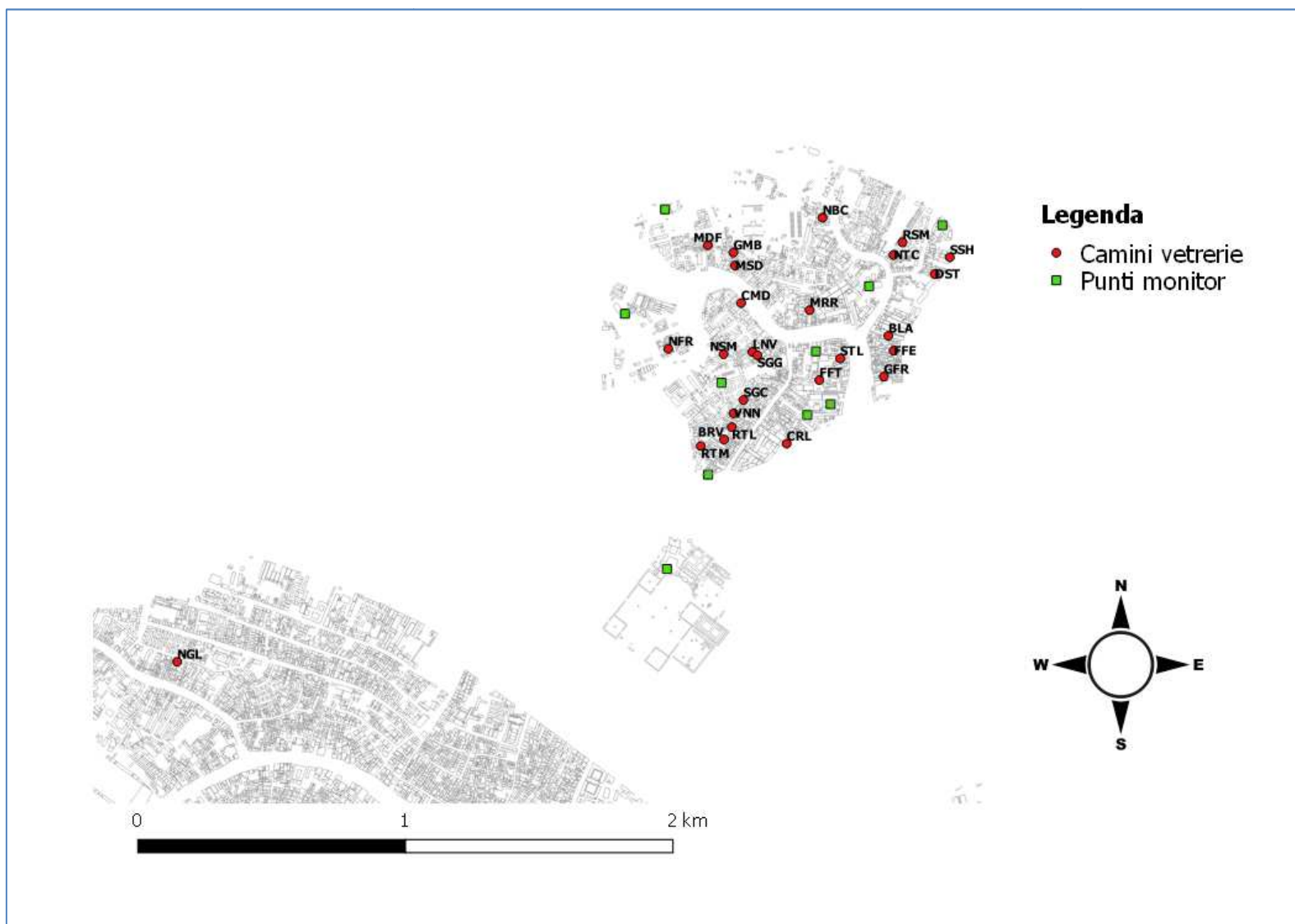


Figura 3. Posizione delle vetrerie artistiche modellizzate e punti recettore. Zoom su Murano.



#### 4 Dati di monitoraggio disponibili per il confronto con le stime del modello

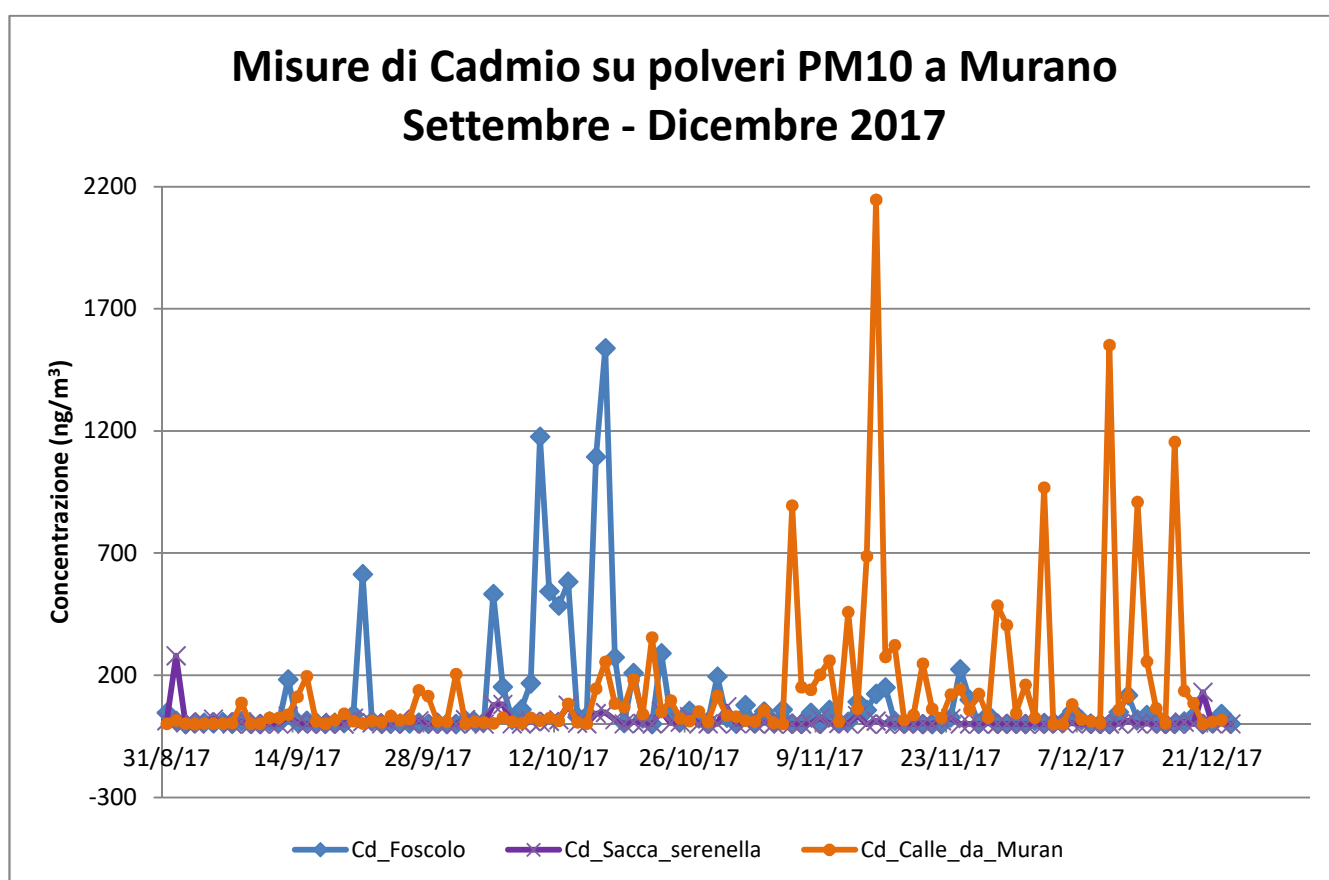
Nel periodo di indagine, 31 agosto - 31 dicembre 2017, le misure di concentrazione di Cadmio nell'isola di Murano sono state effettuate da ARPAV (ARPAV, Dipartimento Provinciale di Venezia, 2018) presso:

- la (ex) scuola Ugo Foscolo, fondamenta Colleoni,
- Sacca Serenella,
- Calle da Muran.

Sono inoltre disponibili le misure presso la stazione fissa di Sacca Fisola.

In Figura 4 sono presentate le concentrazioni medie giornaliere di Cadmio misurate presso i tre punti di misura di Murano.

Figura 4. Concentrazioni medie giornaliere di Cadmio ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ), misurate da ARPAV a Murano nel periodo 31 Agosto – 31 Dicembre 2017.



In Tabella 6 sono presentate alcune statistiche descrittive delle misure presso i 3 siti per un confronto.

Tabella 5. Statistiche descrittive delle misure di Cadmio a Murano nel periodo 31 agosto – 31 dicembre 2017.

Siti di misura	Ugo Foscolo	Sacca Serenella	Calle da Muran
Periodo di misura 31 agosto - 31 dicembre 2017			
Numero Concentrazioni giornaliere misurate	112	115	113
Concentrazione media dei 4 mesi (ng/m <sup>3</sup> )	91.5	12.3	142.5
Concentrazione massima giornaliera (ng/m <sup>3</sup> )	1538.9	279.8	2146.6
Primo quartile (25° percentile) delle concentrazioni giornaliere (ng/m <sup>3</sup> )	2.7	0.65	9.9
Mediana delle concentrazioni giornaliere (ng/m <sup>3</sup> )	11.05	1.7	30.6
Terzo quartile (75° percentile) delle concentrazioni giornaliere (ng/m <sup>3</sup> )	52.4	10.15	123.4
Concentrazioni giornaliere maggiori di 100 ng/m <sup>3</sup>	20	2	34
Concentrazioni giornaliere maggiori di 500 ng/m <sup>3</sup>	7	0	7
Concentrazioni giornaliere maggiori di 1000 ng/m <sup>4</sup>	3	0	3

Nel periodo in indagine il sito che fa registrare le concentrazioni maggiori di Cadmio è quello di Calle da Muran, per il quale si registra una concentrazione massima giornaliera di ben 2146.6 ng/m<sup>3</sup>, seguita dai 1538.9 ng/m<sup>3</sup> per Ugo Foscolo e 279.8 ng/m<sup>3</sup> per Sacca Serenella.

Il conteggio delle concentrazioni giornaliere sopra soglie importanti come i 100, 500 e 1000 ng/m<sup>3</sup> conferma Calle da Muran come sito con una situazione ambientale maggiormente compromessa. Si precisa che i valori soglia sono stati scelti in maniera arbitraria per descrivere la presenza di valori estremi nelle 3 serie storiche di dati misurati.

## 5 I risultati delle simulazioni

### 5.1 Concentrazioni giornaliere stimate per i punti di misura

Una prima analisi degli output modellistici è proposta nella seguente Tabella 6, dove, per ciascuno dei 3 siti di misura è affiancata la relativa stima modellistica ottenuta sommando il contributo delle 26 vetrerie.

Tabella 6. Confronto tra stime modellistiche e misure nei 3 siti di Murano.

Siti	Ugo Foscolo		Sacca Serenella		Calle da Muran	
	Misura	Modello (26 vet)	Misura	Modello (26 vet)	Misura	Modello (26 vet)
Concentrazioni Cadmio						
Concentrazione media dei 4 mesi (ng/m <sup>3</sup> )	91	0.3	12	0.1	142	0.4
Concentrazione massima giornaliera (ng/m <sup>3</sup> )	1539	0.9	280	0.6	2147	1.4

Si osserva innanzitutto come le stime modellistiche siano fino a 3 ordini di grandezza inferiori rispetto alle misure, sia per il valore medio dei 4 mesi che per il massimo giornaliero in tutti e 3 i siti.

Più precisamente:

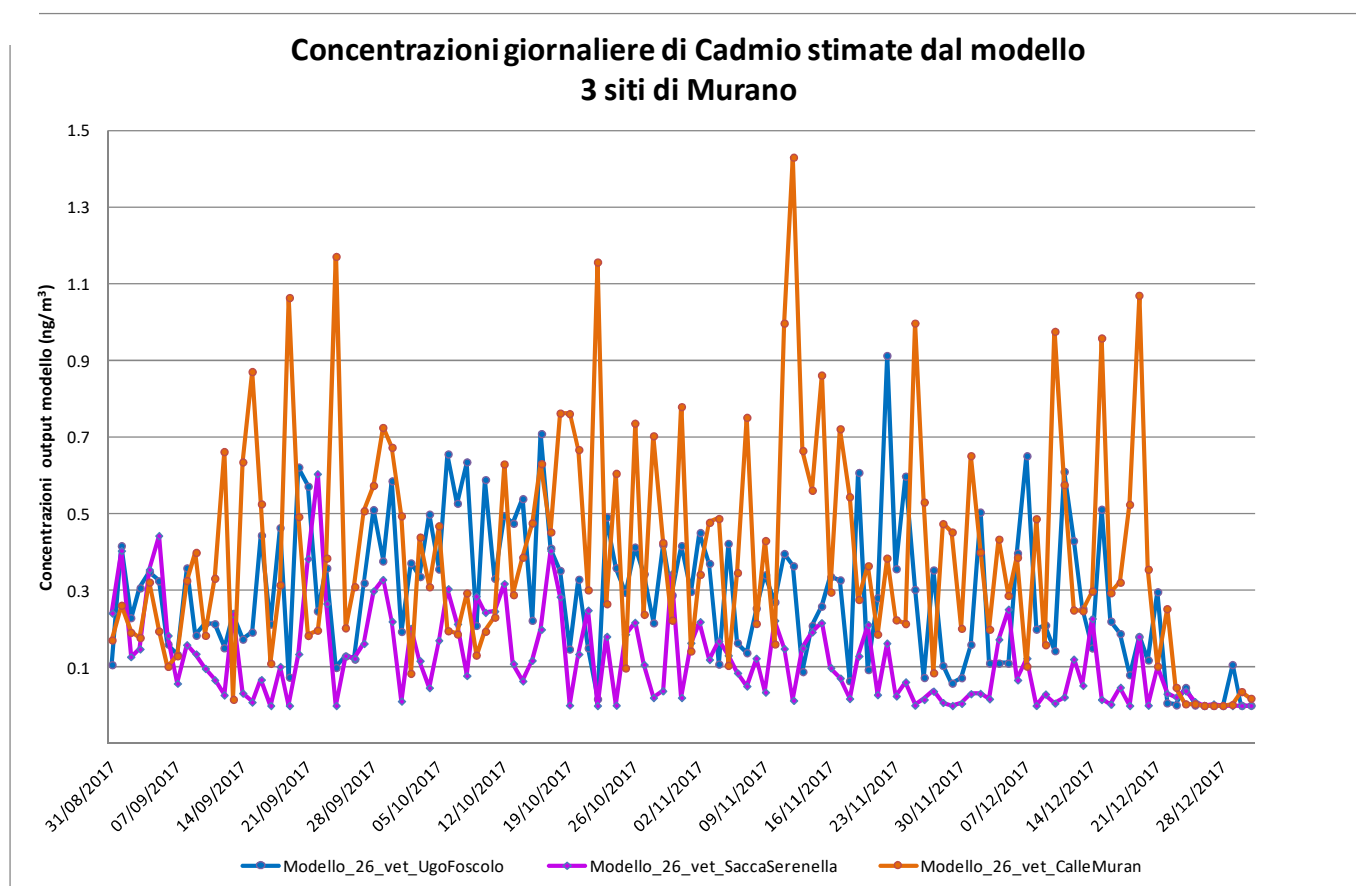
- le concentrazioni medie dei 4 mesi stimate dal modello sono decimi di ng/m<sup>3</sup> mentre quelle misurate vanno dai 12 (Sacca Serenella) ai 142 (Calle da Muran) ng/m<sup>3</sup>;
- le concentrazioni massime giornaliere stimate dal modello vanno da 0.6 (Sacca Serenella) a 1.4 (Calle da Muran) ng/m<sup>3</sup>, mentre quelle misurate da 280 (Sacca Serenella) a 2147 (Calle da Muran) ng/m<sup>3</sup>.

Il risultato ottenuto conferma quanto già evidenziato nell'analisi dei risultati modellistici del precedente studio, ovvero che misure di concentrazioni con valori giornalieri anche dell'ordine di migliaia di  $\text{ng}/\text{m}^3$  non sono assolutamente compatibili con stime modellistiche che simulano il rispetto dei limiti all'emissione.

La più importante componente di errore della stima modellistica è dovuta ad una sottostima delle emissioni. La sottostima delle emissioni potrebbe essere dovuta sia alle sottostime dei quantitativi emessi dai camini a servizio dei forni fusori, sia ad una possibile non considerazione di ulteriori camini, come vetrerie artistiche non censite dal telecontrollo poiché non autorizzate all'utilizzo di Cadmio, oppure emissioni che possano avvenire in condizioni di esercizio non a regime, quali emissioni non convogliate o riferite a periodi di apertura dei camini di bypass.

Per quanto del tutto diverso l'ordine di grandezza tra misure e output modellistici, le stime modellistiche danno la medesima gerarchizzazione dei 3 siti delle misure, con valori maggiori stimati per Calle da Muran, poi Ugo Foscolo e infine Sacca Serenella, come si osserva anche in Stime modellistiche Figura 5

Figura 5. Stime modellistiche per i 3 siti di Murano



Nonostante dunque la forte sottostima degli output modellistici, nel presente lavoro si vuole tuttavia utilizzare le potenzialità del modello per indagare la presenza di una eventuale relazione tra il segnale emesso dalle 26 vetrerie considerate e le misure giornaliere nei 3 siti.

Si precisa infatti che l'input al modello è stato specificatamente costruito in questo studio andando ad accendere l'emissione di ciascuna vetreria solo in corrispondenza delle specifiche ore di fusione registrate dal sistema di telecontrollo.

La concentrazione stimata dal modello per ciascun giorno del periodo di 4 mesi e per ciascun sito sintetizza in sé le seguenti informazioni:

- se la vetreria in questione abbia effettuato fusioni quel giorno (informazione desunta dalla registrazione di temperature oltre i 1100 ° C nel sistema di telecontrollo),
- se il sito possa essere stato investito dai fumi provenienti dalla vetreria in considerazione del trasporto e dispersione dei pennacchi emessi e della posizione e distanza del sito dalla vetreria.

L'assunto della stima modellistica è che, qualora effettuate fusioni, esse abbiano sempre determinato un'emissione a camino di Cadmio equivalente al quantitativo associato alla massima concentrazione autorizzata. Poiché il Cadmio è utilizzato solo per alcune produzioni di vetri colorati, questo assunto dovrebbe ritrarre per eccesso la situazione emissiva.

Come prima analisi, pertanto, nei grafici seguenti (da Figura 6 a Figura 8) si presentano, per i 3 punti di misura di Murano, il confronto tra le concentrazioni giornaliere misurate e le relative stime modellistiche che si compongono del segnale delle 26 vetrerie.

Poiché, come precedentemente commentato, le stime modellistiche ottenute sono estremamente più piccole delle misure, nei grafici i valori delle misure e degli output modellistici sono ritratti sui due differenti assi con le proprie scale dimensionali.

Figura 6. Confronto stime modellistiche e misure per sito di Ugo Foscolo.

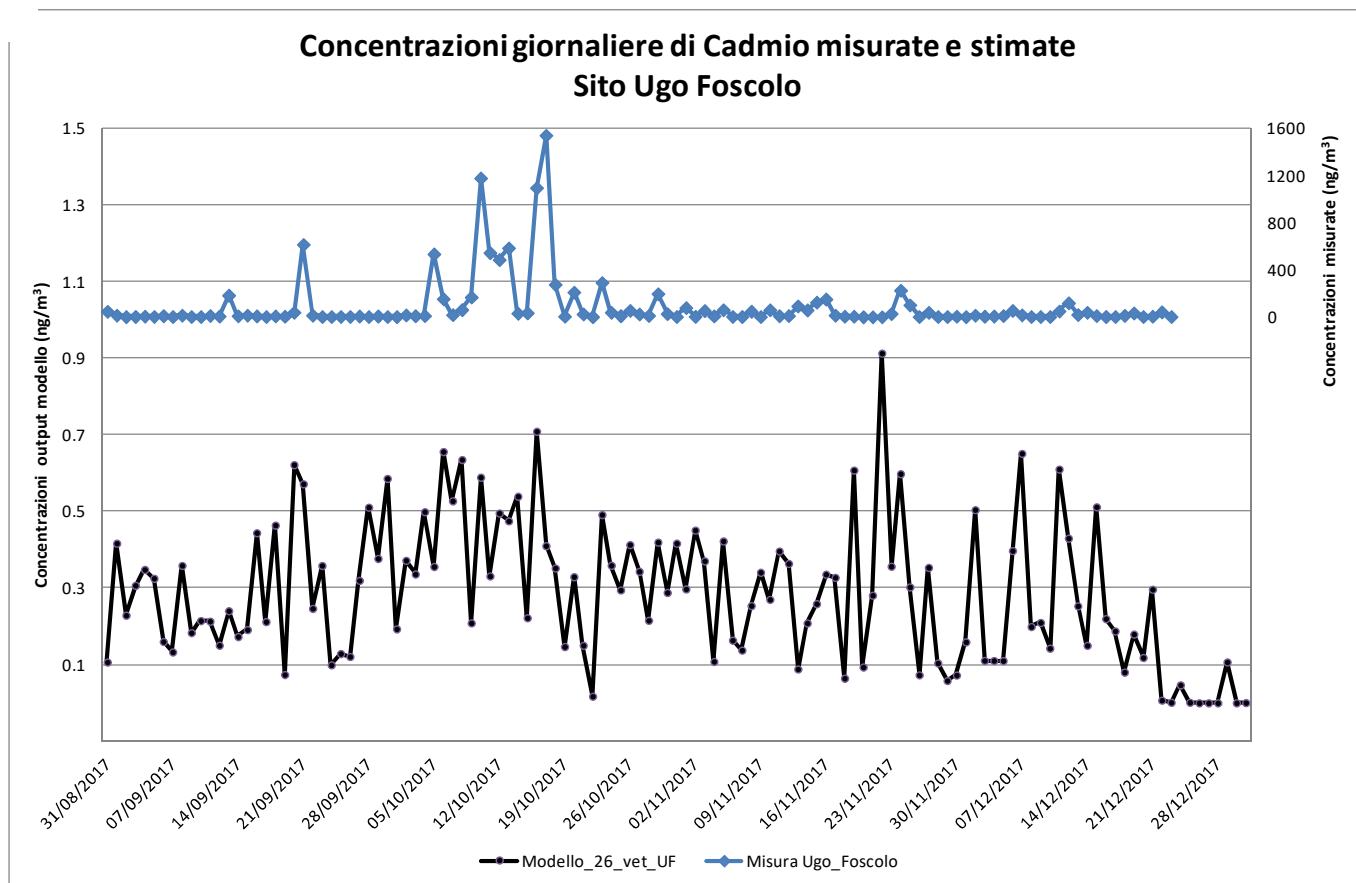


Figura 7. Confronto stime modellistiche e misure per sito di Sacca Serenella.

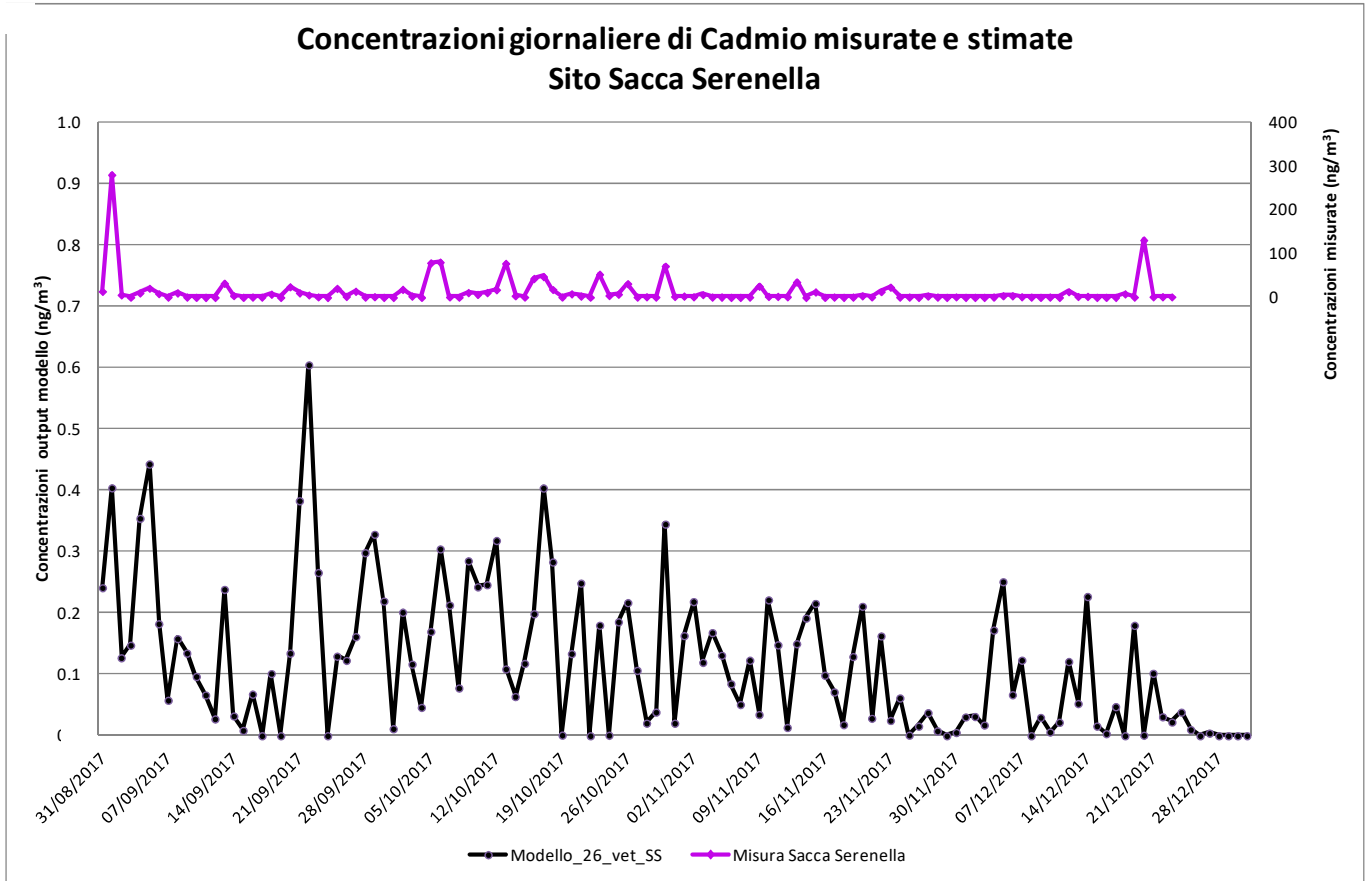
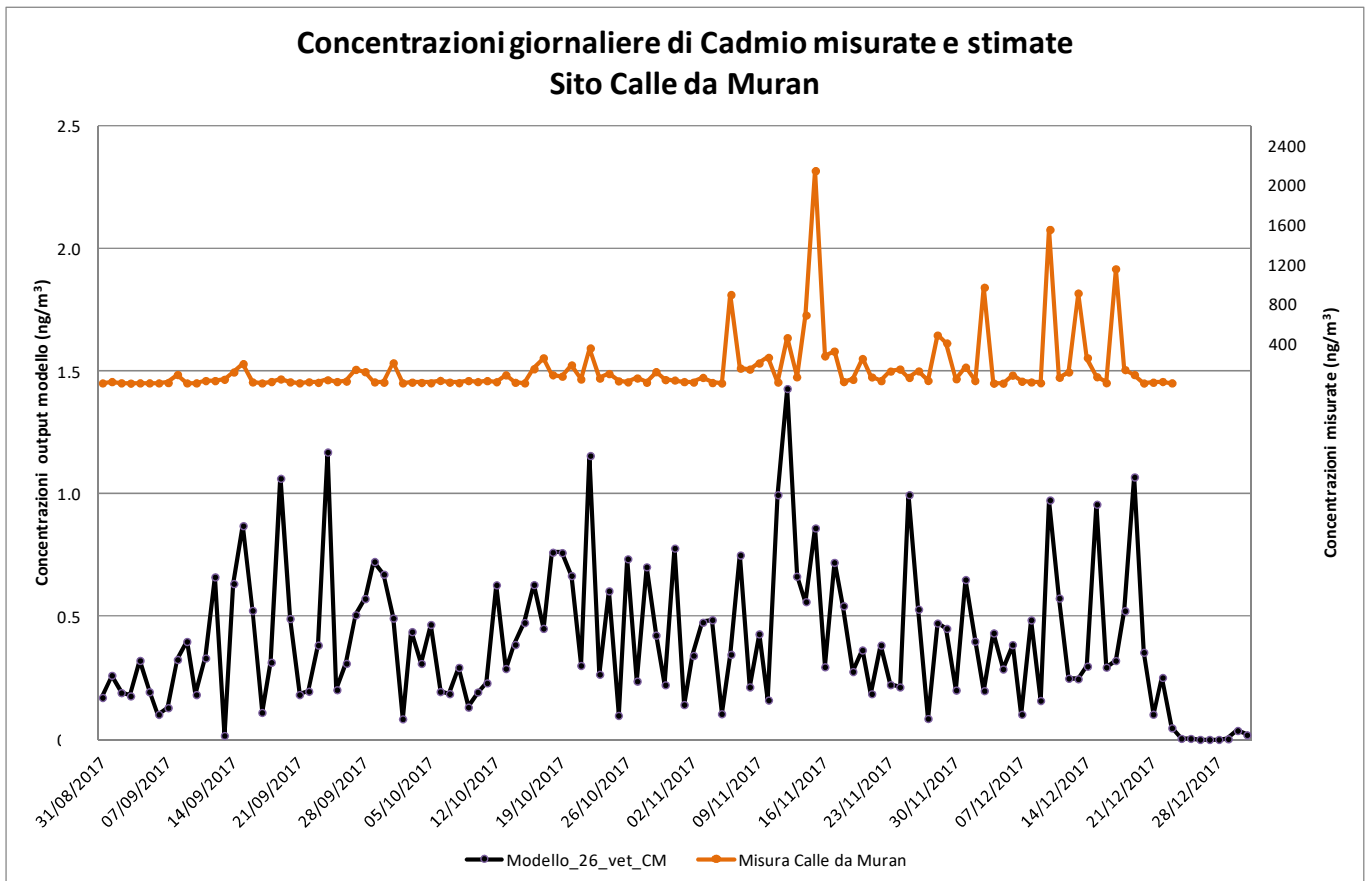


Figura 8. Confronto stime modellistiche e misure per sito di Sacca Serenella.



L'analisi visiva della sovrapposizione delle concentrazioni giornaliere misurate e stimate dal modello dei 3 grafici mostra come, per tutti i 3 siti indagati, non vi sia una evidente corrispondenza temporale tra i picchi di concentrazione misurati in alcuni giorni e le corrispondenti stime modellistiche.

Nelle misure si evidenziano infatti concentrazioni giornaliere molto elevate ma sporadiche, mentre le stime modellistiche sono molto più omogenee tra un giorno e l'altro.

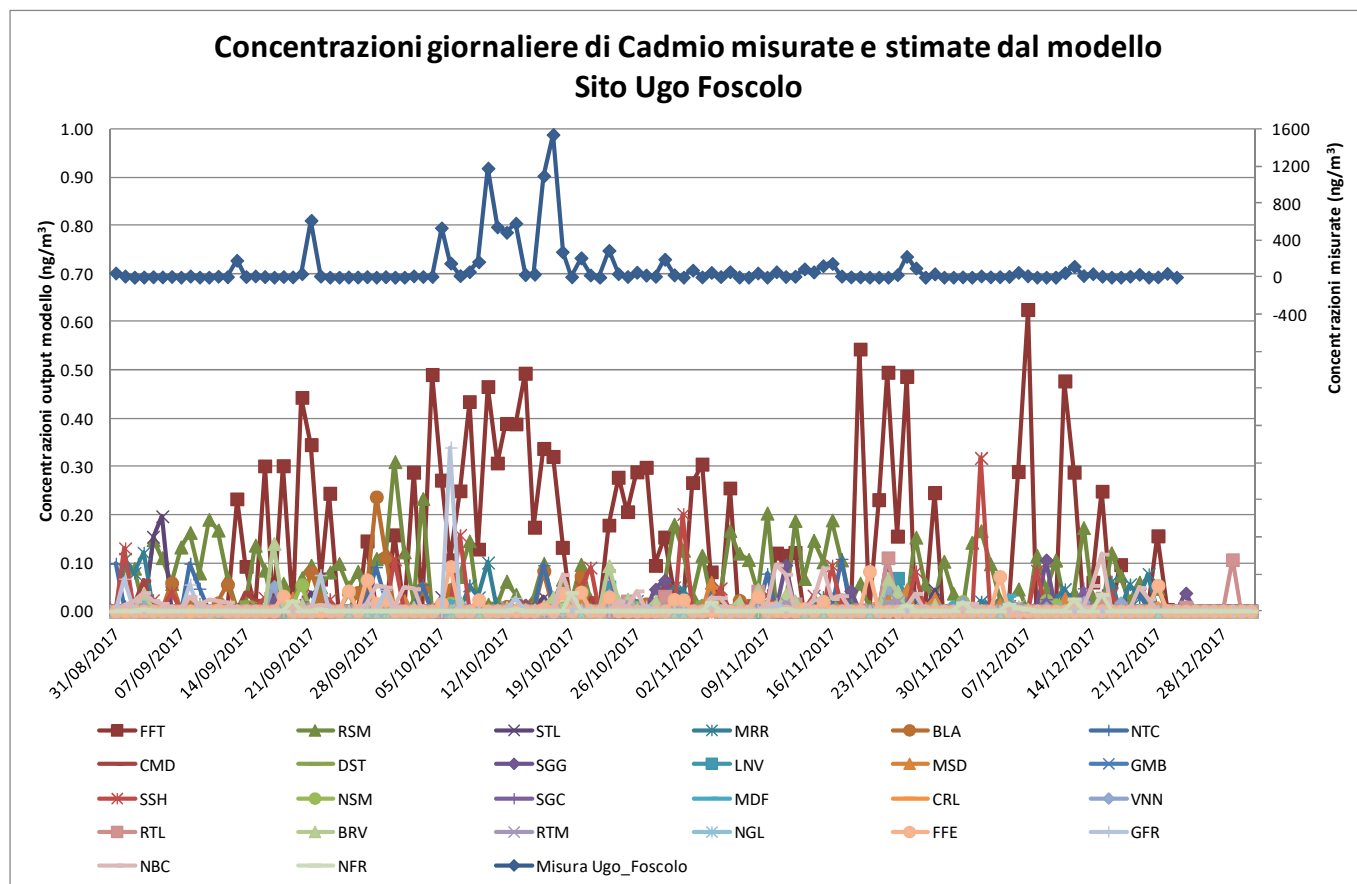
Tenendo presente che la stima modellistica, per quanto soggetta ad errore, esprime comunque una risposta in proporzione alle emissioni inserite in input, si può certamente concludere che la variabilità emissiva giorno per giorno delle 26 vetrerie così come desunta dalle ipotesi svolte in premessa (emissione di Cadmio per le ore di fusione con portate omogenee e rispetto dei limiti di concentrazione a camino) non può giustificare una simile variabilità nei valori di concentrazione al suolo.

In altre parole, i valori di concentrazione giornalieri molto elevati di alcuni giorni testimoniano una situazione emissiva del tutto diversa rispetto a quella associata ai valori di concentrazione giornalieri numericamente prevalenti.

## 5.2 Confronto tra le stime modellistiche associate a ciascuna vetreria sui punti di misura

In Figura 9 sono nuovamente ritratte le concentrazioni giornaliere misurate nel sito di Ugo Foscolo (serie delle misure in alto, con valori da leggersi nell'asse verticale di destra) mentre al di sotto sono ritratti gli output modellistici ottenuti per ciascuna delle 26 vetrerie (serie degli output modellistici in basso, con valori da leggersi nell'asse verticale di sinistra).

Figura 9. Confronto misure e stime modellistiche delle singole vetrerie per il sito di Ugo Foscolo.





La diversa concentrazione stimata per la singola vetreria sul punto di misura giorno per giorno dipende essenzialmente da due fattori:

- se la vetreria quel giorno ha fatto fusioni (dato desunto dalla temperatura registrata dal telecontrollo);
- se il pennacchio è stato trasportato e disperso verso il punto di misura (situazione ricostruita dal modello sulla base delle misure meteo); questa situazione a sua volta dipende dalla distanza camino – punto di misura e dall’altezza del camino e dalla spinta sia termica che meccanica dei fumi emessi.

Per come è stato impostato l’input modellistico, il flusso di massa emesso dalla singola vetreria, quando non è nullo, è sempre uguale e pari al valore ottenuto moltiplicando la portata dei fumi per la massima concentrazione autorizzata (valore dei flussi di massa già richiamati in Tabella 4).

Il diverso valore delle concentrazioni associate alle diverse vetrerie è dovuto:

- alla diversa entità del flusso di massa ricostruito per esse;
- alla diversa posizione e distanza rispetto al sito di misura;
- alla diversa spinta termica (temperatura dei fumi) e meccanica dei fumi (velocità di uscita).

Sempre per il sito di Ugo Foscolo, in Figura 10, sono nuovamente ritratte le concentrazioni giornaliere misurate ma affiancate dalle sole 5 vetrerie che risultano essere più vicine al sito in questione, mentre in Figura 11 sono ritratte le sole 5 vetrerie che risultano, col metodo applicato, avere maggiori emissioni nel periodo.

Figura 10. Confronto misure e stime modellistiche delle 5 vetrerie più vicine al sito di Ugo Foscolo.

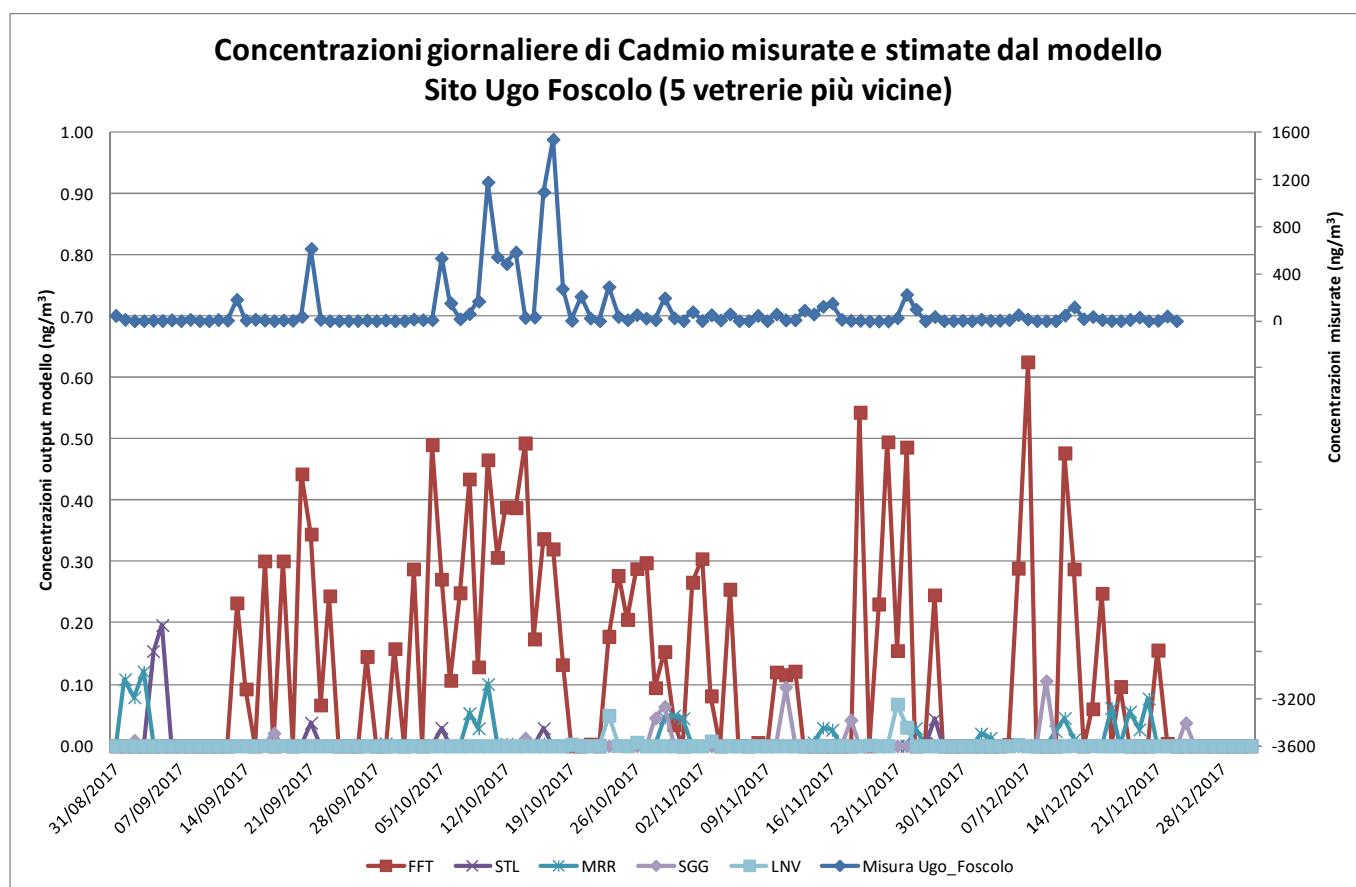
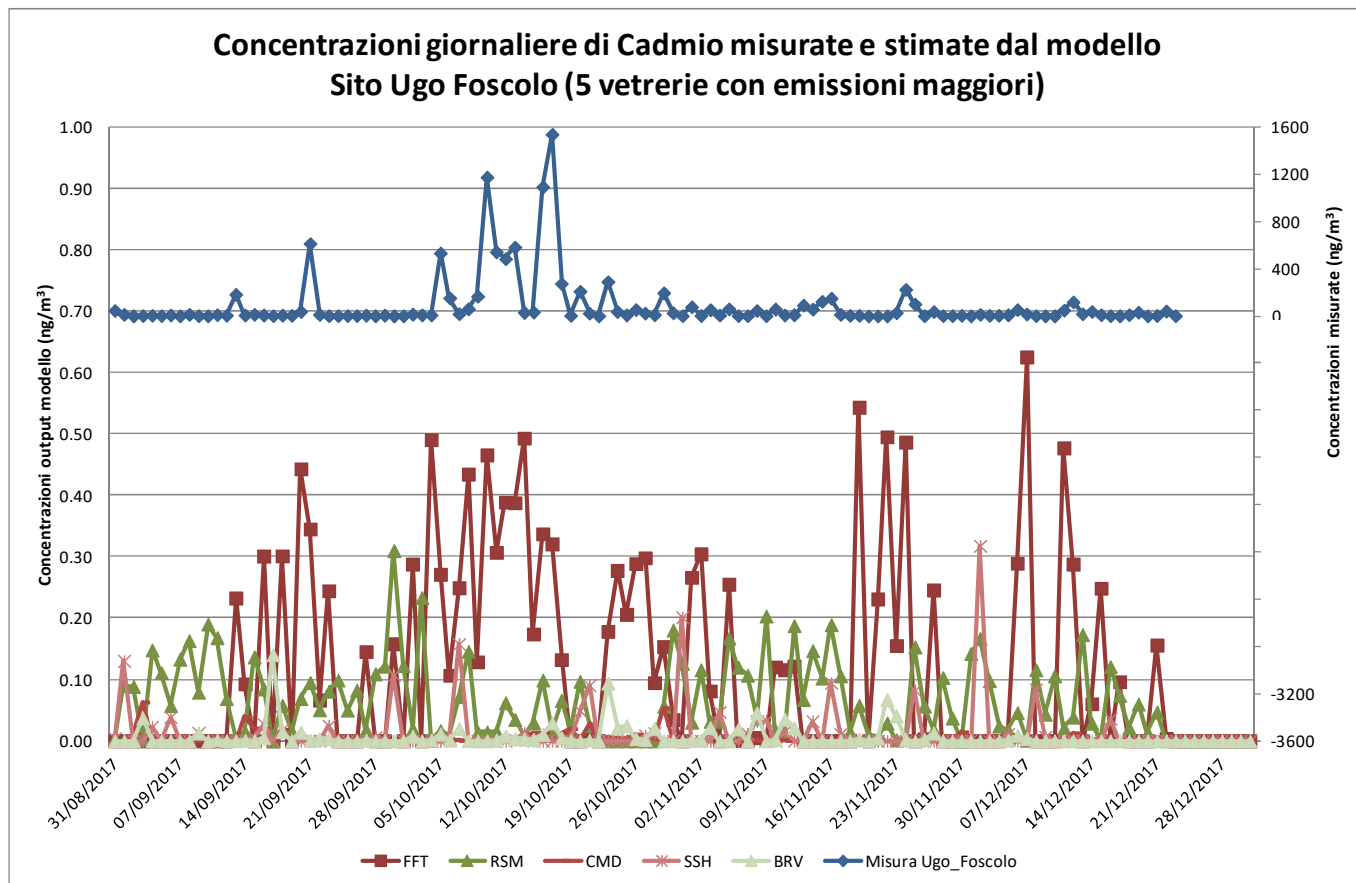


Figura 11. Confronto misure e stime modellistiche delle 5 vetrerie con più emissioni stimate, sito di Ugo Foscolo.



Lo stesso confronto tra stime modellistiche ottenute per le varie vetrerie è riproposto per il sito di Sacca Serenella (da Figura 12 a Figura 14) e per Calle da Muran (da Figura 15 a Figura 17).

Figura 12. Confronto misure e stime modellistiche delle singole vetrerie per il sito di Sacca Serenella.

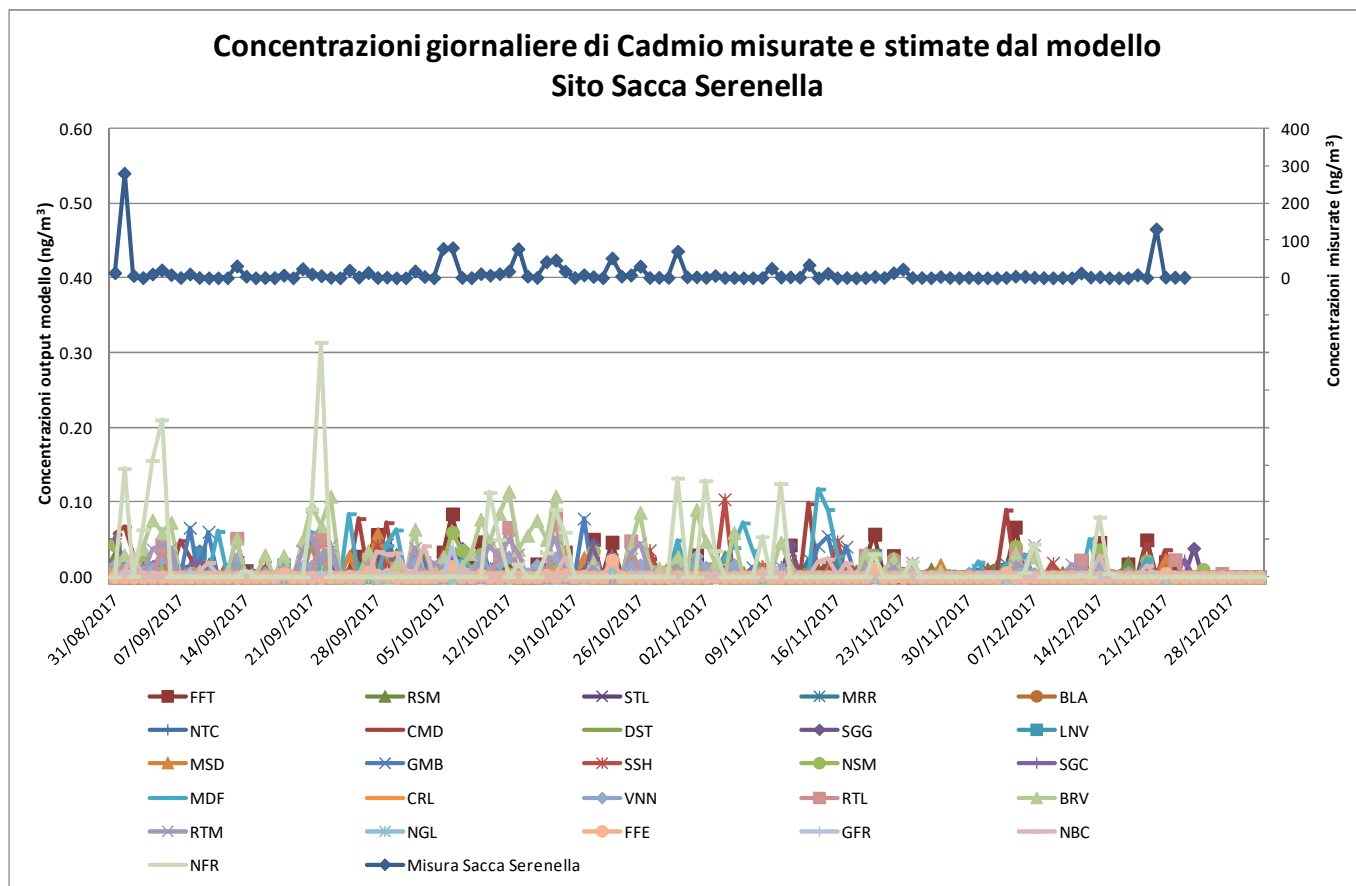


Figura 13. Confronto misure e stime modellistiche delle 5 vetrerie più vicine, sito di Sacca Serenella.

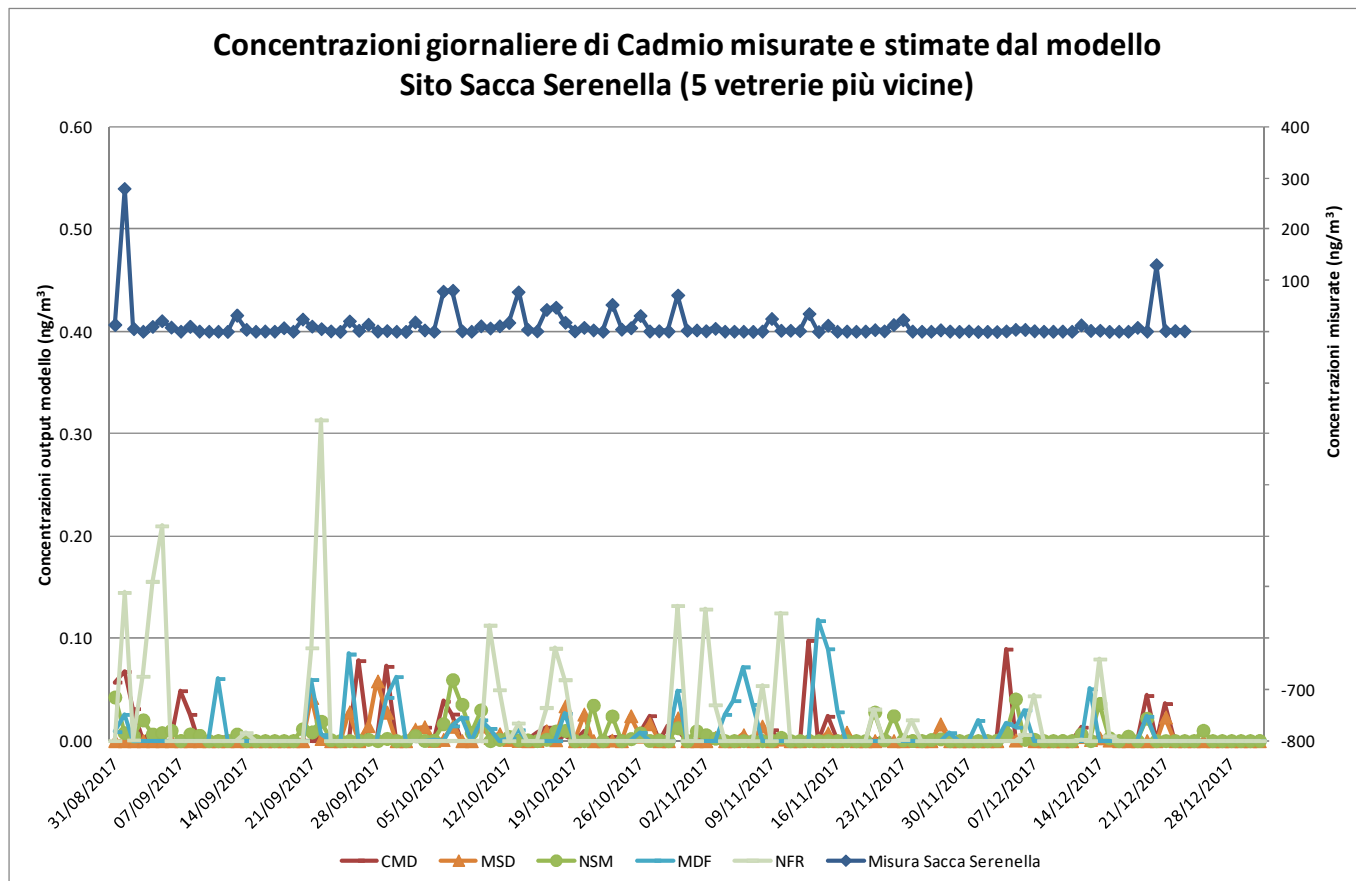


Figura 14. Confronto misure e stime modellistiche delle 5 vetrerie con più emissioni stimate, sito di Sacca Serenella.

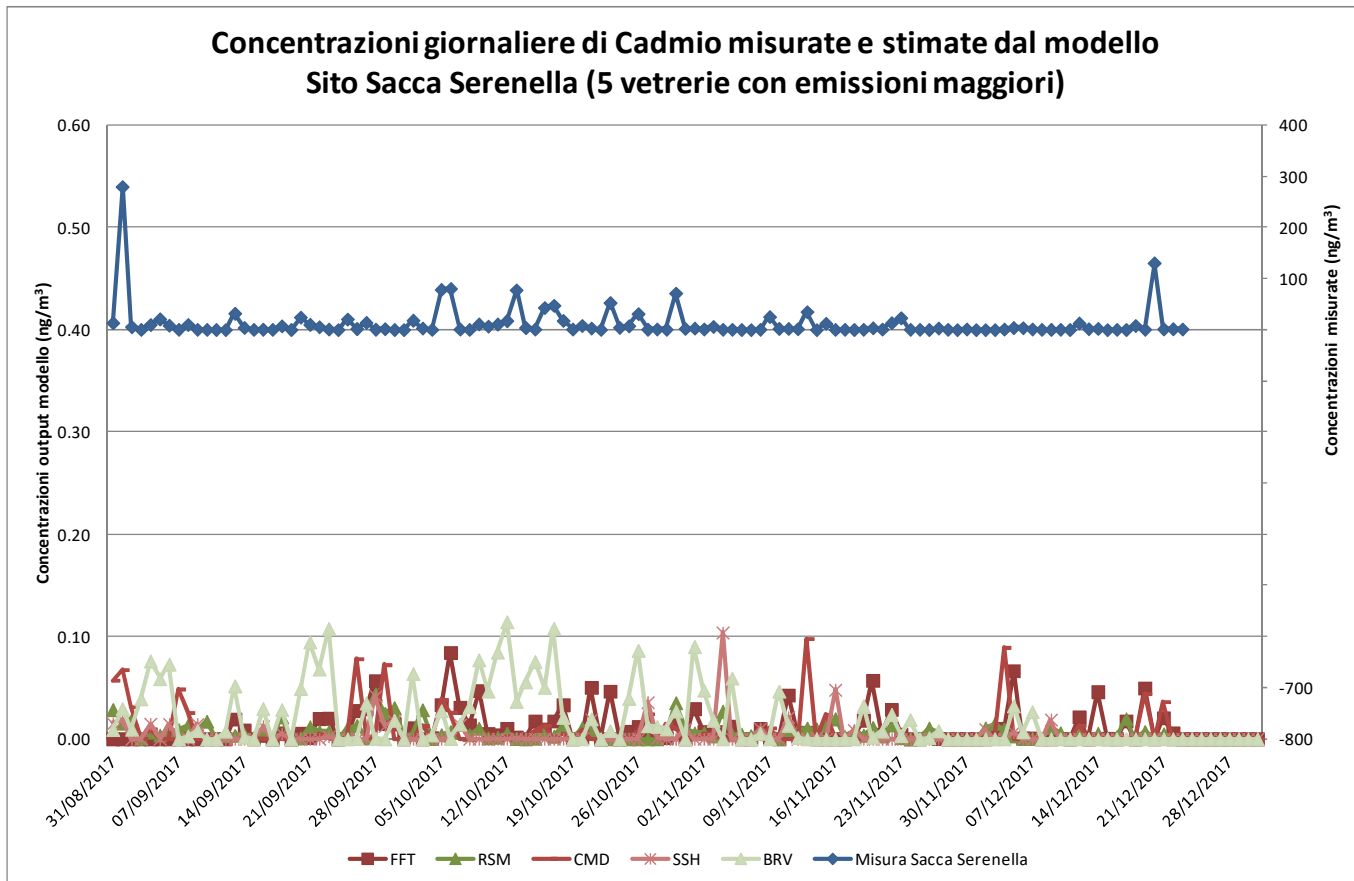


Figura 15. Confronto misure e stime modellistiche delle singole vetrerie per il sito di Calle da Muran.

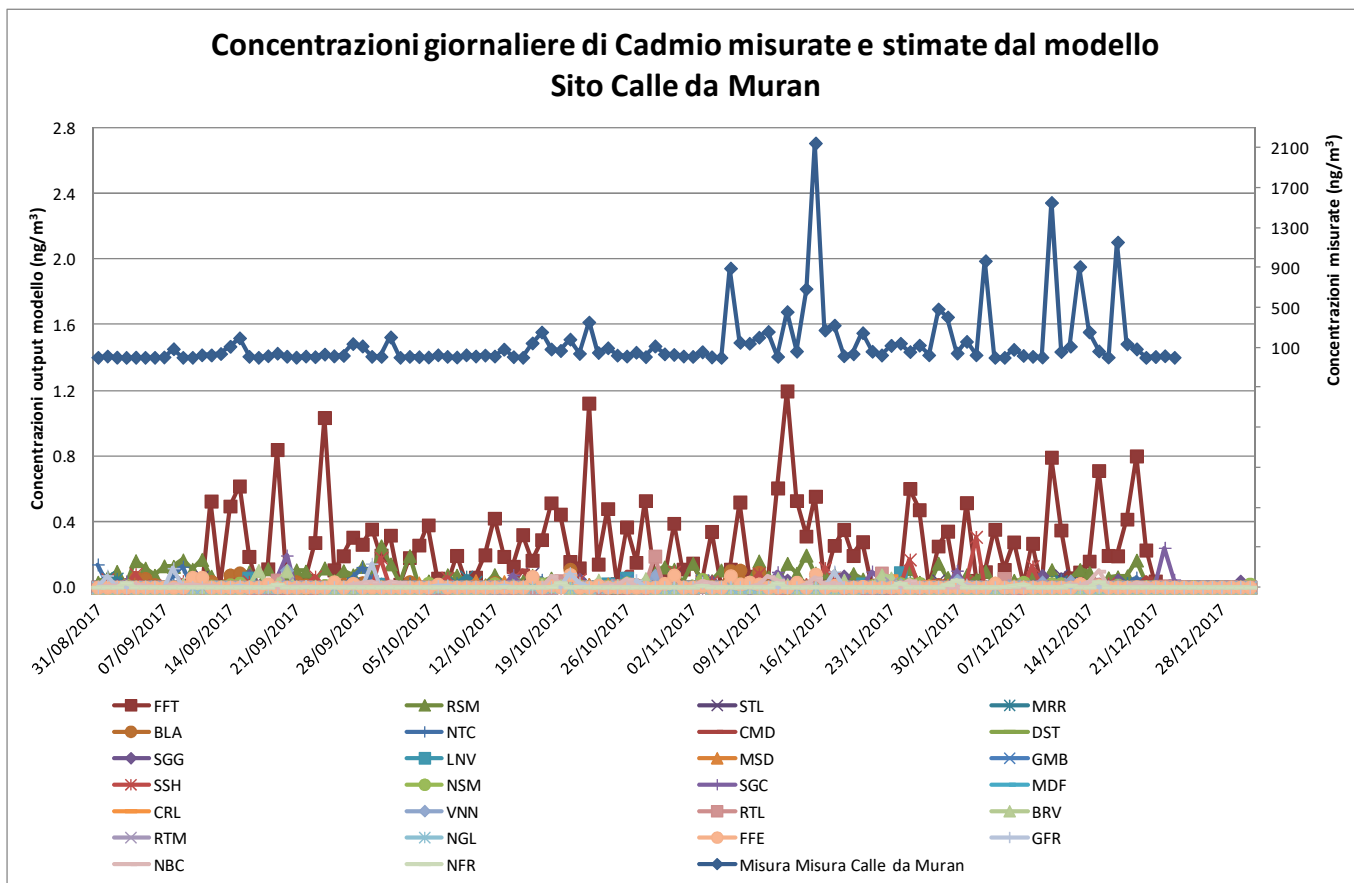


Figura 16. Confronto misure e stime modellistiche delle 5 vetrerie con più emissioni stimate, sito di Calle da Muran.

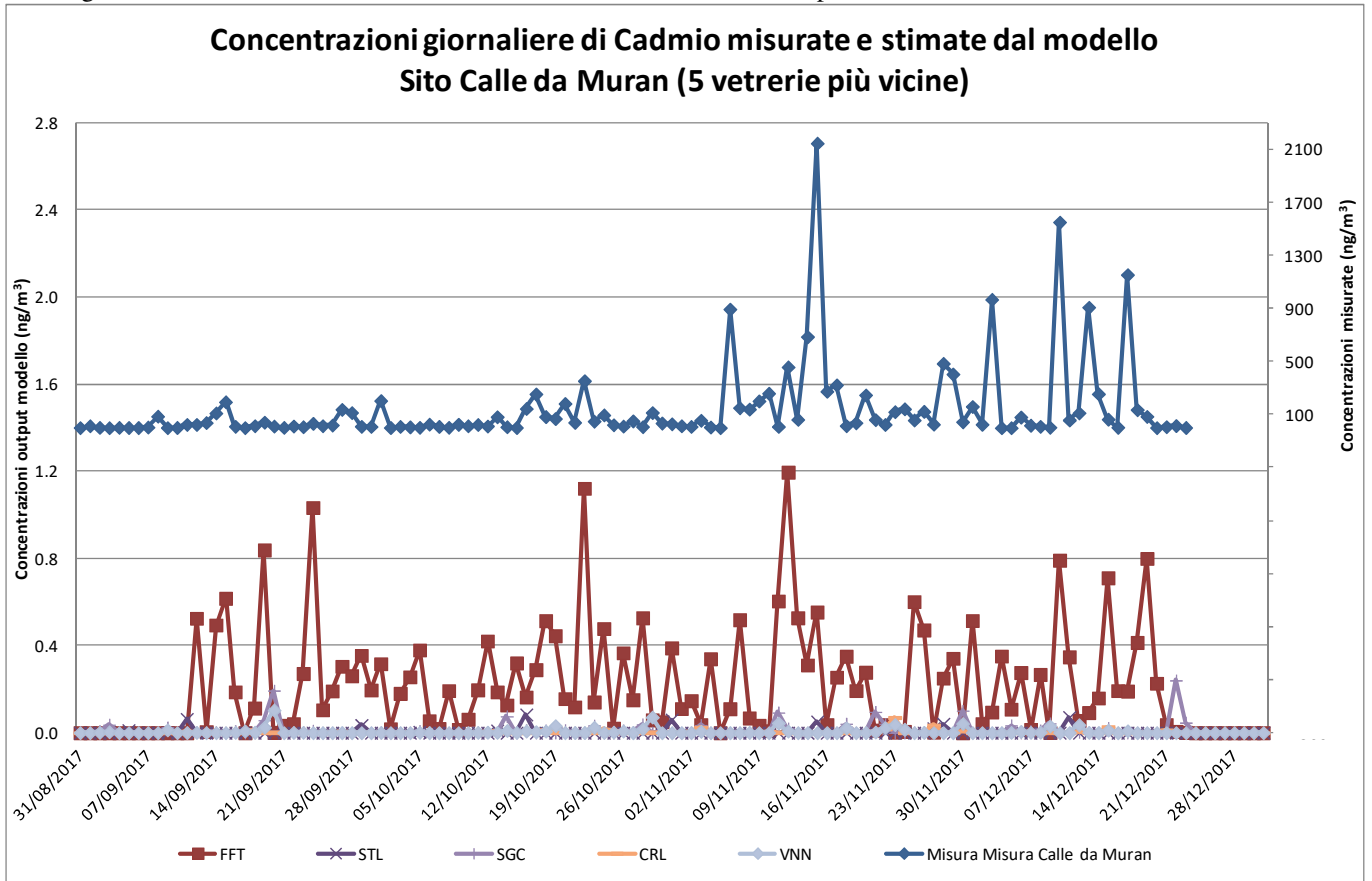
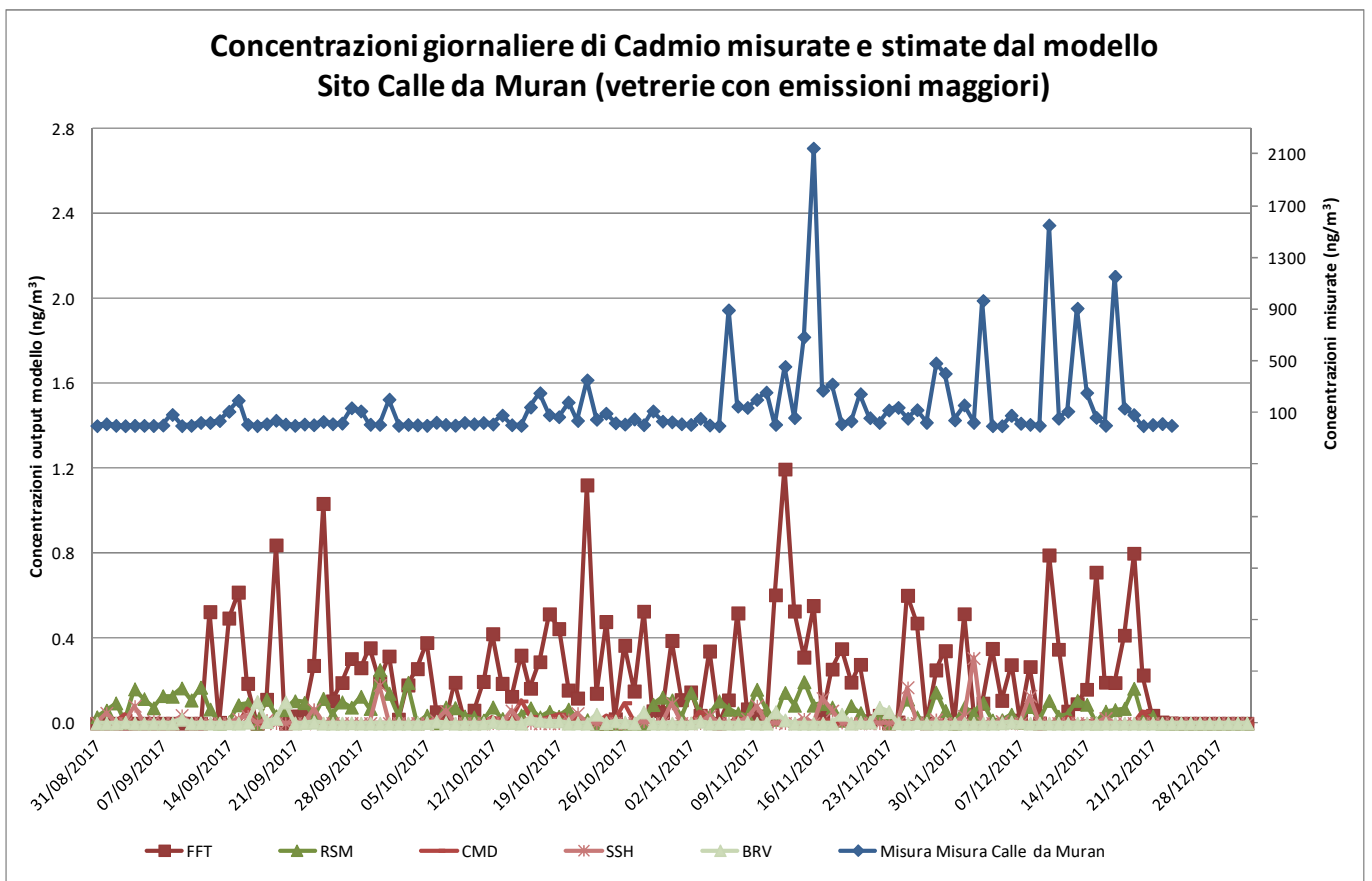


Figura 17. Confronto misure e stime modellistiche delle 5 vetrerie più vicine, sito di Marco da Muran.



### 5.3 Analisi di correlazione tra misure e stime modellistiche

Nel presente paragrafo si sviluppa quantitativamente l'analisi dell'associazione temporale tra la serie delle misure giornaliere di ciascuno dei 3 siti e le corrispondenti stime modellistiche.

Si richiama come la correlazione tra due set di dati non dipenda dai valori assoluti assunti dalle grandezze in esame bensì dalla rispettiva variazione relativa: una correlazione positiva significa che all'aumentare di una grandezza si associa anche l'aumento dell'altra.

In considerazione della osservazione precedentemente esposta, ovvero che le misure di concentrazione giornaliera testimoniano una situazione molto diversificata tra valori di picco e valori più frequenti di entità molto inferiore, l'analisi di correlazione è stata svolta, oltre che su tutto il set di coppie misura-modello, anche sui due sottoinsiemi ricavati selezionando solo le misure al di sotto di una soglia e poi solo le misure al di sopra di tale soglia.

Questa differenziazione dell'analisi vuole indagare se vi siano delle correlazioni significative che si vadano ad evidenziare per queste due diverse situazioni ambientali: le concentrazioni di picco e quelle delle giornate numericamente prevalenti.

Per ciascuno dei 3 siti in questione, è stata calcolata la correlazione misura-modello prendendo in considerazione sia l'output modellistico associato alla singola vetreria, che l'output modellistico composto dalla somma dei contributi delle 26 vetrerie sul punto di misura.

La correlazione è calcolata sia mediante il coefficiente di correlazione lineare di Pearson, adatto a serie di dati che seguono una distribuzione di tipo normale, sia mediante la correlazione non parametrica di Spearman che più correttamente si applica a serie di dati che non seguono un andamento normale, come nel caso ambientale in esame.

Si precisa, comunque, che una correlazione positiva e significativa tra due grandezze non dà alcuna informazione definitiva circa la relazione causa effetto tra le coppie di grandezze indagate. Una correlazione positiva significativa potrebbe essere infatti associata ad una coincidenza nella simultanea variazione delle grandezze indagate o ad una dipendenza comune da un fattore causa per entrambe.

Questo è un caso tipico della ricerca ambientale dove non sono rari i casi di correlazione significativa tra due grandezze dovute in realtà alla dipendenza da un terzo fattore che agisce su entrambe e che nella ricerca non viene primariamente indagato.

Nel caso in questione, si stanno in realtà trattando due serie di dati completamente diversi: da una parte le misure di concentrazione ambientale e dall'altra la stima ottenuta con un modello che calcola in senso deterministico le concentrazioni ambientali sulla base di una variabilità emissiva (le ore di fusione) e di una variabilità meteorologica (che agisce sul trasporto e dispersione del pennacchio emesso dal camino).

Questa precisazione è importante perché si vuole sottolineare come la presente analisi non possa ritenersi conclusiva di alcun aspetto di causa effetto, quanto invece dare alcuni ulteriori elementi di ragionamento e di conoscenza rispetto a quanto finora approfondito.

#### 5.3.1 Sito Ugo Foscolo

In Tabella 7 sono presentati i coefficienti di correlazione di Pearson e di Spearman affiancati dai relativi livelli di significatività (*p value*).

I coefficienti di correlazione sono calcolati su tutto il set di dati e poi su due diversi sottoinsiemi che si ottengono dividendo le misure tra concentrazioni inferiori e superiori al valore soglia (arbitrario) di 100 ng/m<sup>3</sup>.

In tabella sono evidenziate in grassetto le correlazioni che risultano significative con un errore inferiore all'1% (*p value* minore di 0.01, evidenziato in rosso). Si tratta di valori positivi della correlazione e

dunque le variazioni delle grandezze analizzate seguono lo stesso verso: all'aumentare di una grandezza si associa l'aumento dell'altra.

Prendendo in considerazione tutte le 112 misure disponibili (prima parte di Tabella 7):

- nel caso della correlazione lineare di Pearson si osserva una correlazione significativa con l'output modellistico della EFFETRE MURANO (FFT) e con l'output modellistico composto dai contributi delle 26 vetrerie;
- nel caso della correlazione non parametrica di Spearman, la correlazione significativa della EFFETRE (FFT) si conferma e se ne evidenziano delle altre, in particolare quelle di: COMPONENTI DONÀ (CMD), MOSAICI DONÀ MURANO (MSD), GAMBARO & TAGLIAPIETRA (GMB), LAVORAZIONI ARTISTICHE DI AMADI FABIANO (MDF), CARLO MORETTI (CRL), BAROVIER & TOSO VETRERIE ARTISTICHE RIUNITE (BRV), ARTIGIANATO MURANESE (RTM), nonché quella con l'output modellistico composto delle 26 vetrerie.

Nel sottoinsieme delle 92 misure sotto i  $100 \text{ ng/m}^3$  (seconda parte di Tabella 7), si evidenziano le seguenti correlazioni positive significative:

- nel caso della correlazione lineare di Pearson quella della EFFETRE (FFT);
- nel caso della correlazione non parametrica di Spearman, si conferma quella della EFFETRE (FFT), ed inoltre si evidenziano quelle di CARLO MORETTI (CRL), BAROVIER & TOSO VETRERIE ARTISTICHE RIUNITE (BRV), ARTIGIANATO MURANESE (RTM), ANGELO ORSONI (NGL), nonché l'output modellistico composto dai contributi delle 26 vetrerie.

Nell'ultimo sottoinsieme delle 20 misure sopra i  $100 \text{ ng/m}^3$  (terza parte di Tabella 7), si evidenziano le seguenti correlazioni positive significative:

- nel caso della correlazione lineare di Pearson quella della EFFETRE (FFT);
- nel caso della correlazione non parametrica di Spearman, quella della EFFETRE (FFT) e di BAROVIER & TOSO VETRERIE ARTISTICHE RIUNITE (BRV).

Tabella 7. Matrice di correlazione tra misure ed output modellistici, sito di Ugo Foscolo (\*).

Sito	Ugo Foscolo											
	Tutte				Misure sotto 100 ng/m3				Misure sopra 100 ng/m3			
Osservazioni	112				92				20			
Tipo Correlazione	Linear Pearson		Spearman's rs		Linear Pearson		Spearman's rs		Linear Pearson		Spearman's rs	
	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)
<b>FFT</b>	<b>0.3988</b>	<b>1.33E-05</b>	<b>0.51946</b>	<b>4.39E-09</b>	<b>0.3269</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.44885</b>	<b>7.21E-06</b>	<b>0.58639</b>	<b>0.00658</b>	<b>0.73233</b>	<b>0.000241</b>
RSM	-0.1345	0.15726	-0.2244	0.017377	-0.1628	0.1209	-0.21946	0.03556	-0.20282	0.39111	-0.19398	0.4125
STL	0.0445	0.64148	0.13569	0.15371	-0.0702	0.5059	-0.03743	0.72316	0.31429	0.17717	0.49366	0.02696
MRR	0.1045	0.27286	0.20942	0.026689	-0.0358	0.7345	0.081551	0.43964	0.15247	0.52104	-0.2004	0.39691
BLA	0.1139	0.23185	0.19977	0.034704	-0.1469	0.1623	0.030711	0.77135	0.18306	0.43982	0.32726	0.15899
NTC	0.1054	0.26861	0.038716	0.68526	0.0250	0.8131	0.080447	0.44588	0.47619	0.033797	0.15272	0.52035
<b>CMD</b>	0.0022	0.98184	<b>0.2552</b>	<b>0.006617</b>	-0.0365	0.7299	0.21043	0.04408	-0.12493	0.59972	0.023396	0.92201
DST	0.0133	0.88925	0.15017	0.11401	0.0110	0.9171	0.15491	0.14036	-0.08255	0.72936	0.19359	0.41347
SGG	-0.0534	0.57592	-0.14644	0.12338	-0.1132	0.2826	-0.06685	0.52664	-0.1417	0.55124	-0.09946	0.67652
LNV	0.0397	0.67778	0.17315	0.06789	0.1019	0.3338	0.167	0.11158	-0.14546	0.5406	-0.20486	0.38626
<b>MSD</b>	0.0594	0.53391	<b>0.34952</b>	<b>0.000159</b>	0.2591	0.0126	0.24273	0.019736	-0.09549	0.68881	0.30717	0.18771
<b>GMB</b>	-0.0005	0.9961	<b>0.25799</b>	<b>0.006026</b>	0.2517	0.0155	0.14142	0.17874	-0.09571	0.68813	0.023045	0.92317
SSH	-0.0956	0.316	-0.10298	0.27991	-0.0800	0.4482	-0.04953	0.6392	-0.30639	0.1889	-0.39953	0.080945
NSM	-0.0335	0.72567	0.22448	0.017337	0.0527	0.6177	0.14395	0.17101	-0.25521	0.2775	0.19578	0.4081
SGC	0.0167	0.86111	0.11446	0.22949	-0.0564	0.5931	0.093207	0.37685	-0.06653	0.7805	0.33247	0.15207
<b>MDF</b>	-0.0115	0.90461	<b>0.2612</b>	<b>0.005406</b>	0.0103	0.9221	0.14459	0.16909	-0.13735	0.56363	0.10864	0.64845
<b>CRL</b>	0.0865	0.36459	<b>0.36291</b>	<b>8.41E-05</b>	0.2254	0.0307	<b>0.33696</b>	<b>0.001022</b>	0.5211	0.018471	0.49405	0.026822
VNN	0.0255	0.78993	0.21096	0.02557	-0.0542	0.6076	0.18595	0.075941	-0.04454	0.8521	0.42169	0.064045
RTL	-0.0387	0.68512	0.15433	0.10423	0.1369	0.1933	0.13841	0.18824	-0.13682	0.56517	0.1041	0.66227
<b>BRV</b>	0.0891	0.35004	<b>0.27399</b>	<b>0.003464</b>	0.0102	0.9229	<b>0.2723</b>	<b>0.008641</b>	0.15749	0.50726	<b>0.70635</b>	<b>0.0005</b>
<b>RTM</b>	0.0386	0.68585	<b>0.35522</b>	<b>0.000121</b>	0.1525	0.1468	<b>0.29172</b>	<b>0.00478</b>	0.25392	0.28002	0.52957	0.016335
<b>NGL</b>	-0.0307	0.74762	0.16779	0.077007	0.2466	0.0178	<b>0.33219</b>	<b>0.001216</b>	-0.17306	0.4656	-0.15165	0.52332
FFE	0.0153	0.87245	0.16534	0.081471	-0.0872	0.4084	0.027194	0.79693	-0.30377	0.19289	-0.12211	0.60805
GFR	0.0152	0.87368	0.1829	0.053576	0.0027	0.9797	0.2156	0.039018	-0.1616	0.49609	-0.05163	0.82887
NBC	-0.0926	0.3313	0.030368	0.7506	0.0621	0.5565	0.041581	0.69392	-0.32868	0.15709	-0.51094	0.021321
NFR	-0.0563	0.55512	0.075007	0.43186	-0.0356	0.7362	0.15747	0.13384	-0.22357	0.34338	-0.24506	0.2977
<b>Somma_26vet</b>	<b>0.3640</b>	<b>7.96E-05</b>	<b>0.46348</b>	<b>2.66E-07</b>	0.2070	0.0477	<b>0.33835</b>	<b>0.000971</b>	0.41946	0.065613	0.4782	0.03295

(\*) in grassetto sono evidenziate le vetrerie per le quali almeno uno dei coefficienti di correlazione è significativo.



### 5.3.2 Sito Sacca Serenella

In Tabella 9 sono presentati i coefficienti di correlazione di Pearson e di Spearman affiancati dai relativi livelli di significatività (*p value*) per il sito di Sacca Serenella.

I coefficienti di correlazione sono calcolati su tutto il set di dati e poi su i due diversi sottoinsiemi che si ottengono dividendo le misure tra concentrazioni inferiori e superiori al valore soglia (arbitrario) di 20 ng/m<sup>3</sup>.

In tabella sono evidenziate in grassetto le correlazioni che risultano significative con un errore inferiore all'1% (*p value* minore di 0.01, evidenziato in rosso). Si tratta di valori positivi della correlazione e dunque le variazioni delle grandezze analizzate seguono lo stesso verso: all'aumentare di una grandezza si associa l'aumento dell'altra.

Prendendo in considerazione tutte le **115** misure disponibili (prima parte di Tabella 9):

- nel caso della correlazione lineare di Pearson si osserva una correlazione significativa con l'output modellistico di LA MURRINA (MRR), COMPONENTI DONÀ (CMD), EUGENIO FERRO & C. 1929 (GFR), ANFORA DI RENZO FERRO (NFR) e quello della somma delle 26 vetrerie;
- nel caso della correlazione non parametrica di Spearman, si confermano le correlazioni significative di citate, tranne quelle di LA MURRINA (MRR) e EUGENIO FERRO (GFR), e si aggiungono parecchie altre: EFFETRE (FFT), STRIULLI A. VETRI D'ARTE (STL), VETRERIA ARTISTICA OBALL (BLA), ANTICHI ANGELI (NTC), COMPONENTI DONÀ (CMD), LINEA VALENTINA (LNV), DONA' MURANO (MSD), NASON MORETTI (NSM), SIMONE GIOVANNI CENEDESE MURANO (SGC), CARLO MORETTI (CRL), VENINI (VNN), VETRERIA 3 ARTISTICO LAMPADARI (RTL), BAROVIER & TOSO VETRERIE ARTISTICHE RIUNITE (BRV), ARTIGIANATO MURANESE (RTM), VETRERIA ARTISTICA EFFE (FFE), per un totale di 17 correlazioni significative.

Nel sottoinsieme delle **98** misure sotto i 20 ng/m<sup>3</sup> (seconda parte di Tabella 9), si evidenziano le seguenti correlazioni positive significative:

- nel caso della correlazione lineare di Pearson quella di MOSAICI DONA' MURANO (MSD), NASON MORETTI (NSM), SIMONE GIOVANNI CENEDESE MURANO (SGC), CARLO MORETTI (CRL), VENINI (VNN), VETRERIA 3 ARTISTICO LAMPADARI (RTL), BAROVIER & TOSO VETRERIE ARTISTICHE RIUNITE (BRV) ARTIGIANATO MURANESE (RTM) e dell'output somma delle 26 vetrerie;
- nel caso della correlazione non parametrica di Spearman, si confermano tutte quelle già citate e si aggiungono quelle di EFFETRE (FFT), di VETRERIA ARTISTICA OBALL (BLA), di ANTICHI ANGELI (NTC), di COMPONENTI DONÀ (CMD), di LINEA VALENTINA (LNV) e di ANFORA DI RENZO FERRO (NFR).

Nell'ultimo sottoinsieme delle **17** misure sopra i 20 ng/m<sup>3</sup> (terza parte di Tabella 9), si evidenzia una sola correlazione positiva significativa per la vetreria SSHG (SSH) e nel solo caso della correlazione lineare di Pearson.

Si precisa però che per il sottoinsieme delle 17 misure sopra la soglia analizzata si hanno, per la vetreria SSHG, solo 4 casi di output maggiori di zero. La correlazione, per quanto statisticamente significativa, è da considerarsi con estrema cautela e di fatto essa non è confermata utilizzando la correlazione non parametrica di Spearman.

Tabella 8. Matrice di correlazione tra misure ed output modellistici, sito di Sacca Serenella (\*).

Sito	Sacca Serenella											
	Tutte				Misure sotto 20 ng/m3				Misure sopra 20 ng/m3			
Osservazioni	115				98				17			
Tipo Correlazione	Linear Pearson		Spearman's rs		Linear Pearson		Spearman's rs		Linear Pearson		Spearman's rs	
	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)
FFT	0.096353	0.30566	<b>0.37664</b>	<b>3.34E-05</b>	0.19184	<b>0.002117</b>	<b>0.11145</b>	<b>0.000185</b>	-0.01842	0.94407	0.23096	0.37246
RSM	0.076051	0.4192	0.12259	0.19184	0.11889	0.24362	0.16972	0.094782	0.26106	0.3115	0.044172	0.86632
STL	0.019743	0.83411	<b>0.28377</b>	<b>0.002117</b>	0.14282	0.16065	0.20333	0.04464	-0.17505	0.50158	-0.00659	0.97998
MRR	<b>0.35109</b>	<b>0.00012</b>	0.14923	0.11145	0.0278	0.78583	0.12787	0.20956	0.52561	0.030243	0.09464	0.71787
BLA	-0.00673	0.94308	<b>0.3418</b>	<b>0.000185</b>	0.055339	0.58836	<b>0.3414</b>	<b>0.000581</b>	-0.1161	0.65723	0.058385	0.82386
NTC	0.088919	0.34465	<b>0.29409</b>	<b>0.001422</b>	0.081639	0.4242	<b>0.32097</b>	<b>0.001271</b>	0.46134	0.062317	0.18112	0.48662
CMD	<b>0.30147</b>	<b>0.00106</b>	<b>0.39554</b>	<b>1.21E-05</b>	0.074959	0.46321	<b>0.36336</b>	<b>0.000236</b>	0.43101	0.084123	0.48064	0.050824
DST	0.095995	0.30747	0.14534	0.12118	0.04366	0.66948	0.012712	0.90113	-0.19131	0.46201	-0.24482	0.34362
SGG	-0.08037	0.39318	-0.18724	0.045102	-0.0934	0.36031	-0.09829	0.3356	nd	nd	nd	nd
LNV	0.23614	0.011062	<b>0.29411</b>	<b>0.001421</b>	0.21241	0.035743	<b>0.285</b>	<b>0.00445</b>	0.54894	0.022486	0.012348	0.96248
MSD	0.024692	0.79337	<b>0.34056</b>	<b>0.000196</b>	<b>0.29955</b>	<b>0.002731</b>	<b>0.34486</b>	<b>0.000506</b>	-0.1346	0.60652	0.04259	0.87107
GMB	-0.04949	0.59944	-0.01185	0.89994	0.1347	0.18603	-0.00932	0.92739	-0.16765	0.52011	-0.17031	0.51343
SSH	0.004663	0.96056	-0.04796	0.6108	-0.10472	0.3048	-0.01119	0.91295	<b>0.88653</b>	<b>2.14E-06</b>	0.45446	0.066851
NSM	0.17938	0.055078	<b>0.5066</b>	<b>7.62E-09</b>	<b>0.28479</b>	<b>0.00448</b>	<b>0.48647</b>	<b>3.8E-07</b>	0.096583	0.71231	0.30901	0.22749
SGC	0.18326	0.049943	<b>0.40776</b>	<b>6.09E-06</b>	<b>0.40245</b>	<b>3.99E-05</b>	<b>0.44208</b>	<b>5.18E-06</b>	0.048132	0.85445	0.10773	0.68068
MDF	0.059584	0.52703	0.023127	0.8062	0.027991	0.78439	-0.01168	0.90911	0.10658	0.68391	0.20649	0.42653
CRL	0.19806	0.033856	<b>0.51378</b>	<b>4.3E-09</b>	<b>0.55538</b>	<b>2.93E-09</b>	<b>0.54548</b>	<b>6.32E-09</b>	-0.15128	0.56219	-0.0927	0.72345
VNN	0.18331	0.049879	<b>0.51056</b>	<b>5.56E-09</b>	<b>0.51015</b>	<b>8.06E-08</b>	<b>0.55004</b>	<b>4.45E-09</b>	-0.08374	0.74933	-0.0172	0.94776
RTL	0.078751	0.40282	<b>0.26761</b>	<b>0.003835</b>	<b>0.39982</b>	<b>4.53E-05</b>	<b>0.30175</b>	<b>0.002531</b>	-0.16014	0.53925	-0.04015	0.8784
BRV	0.12811	0.17244	<b>0.48615</b>	<b>3.63E-08</b>	<b>0.45896</b>	<b>2E-06</b>	<b>0.50697</b>	<b>9.99E-08</b>	-0.1243	0.63455	-0.10565	0.68653
RTM	0.10505	0.26387	<b>0.57223</b>	<b>2.38E-11</b>	<b>0.53544</b>	<b>1.34E-08</b>	<b>0.55622</b>	<b>2.74E-09</b>	-0.3032	0.2368	-0.14988	0.56587
NGL	0.054375	0.56383	0.19278	0.039006	0.13569	0.18281	0.17236	0.089671	-0.14195	0.58681	-0.38966	0.12209
FFE	0.17266	0.065002	<b>0.30441</b>	<b>0.000941</b>	0.1733	0.087919	0.19566	0.053505	-0.00667	0.97973	0.2549	0.32347
GFR	<b>0.30178</b>	<b>0.001047</b>	0.20446	0.028391	0.10556	0.30094	0.20195	0.046138	0.20929	0.42014	0.57117	0.016626
NBC	-0.00924	0.92193	0.041068	0.663	0.073116	0.47431	-0.00654	0.94901	0.34116	0.18021	0.034935	0.89411
NFR	<b>0.25717</b>	<b>0.005529</b>	<b>0.2982</b>	<b>0.001209</b>	0.17109	0.092101	<b>0.32585</b>	<b>0.00106</b>	0.3273	0.1997	0.091926	0.72567
Somma_26vet	<b>0.3222</b>	<b>4.45E-04</b>	<b>0.54227</b>	<b>3.86E-10</b>	<b>0.5061</b>	<b>1.06E-07</b>	<b>0.54372</b>	<b>7.22E-09</b>	0.27052	0.29365	0.15573	0.5506

(\*) in grassetto sono evidenziate le vetterie per le quali almeno uno dei coefficienti di correlazione è significativo.

### 5.3.3 Sito Calle da Muran

In Tabella 9 sono presentati i coefficienti di correlazione di Pearson e di Spearman affiancati dai relativi livelli di significatività (*p value*) per il sito di Calle da Muran.

I coefficienti di correlazione sono calcolati su tutto il set di dati e poi su i due diversi sottoinsiemi che si ottengono dividendo le misure tra concentrazioni inferiori e superiori al valore soglia (arbitrario) di 100 ng/m<sup>3</sup>.

In tabella sono evidenziate in grassetto le correlazioni che risultano significative con un errore inferiore all'1% (*p value* minore di 0.01, evidenziato in rosso). Si tratta di valori positivi della correlazione e dunque le variazioni delle grandezze analizzate seguono lo stesso verso: all'aumentare di una grandezza si associa l'aumento dell'altra.

Prendendo in considerazione tutte le **113** misure disponibili (prima parte di Tabella 9):

- nel caso della correlazione lineare di Pearson si osserva una correlazione significativa con l'output modellistico della EFFETRE (FFT) e con l'output modellistico della VETRERIA ARTISTICA EFFE (FFE);
- nel caso della correlazione non parametrica di Spearman, si confermano le correlazioni significative della EFFETRE (FFT) e della VETRERIA ARTISTICA EFFE (FFE), a cui si aggiungono quella di MOSAICI DONA' (MSD) e quella della somma degli output modellistici delle 26 vetrerie.

Nel sottoinsieme delle **79** misure sotto i 100 ng/m<sup>3</sup> (seconda parte di Tabella 9), si evidenziano le seguenti correlazioni positive significative:

- nel caso della correlazione lineare di Pearson quella di EFFETRE (FFT), MOSAICI DONA' MURANO (MSD), CARLO MORETTI (CRL), NUOVA BIEMMECI (NBC) e dell'output somma delle 26 vetrerie;
- nel caso della correlazione non parametrica di Spearman, si confermano quelle di EFFETRE (FFT), MOSAICI DONA' (MSD), CARLO MORETTI (CRL), e dell'output modellistico composto dai contributi delle 26 vetrerie, mentre si aggiungono quelle della VETRERIA ARTISTICA EFFE (FFE) e di NASON MORETTI (NSM).

Nell'ultimo sottoinsieme delle **34** misure sopra i 100 ng/m<sup>3</sup> (terza parte di Tabella 9), si evidenzia, per la correlazione di lineare di Pearson, la correlazione positiva significativa per la vetreria EFFETRE (FFT) e per la vetreria LA MURRINA (MRR), mentre per la correlazione di Sperman solo quella de LA MURRINA (MRR).

Tabella 9. Matrice di correlazione tra misure ed output modellistici, sito di Calle da Muran. (\*)

Sito	Calle da Muran											
	Tutte				Misure sotto 100 ng/m3				Misure sopra 100 ng/m3			
Osservazioni	113				79				34			
Tipo Correlazione	Linear Pearson		Spearman's rs		Linear Pearson		Spearman's rs		Linear Pearson		Spearman's rs	
	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)
<b>FFT</b>	<b>0.001421</b>	<b>0.000196</b>	<b>0.89994</b>	0.6108	<b>7.62E-09</b>	<b>6.09E-06</b>	<b>0.8062</b>	<b>4.3E-09</b>	<b>5.56E-09</b>	<b>0.003835</b>	<b>3.63E-08</b>	<b>2.38E-11</b>
RSM	0.18363	0.051547	0.13863	0.14309	-0.09668	0.39664	-0.11465	0.31436	0.25058	0.15289	0.41665	0.014236
STL	0.16823	0.074895	0.017638	0.8529	0.099222	0.3843	0.049875	0.66247	0.25185	0.15075	0.19591	0.26682
<b>MRR</b>	0.12861	0.17461	0.12261	0.19577	-0.0169	0.88246	0.080989	0.47799	<b>0.49992</b>	<b>0.002608</b>	0.085705	0.62985
BLA	0.084572	0.37314	0.19905	0.03455	-0.15668	0.16792	0.050712	0.65716	-0.16925	0.33862	-0.16754	0.3436
NTC	-0.05387	0.5709	0.005984	0.94984	0.072038	0.52811	0.0607	0.59514	-0.20552	0.24359	-0.2938	0.091694
CMD	-0.12962	0.17119	-0.04315	0.64995	0.043652	0.70247	0.17781	0.11693	-0.27902	0.11004	-0.31396	0.070568
DST	-0.03226	0.73446	0.12808	0.17638	-0.03911	0.73221	0.020442	0.85808	-0.25584	0.14417	-0.36624	0.033147
SGG	0.051824	0.58566	-0.11677	0.21808	-0.17928	0.1139	-0.22862	0.04271	0.36743	0.032537	0.36082	0.036042
LVN	-0.04255	0.65454	0.14147	0.135	0.060575	0.5959	0.1984	0.079643	-0.14765	0.40468	-0.23961	0.17229
<b>MSD</b>	-0.05393	0.57047	<b>0.32024</b>	<b>0.000545</b>	<b>0.39954</b>	<b>0.000265</b>	<b>0.42956</b>	<b>7.8E-05</b>	-0.25351	0.14799	-0.3117	0.072729
GMB	-0.07565	0.42582	0.05023	0.59726	0.14637	0.19804	0.23627	0.036052	-0.17125	0.33284	-0.30056	0.084131
SSH	-0.08216	0.38696	-0.10899	0.25049	-0.05834	0.60957	-0.14712	0.19573	-0.14432	0.41545	0.012685	0.94324
NSM	-0.00954	0.92016	0.10327	0.27637	0.21722	0.054485	<b>0.32107</b>	<b>0.003914</b>	-0.05826	0.74344	-0.2327	0.18538
SGC	-0.12551	0.1853	-0.17972	0.056819	-0.02282	0.84178	0.051279	0.65357	-0.10851	0.54131	-0.21751	0.21657
MDF	-0.05699	0.54883	0.058198	0.54035	-0.02617	0.81892	0.12164	0.28555	-0.05441	0.75989	0.16625	0.34737
<b>CRL</b>	-0.0716	0.45106	0.003375	0.9717	<b>0.32524</b>	<b>0.003449</b>	<b>0.31997</b>	<b>0.004045</b>	-0.13958	0.43109	-0.19652	0.26531
VNN	-0.08697	0.35966	0.007454	0.93755	0.027059	0.81287	0.13801	0.22517	-0.19525	0.26846	-0.30981	0.074578
RTL	-0.03681	0.69867	0.030514	0.74834	0.14168	0.21295	0.22659	0.044635	-0.11656	0.51151	-0.26828	0.125
BRV	-0.1157	0.22235	-0.08746	0.35698	-0.078	0.49445	0.11052	0.33223	-0.17407	0.32482	-0.27842	0.11084
RTM	-0.10092	0.28754	0.007162	0.93998	0.097314	0.39355	0.24228	0.031452	-0.18452	0.29617	-0.38067	0.026348
NGL	-0.09846	0.29948	0.012205	0.89791	0.1511	0.18376	0.14961	0.18817	-0.17099	0.3336	-0.32334	0.062137
<b>FFE</b>	<b>0.31533</b>	<b>0.000669</b>	<b>0.29499</b>	<b>0.001515</b>	0.081227	0.47669	<b>0.34481</b>	<b>0.001859</b>	0.32577	0.06009	-0.00753	0.96628
GFR	-0.03432	0.71822	0.015962	0.86673	0.15691	0.16728	0.19226	0.089598	-0.10587	0.55123	-0.09299	0.60094
<b>NBC</b>	0.14713	0.11992	0.095635	0.31364	<b>0.30827</b>	<b>0.005711</b>	0.050426	0.65897	0.22263	0.20568	-0.00931	0.95833
NFR	-0.07012	0.46052	0.042461	0.6552	0.2268	0.044431	0.23139	0.04019	-0.13193	0.45703	-0.13481	0.44718
<b>Somma_26vet</b>	0.23576	1.19E-02	<b>0.39225</b>	<b>1.73E-05</b>	<b>0.3746</b>	<b>6.71E-04</b>	<b>0.35605</b>	<b>1.28E-03</b>	0.18673	2.90E-01	0.062185	7.27E-01

(\*) in grassetto sono evidenziate le vetrerie per le quali almeno uno dei coefficienti di correlazione è significativo..

## 6 Concentrazioni massime stimate per ciascuna vetreria

Nel presente paragrafo si confrontano le concentrazioni massime del dominio di studio stimate per ciascuna vetreria. In Tabella 10 viene in particolare presentato il massimo valore spaziale stimato dal modello sia per la concentrazione dei 4 mesi del periodo di analisi, sia per la media giornaliera.

Tabella 10. Concentrazioni di Cadmio massime nel dominio di studio stimate dal modello per ciascuna vetreria(\*).

Codice Vetreria	Massima concentrazione del quadrimestre	Massima concentrazione giornaliera
	(ng/m <sup>3</sup> )	(ng/m <sup>3</sup> )
BLA	0.05	0.7
BRV	0.18	1.5
CMD	0.04	0.3
CRL	0.02	0.2
DST	0.02	0.6
FFE	0.13	1.8
FFT	0.20	1.2
GFR	0.05	0.7
GMB	0.01	0.3
LNV	0.02	0.4
MDF	0.04	0.4
MRR	0.01	0.2
MSD	0.03	0.3
NBC	0.12	1.6
NFR	0.03	0.3
NGL	0.07	1.1
NSM	0.03	0.4
NTC	0.08	1.0
<b>RSM</b>	<b>0.37</b>	1.2
RTL	0.03	0.7
RTM	0.10	0.7
SGC	0.11	0.7
<b>SGG</b>	0.05	<b>2.4</b>
SSH	0.08	0.8
STL	0.004	0.2
VNN	0.04	0.2
Somma_26vet	<b>0.58</b>	<b>6.2</b>

(\*) in grassetto la stima maggiore tra le vetrerie e quello della somma dei 26 contributi.

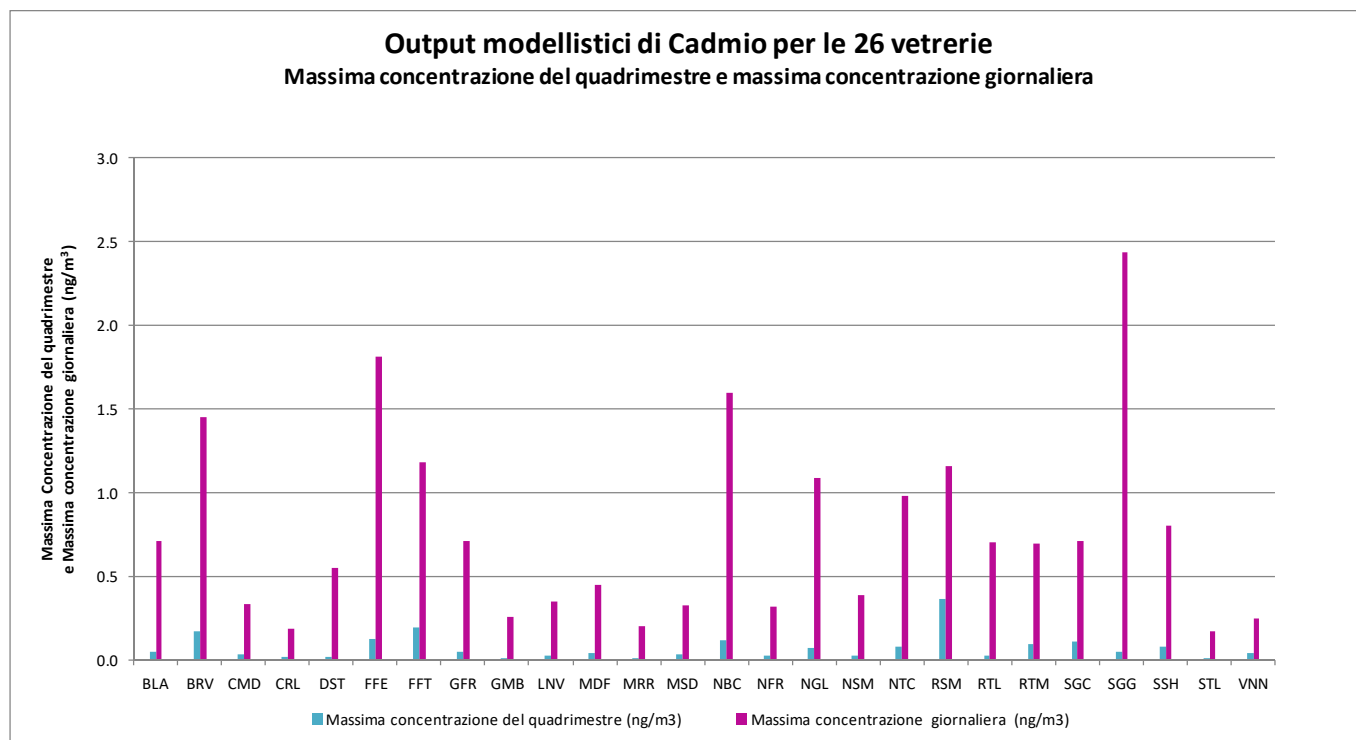
Per quanto riguarda la concentrazione media dei 4 mesi studiati, la massima concentrazione stimata dal modello è meno di 0.4 ng/m<sup>3</sup>, mentre se si considera la somma dei contributi delle 26 vetrerie si giunge a circa 0.6 ng/m<sup>3</sup>.

Considerando la media dei 4 mesi una buona approssimazione della media annuale, si può affermare che i risultati modellistici portano a concludere che le 26 vetrerie autorizzate alla fusione del cadmio non dovrebbero comportare alcun superamento del valore obiettivo di 5.0 ng/m<sup>3</sup> definito dal D. Lgs 155/2010 per la media annua di Cadmio, posto ovviamente che ciascuna vetreria rispetti i valori di emissione a camino autorizzati.

Per quanto riguarda la concentrazione massima giornaliera stimata dal modello, il valore più grande stimato per una singola vetreria è inferiore ai 3 ng/m<sup>3</sup> e la somma del contributo delle 26 vetrerie è di poco superiore ai 6 ng/m<sup>3</sup>.

Le massime concentrazioni spaziali di Tabella 10 sono anche ritratte nel grafico di Figura 18.

Figura 18. Concentrazioni di Cadmio massime nel dominio di studio stimate dal modello per ciascuna vetreria.



La concentrazione del quadrimestre e della giornata non seguono una stessa proporzionalità, per cui ad esempio le 3 vetrerie con maggiori concentrazioni giornaliere sono:

- SALVADORE (SGG),
- VETRERIA ARTISTICA EFFE (FFE),
- NUOVA BIEMMECI (NBC),

mentre le 3 vetrerie con maggiori concentrazioni nel quadrimestre sono, nell'ordine:

- ARS MURANO (RSM)
- EFFETRE (FFT),
- BAROVIER & TOSO VETRERIE ARTISTICHE RIUNITE (BRV).

A parità di condizioni meteorologiche e a parità di temperatura e velocità dei fumi a camino, le concentrazioni stimate dal modello sono direttamente proporzionali al flusso di massa inserito in input e inversamente proporzionali all'altezza del camino da cui avviene il rilascio.

Queste relazioni sono osservabili nei due grafici qui di seguito riportati (Figura 19 e Figura 20).

In Figura 19 si osserva, ad esempio, come, nonostante il maggiore flusso di massa sia quello della SSHG (SSH) sia, invece la SALVADORE (SGG) quella per la quale il modello stima maggiori concentrazioni al suolo in ragione di un camino di emissione del forno fusorio più basso.

Similmente in Figura 20 si osserva come la concentrazione massima del quadrimestre sia quella stimata per la vetreria (RSM) con un camino più basso di EFFETRE (FFT), a cui invece si associa un'emissione del quadrimestre maggiore.

Figura 19. Concentrazioni giornaliere di Cadmio massime nel dominio di studio stimate dal modello per ciascuna vetreria e relativo flusso di massa ed altezza camino.

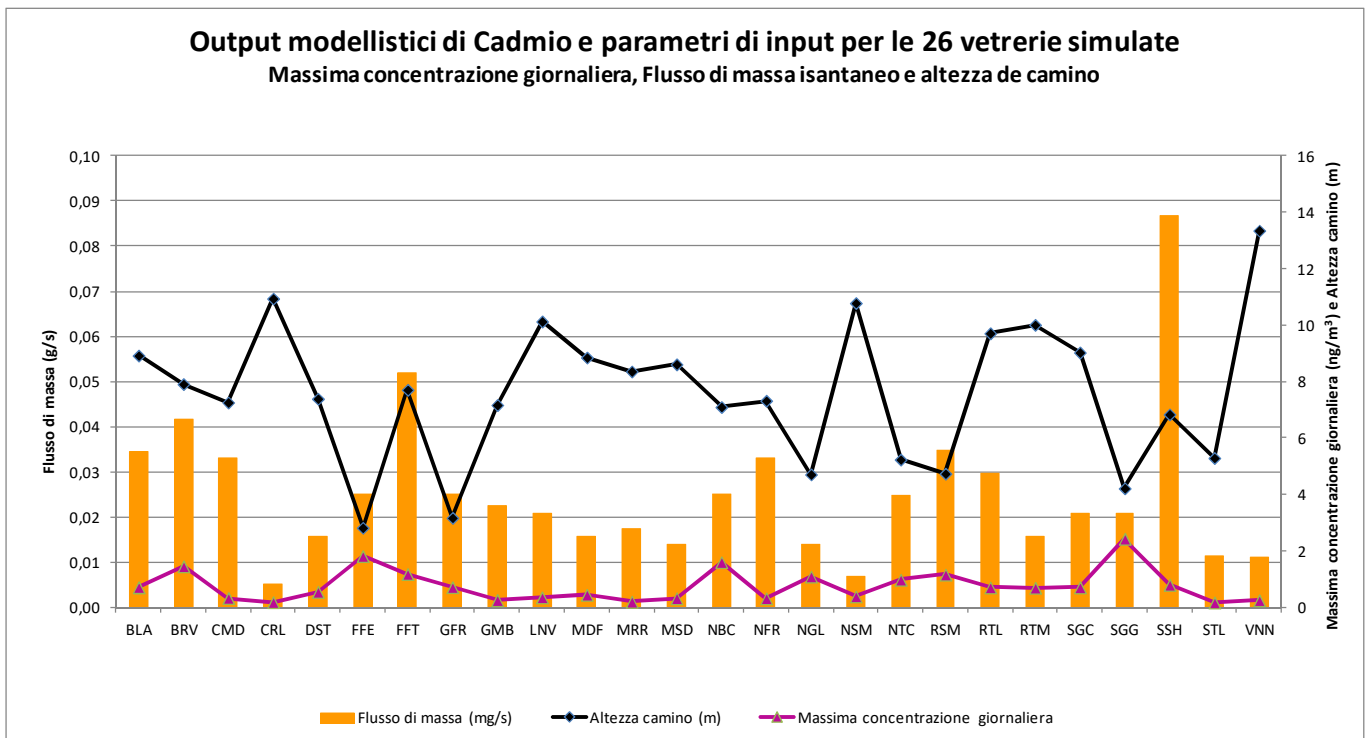
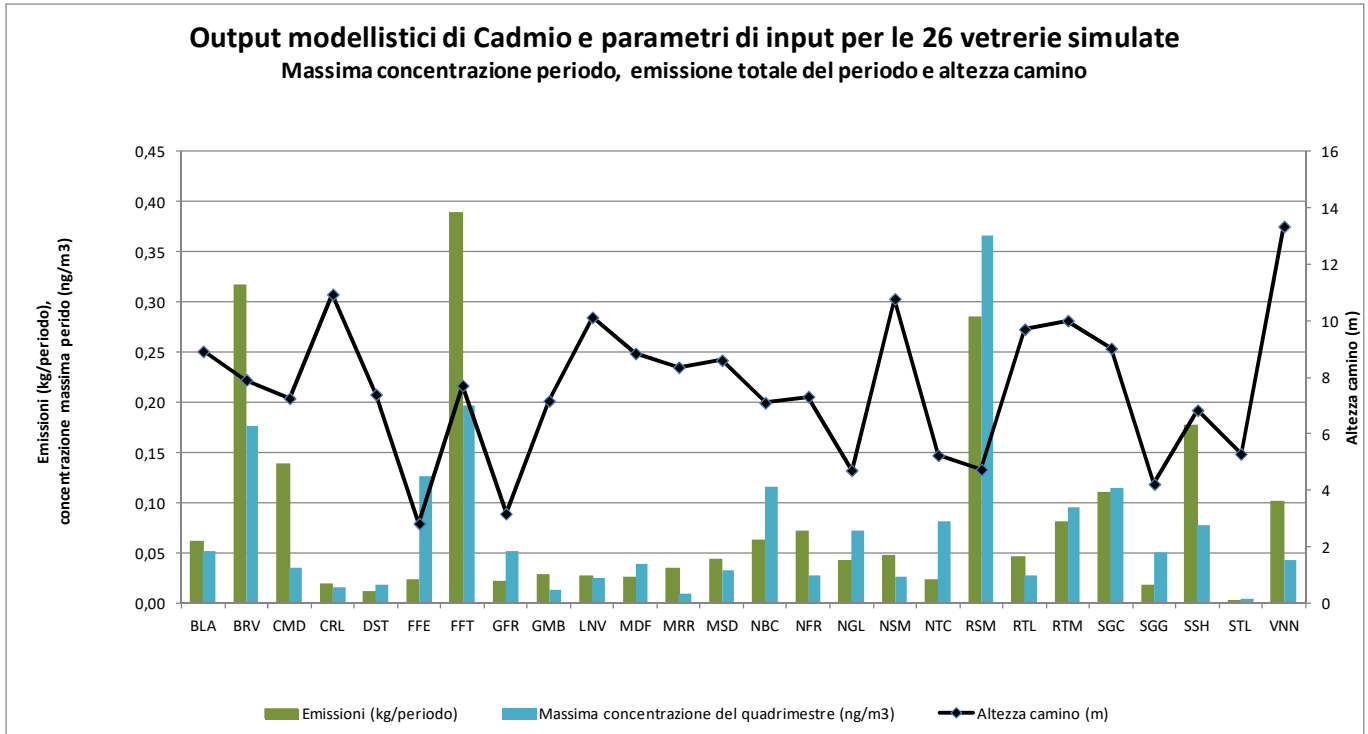
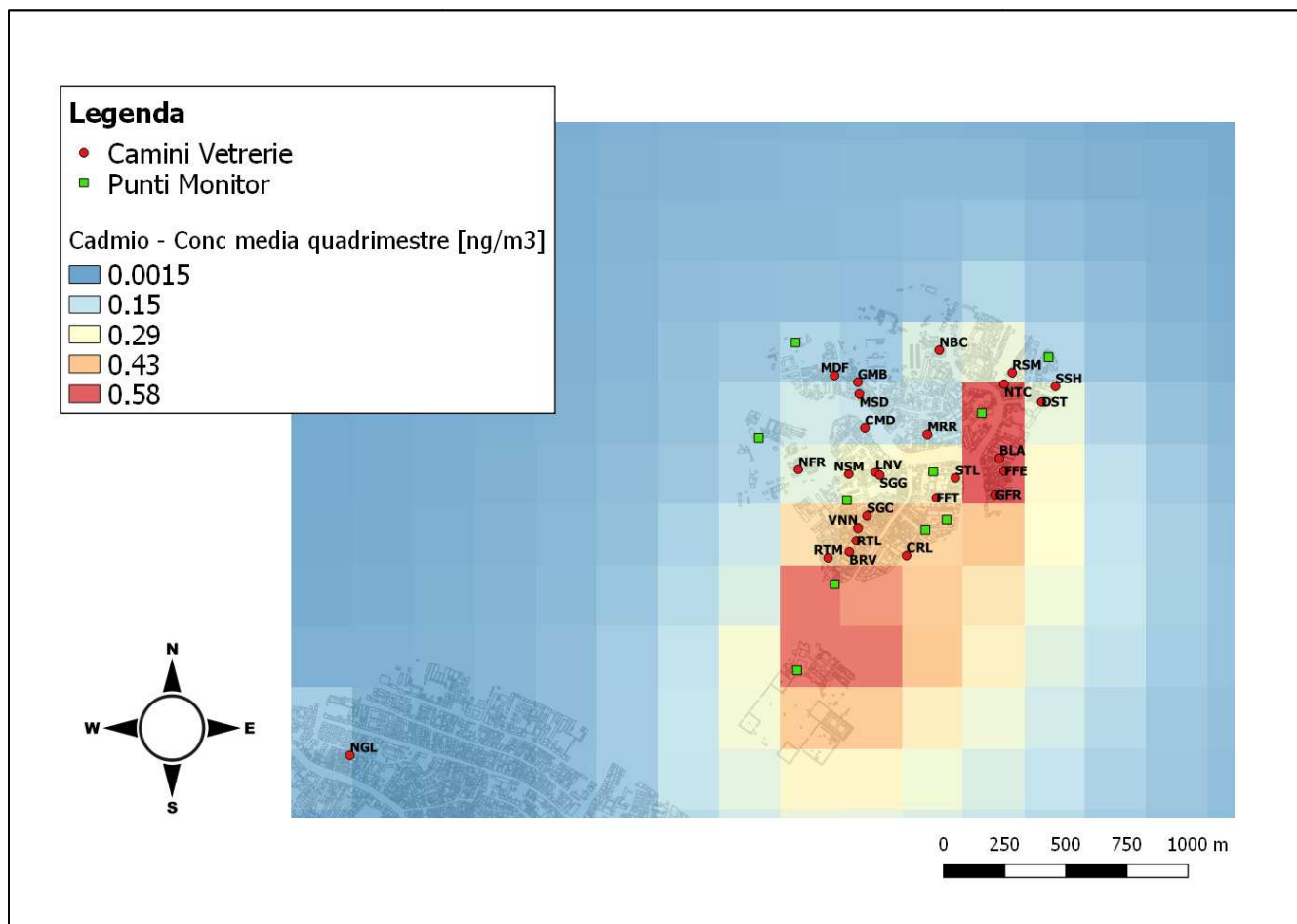


Figura 20. Concentrazioni del quadrimestre di Cadmio massime nel dominio di studio stimate dal modello per ciascuna vetreria e relativa emissione del periodo e altezza camino.



In Figura 21 è ritratta la mappa delle concentrazioni medie dei 4 mesi stimate dal modello componendo il segnale delle 26 vetrerie.

Figura 21. Concentrazioni di Cadmio stimate dal modello: media settembre-dicembre 2017.



Il valore massimo stimato dal modello come somma del contributo delle 26 vetrerie è pari a circa 0.6 ng/m<sup>3</sup> e viene stimato nelle due celle a Est e NE del punto di monitoraggio di Ugo Foscolo.

In Figura 22 è ritratta la mappa delle concentrazioni massime giornaliere stimate dal modello componendo il segnale delle 26 vetrerie ed in Figura 23 la medesima mappa con lo zoom su Murano.

Il valore massimo della concentrazione giornaliera stimato dal modello come somma del contributo delle 26 vetrerie è pari a circa 6.2 ng/m<sup>3</sup> e viene stimato nelle due celle a Est e NE del punto di monitoraggio di Ugo Foscolo.



Figura 22. Concentrazioni di Cadmio stimate dal modello: massimi giornalieri, periodo sett-dic 2017.

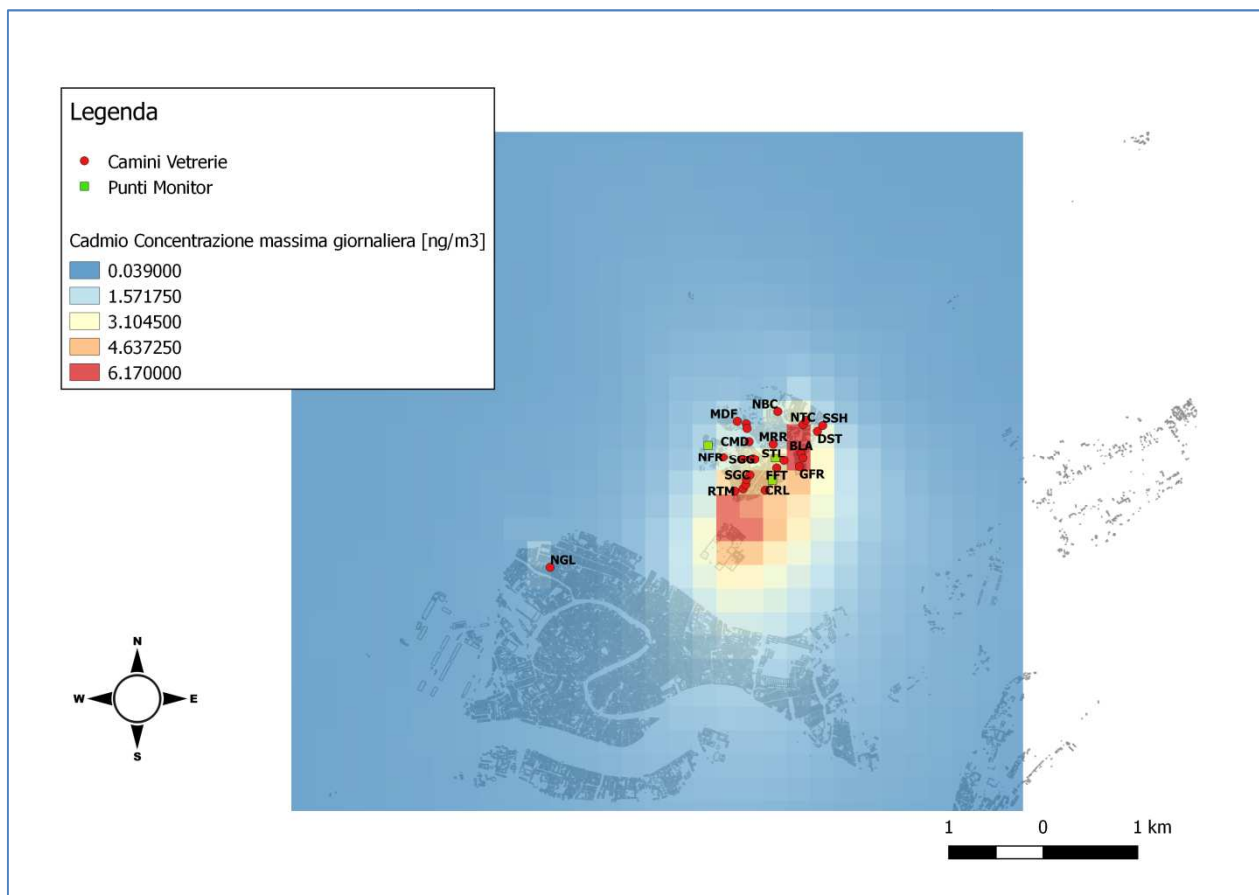
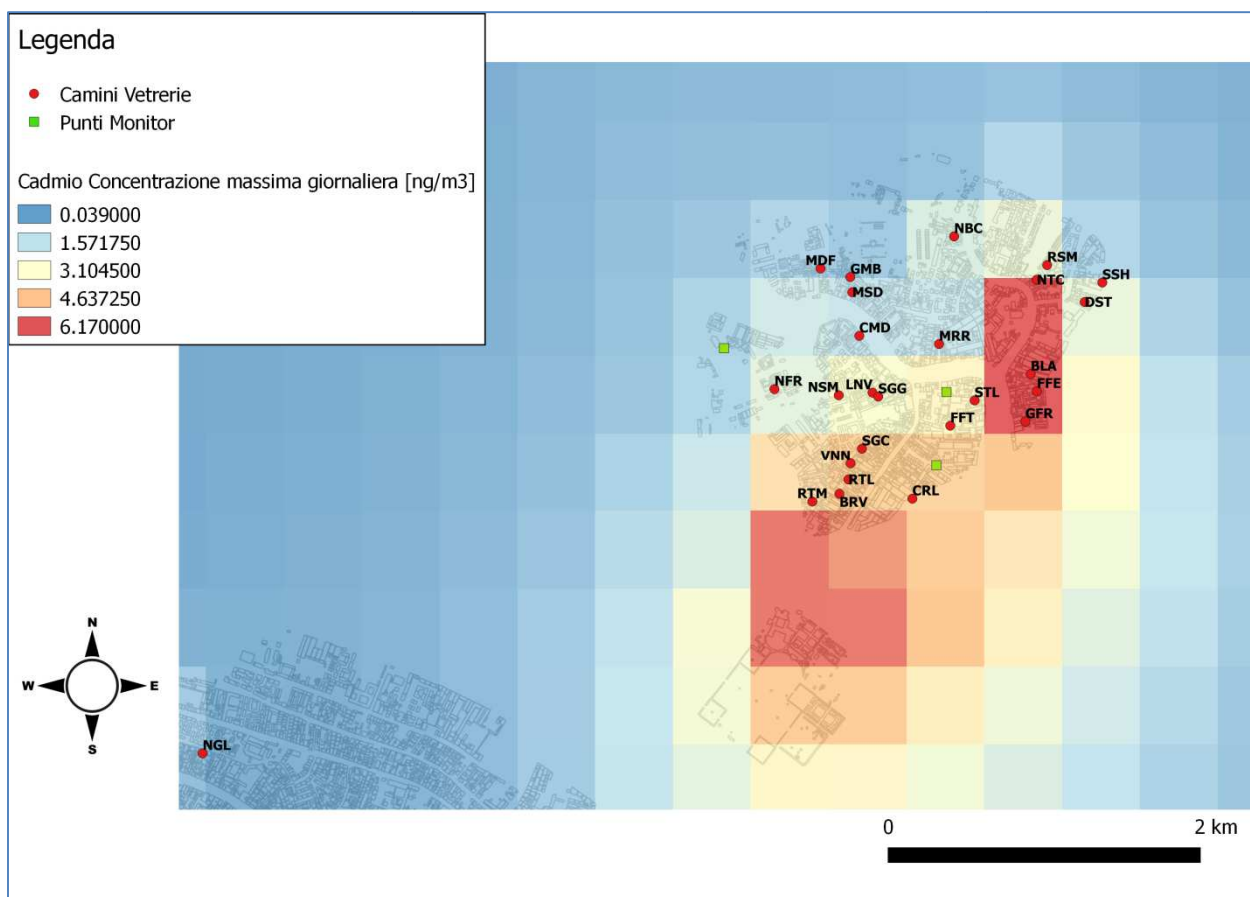


Figura 23. Concentrazioni di Cadmio stimate dal modello: massimi giornalieri, periodo sett-dic 2017. Zoom su Murano.



## 7 Conclusioni

Nel presente relazione si sono discussi i risultati di un approfondimento modellistico svolto sul caso delle vetrerie artistiche di Murano e delle concentrazioni di Cadmio.

In particolare lo studio ha focalizzato l'indagine sul periodo settembre-dicembre 2017 per il quale erano contemporaneamente disponibili dati di concentrazione in aria ambiente in 3 siti diversi di Murano e dati del sistema di telecontrollo per le vetrerie artistiche autorizzate all'utilizzo di Cadmio in miscela di fusione.

Le stime modellistiche sono state svolte considerando quindi 26 camini di emissione per altrettanti forni fusori delle vetrerie artistiche che risultavano essere autorizzate ad utilizzare Cadmio nella fase di fusione nel periodo in esame.

Lo scenario modellizzato ha stimato le emissioni di ciascuna delle 26 vetrerie considerando la massima concentrazione a camino autorizzata per la portata indicata nella scheda di autorizzazione.

Il flusso di massa così ottenuto per ciascuna vetreria è stato inserito in input al modello solo per le specifiche ore di fusione registrate dal sistema di telecontrollo.

La simulazione modellistica ha trattato ciascuna vetreria singolarmente e ha poi composto i 26 contributi, ottenendo così le mappe delle concentrazioni su tutta l'area di indagine.

Si precisa che il calcolo modellistico ha tralasciato emissioni eventualmente associate ad altre fasi lavorative del vetro artistico (composizione, ricottura, ecc.) e non ha trattato emissioni che possano avvenire in condizioni di esercizio non a regime, quali emissioni non convogliate o riferite a periodi di apertura dei camini di bypass per eventuali anomalie e disservizi.

I calcoli modellistici indicano che, qualora tutte le 26 vetrerie autorizzate alla fusione del cadmio rispettino i valori di emissione a camino autorizzati, non dovrebbe sussistere rischio di superamento del valore obiettivo di  $5.0 \text{ ng/m}^3$  definito dal D. Lgs 155/2010. L'area che il modello valuta come interessata alle maggiori concentrazioni sia giornaliera che del quadrimestre è quella ad E e NE del sito di monitoraggio di Ugo Foscolo.

Si è osservato che misure di concentrazioni che spaziano da alcuni  $\text{ng/m}^3$  fino a valori giornalieri anche dell'ordine di migliaia di  $\text{ng/m}^3$  non sono coerenti con alcuna sovrapposizione di attività di fusione registrata dal sistema di telecontrollo e non sono assolutamente compatibili con stime modellistiche che simulano il rispetto dei limiti all'emissione.

La sottostima delle emissioni potrebbe essere dovuta sia alla sottostima dei quantitativi emessi dai camini a servizio dei forni fusori, sia ad una possibile non considerazione di ulteriori camini, come vetrerie artistiche non censite dal telecontrollo poiché non autorizzate all'utilizzo di Cadmio, oppure emissioni che possano avvenire in condizioni di esercizio non a regime, quali emissioni non convogliate o riferite a periodi di apertura dei camini di bypass.

La trattazione di ciascun camino del forno fusorio singolarmente in una specifica simulazione modellistica ha consentito inoltre di verificare, caso per caso, vetreria per vetreria e rispetto ai 3 distinti punti di misura, se si evidenziassero delle particolari correlazioni.

Gli studi di correlazione misura-modello per tutti i 3 siti indagati non hanno evidenziato eclatanti o univoche associazioni tra concentrazioni misurate nei 3 siti e l'attività delle limitrofe vetrerie.

L'approfondendo dell'analisi di correlazione attraverso la trattazione differenziata del set di misure-modello tra i giorni di misura sopra e sotto alcune soglie di concentrazione, ha invece evidenziato correlazioni significative con alcune vetrerie.

## Riferimenti bibliografici essenziali

- ARPAV, Dipartimento Provinciale di Venezia, 2018. Campagna di Monitoraggio di PM10 e metalli a Murano – Venezia. Periodo di attuazione: 1 gennaio – 31 dicembre 2017. Relazione tecnica n 33/ATM/17, Maggio 2018.  
[http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-venezias/aria/dap-venezias-campagne-di-monitoraggio-qualita/comune-di-venezias/RT\\_33ATM17.pdf](http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-venezias/aria/dap-venezias-campagne-di-monitoraggio-qualita/comune-di-venezias/RT_33ATM17.pdf)
- ARPAV, Osservatorio Aria, 2014. Vetriere di Murano. Simulazione modellistica di dispersione in atmosfera degli inquinanti rilasciati durante le attività di lavorazione del vetro. <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/file-e-allegati/Simulazione%20modellistica%20Murano.pdf>
- Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155. Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.
- Pernigotti, D., M. Sansone and M. Ferrario, 2005. Validation of one-year LAMI model Re-Analysis on the Po-Valley, Northern Italy. Comparison to CALMET model output on the sub-area of Veneto Region. 10th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Crete 17-20 October.
- Sansone, M., D. Pernigotti and M. Ferrario, 2005. Application of CALMET model to the Veneto region, with particular attention to the shoreline, using offshore data for initialization. 1st International Conference on Harbours & Air Quality, Genova (Italy), 15 - 17 June.
- Scire J.S., Robe F.R., Fernau M.E. and Yamartino R.J., 2000. A User's Guide for the CALMET Meteorological Model. Earth Tech, Inc., Concord, MA.
- Scire J.S., Strimaitis D.G. and Yamartino R.J., 2001. A user's Guide for the CALPUFF Dispersion Model, Earth Tech, Concord, MA.
- Sitografia
- <http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-venezias/aria/dap-venezias-campagne-di-monitoraggio-qualita>
- <http://politicheambientali.cittametropolitana.ve.it/documenti/servizi-alle-imprese/aria/azienda-autorizzate-emissioni-atmosfera>
- <http://www.src.com/>
- Comune di Venezia, Settore Urbanistica, base dati georeferenziata del Comune di Venezia, <http://portale.comune.venezias.it/node/96/6990?sort=asc&order=Nome>, accesso luglio 2013.
- Provincia di Venezia, 2014. Aziende autorizzate emissioni in atmosfera. Elenco delle aziende aderenti all'autorizzazione di carattere generale per attività di produzione del Vetro Artistico, data aggiornamento 5/02/2014.  
[http://politicheambientali.provincia.venezias.it/sites/default/files/acgv\\_05\\_02\\_2014.pdf](http://politicheambientali.provincia.venezias.it/sites/default/files/acgv_05_02_2014.pdf)
- [http://www.entezona.it/downloads\\_dati\\_meteo.htm](http://www.entezona.it/downloads_dati_meteo.htm)