

Vetriere di Murano

Simulazione modellistica di dispersione in atmosfera degli inquinanti rilasciati durante le attività di lavorazione del vetro

(Attività di Supporto al DAP Venezia)

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	4
3.5.1 Fonte dei dati a disposizione.....	5
3.5.2 Descrizione della parametrizzazione delle sorgenti.....	5
3.5.3 Descrizione della base dati emissiva modellizzata	6
4 I risultati delle simulazioni	10
4.1 Concentrazioni e flussi di deposizione	10
4.2 Confronto con i dati di monitoraggio	28
5 Conclusioni	37
Riferimenti bibliografici.....	38

Premessa

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

1 Oggetto delle simulazioni

Le simulazioni modellistiche hanno riguardato la dispersione in atmosfera degli inquinanti rilasciati durante la lavorazione del vetro dai camini dei forni delle vetrerie. Le stime di dispersione si sono focalizzate sugli inquinanti Arsenico e Cadmio per i quali i monitoraggi ambientali svolti presso la scuola Ugo Foscolo di Fondamenta Colleoni hanno evidenziato importanti criticità (ARPAV, 2014).

2 Obiettivo delle simulazioni

L'obiettivo principale dell'attività modellistica è fornire elementi utili per le indagini ambientali in corso, integrando le informazioni ricavabili con le misure in campo con i peculiari elementi informativi di un'applicazione modellistica:

- estensione della valutazione puntuale delle misure ad una valutazione spaziale (mappatura);
- valutazione delle aree maggiormente investite da ricadute al suolo;
- estensione della valutazione da un periodo di tempo limitato (campagne di monitoraggio) a periodi temporali maggiori (periodo annuale o superiore);
- valutazione delle condizioni meteorologiche ed emissive più critiche in termini di concentrazioni e deposizioni al suolo;
- valutazione per ipotesi emissive differenziate (scenari).

Nel caso delle vetrerie di Murano l'applicazione modellistica è stata inoltre impostata per verificare se le autorizzazioni alle emissioni rilasciate alle varie e numerose vetrerie dell'isola siano di entità tale da:

- costituire di per sé una giustificazione delle concentrazioni e delle deposizioni elevate misurate per i metalli nel sito posizionato presso la scuola Ugo Foscolo;
- possano determinare un effettivo rischio di superamento dei valori obiettivo per le concentrazioni medie annue di Arsenico e Cadmio nell'intera isola (D.Lgs 155/10).

3 Impostazione delle simulazioni

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).

CALPUFF è un modello non stazionario¹ 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.

¹ Consente di simulare gli effetti di condizioni meteorologiche variabili nel tempo e nello spazio.

CALPUFF è indicato dalla US-EPA² come modello di riferimento per applicazioni che coinvolgono il trasporto di inquinanti su lunghe distanze, oppure per applicazioni in campo vicino quando sono importanti effetti non stazionari come variabilità delle condizioni meteorologiche, calme di vento, discontinuità terra-mare, ecc. (http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm).

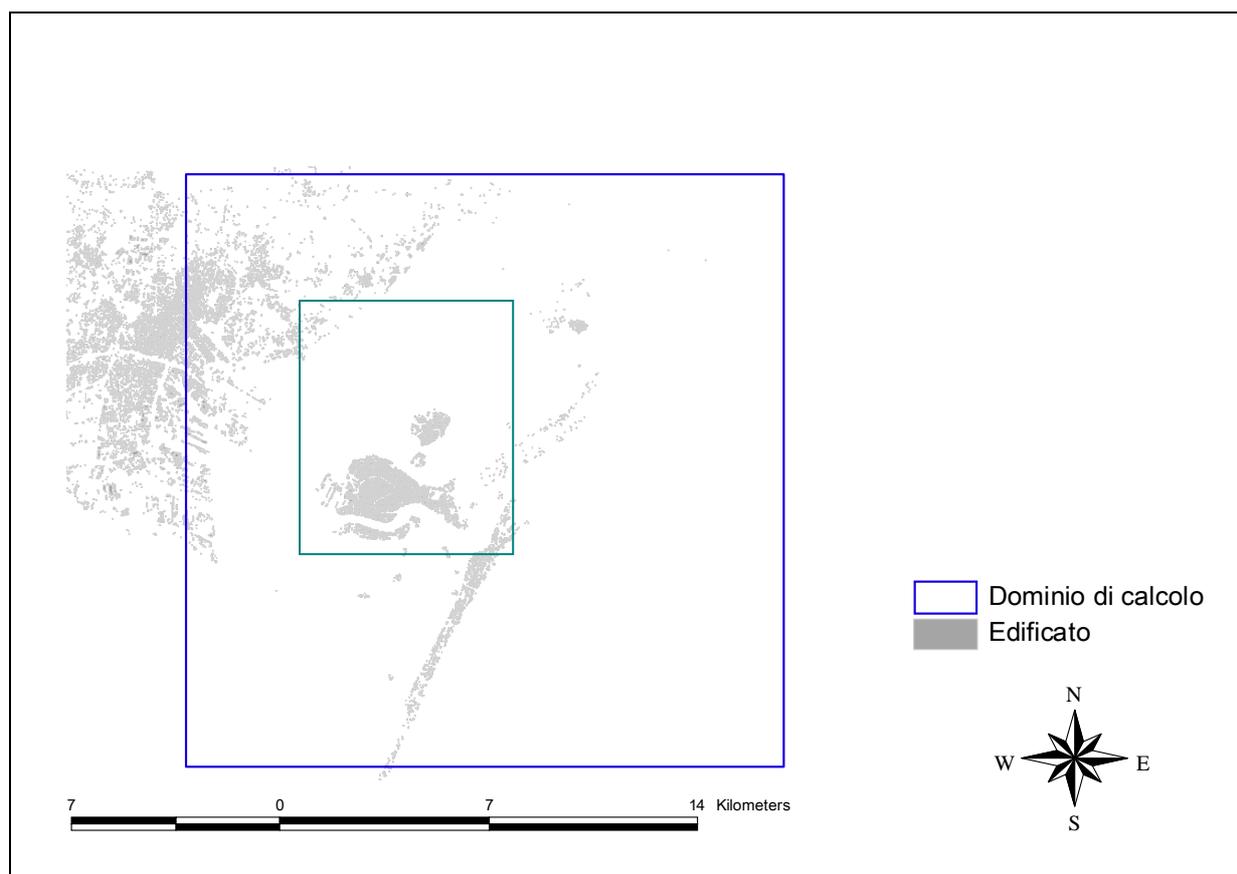
L'utilizzo della catena CALMET-CALPUFF è dunque stata considerata idonea al caso studio che deve trattare sorgenti (camini delle vetrerie) posizionati in un'isola di piccole dimensioni all'interno della laguna di Venezia.

3.2 Domini e configurazioni di calcolo

L'input meteorologico è stato calcolato tramite CALMET su un dominio di dimensione 20x20 km² che ricopre abbondantemente Venezia e le isole, con griglia a risoluzione di 500 m, innestato³ su un dominio regionale, di 200x168 km², comprendente tutta la pianura veneta e una porzione della zona montana, con risoluzione di calcolo di 4x4 km².

Le stazioni meteo utilizzate sono quelle 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 questa stazioni si aggiunge 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 i dati della stazione meteo sulla piattaforma al largo del Comune di Venezia, essenziale per la descrizione dell'interfaccia terra-mare.

Figura 1 Domini di calcolo di CALMET e CALPUFF.



Le concentrazioni e le deposizioni degli inquinanti sono state stimate tramite CALPUFF su un ulteriore sottodominio di 8x9 km², ma con risoluzione maggiore pari a 100x100 m² (Figura 1).

² Environmental Protection Agency degli USA.

³ Il run regionale di CALMET alla risoluzione 4x4 km è stato usato come "first guess" per il successivo run alla scala di Venezia con risoluzione maggiore.

Gli output del modello sono stati calcolati anche per vari punti del territorio veneziano (punti recettori) per i quali sono disponibili dati di monitoraggio (siti delle stazioni di misura o di campagne di monitoraggio, svolte nel passato o recentemente anche per altri scopi).

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

3.3 Inquinanti valutati e loro trattazione

Gli inquinanti di cui si sono stimati la concentrazione ed i flussi di deposizione al suolo sono Arsenico e Cadmio, inquinanti per i quali i dati monitoraggio ambientale svolti presso la scuola Ugo Foscolo evidenziavano particolari criticità (ARPAV, 2014).

La trattazione di tali metalli è stata svolta con CALPUFF simulandone la dispersione come specie veicolate 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*⁴ 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 un intero anno solare, l'anno 2013, consentendo di confrontare le stime modellistiche per le concentrazioni di Arsenico e Cadmio sia con i dati delle varie campagne di monitoraggio svolte a Murano nel corso dell'anno 2013 (ARPAV, 2014) sia con gli obiettivi di qualità definiti per le medie annuali (D.Lgs 155/10).

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;

⁴ Coefficiente di rimozione empirico dipendente dal tipo di precipitazione (acquosa o congelata) e dalla natura dell'inquinante.

- velocità e temperatura di uscita dei fumi;
- flusso di massa dell'inquinante.

3.5.1 Fonte dei dati a disposizione

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

- Provincia di Venezia, Politiche Ambientali: Autorizzazioni alle emissioni in atmosfera delle Vetriere artistiche;
- Rapporti di Prova degli autocontrolli delle vetriere eseguiti dalla Stazione Sperimentale del Vetro (alcuni rapporti integrali presenti nella documentazione ARPAV raccolta per le indagini ispettive nel territorio in collaborazione con la Polizia Provinciale, database fornito dall'ULSS 12 - Dipartimento Prevenzione con dati tratti dai rapporti di prova raccolti dalla Provincia di Venezia tra il 1997 e il 2011 e database fornito dalla Stazione Sperimentale del Vetro);
- Database, già disponibile presso l'Osservatorio Aria di ARPAV, relativo alle vetriere artistiche veneziane, realizzato nell'ambito dell'attività del Progetto SIMAGE I Lotto (Regione Veneto, 2002–2005) e relativo ai controlli a camino svolti tra il 1998 e al 2003 da ARPAV o dalle ditte in regime di autocontrollo;
- Dati relativi alla lavorazione del vetro eseguita e sulla tempistica delle lavorazioni, raccolti dal DAP di Venezia mediante invio di uno specifico questionario alle vetriere;
- Basi cartografiche digitali: unità volumetriche degli edifici della città di Venezia (Comune di Venezia, 2012) e layer cartografici del Comune di Venezia, Settore Urbanistica.

Una fonte dati a sé, utilizzata per la discussione dei risultati e il controllo della plausibilità delle ipotesi assunte, sono i quantitativi di Arsenico e Cadmio presenti nelle materie prime ottenuti dai 2 principali fornitori di materie prime a cui risulta si riforniscano le vetriere veneziane (rif. indagine ispettiva ARPAV).

3.5.2 Descrizione della parametrizzazione delle sorgenti

In riferimento agli scopi specifici della simulazione modellistica, l'input emissivo è stato stimato considerando tutte le vetriere artistiche note del territorio e considerando un flusso emissivo calcolato ipotizzando che i fumi emessi dai camini dei forni fusori eguagliano le concentrazioni massime autorizzate, ovvero per arsenico e cadmio rispettivamente i valori di 0.5 e 0.1 mg/Nm³ riferiti ad una percentuale di Ossigeno dei fumi pari al 13% (limiti di cui al Dlgs 152/06 Parte V – All I). In questa fase di studio sono state tralasciate emissioni eventualmente associate ad altre fasi lavorative del vetro artistico (composizione, ricottura, ecc.).

I dati di portata, le temperature dei fumi e il diametro del camino per il calcolo del flusso emissivo e della spinta dei fumi sono stati desunti principalmente dai rapporti di prova dei controlli a camino periodicamente svolti in regime di autocontrollo dalle ditte. Ove non disponibili, i valori di portata sono stati desunti dalle portate massime di progetto (normalizzate per temperatura e pressione) indicate nei decreti autorizzativi, considerando un esercizio al 19.9% di O₂ (media dei valori riscontrati nei rapporti di prova). L'altezza del camino, quando non presente nelle basi dati a disposizione, è stata generalmente impostata considerando un camino sveltante dal colmo del tetto di 2 metri; per le vetriere prossime al sito della scuola, in quanto maggiormente indagato, l'altezza del camino è stata invece desunta dagli schemi d'impianto presentati dalle ditte per il rilascio dell'autorizzazione.

Potendo imporre una temporizzazione diurna delle emissioni, i flussi emissivi sono stati impostati considerando un'emissione per le ore tipiche di fusione comunicate dalle vetriere artistiche di Murano coinvolte tramite la specifica indagine dal Dipartimento ARPAV di Venezia. Per le ditte che non hanno risposto si è assunto, in via cautelativa, un'emissione prolungata per l'intera giornata. Sono stati trascurati cicli emissivi differenziati tra giorni lavorativi e non.

Lo scenario emissivo che si è modellizzato può essere dunque 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.

La modellizzazione non riguarda invece 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.

3.5.3 Descrizione della base dati emissiva modellizzata

La simulazione modellistica ha trattato le emissioni a camino dei forni fusori di 76 vetrerie artistiche, di cui 75 nell'isola di Murano ed una in Venezia Centro storico.

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 quantitativi⁵ totali annui di arsenico e cadmio venduti nel complesso alle vetrerie veneziane dai due principali fornitori di materie prime della zona. Il bilancio emissivo emesso su venduto vede un rapporto sensibilmente maggiore per il Cadmio, pari al 23%, rispetto al solo 3% calcolato per l'arsenico.

Tabella 2. Bilancio emissivo.

Input simulazione	Bilancio emissivo		
	As	Cd	Unità
	33.4745	6.6949	somma g/h
emissione solo per le ore giornaliere di fusione dichiarate da 32 vetrerie ed emissione sempre attiva per le 44 vetrerie che non hanno fornito i periodi di fusione	197.1	39.4	kg/anno
Materie prime vendute anno 2013	6005	171	kg/anno
<i>emesso/venduto</i>	3%	23%	

La posizione delle 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.

⁵ I quantitativi si riferiscono ai metalli presenti nelle miscele che fungono da materie prime, tipicamente l'Arsenico Triossido (As_2O_3) e il cadmio Solfuro (CdS), espressi rispettivamente come As e Cd.

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

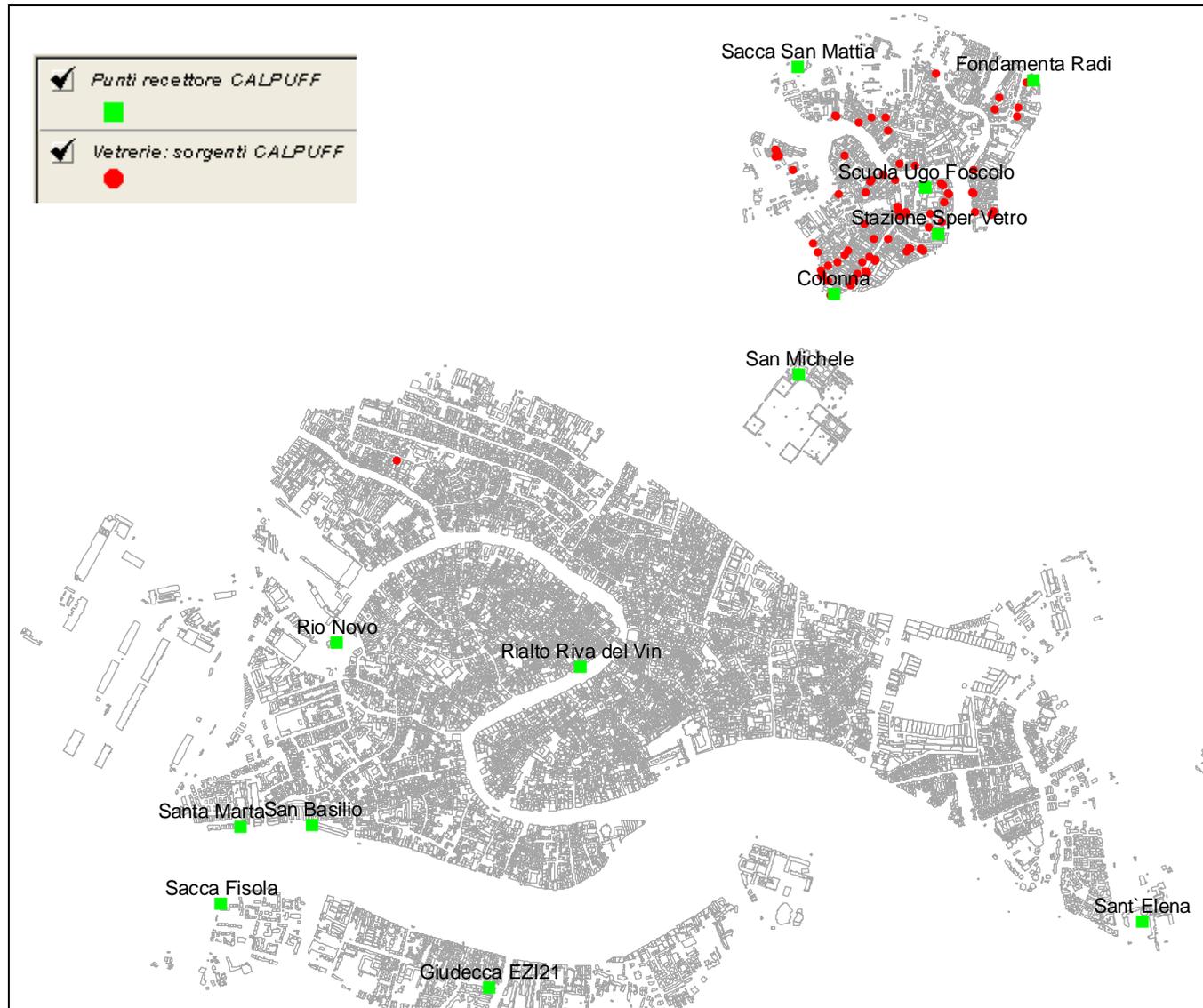
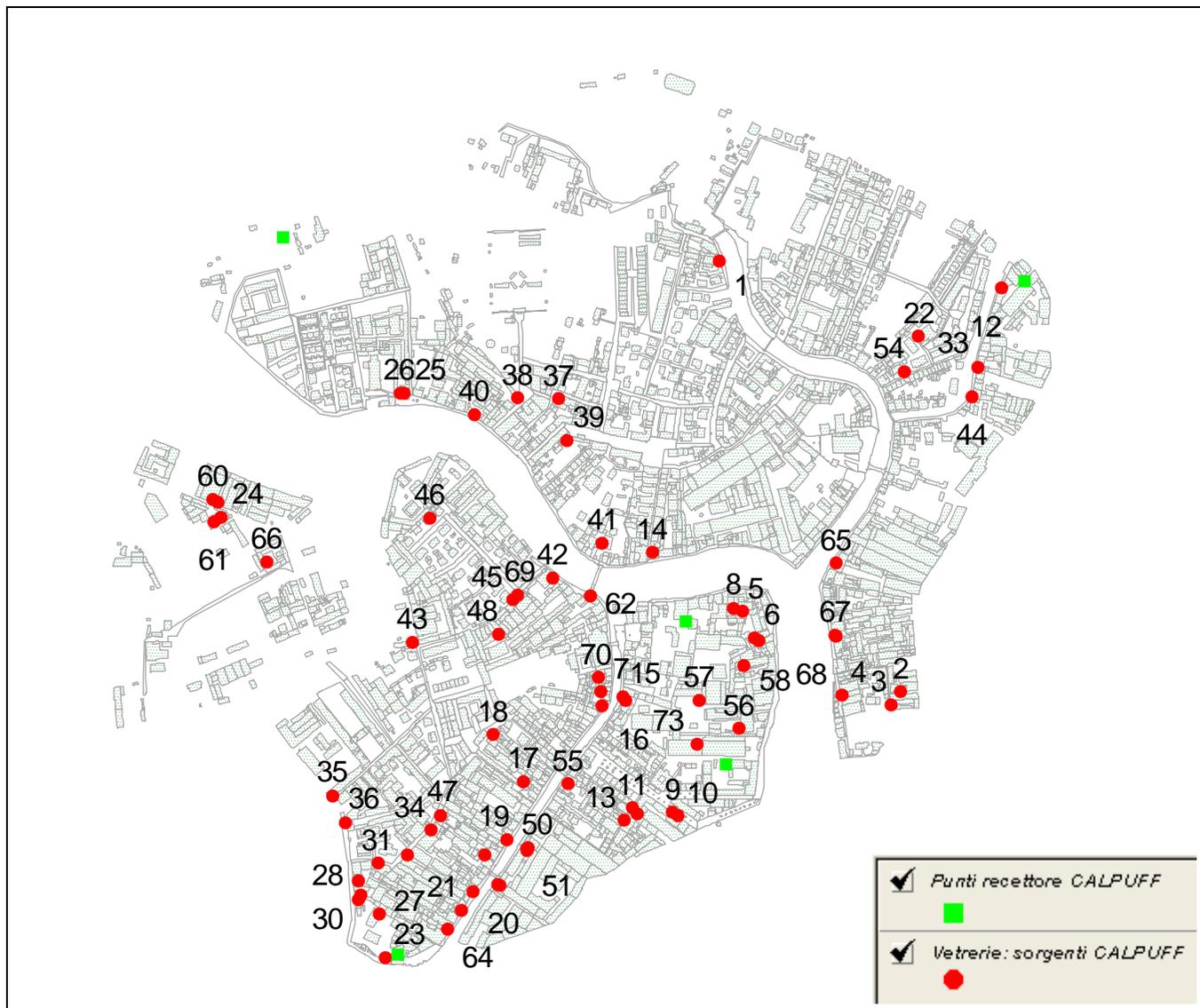


Figura 3. Posizione delle vetrerie artistiche modellizzate e punti recettore. Zoom su Murano.



L'elenco delle 76 vetrerie considerate nella simulazione modellistica è riportato in Tabella 3.

Tabella 3. Elenco delle vetrerie inserite nella simulazione modellistica.

ID	Denominazione	ID	Denominazione
1	Nuova Biemmeci di Mattiello Stefano & C.	39	ZANCHI
2	VETRERIA ARTISTICA BALLARIN di Ballarin Roberto	40	MOSAICI DONA' MURANO di Donà Stefano
3	FORNASIER LUIGI	41	Lavorazioni Artistiche di Amadi Fabiano
4	Eugenio Ferro & C. 1929	42	VETRERIA ARTISTICA "LA FENICE" DI ALBERTINI G. & C.
5	VETRERIA ARTISTICA ANTONIO SEGUSO	43	NASONMORETTI
6	STRIULLI A. VETRI D'ARTE SAS	44	D'ESTE PACIFICO di D'Este Davide
7	CAMPAGNOL & SALVADORE	45	LINEA VALENTINA di Dalla Valentina Adriano & C.
8	VETRERIA ARTISTICA GALLIANO FERRO SNC	46	COMPONENTI DONA'
9	Linea Arte Vetro Srl	47	VETRERIA 3 ARTISTICO LAMPADARI di Ongaro Fabio & C.
10	VETRERIA TAGLIAPIETRA di Tagliapietra A.	48	SIGNORETTO LAMPADARI
11	VETRERIA ARTISTICA EMMEDUE	49	GAMBARO & POGGI SAS
12	S.A.V. Studio Arte Vetro	50	ANTICA MURANO
13	ANDROMEDA INTERNATIONAL	51	Vetreria Artistica Mazzucato Gaetano Gino
14	LA MURRINA	52	VETRERIA BADIOLI di Francesco Badioli
15	ELI VETRI D'ARTE SNC	53	CARLO MORETTI SRL
16	BERENGO STUDIO 1989	54	ANTICHI ANGELI
17	SIMONE GIOVANNI CENEDESE MURANO	55	DINO ROSIN ARTE STUDIO
18	LA FORNASOTTA di Urban Gabriele	56	FERRO MURANO SRL
19	VENINI	57	EFFETRE MURANO SRL
20	BAROVIER & TOSO Vetrerie Artistiche Riunite	58	VETRERIA MORASSO di Morasso Alex
21	CO.RO.TRE.	59	LINEA ARIANNA di Giuman Arianna
22	ARS MURANO SRL	60	NOR GLASS FACTORY
23	ARTE DV di Vidal Diego	61	De Majo Illuminazione (MAESTRI MURANESI)
24	Arte di Murano	62	FORMIA INTERNATIONAL
25	ARS CENEDESE MURANO	63	VETRERIA ARTISTICA SCHIAVON RENO
26	CENEDESE	64	VETRERIA ARTISTICA SCHIAVON RENO
27	ZANETTI MURANO SRL	65	VETRERIA ARTISTICA OBALL
28	SEGUSO GIANNI	66	ANFORA DI RENZO FERRO
29	VETRERIA PINO SIGNORETTO	67	VETRERIA ARTISTICA EFFE sas
30	VETRERIA GUARNIERI	68	NUOVA VENIER
31	ARTIGIANATO MURANESE di Cammozzo E. e Costantini S.	69	MAZZUCATO SRL
32	SCHIAVON MASSIMILIANO ART TEAM	70	DONA' GUIDO
33	VETRERIA SANT'ANGELO SRL	71	LA FUCINA DEL VETRO
34	ART GLASS STUDIO	72	M.A.F.
35	SIGNORETTI PRODUCTION MURANO	73	Abate Zanetti
36	ARCHIMEDE SEGUSO	74	Angelo Orsoni
37	R.C.R.	75	Nicola Moretti
38	CAMPANELLA LIVIO di Campanella Lucia & C.	76	Campagnol

4 I risultati delle simulazioni

4.1 Concentrazioni e flussi di deposizione

In Figura 4 e in Figura 5 sono presentate le mappe delle concentrazioni medie annue 2013 di Arsenico stimate dal modello sull'area ampia di studio e il dettaglio sull'isola di Murano.

Similmente in Figura 6 e in Figura 7 sono rappresentate le mappe medie annue stimate per il Cadmio.

Il valore massimo delle concentrazioni medie annue è stimato in laguna, appena a Sud della zona del faro Colonna, dove vi è la più alta concentrazione di vetrerie. I valori massimi stimati sono in particolare pari a 25 ng/m^3 di Arsenico e a 5 ng/m^3 di Cadmio.

Nell'isola di Murano la zona che il modello indica come esposta a maggiori concentrazioni medie annue è la zona del faro Colonna; in particolare per il punto di misura di Colonna si stimano 23 e 5 ng/m^3 , rispettivamente per Arsenico e Cadmio.

Per il sito della scuola Ugo Foscolo le stime modellistiche calcolano invece concentrazioni medie annue inferiori e pari a 13 e 3 ng/m^3 per Arsenico e Cadmio rispettivamente.

Figura 4. Concentrazione media anno 2013 di Arsenico (ng/m^3) stimata dal modello. Area ampia di studio.

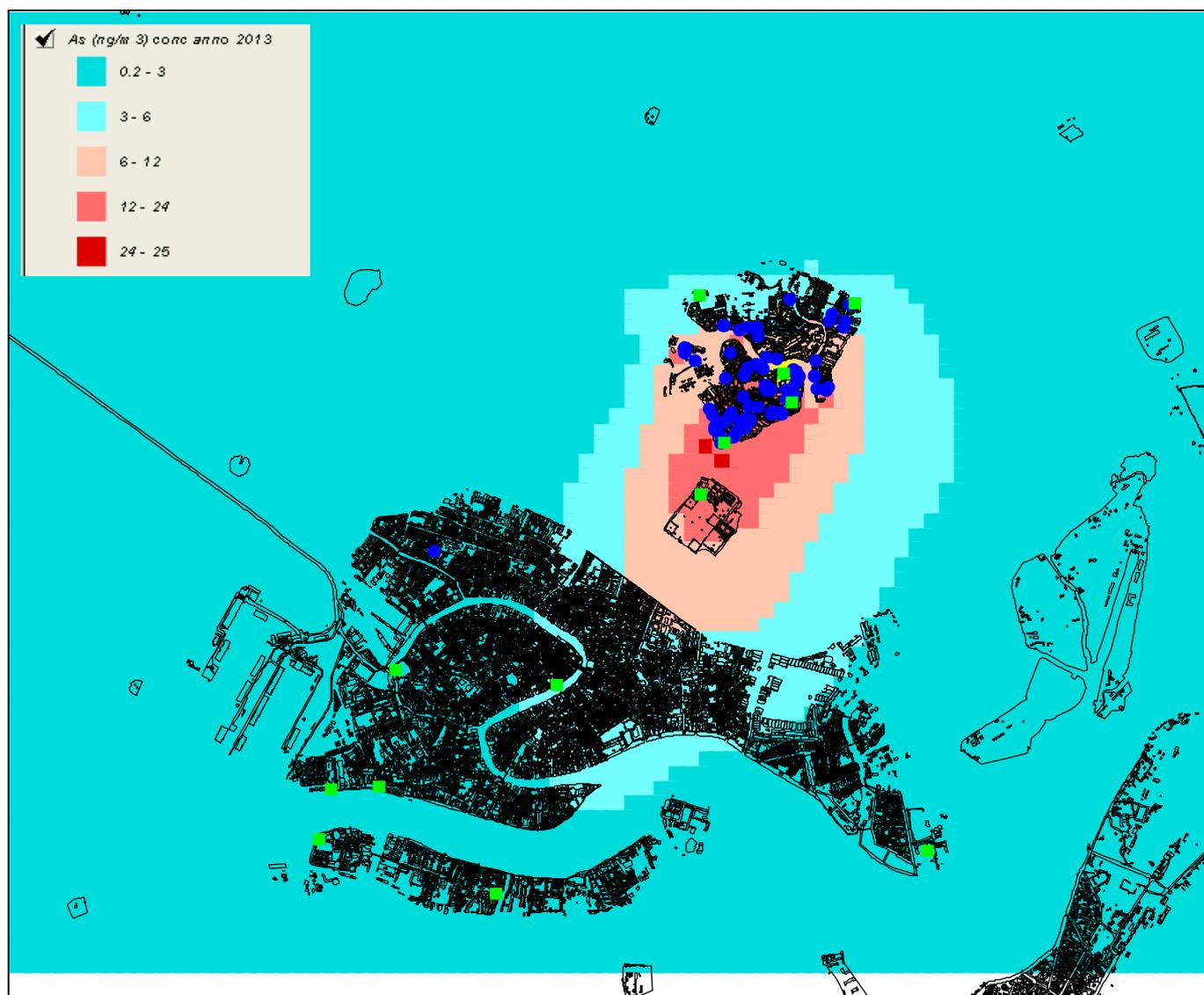


Figura 5. Concentrazione media anno 2013 di Arsenico (ng/m^3) stimata dal modello. Isola di Murano.

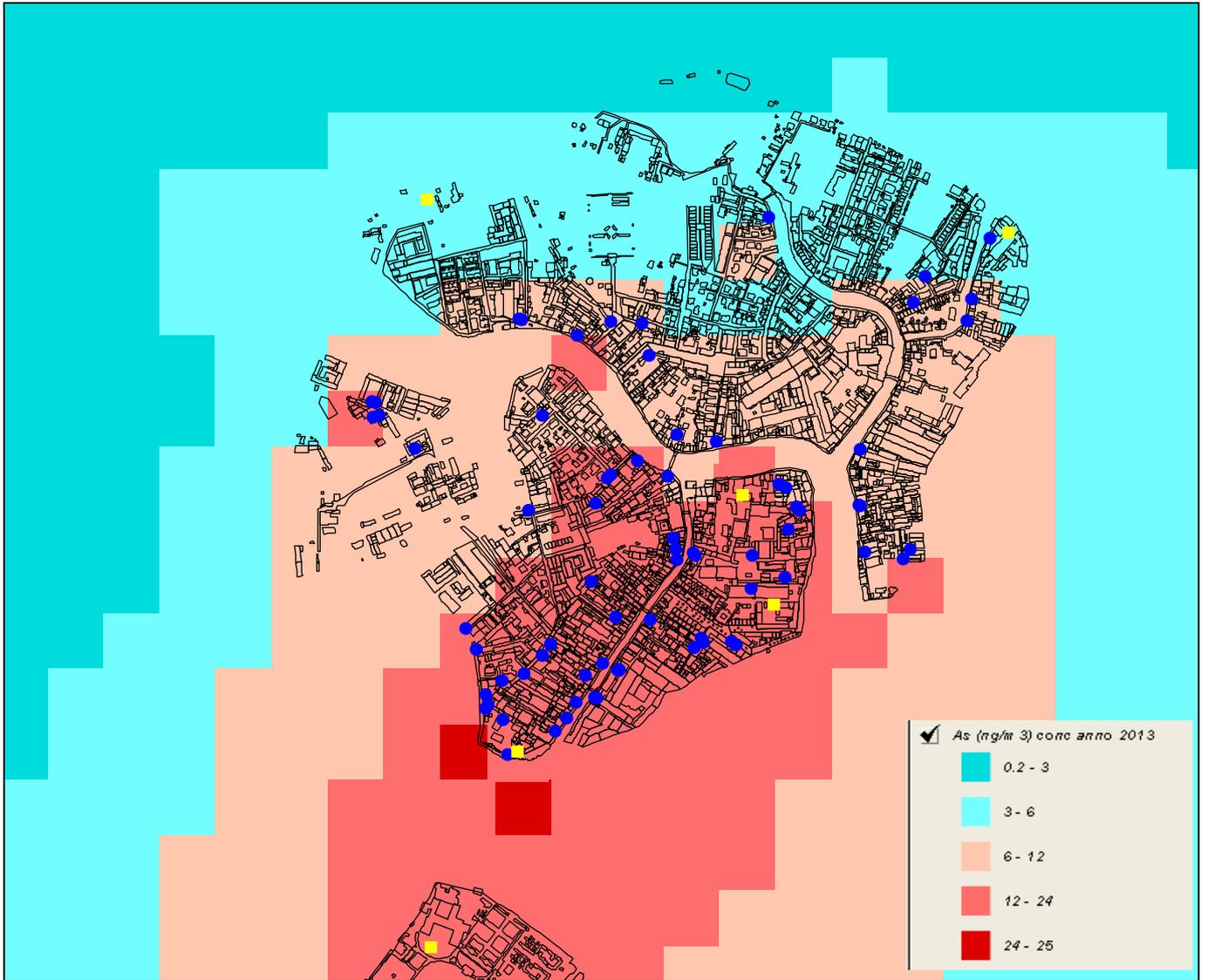


Figura 6. Concentrazione media anno 2013 di Cadmio (ng/m^3) stimata dal modello. Area ampia di studio.

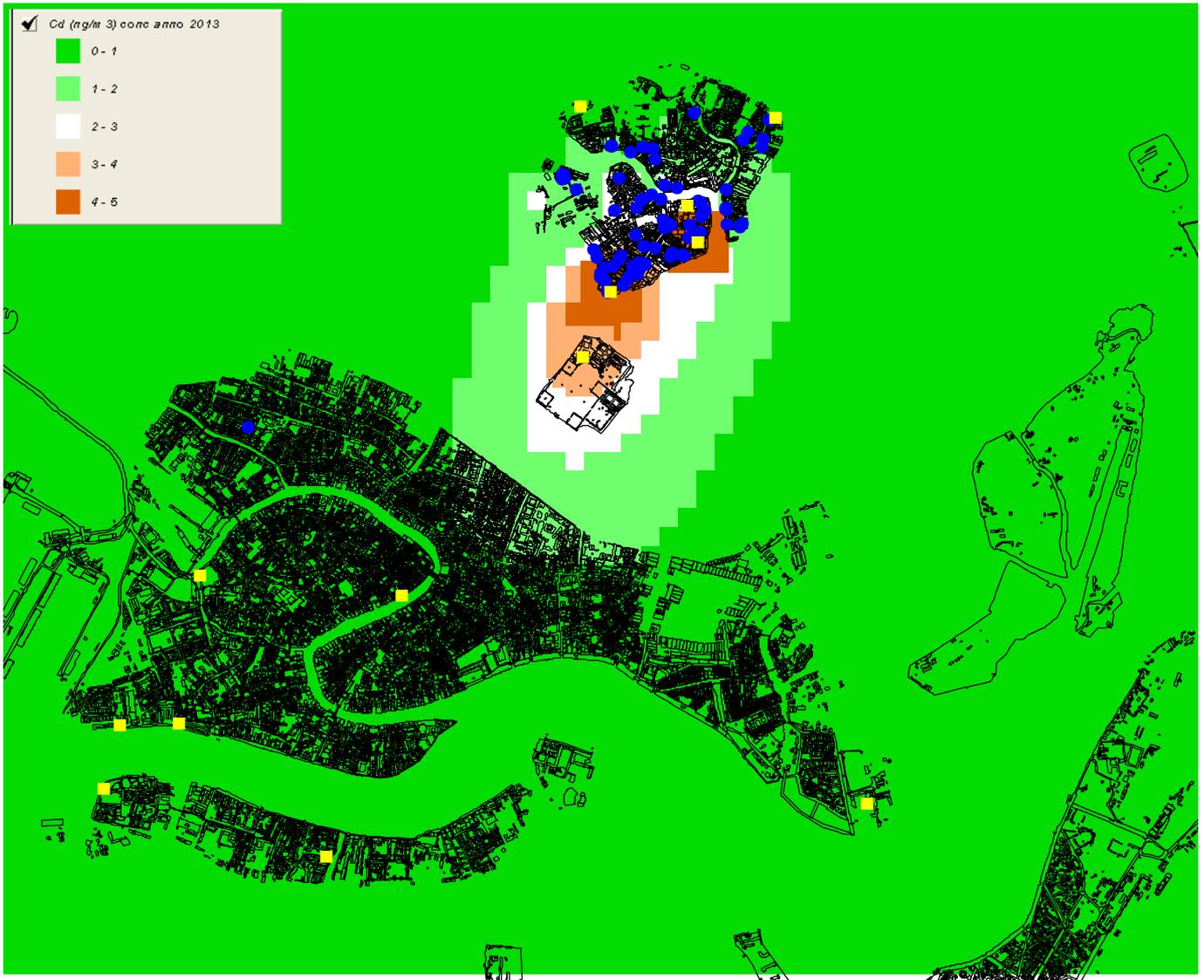
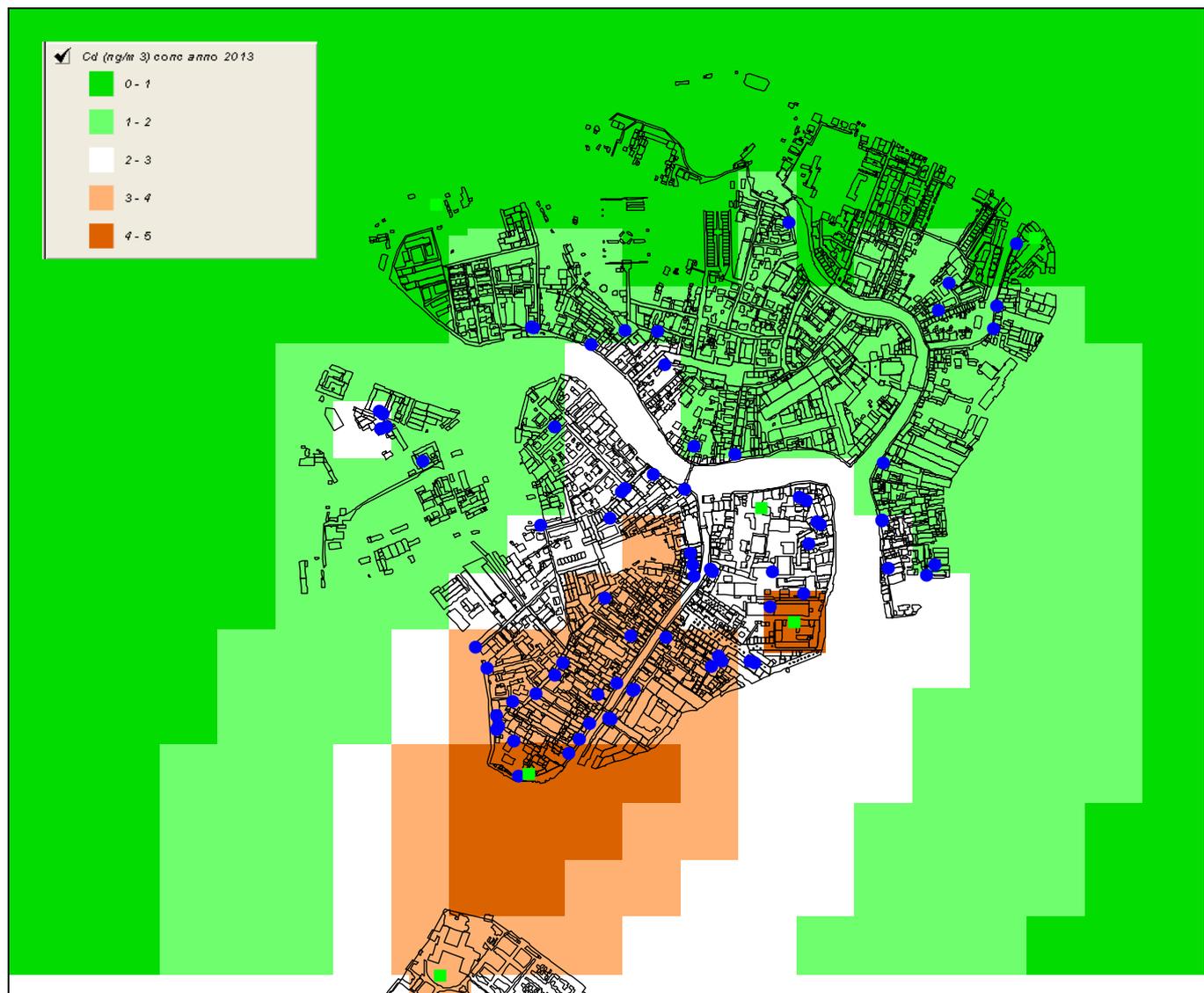


Figura 7. Concentrazione media anno 2013 di Cadmio (ng/m^3) stimata dal modello. Zoom su Murano.



Le mappe delle concentrazioni annuali stimate dal modello per Arsenico e Cadmio rilevano che, secondo le stime modellistiche, qualora tutte le vetrerie emettano in contemporanea, al massimo delle concentrazioni autorizzate per i camini fusori, il rispetto del valore obiettivo di $6.0 \text{ ng}/\text{m}^3$ per la media annua di Arsenico non verrebbe rispettato per gran parte dell'isola di Murano (la parte centrale e meridionale) e per una piccola parte Nord centrale di Venezia. Il valore obiettivo di $5.0 \text{ ng}/\text{m}^3$ per la media annua di Cadmio potrebbe essere uguagliato per la parte meridionale dell'isola di Murano.

I valori medi annui stimati in corrispondenza dei vari punti recettore sono ricapitolati nella Tabella 4.

Tabella 4. Concentrazioni annue di Arsenico e Cadmio (ng/m^3) stimate nei vari punti recettori per l'anno 2013.

ID	PUNTO_MONITOR	As (ng/m^3)	Cd (ng/m^3)
1	Scuola Ugo Foscolo	13	3
2	Sacca Fisola	1	0.3
3	San Basilio	2	0.3
4	Rio Novo	2	0.3
5	Rialto, riva del Vin	3	1
6	Giudecca EZI 21	2	0.5
7	Sant'Elena	1	0.3
8	Parco Bissuola	0.2	0.03
9	Stazione Sperimentale del Vetro	21	4
10	San Michele	16	3
11	Santa Marta	1	0.3
12	Sacca San Mattia	4	1
13	Fondamenta Radi	5	1
14	Colonna	23	5
15	Mazorbo - Fond. di Santa Caterina	0.4	0.1

In Figura 8 e in Figura 9 sono presentate le mappe delle concentrazioni massime giornaliere nell'anno 2013 di Arsenico, sull'area ampia di studio e sull'isola di Murano.

Figura 8. Concentrazione massima giornaliera di Arsenico (ng/m^3) dell'anno 2013 stimata dal modello. Area ampia di studio.

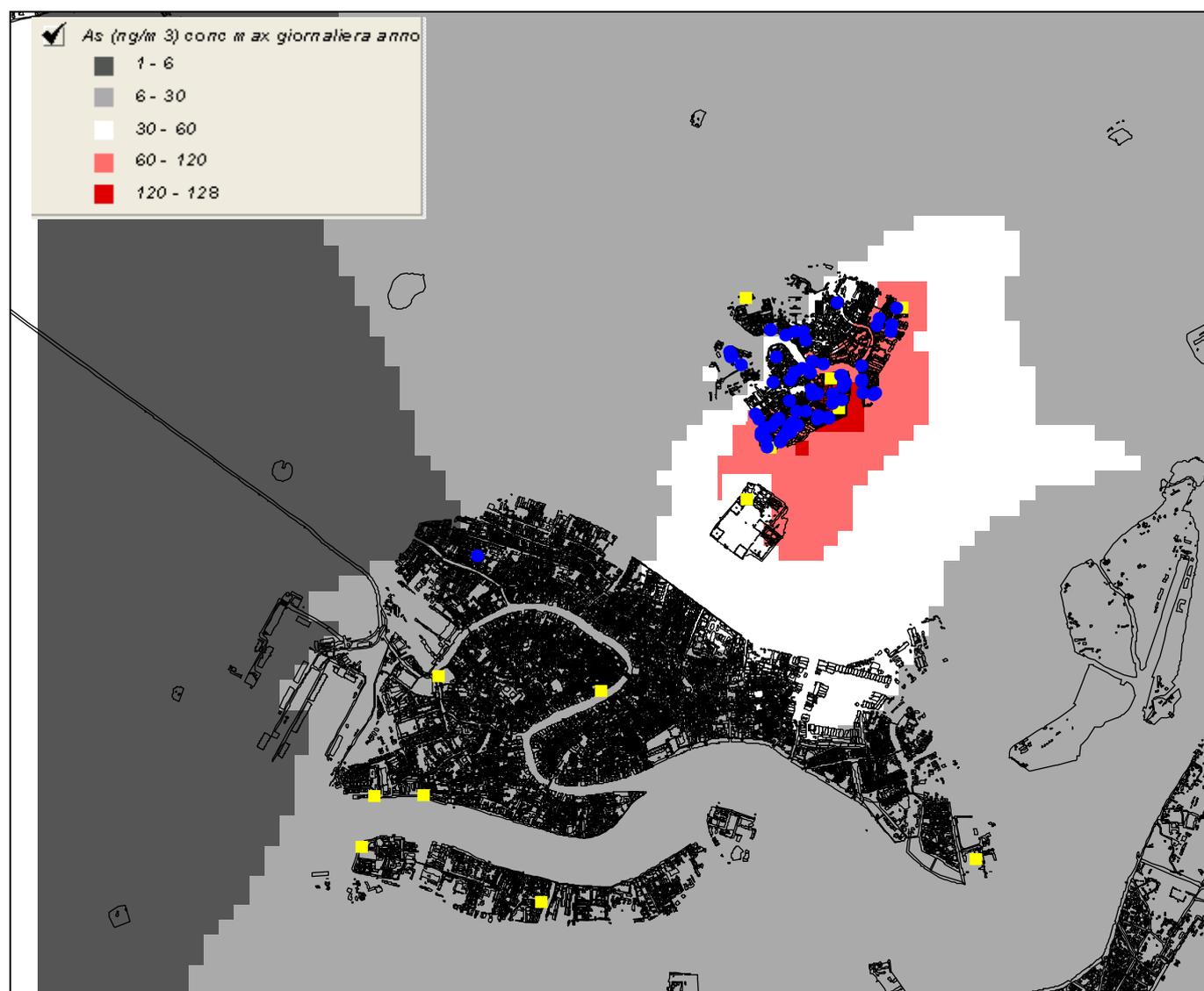
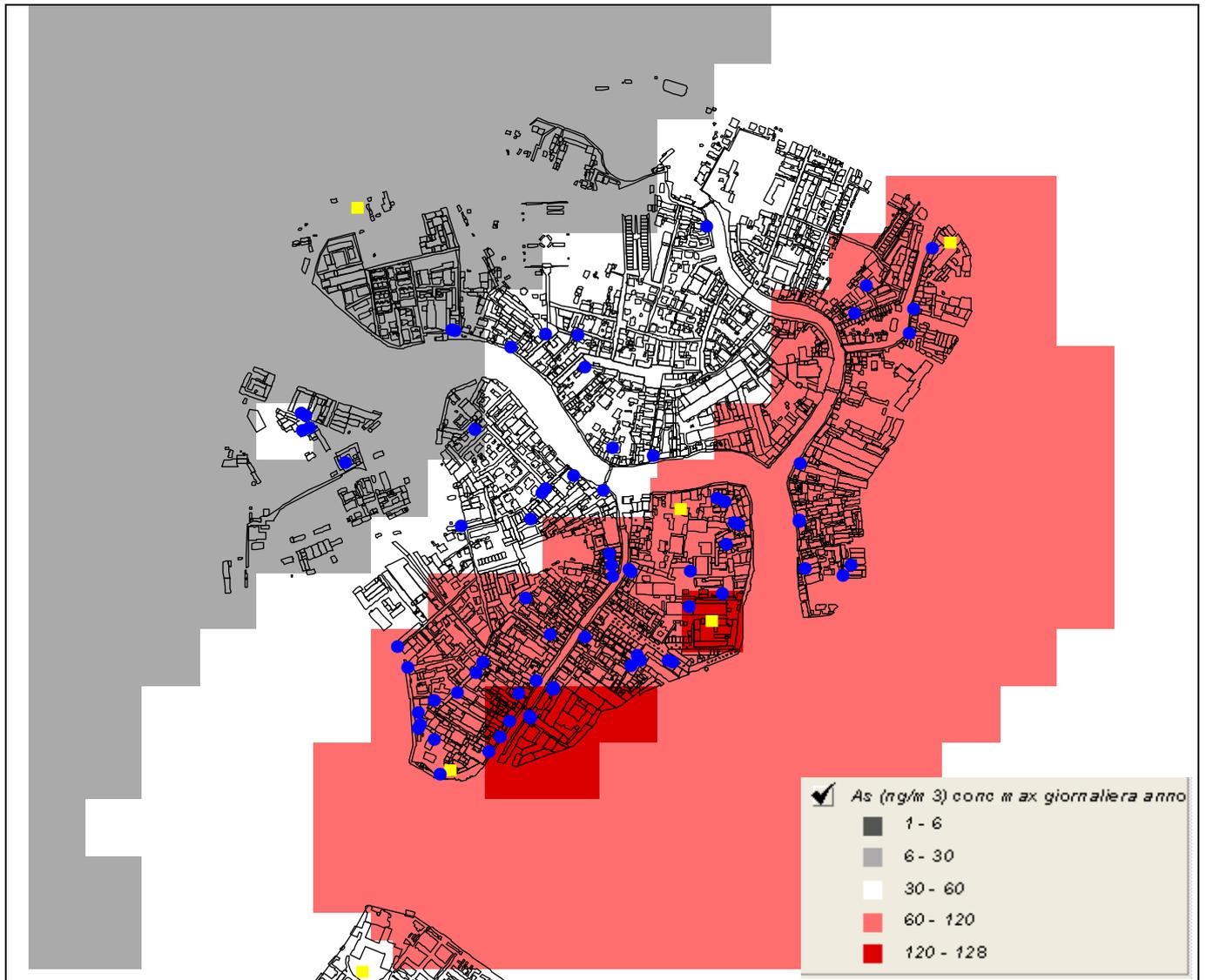


Figura 9. Concentrazione massima giornaliera di Arsenico (ng/m^3) dell'anno 2013 stimata dal modello. Zoom su Murano.



In Figura 10 e in Figura 11 sono presentate le mappe delle concentrazioni massime giornaliere nell'anno 2013 di Cadmio, sull'area ampia di studio e sull'isola di Murano.

Figura 10. Concentrazione massima giornaliera di Cadmio (ng/m^3) dell'anno 2013 stimata dal modello. Area ampia di studio.

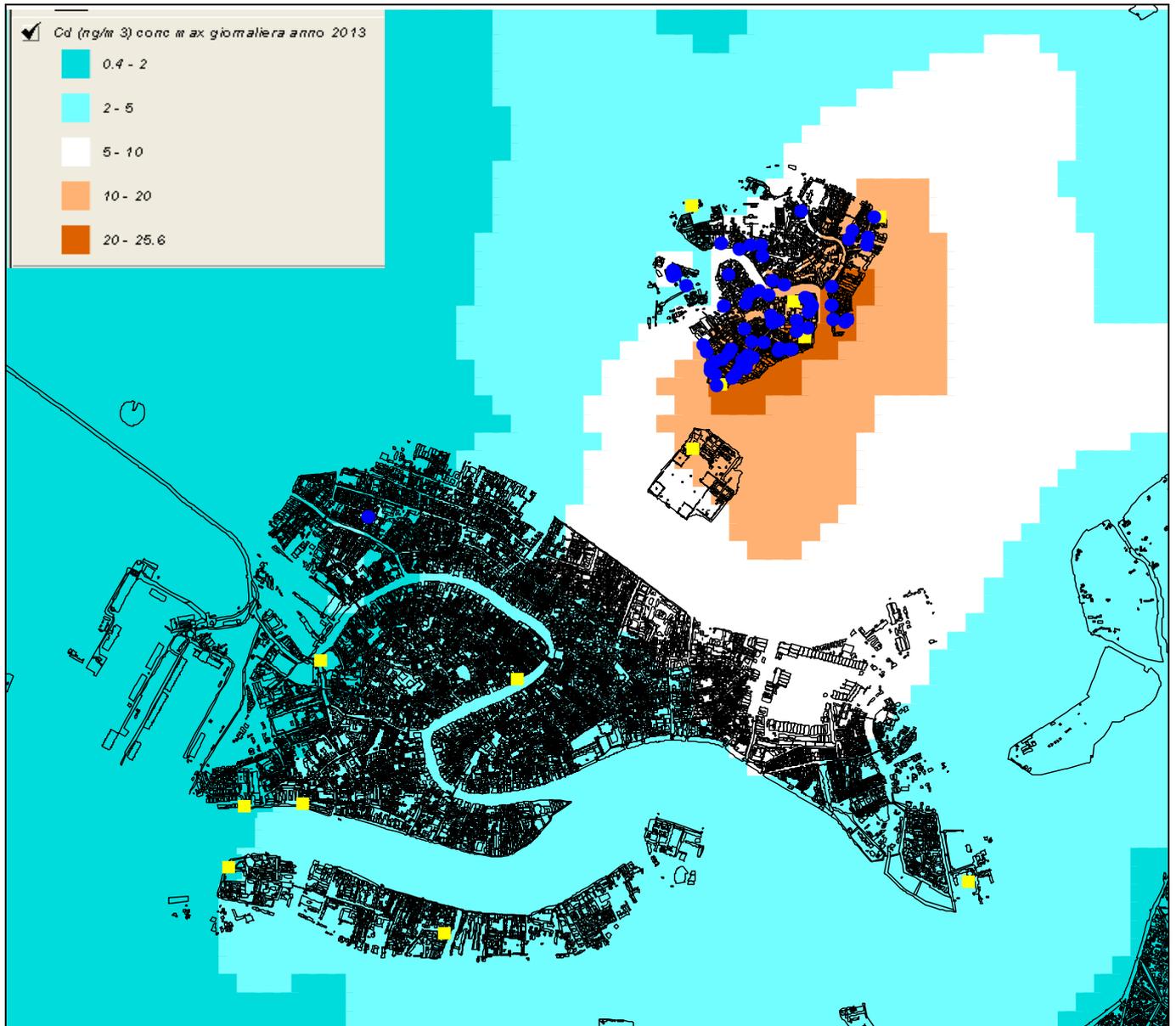
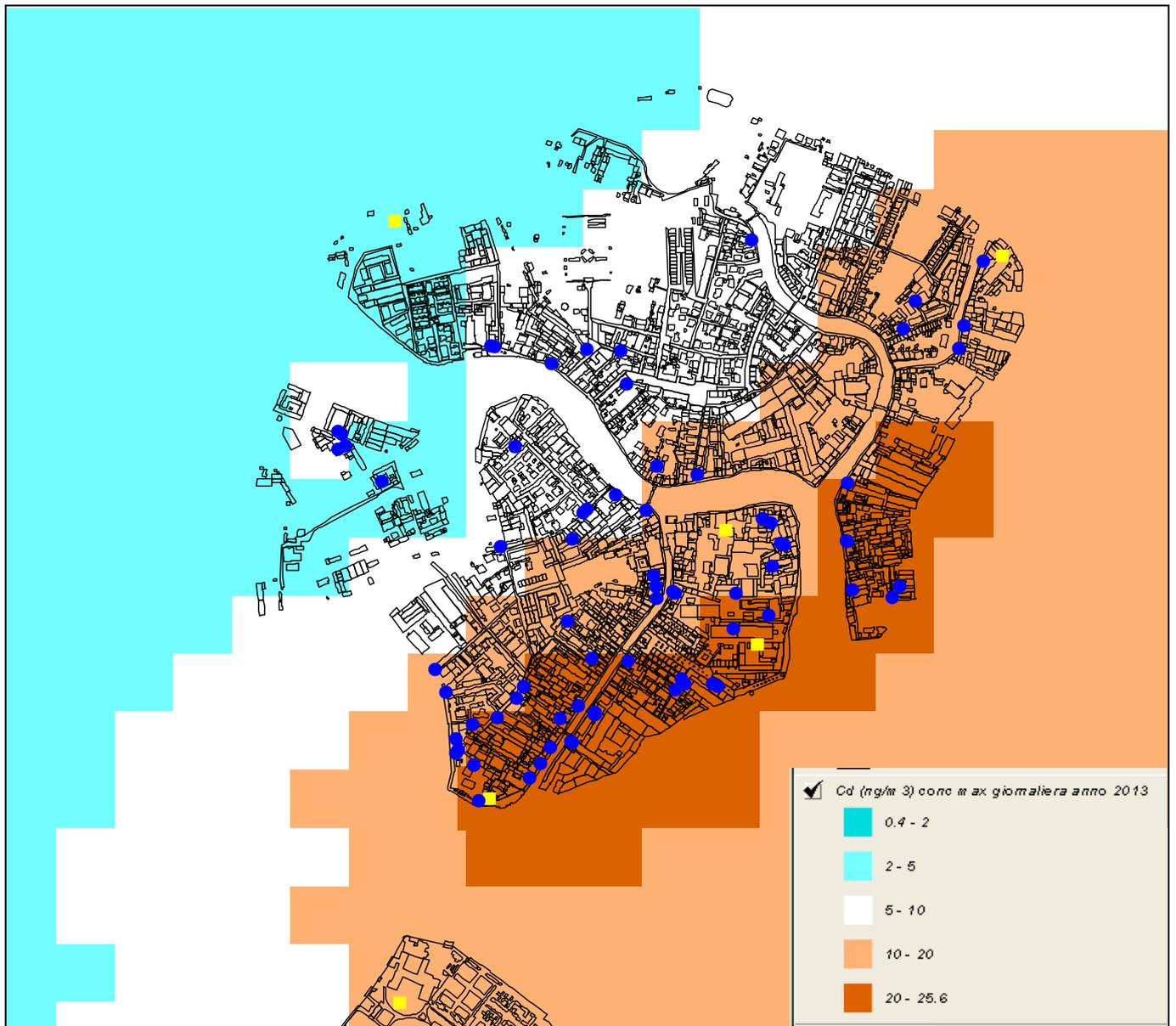


Figura 11. Concentrazione massima giornaliera di Cadmio (ng/m^3) dell'anno 2013 stimata dal modello. Zoom su Murano.



Il massimo valore delle concentrazioni massime giornaliere sia di Arsenico che di Cadmio è stimato sulla punta Sud dell'isola di Murano a Sud Est della zona del faro Colonna. I valori massimi stimati sono in particolare di $128 \text{ ng}/\text{m}^3$ di Arsenico e di $26 \text{ ng}/\text{m}^3$ di Cadmio.

Per il sito della scuola Ugo Foscolo le stime modellistiche calcolano invece concentrazioni massime giornaliere inferiori e pari rispettivamente a $75 \text{ ng}/\text{m}^3$ per l'Arsenico e a $15 \text{ ng}/\text{m}^3$ per il Cadmio.

Le concentrazioni massime giornaliere previste negli altri punti recettore sono riportate in Tabella 5.

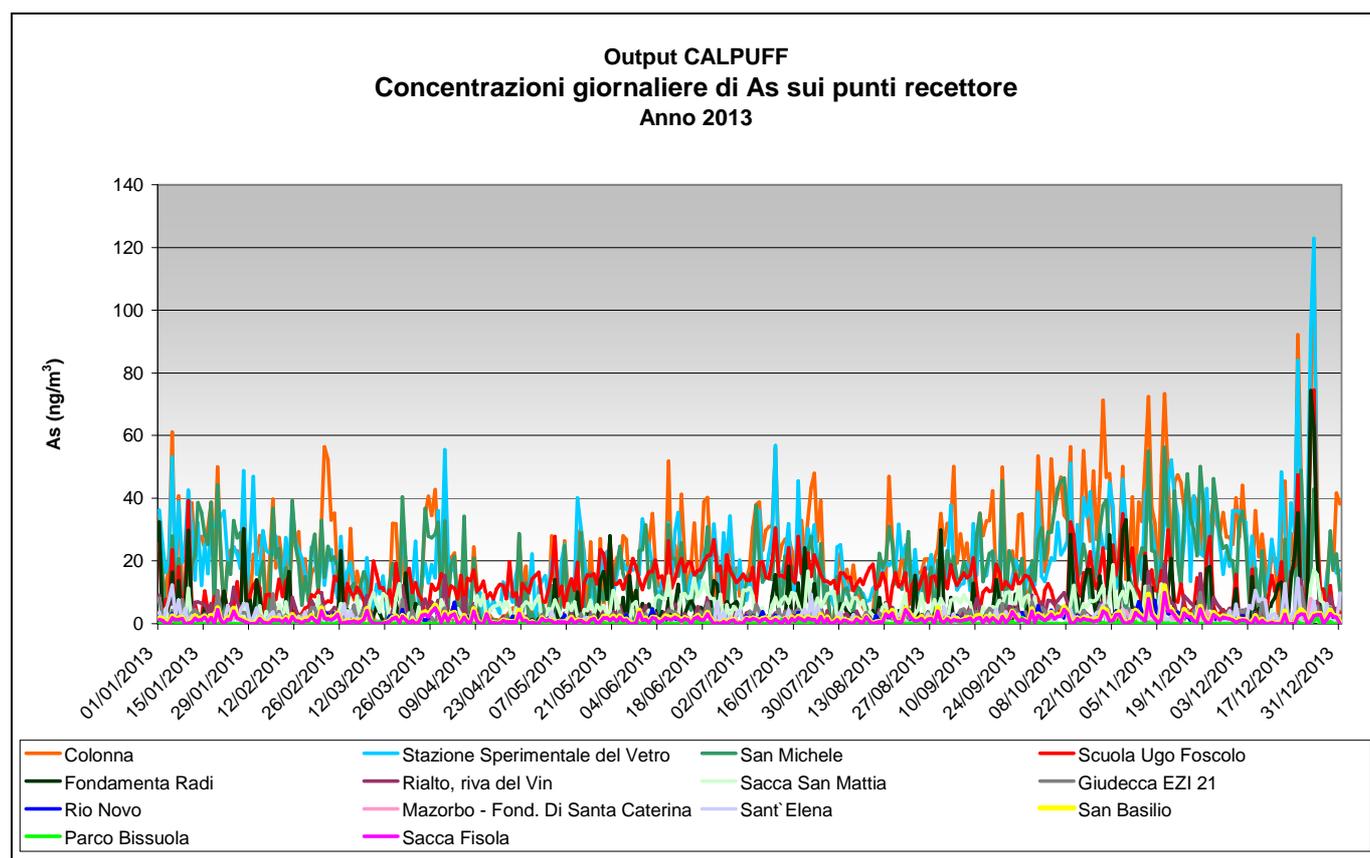
Tabella 5. Concentrazioni massime giornaliere di Arsenico e Cadmio per l'anno 2013 stimate dal modello sui vari punti recettore.

ID	PUNTO_MONITOR	As (ng/m ³)	Cd (ng/m ³)
1	Scuola Ugo Foscolo	75	15
2	Sacca Fisola	10	2
3	San Basilio	12	2
4	Rio Novo	9	2
5	Rialto, riva del Vin	19	4
6	Giudecca EZI 21	12	2
7	Sant' Elena	15	2.9
8	Parco Bissuola	1.9	0
9	Stazione Sperimentale del Vetro	123	25
10	San Michele	56	11
11	Santa Marta	9	2
12	Sacca San Mattia	19	4
13	Fondamenta Radi	74	15
14	Colonna	116	23.2
15	Mazorbo - Fond. di Santa Caterina	7.9	2

In Figura 12 è ritratto l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere stimate dal modello per l'Arsenico per tutti i punti recettore impostati nella simulazione. La giornata per la quale il modello stima il massimo valore giornaliero è quella del 23 dicembre, con un picco di concentrazione oltre i 120 ng/m³ per il punto della Stazione Sperimentale del Vetro. È utile ricordare che nella simulazione modellistica le emissioni delle vetrerie sono sempre state considerate attive, a prescindere da giorni di chiusura settimanale o festiva. I valori diversi riscontrati giorno per giorno sul singolo punto recettore dipendono perciò dalle diverse condizioni meteorologiche (condizioni dispersive e direzione del vento) che investono diversamente il singolo punto recettore con i fumi emessi dai vari camini limitrofi.

Al di là di una corrispondenza più o meno fedele rispetto all'emissione effettivamente avvenuta nella singola giornata dalla particolare vetreria, questo grafico a "serie storica" consente di individuare i punti recettore maggiormente investiti, secondo il modello, da alte concentrazioni giornaliere. I valori massimi giorno per giorno sono in particolare quelli stimati per il punto recettore "Colonna" e per il punto della "Stazione Sperimentale del vetro". Il punto recettore della Scuola Ugo Foscolo appare invece interessato da concentrazioni giornaliere di più ridotti valori.

Figura 12. Serie storica delle concentrazioni medie giornaliere di Arsenico (ng/m^3) stimate dal modello sui vari punti recettore.



Le medesime “serie storiche” delle concentrazioni giornaliere di Arsenico di Figura 12 sono ritratte separatamente per i punti recettore di Murano e per San Michele (Figura 13) e per gli altri punti recettori (Figura 14). Si noti che il fondo scala di Figura 14 è di $25 \text{ ng}/\text{m}^3$ contro i 140 di Figura 13.

Figura 13. Serie storica delle concentrazioni medie giornaliere di Arsenico (ng/m^3) stimate dal modello sui punti recettore di Murano e a San Michele.

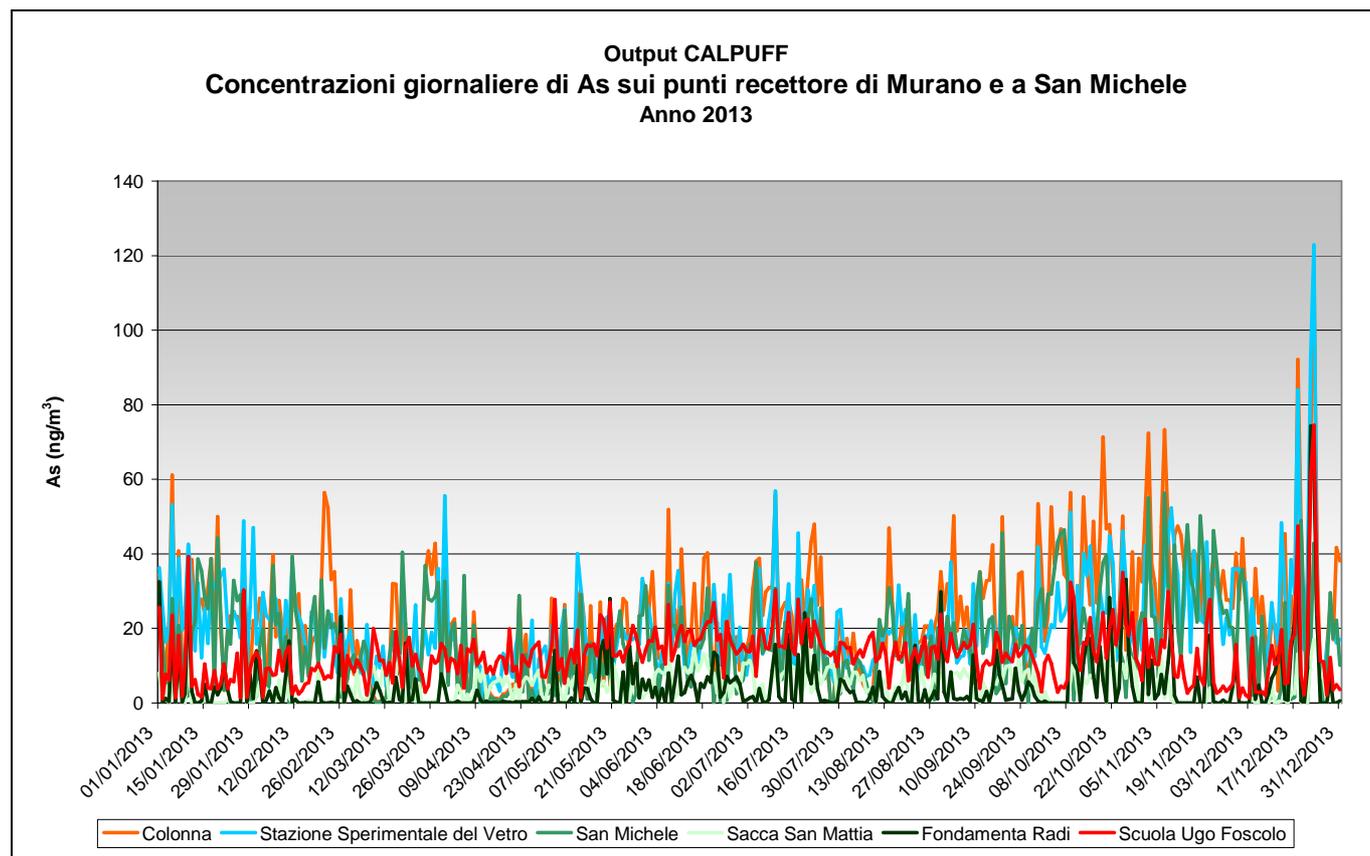
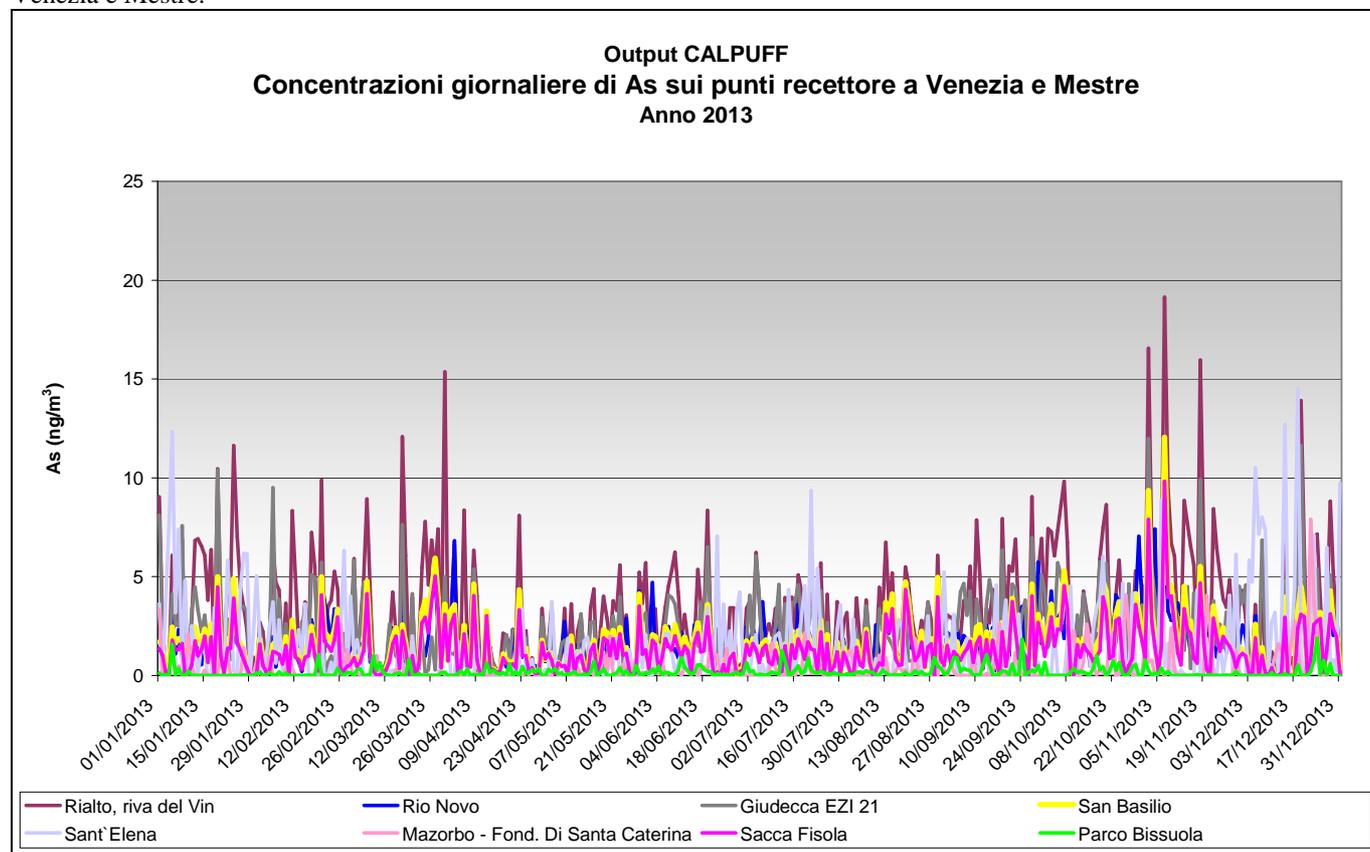


Figura 14. Serie storica delle concentrazioni medie giornaliere di Arsenico (ng/m^3) stimate dal modello sui punti recettore di Venezia e Mestre.



Da Figura 15 a Figura 17 sono presentate le serie storiche delle concentrazioni medie giornaliere stimate per il Cadmio. Mentre i valori assoluti stimati per il Cadmio sono minori di quelli dell'Arsenico (la massima concentrazione media giornaliera è infatti stimata pari a 25 ng/m³ per il sito della Stazione Sperimentale del Vetro), gli andamenti temporali sono del tutto simili a quelli dell'Arsenico, in quanto la simulazione modellistica ha considerato flussi di massa per i due inquinanti proporzionali secondo il rapporto 0.5 a 0.1 corrispondenti alle concentrazioni massime autorizzate in mg/Nm³ per la stessa lista di camini modellizzati.

Figura 15. Serie storica delle concentrazioni medie giornaliere di Cadmio (ng/m³) stimate dal modello sui vari punti recettore.

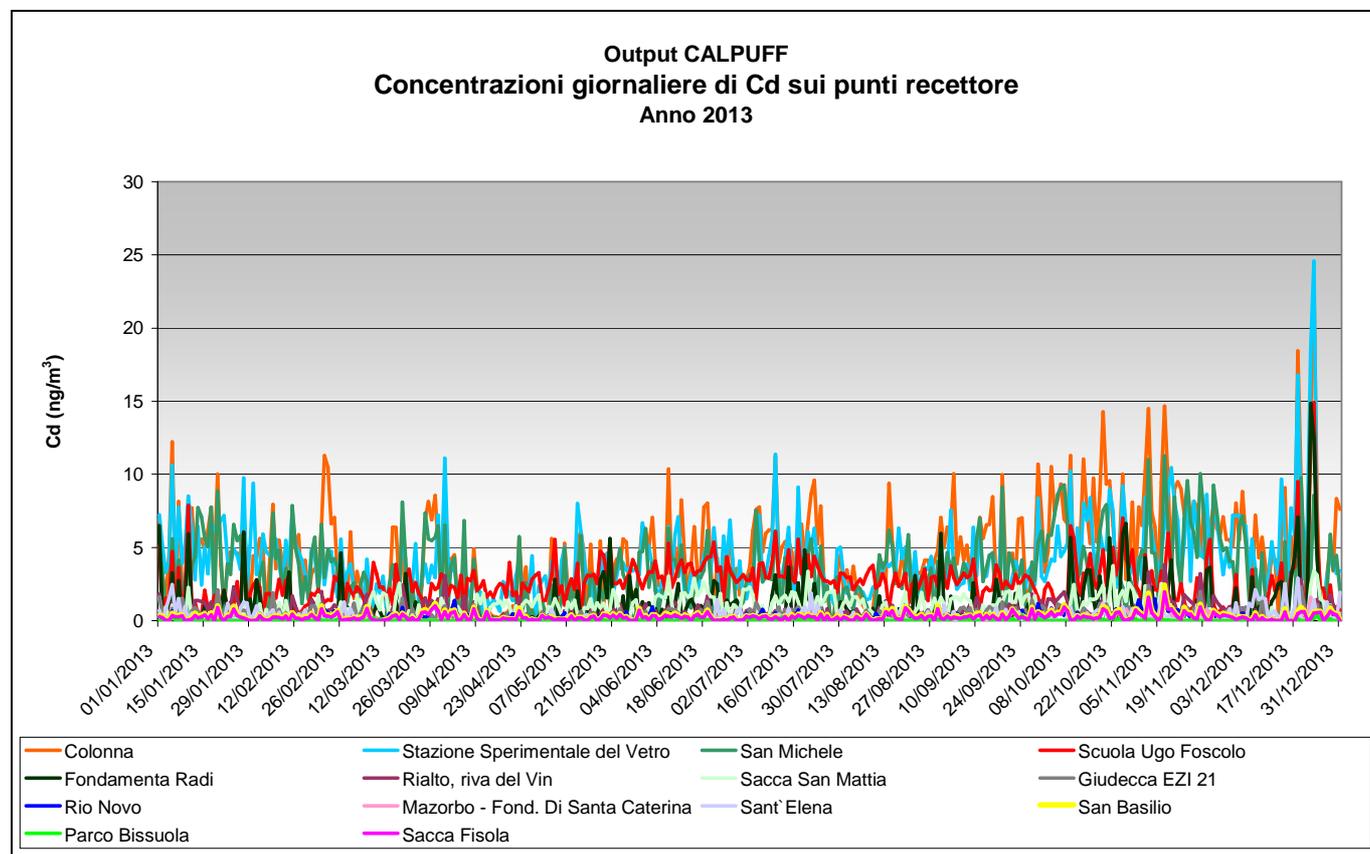


Figura 16. Serie storica delle concentrazioni medie giornaliere di Cadmio (ng/m^3) stimate dal modello sui punti recettore di Murano e a San Michele.

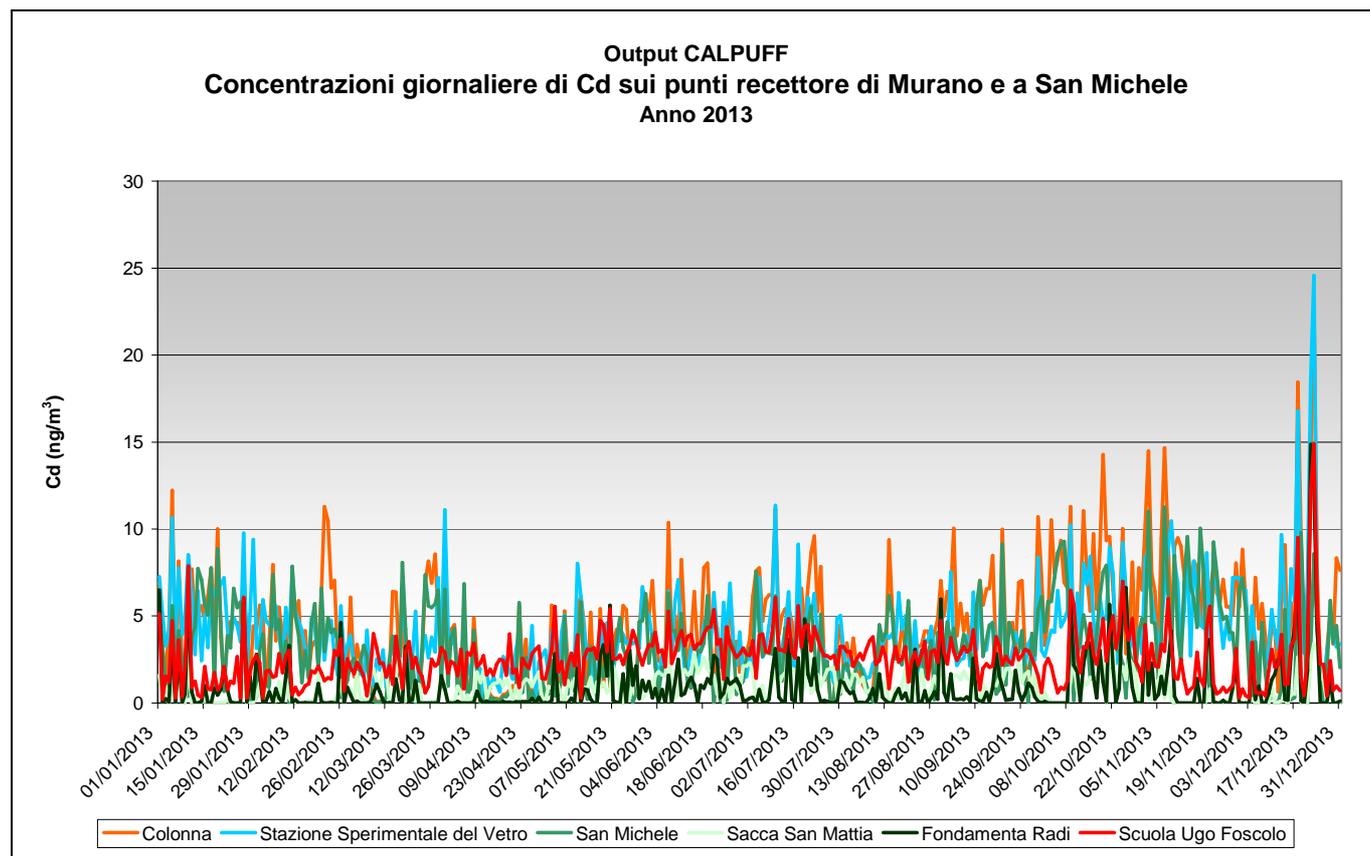
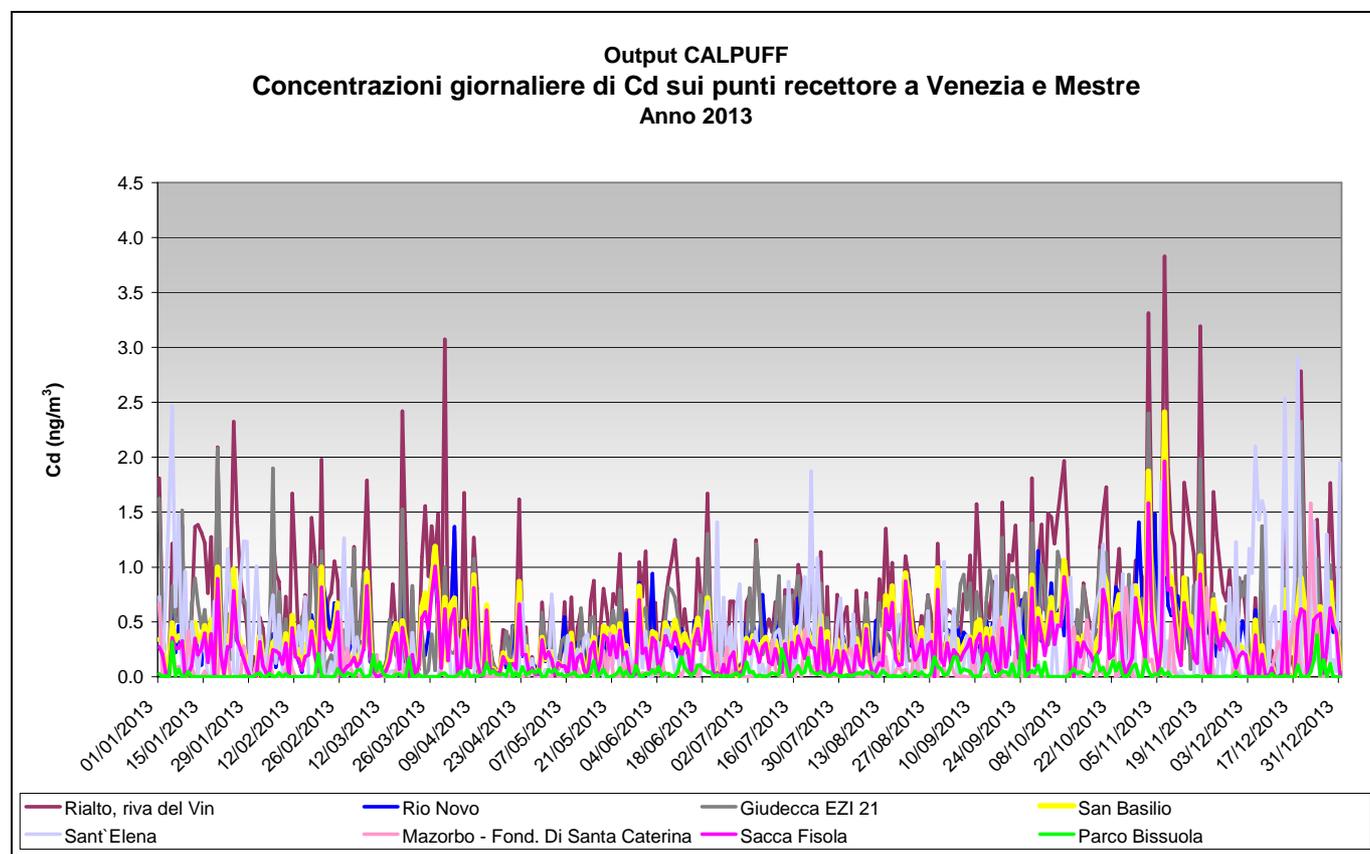


Figura 17. Serie storica delle concentrazioni medie giornaliere di Cadmio (ng/m^3) stimate dal modello sui punti recettore di Venezia e Mestre.



Da Figura 18 a Figura 21 sono presentate le mappe dei flussi di deposizione giornalieri medi di Arsenico e Cadmio calcolati dal modello per il 2013.

Figura 18. Flussi di deposizione medi giornalieri di Arsenico ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$), stime modellistiche per l'anno 2013. Area ampia di studio.

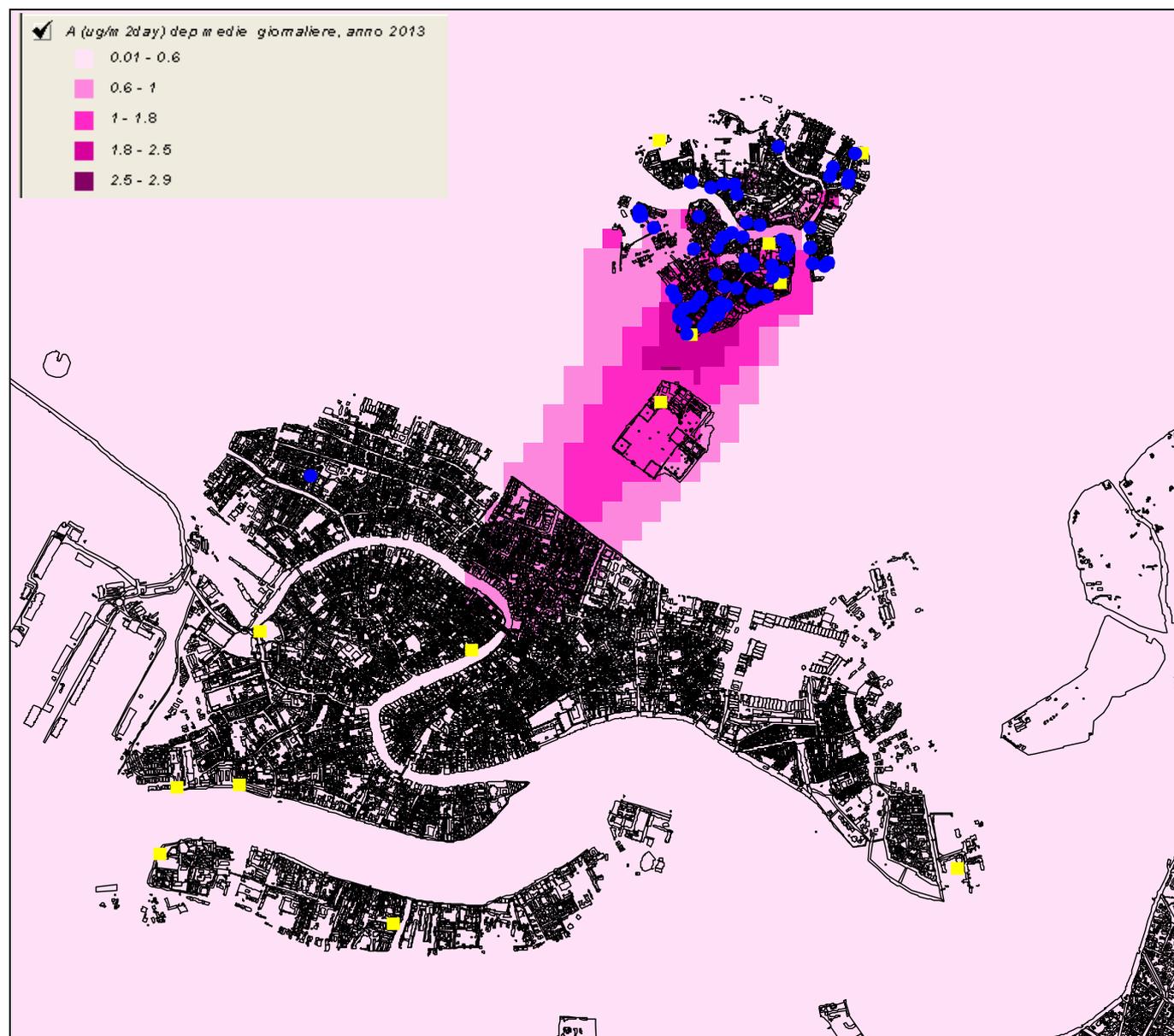


Figura 19. Flussi di deposizione medi giornalieri di Arsenico ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$), stime modellistiche per l'anno 2013. Zoom su Murano.

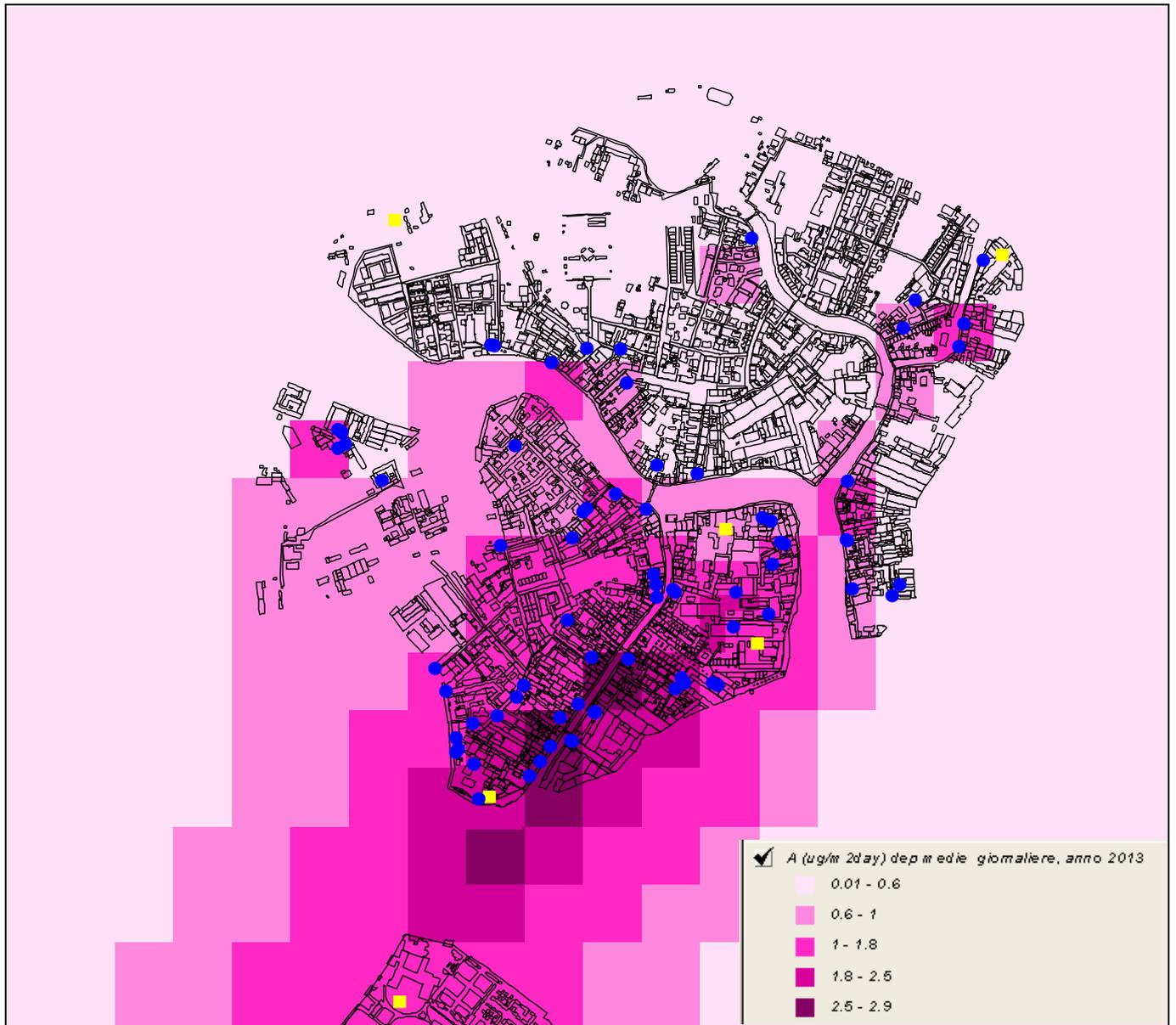


Figura 20. Flussi di deposizione medi giornalieri di Cadmio ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$), stime modellistiche per l'anno 2013. Area ampia di studio.

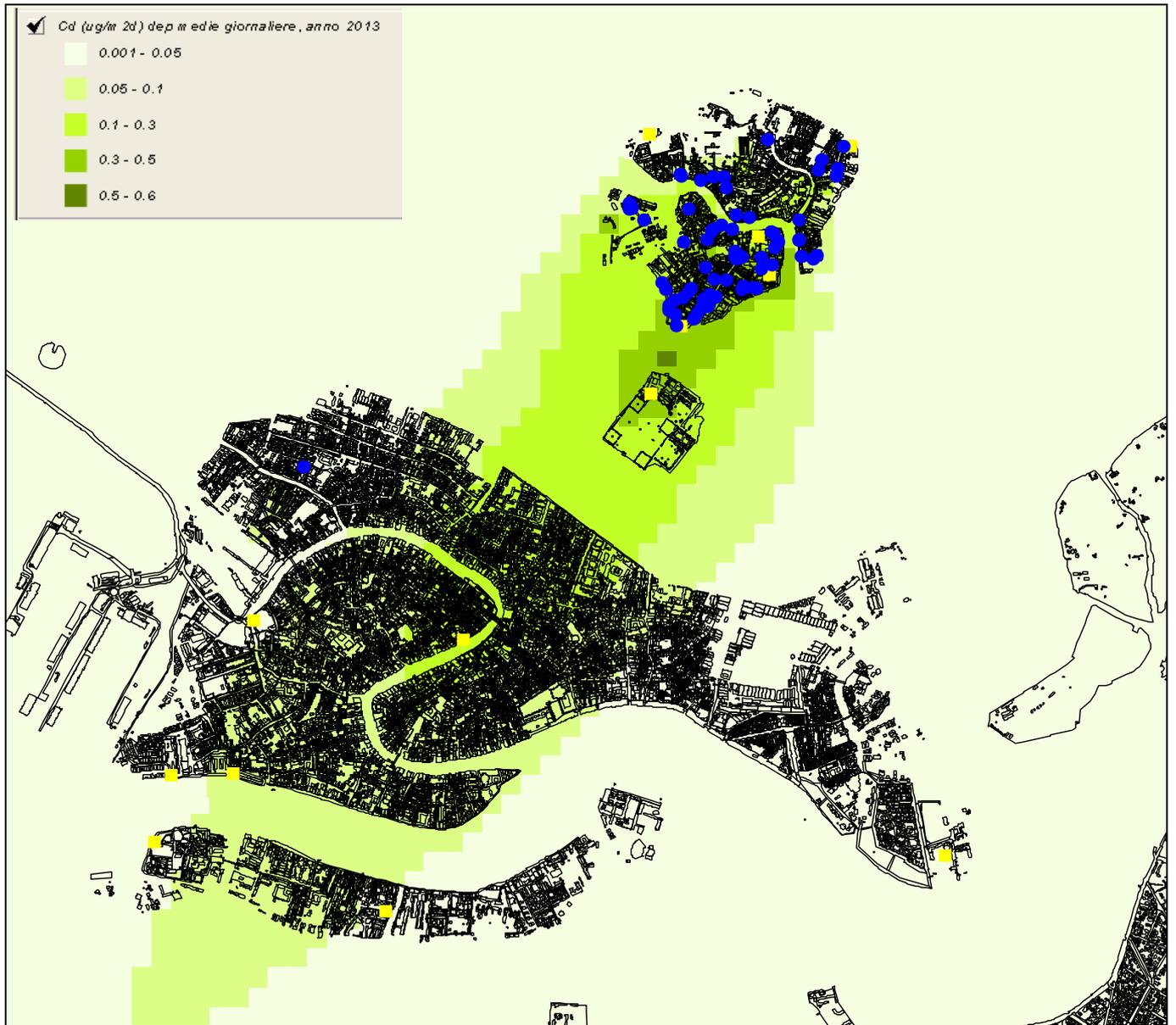
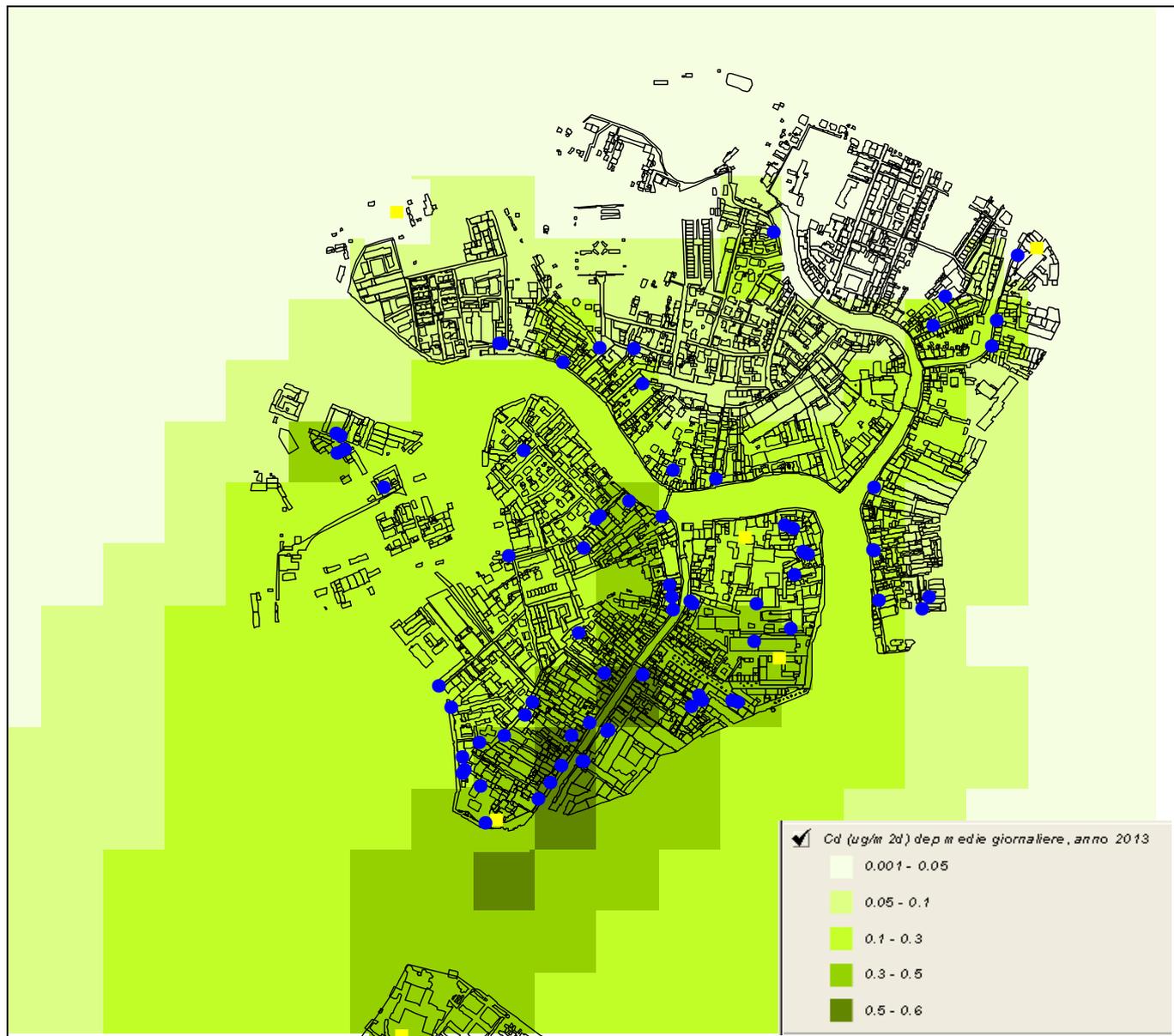


Figura 21. Flussi di deposizione medi giornalieri di Cadmio ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$), stime modellistiche per l'anno 2013. Zoom su Murano.



I valori massimi per i flussi di deposizione giornalieri mediati su tutto l'anno 2013 sono di circa 3 ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$) per l'Arsenico e di circa 0.6 ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$) per il Cadmio, entrambi posizionati nell'isola di Murano a metà circa di Fondamenta Manin.

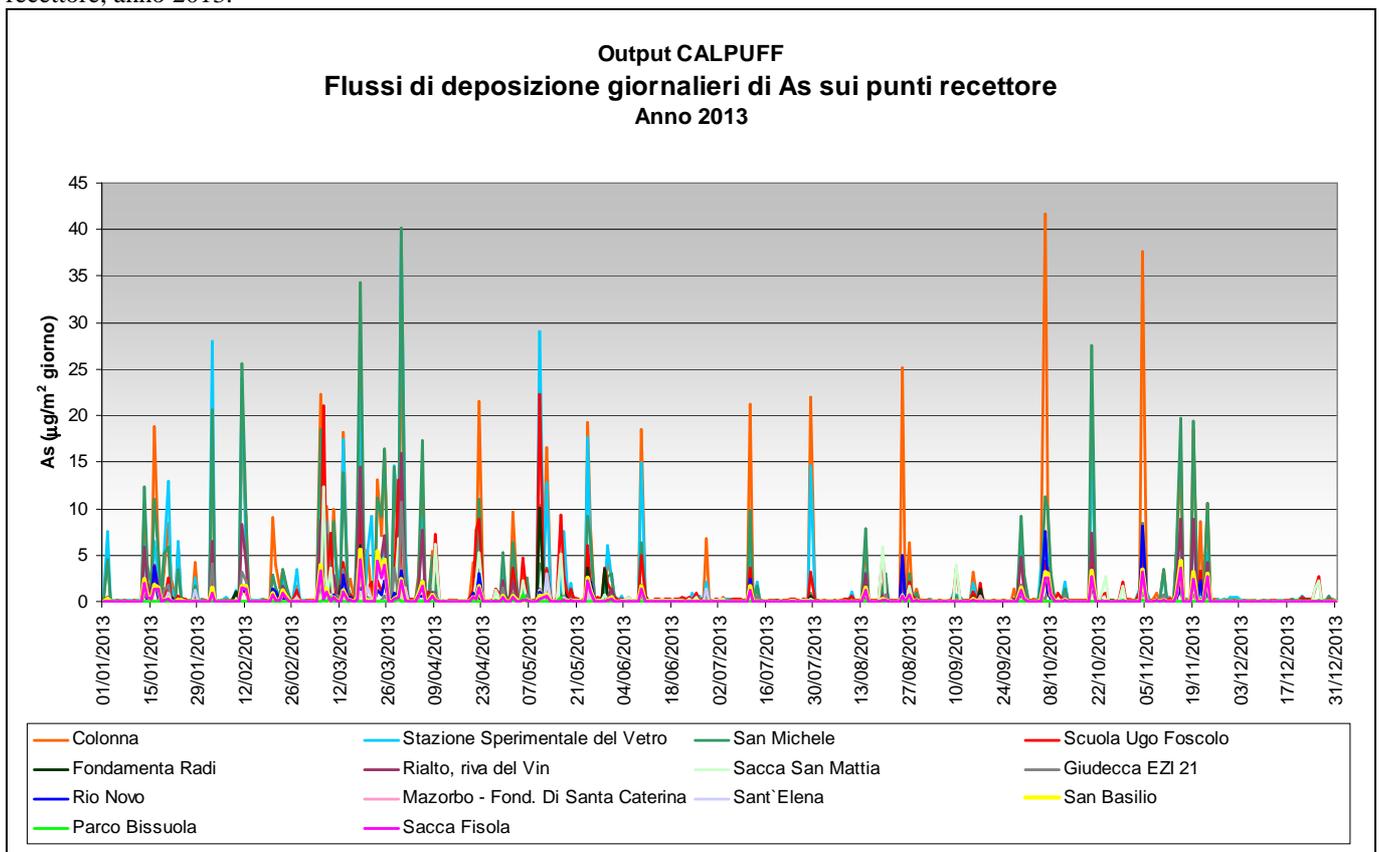
I flussi di deposizione giornalieri medi dell'anno 2013 calcolati nei vari punti recettore sono riportate in Tabella 6.

Tabella 6. Flussi di deposizione medi giornalieri di Arsenico e Cadmio per l'anno 2013 stimate dal modello sui vari punti recettore ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$).

ID	PUNTO_MONITOR	As ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$).	Cd ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{giorno})$).
1	Scuola Ugo Foscolo	0.8	0.2
2	Sacca Fisola	0.2	0.04
3	San Basilio	0.3	0.1
4	Rio Novo	0.2	0.05
5	Rialto, riva del Vin	0.6	0.1
6	Giudecca EZI 21	0.2	0.05
7	Sant'Elena	0.1	0.01
8	Parco Bissuola	0.01	0.002
9	Stazione Sperimentale del Vetro	1.7	0.3
10	San Michele	1.7	0.3
11	Santa Marta	0.2	0.04
12	Sacca San Mattia	0.2	0.05
13	Fondamenta Radi	0.1	0.03
14	Colonna	2.2	0.4
15	Mazorbo - Fond. di Santa Caterina	0.01	0.002

In Figura 22 è presentata la serie storica dei flussi di deposizione giornalieri di Arsenico stimati dal modello per i vari punti recettore. Il massimo flusso di deposizione giornaliero è calcolato per il sito Colonna per il giorno 6/10/2013 ed è pari a circa 42 ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno).

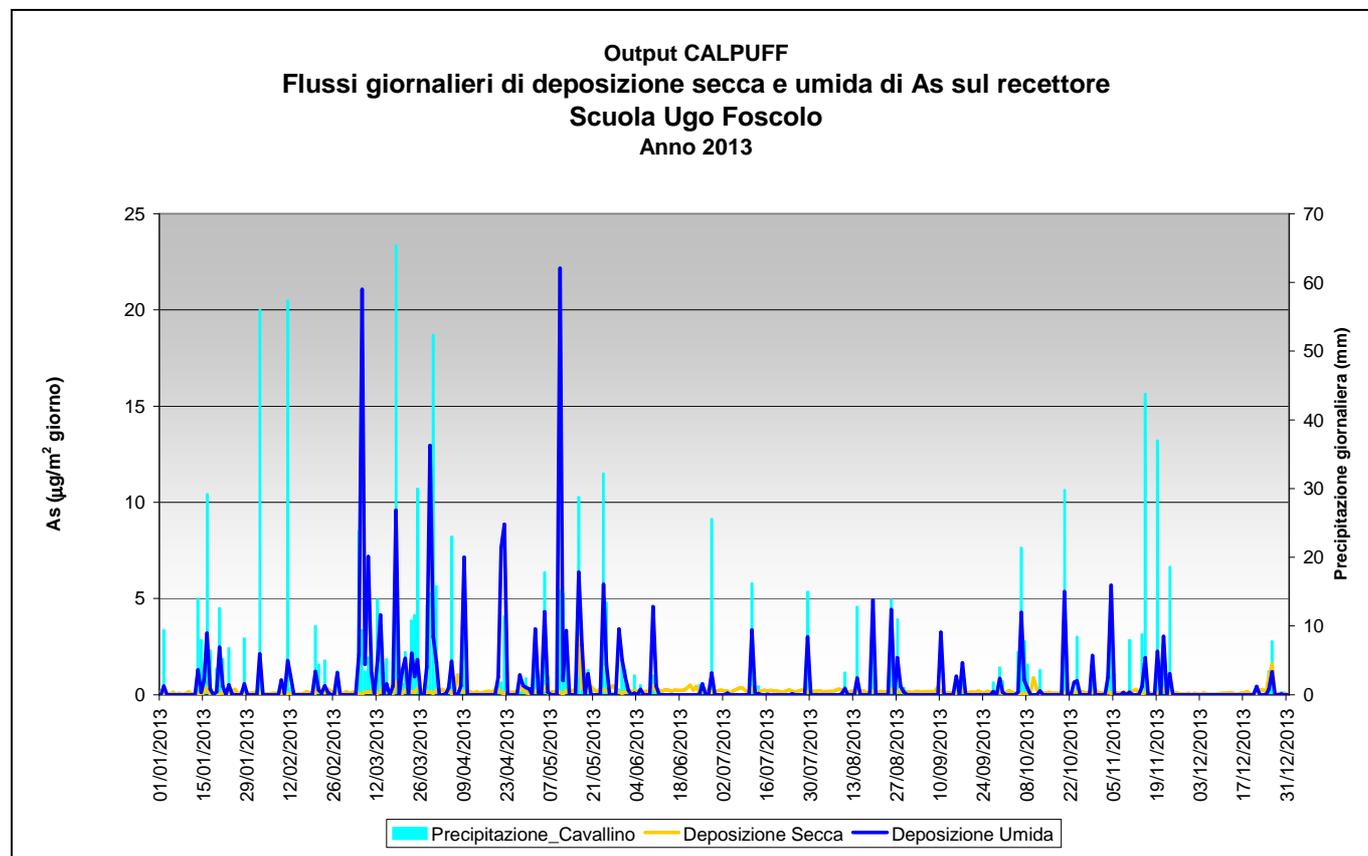
Figura 22. Serie Storica dei flussi di deposizione giornalieri di Arsenico ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno) stimati dal modello sui vari punti recettore, anno 2013.



Diversamente dalle concentrazioni giornaliere, i flussi di deposizione giornalieri dimostrano valori spiccatamente “intermittenti” che derivano dall’attivarsi della deposizione umida (componente prevalente rispetto a quella secca) in corrispondenza delle giornate piovose.

Questo fenomeno è evidente nella serie storica ritratta in Figura 23 per il sito della Scuola Ugo Foscolo, grafico in cui le due componenti secca e umida sono ritratte separatamente e che riporta, nell'asse secondario delle ordinate, anche le precipitazioni giornaliere registrate presso la stazione meteo CMT-ARPAV Cavallino-Treporti.

Figura 23. Serie Storica dei flussi giornalieri di deposizione secca e umida di Arsenico ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno) stimati dal modello sul punto recettore Ugo Foscolo.



I flussi di deposizione stimati dal modello per il Cadmio non vengono presentati, in quanto hanno un andamento del tutto simile a quelli presentati per l'Arsenico, al di là di un valore di proporzionalità 1 a 5 che rispecchia l'input modellistico all'emissione (concentrazioni a camino di $0.1 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ipotizzate per il Cadmio rispetto a $0.5 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ assunti per l'Arsenico).

4.2 Confronto con i dati di monitoraggio

Nel presente paragrafo si confrontano le stime modellistiche con le misure svolte da ARPAV nell'isola di Murano nel corso dell'anno 2013 (ARPAV, 2014).

I dati di monitoraggio disponibili riguardano in particolare:

- misure sequenziali di concentrazioni giornaliere di polveri PM10 e di metalli presenti nella frazione PM10, tra cui arsenico (As) e cadmio (Cd) presso:
 - la scuola Ugo Foscolo, per i due periodi temporali: 28 febbraio-1° maggio e 1° settembre-4 novembre;
 - fondamenta Radi, per il periodo 8 ottobre-31 ottobre 2013.
 - la stazione fissa della Rete Regionale ARPAV della Qualità dell'Aria di Sacca Fisola.
- misure di deposizioni atmosferiche, per i periodi: 7 ottobre-5 novembre 2013 e 18 dicembre 2013-16 gennaio 2014, presso:
 - Murano - scuola Ugo Foscolo;
 - Murano - Fondamenta Radi;
 - Murano - Sacca San Mattia;
 - Murano - Colonna;

Da Figura 24 a Figura 26 sono presentate le concentrazioni medie giornaliere di Arsenico misurate e stimate dal modello rispettivamente presso la scuola Ugo Foscolo, presso la stazione Sacca Fisola a Giudecca e presso il sito di Fondamenta Radi.

Figura 24. Concentrazioni medie giornaliere di Arsenico (ng/m^3), stimate dal modello per tutto l'anno 2013 e misurate nei 2 periodi 28 febbraio-1° maggio e 1° settembre-4 novembre 2013. Sito scuola Ugo Foscolo

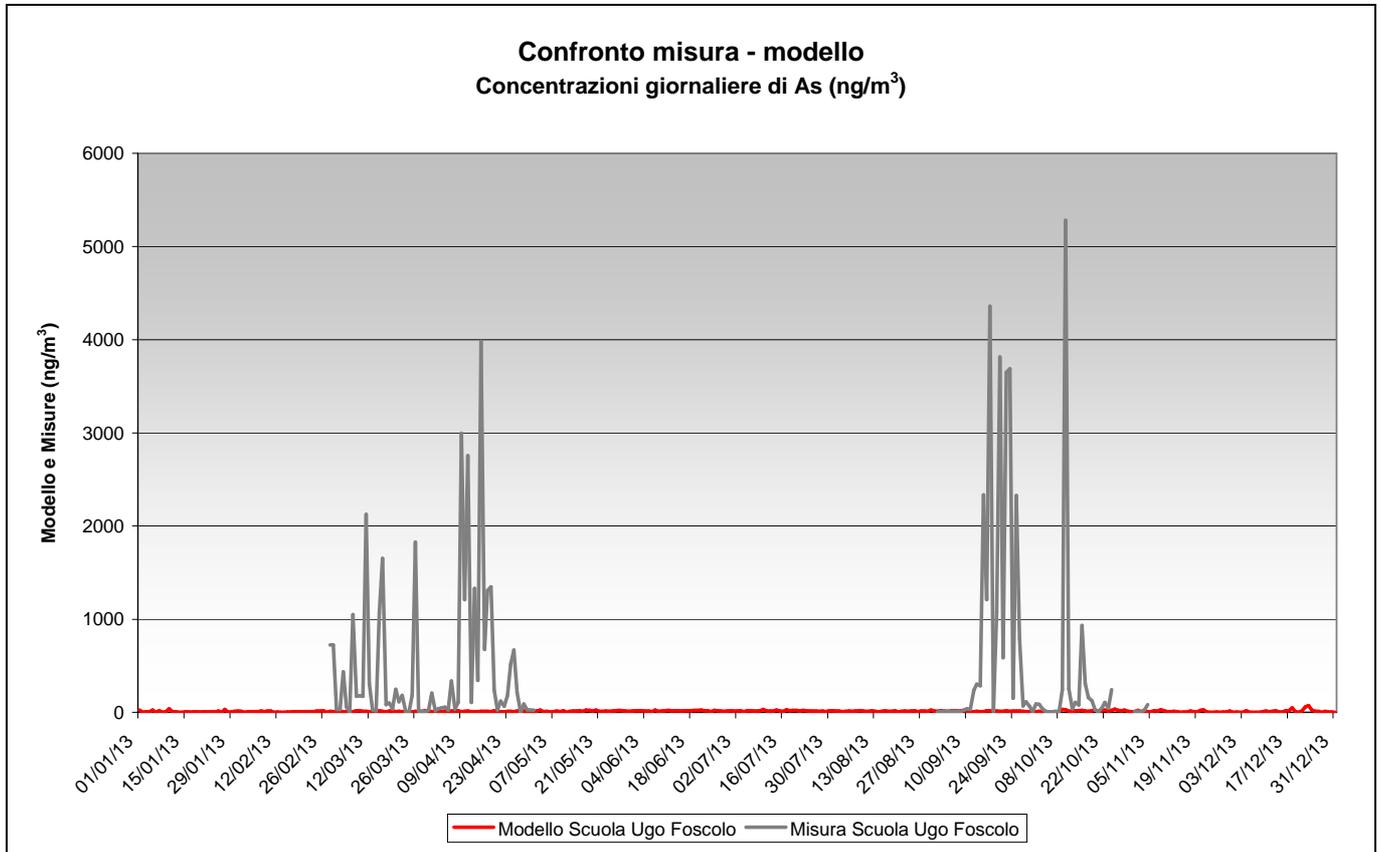


Figura 25. Concentrazioni medie giornaliere di Arsenico (ng/m^3), stimate dal modello e misurate per tutto l'anno 2013. Sito stazione Sacca Fisola.

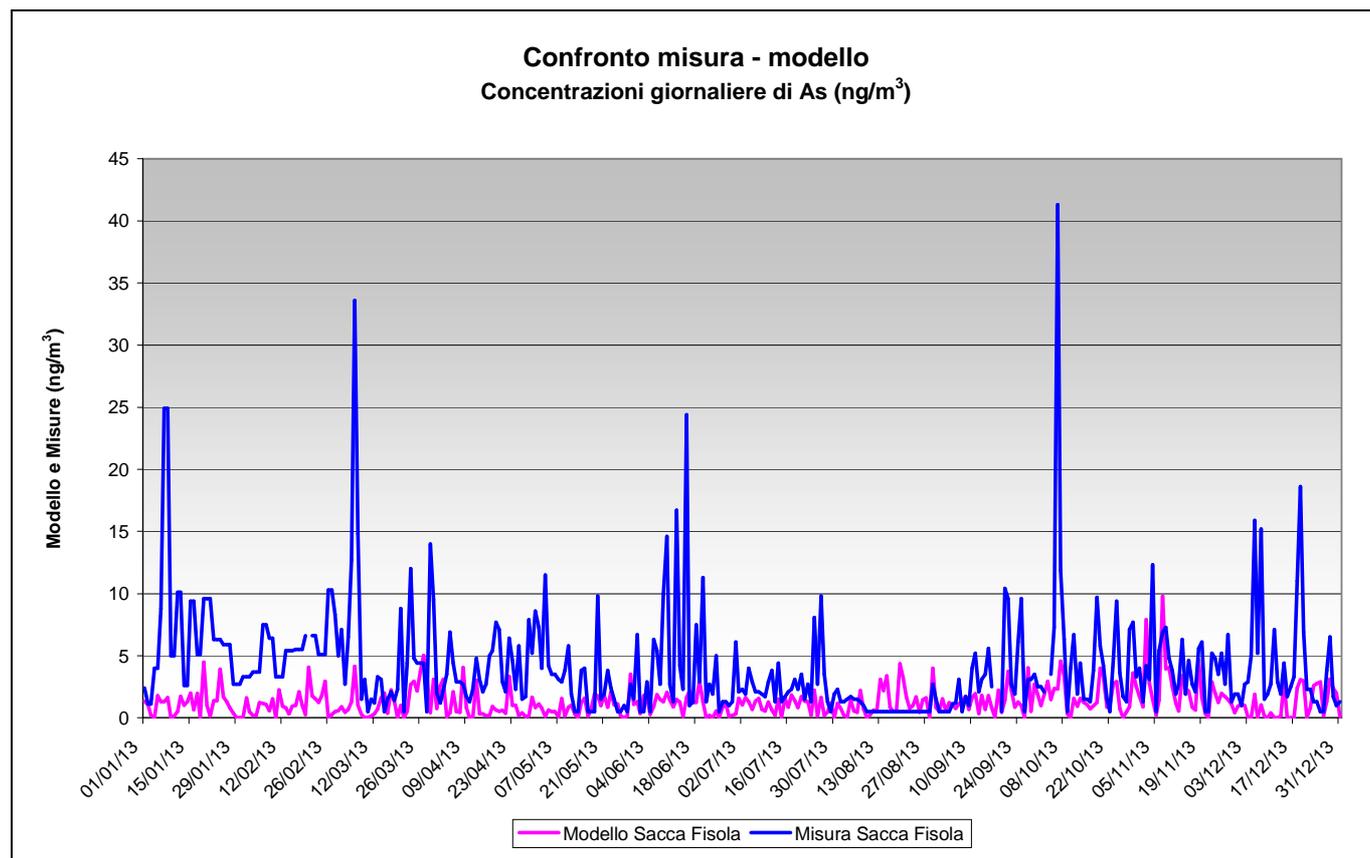
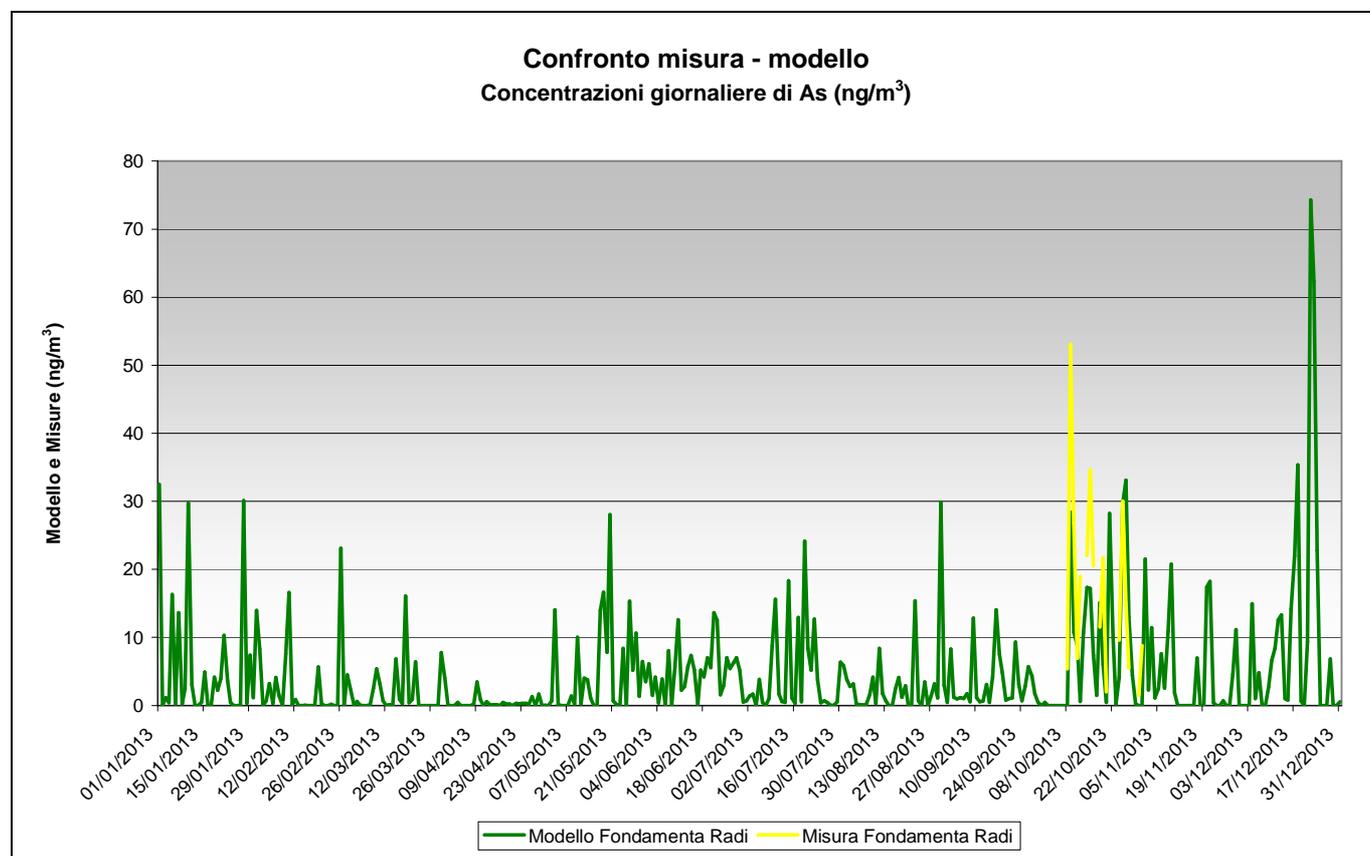


Figura 26. Concentrazioni medie giornaliere di Arsenico (ng/m^3), stimate dal modello e misurate per tutto l'anno 2013. Sito Fondamenta Radi.



Per il sito di Fondamenta Radi (Figura 26) le concentrazioni giornaliere di Arsenico stimate dal modello presentano una buona corrispondenza con quelle misurate, sia come andamento che come intensità: nel periodo di sovrapposizione modello-misura la massima concentrazione stimata dal modello è di 33 ng/m³ contro i 53 ng/m³ della misura.

Per la stazione di Sacca Fisola (Figura 25) le concentrazioni giornaliere stimate dal modello sono quasi sempre inferiori a quelle misurate. In particolare le stime modellistiche non ritraggono le concentrazioni di picco che si verificano in alcune giornate, non superando mai i 10 ng/m³, mentre per le misure si registrano 24 valori giornalieri sopra tale soglia. Escludendo questi picchi, le stime modellistiche ritraggono l'ordine di grandezza delle misure e dimostrano anche una certa corrispondenza negli andamenti.

Per quanto riguarda invece il grafico relativo al sito di Ugo Foscolo (Figura 24), utilizzando il fondo scala di 6000 ng/m³ (poiché le misure hanno il massimo pari a 5280 ng/m³), non si apprezza alcun segnale modellistico (il massimo valore di concentrazione media giornaliera stimata dal modello è infatti di 75 ng/m³).

Ponendo il fondo scala del grafico a 500 ng/m³ e lasciando perciò fuori le 29 misure che, considerando i due distinti periodi di monitoraggio, eccedono tale valore, si osserva però che in alcuni periodi le stime modellistiche presentino valori confrontabili con quelli misurati (Figura 27 e Figura 28).

È in particolare interessante la buona corrispondenza misura – modello nella prima decade di settembre, periodo nel quale alcune importanti aziende della zona risultano non essere state in produzione (Figura 28).

Figura 27. Concentrazioni medie giornaliere di Arsenico (ng/m³), stimate dal modello e misurate periodo 28 febbraio-1° maggio 213. Sito scuola Ugo Foscolo.

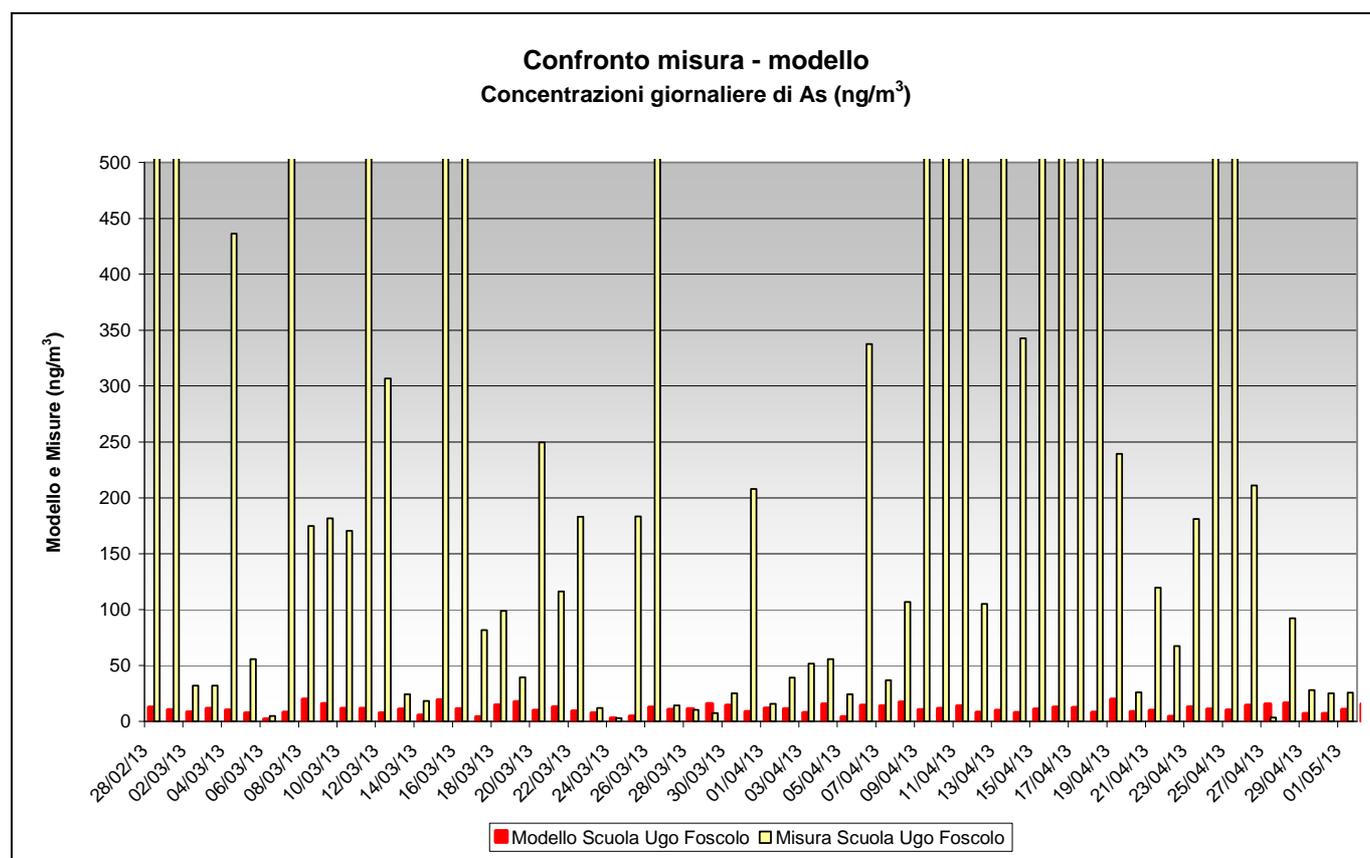
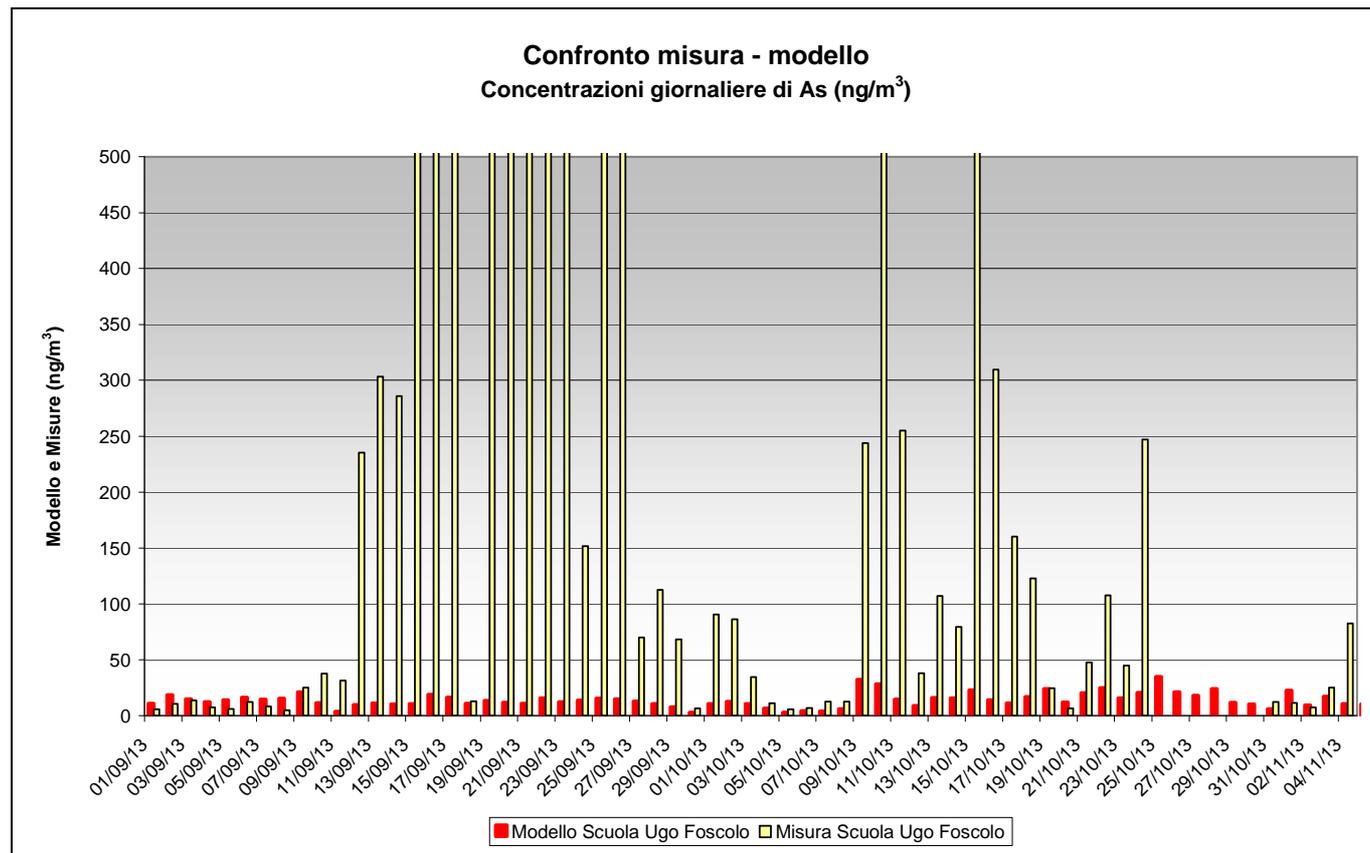


Figura 28. Concentrazioni medie giornaliere di Arsenico (ng/m^3), stimate dal modello e misurate periodo 1°settembre-4 novembre 2013. Sito scuola Ugo Foscolo.



Da Figura 29 a Figura 31 sono presentate le concentrazioni medie giornaliere di Cadmio misurate e stimate dal modello rispettivamente presso la scuola Ugo Foscolo, presso la stazione Sacca Fisola a Giudecca e presso il sito di Fondamenta Radi.

Figura 29. Concentrazioni medie giornaliere di Cadmio (ng/m^3), stimate dal modello per tutto l'anno 2013 e misurate nei 2 periodi 28 febbraio-1° maggio e 1° settembre-4 novembre 2013. Sito scuola Ugo Foscolo.

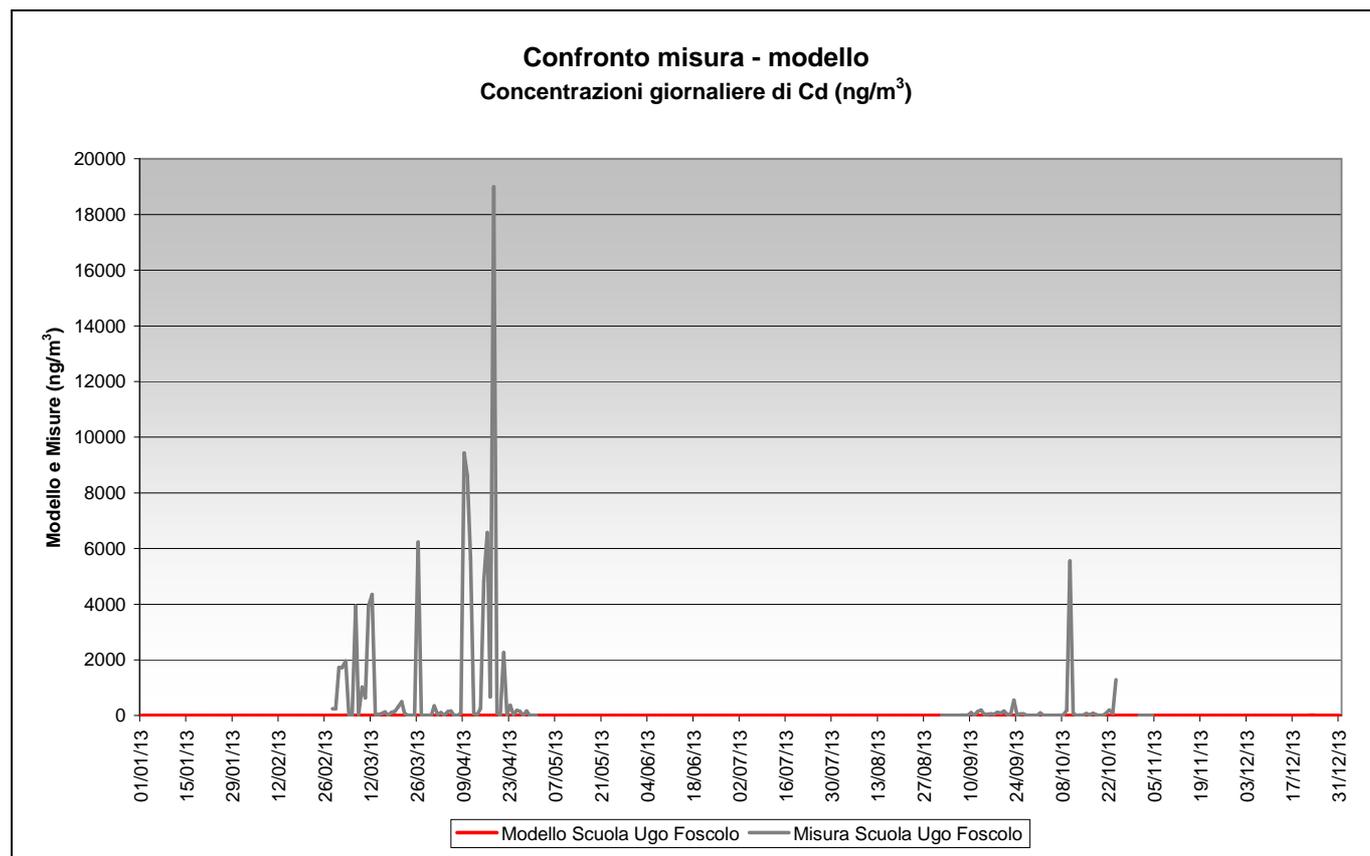


Figura 30. Concentrazioni medie giornaliere di Cadmio (ng/m^3), stimate dal modello e misurate per tutto l'anno 2013. Sito stazione Sacca Fisola.

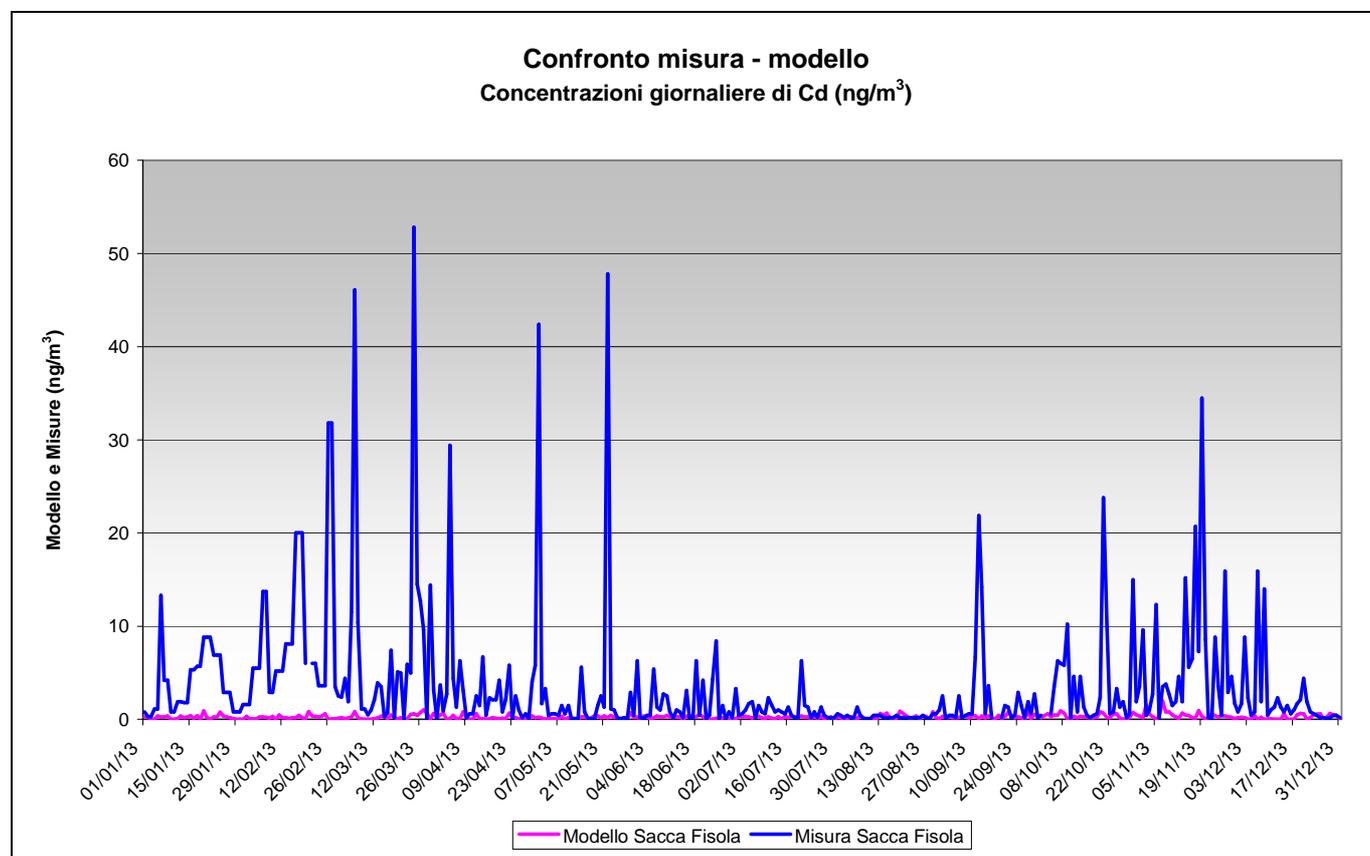
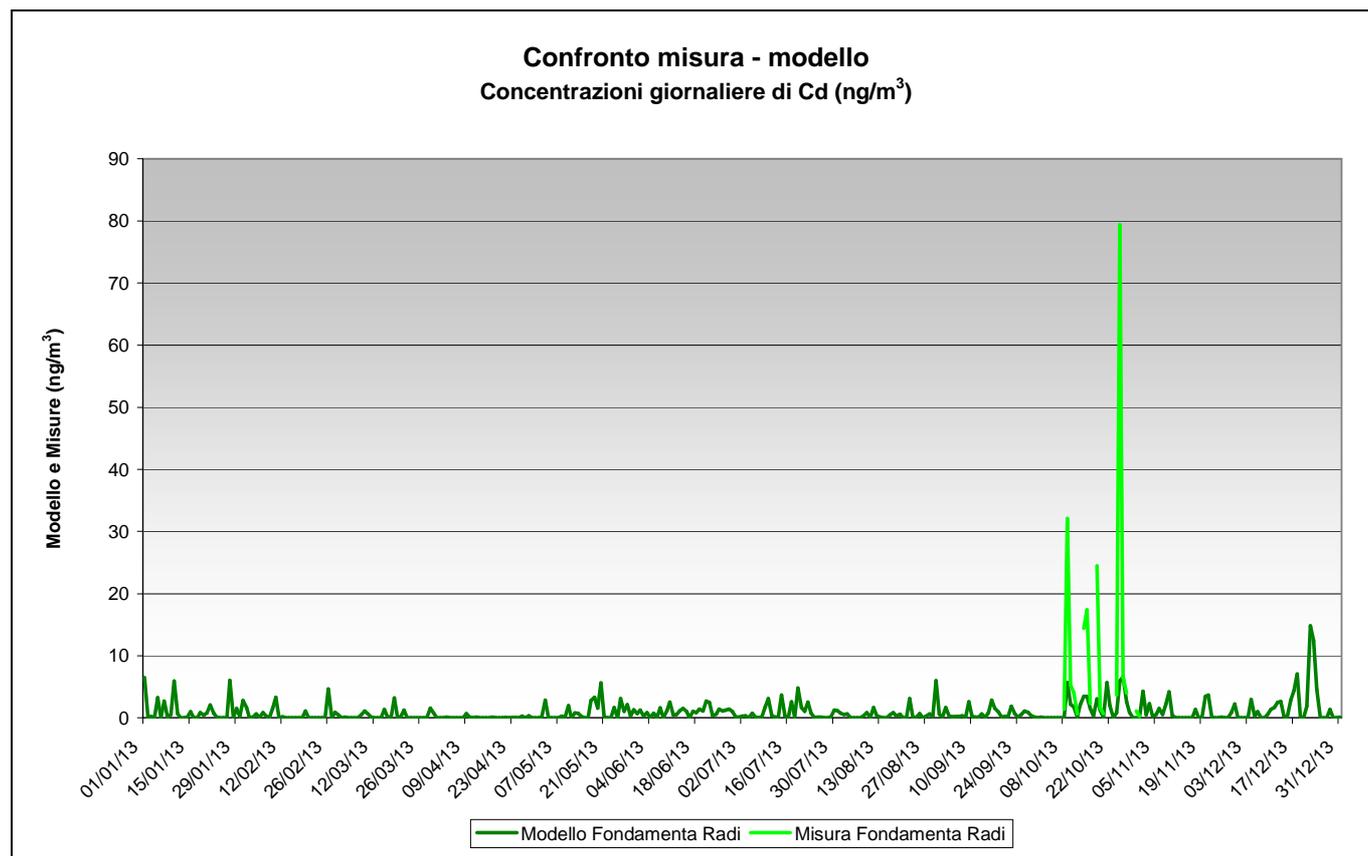


Figura 31. Concentrazioni medie giornaliere di Cadmio (ng/m^3), stimate dal modello e misurate per tutto l'anno 2013. Sito Fondamenta Radi.



Le stime modellistiche per il Cadmio si dimostrano ancora più fortemente sottostimate rispetto a quelle dell'Arsenico. Nel caso di Fondamenta Radi e di Sacca Fisola le concentrazioni stimate sono significativamente minori di quelle misurate anche prendendo in considerazione le giornate in cui non si misurano picchi eccessivi.

Per il caso di Ugo Foscolo, sono rare le giornate in cui la concentrazione media stimata dal modello è dello stesso ordine di grandezza di quella misurata (vedasi grafici con fondo scala ridotto a $500 \text{ ng}/\text{m}^3$ di Figura 32 e Figura 33). Anche per il Cadmio, comunque, questo avviene nella prima decade di settembre.

Figura 32. Concentrazioni medie giornaliere di Cadmio (ng/m^3), stimate dal modello e misurate periodo 28 febbraio-1° maggio 2013. Sito scuola Ugo Foscolo.

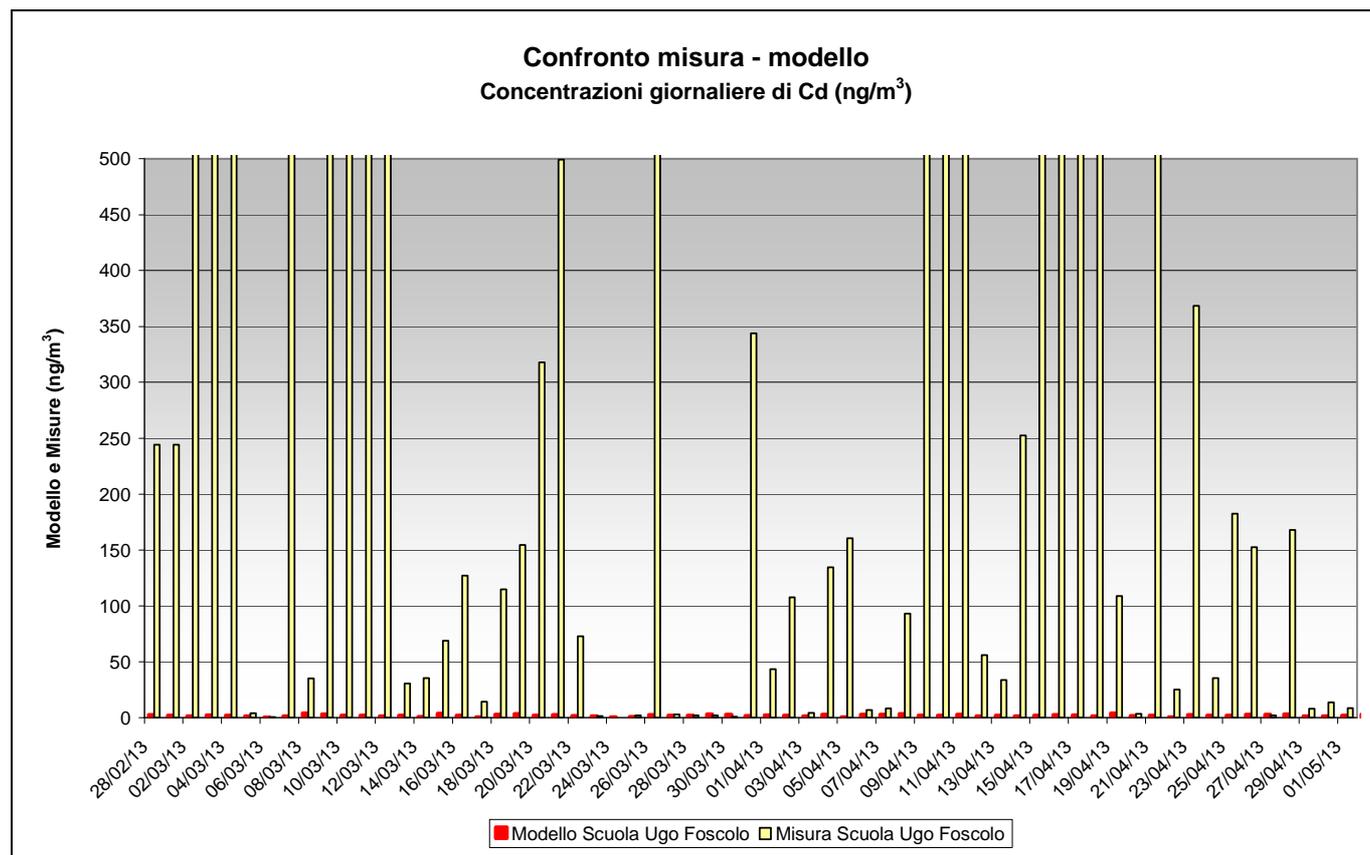
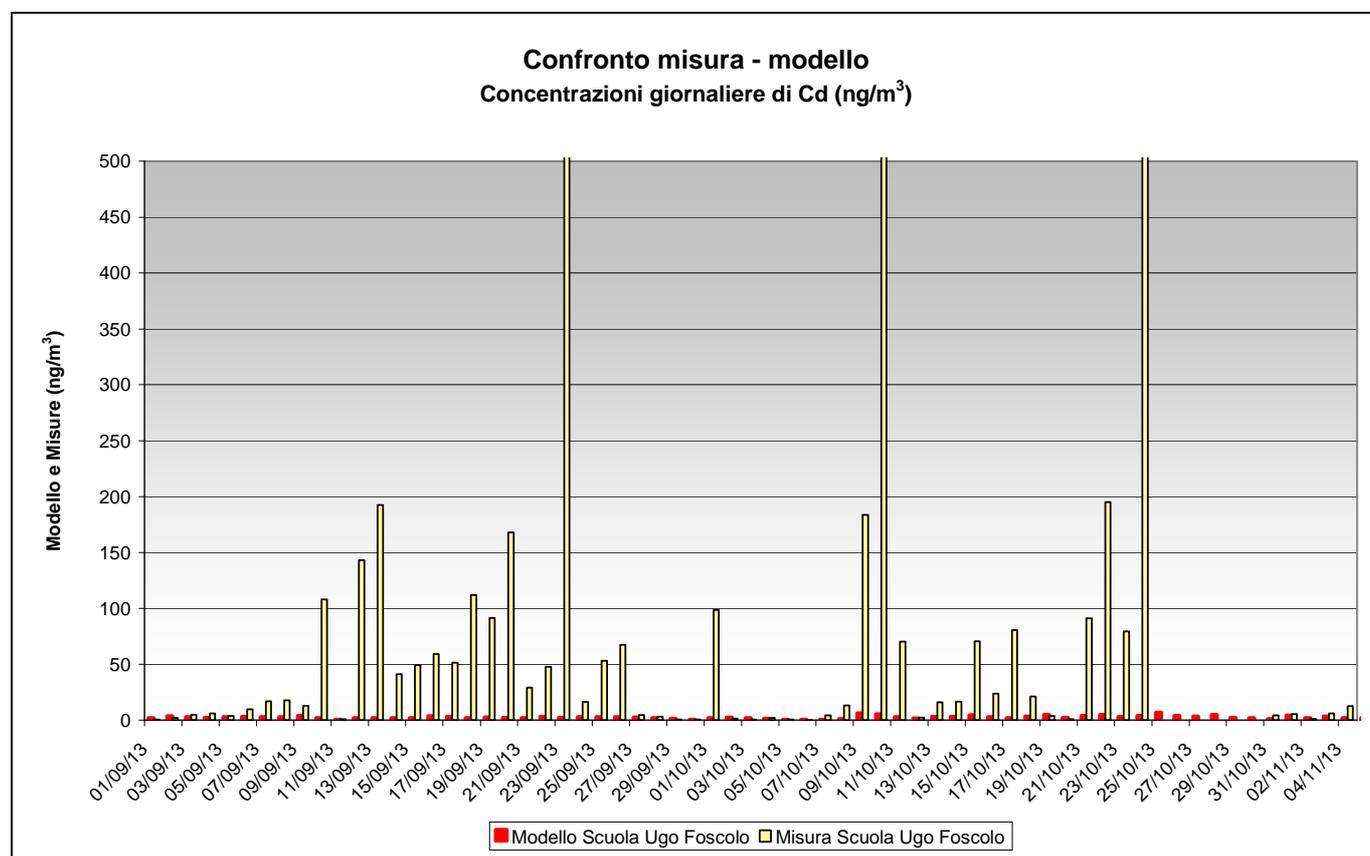


Figura 33. Concentrazioni medie giornaliere di Cadmio (ng/m^3), stimate dal modello e misurate periodo 1°settembre-4 novembre 2013. Sito scuola Ugo.



Per quanto riguarda le deposizioni, di seguito si confrontano le stime modellistiche con le misure dei flussi di deposizione delle due campagne di monitoraggio svolte con deposimetri bulk.

In particolare in Tabella 7 è presentato il confronto per il periodo della campagna del 7 ottobre-5 novembre 2013, mentre in Tabella 8 per la campagna di fine anno iniziata il 18 dicembre. In particolare per quest'ultimo caso si precisa che, mentre la misura si è protratta fino al 16 gennaio 2014, la stima modellistica si è interrotta con la fine dell'anno a causa della indisponibilità del dato meteo necessario in input al modello. Il confronto, per questa seconda campagna, è dunque di tipo indicativo.

Tabella 7 Flussi di deposizioni medi giornalieri ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno) di Arsenico e Cadmio misurati e stimati, periodo 7 ottobre-5 novembre 2013.

	Misure		Modello	
	7 ottobre - 5 novembre 2013		7 ottobre - 5 novembre 2013	
	As	Cd	As	Cd
	$\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno	$\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno	$\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno	$\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno
Murano - Scuola Ugo Foscolo	80.9	31.7	0.69	0.14
Murano - F.ta Radi	<2.2	1.3	0.04	0.01
Murano - Sacca San Mattia	<2.0	1.0	0.23	0.05
Murano - Colonna	21.3	10.0	2.6	0.51

Tabella 8 Flussi di deposizioni medi giornalieri di Arsenico e Cadmio ($\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno) misurati nel periodo 18 dicembre 2013-16 gennaio 2014 e stimati nel sottoperiodo 18 dicembre-31 dicembre 2013.

	Misure		Modello	
	18 dicembre 2013 - 16 gennaio 2014		18 dicembre - 31 dicembre 2013	
	As	Cd	As	Cd
	$\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno	$\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno	$\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno	$\mu\text{g}/\text{m}^2$ giorno
Murano - Scuola Ugo Foscolo	10.8	6.6	0.39	0.08
Murano - F.ta Radi	<2.1	1.3	0.05	0.01
Murano - Sacca San Mattia	<2.1	0.2	0.27	0.05
Murano - Colonna	8.4	6.5	0.14	0.03
Mazzorbo - F.ta S. Caterina	<2.1	<0.2	0.003	0.001

Il confronto misure-modello dimostra una marcata sottostima delle misure da parte delle stime modellistiche.

Come per i dati di concentrazione, anche per le deposizioni la sottostima è più marcata per il caso del Cadmio e si conferma la drastica sottostima per il sito di Ugo Foscolo, rispetto agli altri siti per entrambi gli inquinanti.

È interessante notare che la sottostima durante la campagna di fine anno è minore di quanto si registri per il caso della campagna autunnale. A tal proposito si ricorda che nella simulazione modellistica le vetrerie sono state considerate sempre in attività, a prescindere da giorni festivi settimanali (domenica) o festività varie (Natale e Capodanno) o ferie stagionali.

5 Conclusioni

Nel presente relazione sono stati presentati i risultati delle stime modellistiche della dispersione in atmosfera degli inquinanti rilasciati durante la lavorazione del vetro dai camini dei forni delle vetrerie di Venezia, con focus su Arsenico e Cadmio.

Le stime modellistiche sono state svolte considerando 76 camini di emissione per altrettanti forni fusori delle ditte che risultano essere autorizzate alle emissioni a Murano e a Venezia.

Lo scenario emissivo modellizzato corrisponde all'assunzione che tutti i 76 camini emettano tutti i giorni dell'anno eguagliando, per Arsenico e Cadmio i rispettivi limiti di concentrazione all'emissione autorizzati per i camini a servizio dei forni fusori.

La modellizzazione 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 stimano che, qualora tutte le vetrerie emettano in contemporanea al massimo delle concentrazioni autorizzate per i camini fusori il rispetto del valore obiettivo di 6.0 ng/m^3 per la media annua di Arsenico non verrebbe rispettato per gran parte dell'isola di Murano (la parte centrale e meridionale) e per una piccola parte Nord centrale di Venezia. Il valore obiettivo di 5.0 ng/m^3 per la media annua di Cadmio potrebbe essere uguagliato per la parte meridionale dell'isola di Murano.

I calcoli di dispersione svolti con il modello stimano che le concentrazioni massime al suolo associate ad un singolo camino dei forni fusori si verificano in un raggio piuttosto limitato in quanto le temperature di emissione sono piuttosto contenute (quasi sempre meno di $100 \text{ }^\circ\text{C}$), così come le altezze dei camini (rari i casi sopra i 12 metri dal suolo).

I calcoli modellistici indicano come le misure di concentrazione e deposizione di Arsenico e Cadmio rilevate presso la scuola Ugo Foscolo siano estremamente maggiori rispetto alle concentrazioni e deposizioni stimate considerando l'insieme delle emissioni autorizzate a Murano, che emettano rispettando i limiti di concentrazione a camino.

La sottostima modellistica per il Cadmio è ancora più marcata di quella dell'Arsenico.

Riferimenti bibliografici

- ARPAV, Dipartimento Provinciale di Venezia, 2014. Campagna di Monitoraggio di PM10e metalli a Murano – Venezia. Periodo di attuazione: 28 febbraio – 1 maggio 2013, 1 settembre – 4 novembre 2013. Relazione tecnica n. 11ATM13, Marzo 2014 e relative integrazioni, Aprile 2014. http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-venezias/aria/dap-venezias-campagne-di-monitoraggio-qualita/comune-di-venezias/Relazione%20Aria_Murano_VE.pdf
- Comune di Venezia, 2012. Direzione Sviluppo del Territorio ed Edilizia Settore Sistemi Informativi Territoriali, Unità Volumetriche Edifici (data 28/12/12).
- 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.
- Regione Veneto, 2002-2005. Progetto “Sistema Integrato per il Monitoraggio Ambientale e la Gestione delle Emergenze” (SIMAGE), I Lotto. <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/progetti/progetto-simage>
- 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://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>

http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm

<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>

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://www.entezona.it/downloads_dati_meteo.htm