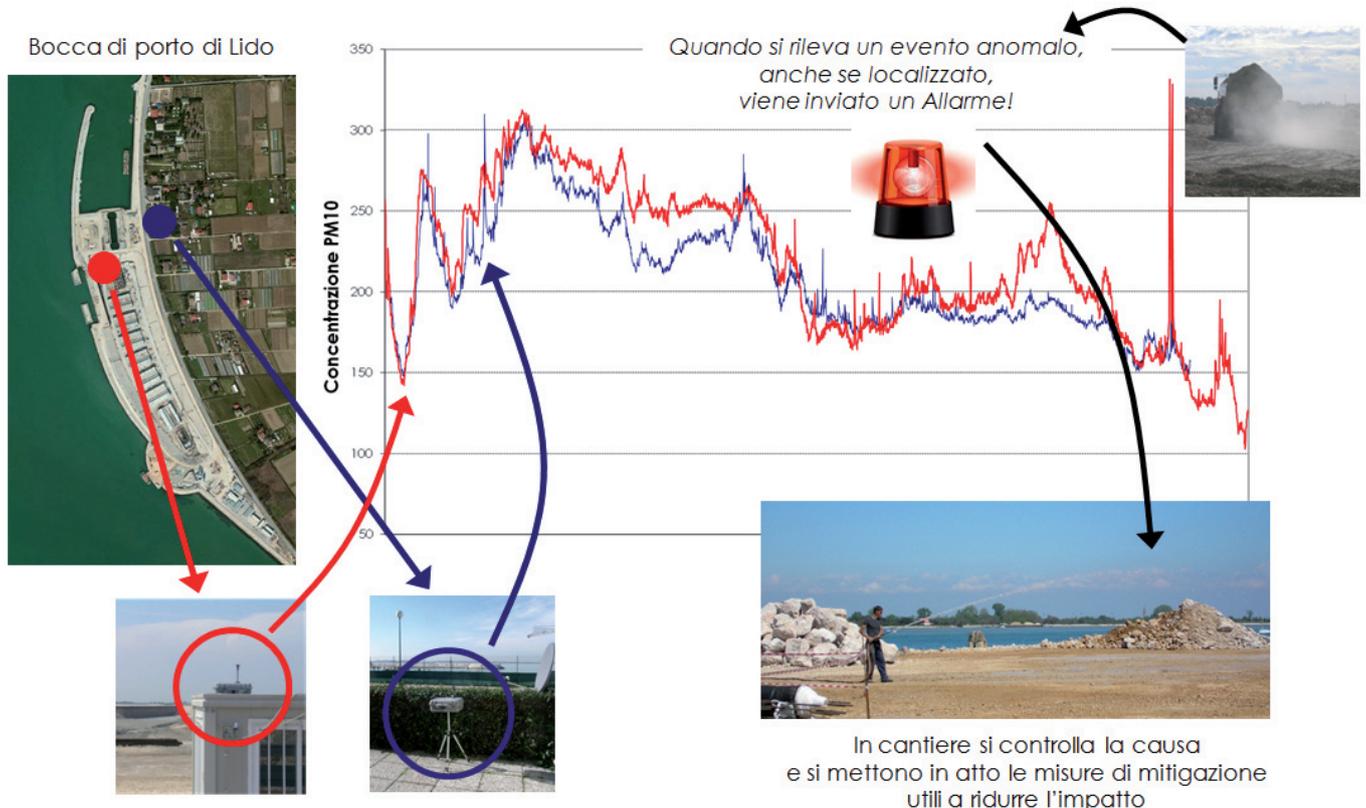


Il monitoraggio verifica l'eventuale rilascio di polveri dovute al cantiere



Le attività di cantiere, quali ad esempio transito di mezzi terrestri, battipali, draghe etc. possono essere importanti sorgenti di inquinamento atmosferico. Pertanto il monitoraggio ambientale dei cantieri del MOSE ha come scopo principale la verifica di un eventuale rilascio in atmosfera di inquinanti. Nella scelta dei parametri da monitorare si è tenuto conto della normativa vigente in sede europea e nazionale (recepita nel D.L.gs 155/2010).

Poiché non esistono protocolli standard applicabili ai cantieri delle grandi opere, sin dall'inizio l'attività di monitoraggio è stata progettata in modo da distinguere le eventuali emissioni dovute ai cantieri da altre sorgenti presenti nell'area. Ciò è stato possibile effettuando campionamenti ad alta risoluzione temporale e correlando i dati con la direzione di provenienza del vento.

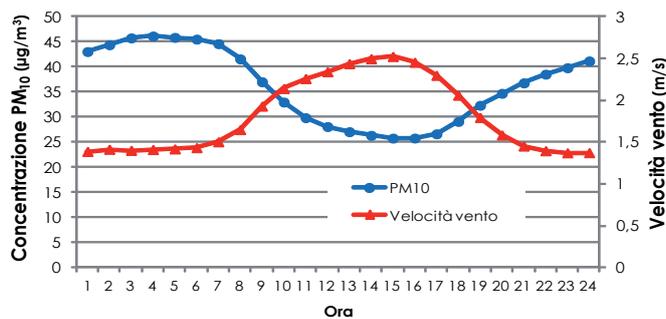
Inoltre, il monitoraggio ambientale deve prevedere una attività modellistica al fine di stimare le emissioni in condizioni atmosferiche sfavorevoli, o quando le misure in campo non sono in corso. L'attività di monitoraggio svolta ha permesso di acquisire anche dati in siti lagunari remoti (alcuni monitorati per la prima volta) che rappresentano un insieme di informazioni unico nel suo genere e disponibile per ricerche mirate alla qualità dell'aria in Laguna.



Polveri PM₁₀

Le polveri PM₁₀ (comunemente denominate "sottili") rappresentano, una volta inalate, una potenziale fonte di danno biologico alla salute umana. Si è scelto, proprio per la specificità di tale inquinante, di misurare la concentrazione di PM₁₀ in tempo reale (medie orarie). Ciò ha permesso di osservare l'andamento giornaliero delle concentrazioni medie orarie ("giorno-tipo"). Alla Bocca di porto di Lido (figura a destra) il "giorno-tipo" è caratterizzato da un minimo di concentrazione del particolato nelle ore centrali della giornata a seguito dell'instaurarsi del regime di brezza marina (velocità del vento maggiore nelle ore centrali della giornata).

Le concentrazioni di PM₁₀ sono state correlate con le medie giornaliere di alcune stazioni di misura dell'ARPA Veneto ed Emilia-Romagna. Dall'esempio riportato nella figura sottostante si può osservare che il PM₁₀ rilevato a Lido è maggiormente correlato con le sta-



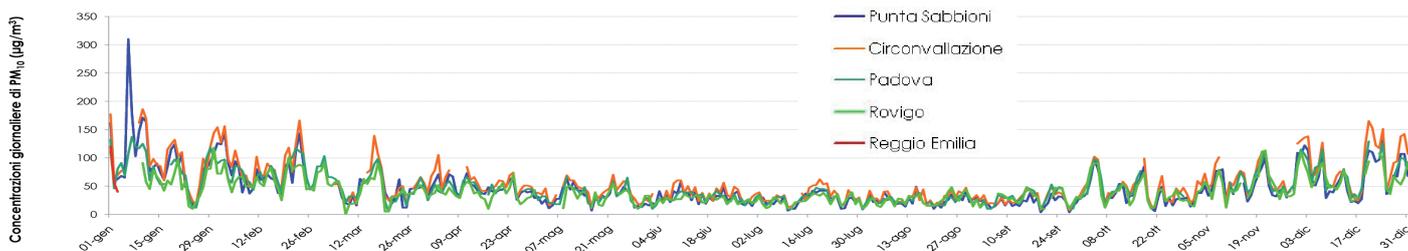
Campionatore automatico sequenziale di PM₁₀ (a destra). "Giorno-tipo" nel periodo dicembre 2004-maggio 2013 (sopra) per le concentrazioni di PM₁₀ e velocità del vento.



zioni della regione Veneto rispetto a quella di Reggio Emilia. Ciò significa che la Pianura Padana presenta delle macroaree omogenee per condizioni meteorologiche e orografiche: in sostanza, nella zona da Venezia a Rovigo le concentrazioni giornaliere di PM₁₀ possono risultare frequentemente paragonabili. In conclusione, l'impatto dei cantieri non è

risultato rilevabile alla scala temporale della media giornaliera.

Tuttavia sono stati osservati alcuni episodi di trasporto di polveri su scala temporale inferiore all'ora (identificabili con la strumentazione ad alta risoluzione temporale impiegata) il cui effetto sulla media giornaliera è stato comunque trascurabile.



Andamento, per l'anno 2007, delle concentrazioni giornaliere di PM₁₀ alle stazioni di Punta Sabbioni (CORILA), Circonvallazione, Padova e Rovigo (ARPA Veneto) e Reggio Emilia (ARPA Emilia-Romagna). Il picco di concentrazione a Punta Sabbioni è del giorno 6 gennaio, giorno festivo con il cantiere non attivo.

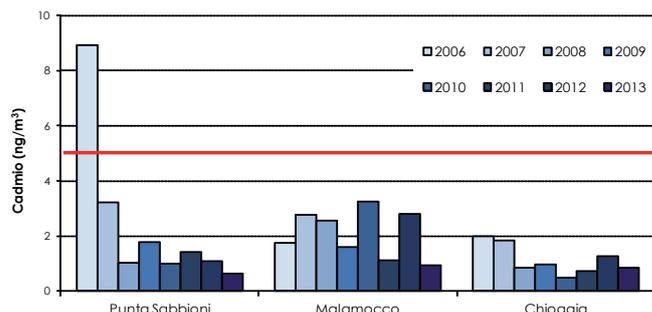
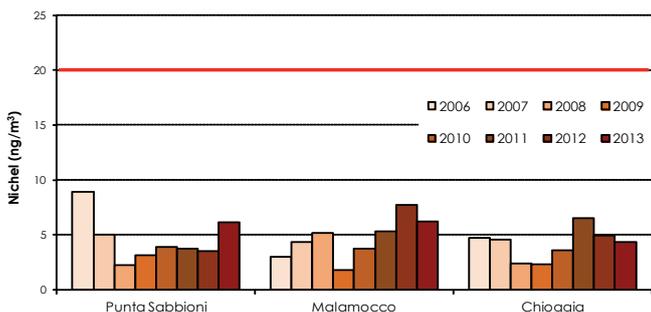
Composizione elementale nel PM₁₀

I danni alla salute dipendono non solo dalla concentrazione di PM₁₀ ma anche dalla sua composizione. La normativa vigente prevede la misura nel particolato del contenuto di Piombo, Cadmio, Nichel ed Arsenico nel PM₁₀. Oltre a questi elementi sono stati identificati, nel corso del monitoraggio, altri composti rappresentativi di diverse ti-

pologie di sorgenti sia naturali che antropiche.

Nella figura sottostante è riportato l'andamento della serie storica delle concentrazioni di Nichel e Cadmio (l'Arsenico non è presente nei cantieri e il Piombo ha concentrazioni trascurabili rispetto ai limiti di legge). Si osserva che nei periodi di moni-

toraggio i valori obiettivo (previsti dalla normativa) non sono stati superati, anche se tale confronto è qualitativo. Il superamento per il Cd è dovuto ad un picco misurato il 22/11/2006 ma il confronto con la direzione prevalente di provenienza del vento, NNE, ha permesso di stabilire che non si trattava di emissioni provenienti dai cantieri.



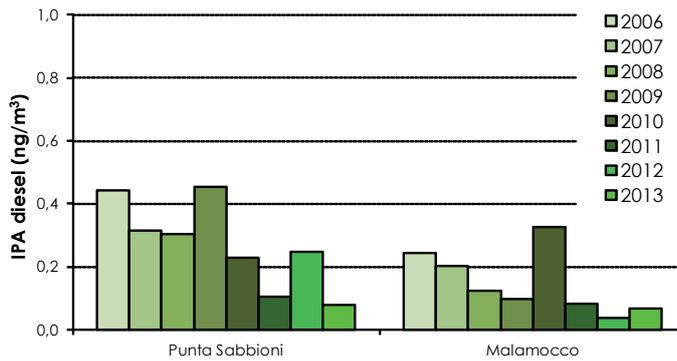
Andamento delle concentrazioni di Nichel e Cadmio nei diversi anni di monitoraggio alle tre Bocche di porto. Le linee rosse rappresentano i valori obiettivo previsti dalla normativa vigente (20 ng/m³ per Ni e 5 ng/m³ per Cd).

Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Oltre alle polveri sono stati considerati gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) che sono composti ad elevata azione cancerogena (in particolare il Benzo(a)Pirene - BaP) e rappresentativi dei processi di combustione. Essi comprendono, tra gli altri, le emissioni dovute a veicoli ad alimentazione diesel quali quelli presenti nell'area cantieri (scavatrici, benne, mezzi marittimi, etc.).

Il monitoraggio è stato svolto prelevando campioni di aria nelle immediate vicinanze dei cantieri e le analisi chimiche sono state effettuate dal Laboratorio del MAV di Voltabarozzo. Il confronto fra le concentrazioni medie di IPA tra giorni lavorativi e festivi non ha evidenziato differenze significative.

Inoltre, le concentrazioni ottenute sono



Andamento delle concentrazioni di IPA rappresentativi delle emissioni diesel alle Bocche di porto di Lido e Malamocco, negli anni di monitoraggio.

state confrontate con quelle pubblicate da ARPA Veneto al fine di verificare che rientrano nella variabilità ambientale tipica dell'area lagunare.

In figura, a titolo di esempio, si riportano le concentrazioni medie, ottenute nei vari anni di monitoraggio, di alcuni composti

IPA ritenuti rappresentativi delle emissioni di veicoli diesel.

In conclusione, il monitoraggio ha così permesso di escludere variazioni nelle concentrazioni di IPA dovute ad emissioni provenienti dai cantieri rispetto all'andamento tipico del fondo lagunare.

Misure di gas

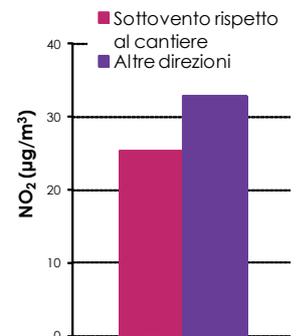
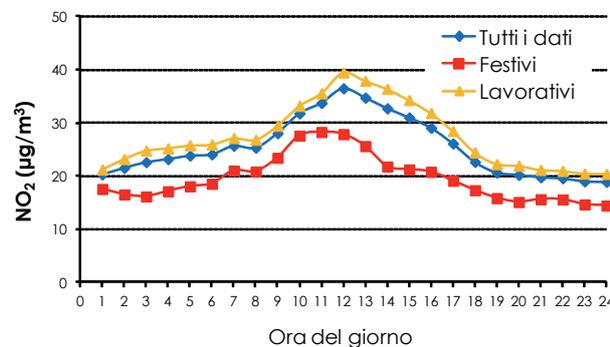
Nelle attività di monitoraggio sono state incluse le emissioni gassose più rappresentative degli scarichi dei veicoli (ossido di carbonio-CO, biossido di azoto-NO₂ e ossidi di azoto-NOx).

Nel grafico si riporta un esempio di "giorno-tipo" per NO₂ alla Bocca di porto di Malamocco, anche considerando separatamente i giorni festivi e lavorativi.

Le concentrazioni nei periodi festivi sono inferiori a quelle dei giorni lavorativi e ciò potrebbe essere una indicazione di un contributo dovuto ai cantieri. Tuttavia l'istogramma a destra, con le concentrazioni di gas nei periodi di attività di cantiere in funzione

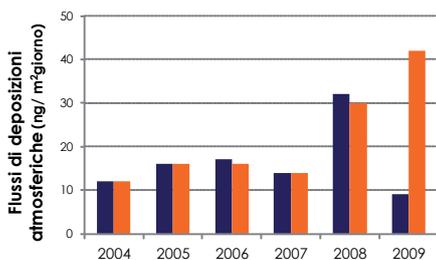
delle direzioni di provenienza del vento, mostra valori più elevati quando il vento proviene da direzioni diverse da

quelle dei cantieri. Pertanto si esclude un effetto diretto del cantiere al "giorno medio lavorativo".



Andamento giornaliero tipico del biossido di azoto rilevato a Malamocco (a sinistra); l'analisi è fatta sia su tutti i dati sia separando i giorni lavorativi e quelli festivi. Concentrazioni di NO₂ a Malamocco raggruppando i dati in funzione della direzione del vento (a destra).

Deposizioni atmosferiche



Andamento dei flussi di deposizione atmosferica di microinquinanti inorganici, vicino (blu) e lontano (arancione) al cantiere di Punta Sabbioni.

Il monitoraggio ha considerato, mediante l'utilizzo di deposimetri, anche la stima dell'eventuale deposizione di microinquinanti organici ed inorganici sui terreni circostanti le aree di cantiere.

La figura riporta, a titolo di esempio, l'andamento negli anni di monitoraggio dei flussi di deposizione di microinquinanti inorganici misurati alla Bocca di porto di Lido; sono distinti i valori rilevati nel deposimetro adiacente all'area di cantiere da quelli del deposimetro posizionato

a diversi chilometri di distanza. Si può osservare che non si hanno significative differenze fra i flussi di deposizione ottenuti vicino e lontano dai cantieri. Si osserva inoltre l'enorme variabilità dei dati dovuta anche alle condizioni di precipitazione atmosferica.

I deposimetri sono stati posizionati anche in altre aree della Laguna. Ciò ha permesso di ottenere una serie storica dei flussi di deposizione di microinquinanti organici ed inorganici nella laguna di Venezia.

Trattamento dei dati

Il monitoraggio ha messo a punto un sistema di allerta basato sull'analisi delle concentrazioni rilevate: ogni valore anomalo (definito in base a parametri ottenuti statisticamente) è stato oggetto di un Rapporto di Anomalia inviato al cantiere.

È stato così possibile associare all'evento la probabile causa: quasi sempre l'evento è stato dovuto alle sfavorevoli condizioni meteorologiche (in partico-

lare nel periodo invernale) caratterizzate da calma di vento e nebbia. In alcuni casi sono stati evidenziati episodi di breve durata dovuti prevalentemente alla circolazione dei mezzi pesanti in cantiere.

I Rapporti di Anomalia hanno permesso di interagire con i cantieri attivando le azioni di mitigazione previste.

Va infine sottolineata l'importanza della serie storica di dati acquisiti e della

loro distribuzione geografica. Essi permettono di ottenere un quadro più dettagliato ed aggiornato sugli andamenti temporali e sulle provenienze di alcuni inquinanti presenti in Laguna.

I dati acquisiti sono stati utilizzati in diverse pubblicazioni scientifiche (Journal of Environmental Science, vol. 24, pp 1954-1965, 2012; Chemosphere, vol. 76, pp 1017-1022, 2009; Advances in Meteorology, article ID 158902, 2014).

Attività modellistica

Un ulteriore strumento utilizzato per valutare l'impatto sulla qualità dell'aria delle attività dei cantieri per la costruzione del MOSE consiste nell'applicazione di un modello di dispersione di inquinanti in atmosfera (elaborato da ARPAV). Il modello permette di elaborare una map-

patura spaziale dell'impatto, con individuazione dei punti di maggior ricaduta, e permette l'analisi separatamente dei contributi delle singole sorgenti.

I risultati dei calcoli modellistici possono essere presentati in termini di mappe spaziali dei valori di lungo, medio o breve

termine delle concentrazioni dei diversi inquinanti trattati (ossidi di azoto e polveri PM_{10}), e possono essere analizzate le serie temporali dei valori orari o giornalieri, secondo l'inquinante, in punti del dominio corrispondenti a siti sensibili o coincidenti con le stazioni di misura.



Concentrazione media annuale di PM_{10} , (anno 2012) Bocca di porto di Lido.

L'output modellistico, sommato al valore di fondo, è sovrapposto all'immagine satellitare della Bocca di porto. Il maggiore impatto (concentrazioni superiori al valore limite) è confinato alle aree di cantiere. L'interessamento dei siti residenziali è limitato ad una piccola zona a ridosso del cantiere nel comune di Cavallino-Treporti e a parte dell'isola di Sant'Erasmus, dove si registrano concentrazioni di oltre $1 \mu g/m^3$ sopra al valore di fondo, ma comunque inferiori al valore limite di legge.

VF: valore di fondo (concentrazione media annuale misurata dalla centralina ARPAV di Sacca Fisola).

VL: valore limite di protezione della popolazione ($40 \mu g/m^3$).



Franco Belosi (ISAC-CNR), responsabile

Elena Barbaro (UNIVE)
Francesca Bonetto (UNIVE)
Daniela Cesari (ISAC-CNR)
Daniele Contini (ISAC-CNR)
Caterina Dabalà (CORILA)
Chiara Dall'Angelo (CORILA)
Silvia De Pieri (IDPA-CNR)
Elena Elvini (CORILA)
Andrea Gambaro (UNIVE)

Elena Gregoris (IDPA-CNR)
Francesca Liguori (ARPAV)
Laura Manodori (UNIVE)
Elisa Morabito (IDPA-CNR)
Italo Ongaro (UNIVE)
Salvatore Patti (ARPAV)
Silvia Pillon (ARPAV)
Marta Radaelli (IDPA-CNR)
Giovanni Rizzato (IDPA-CNR)
Marco Roman (IDPA-CNR)

Elisa Scalabrin (UNIVE)
Angela Stortini (UNIVE)
Giuliano Trivellone (ISAC-CNR)
Guido Turatti (CORILA)
Clara Turetta (IDPA-CNR)
Marco Vecchiato (UNIVE)
Giovanni Venier (CORILA)
Valter Zampieri (UNIVE)
Roberta Zangrando (IDPA-CNR)

Lavoro svolto per conto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia - tramite il Consorzio Venezia Nuova, coordinato da CORILA.



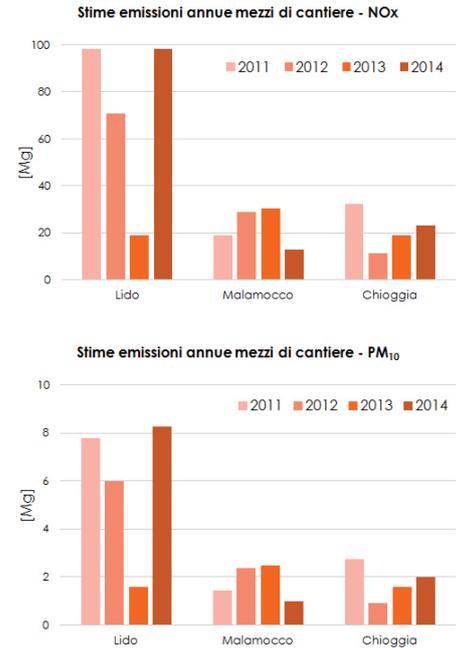
Simulazioni modellistiche della dispersione di inquinanti in atmosfera

Un ulteriore strumento utilizzato per valutare l'impatto sulla qualità dell'aria delle attività dei cantieri per la costruzione del MOSE consiste nell'impiego di un modello matematico per il calcolo della dispersione di inquinanti in atmosfera. Un tale modello è costituito da equazioni matematiche che descrivono l'evoluzione temporale e spaziale di sostanze chimiche inquinanti tenendo conto delle specifiche condizioni meteorologiche e di stabilità dell'atmosfera. Pur con le incertezze intrinseche, caratteristiche di ogni modello matematico, e quelle dovute a fattori esterni, le simulazioni modellistiche permettono di ottenere una serie di informazioni che un monitoraggio puntuale, tramite misure dirette, non è in grado di fornire. In particolare è possibile:

- ottenere la distribuzione spaziale della ricaduta al suolo, degli inquinanti studiati, anche in zone dove non esistono misure dirette;

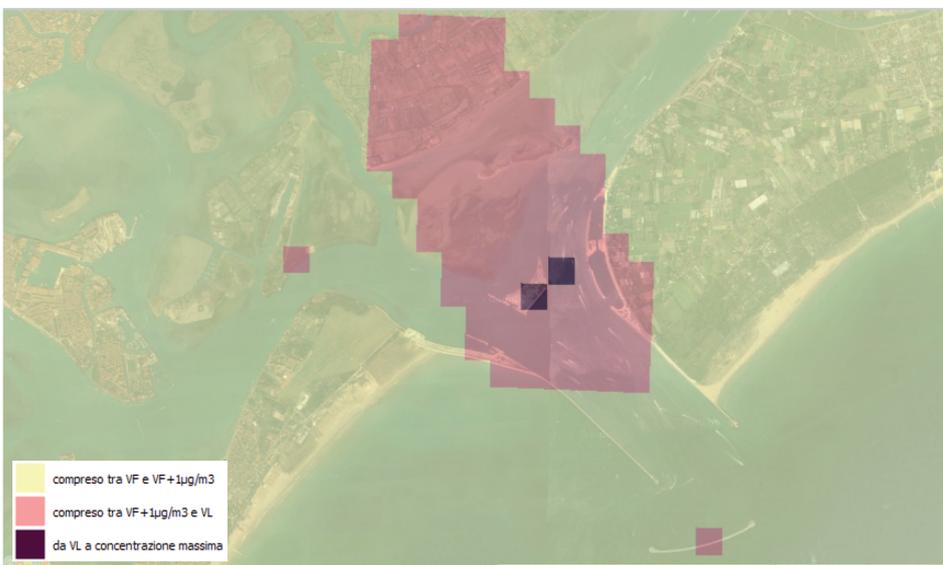
- individuare le coordinate spaziali dei punti di maggior ricaduta;
- analizzare separatamente i contributi delle singole sorgenti;
- valutare la probabilità che il contributo della sorgente indagata superi una determinata soglia presso i punti sensibili e quelli di massima ricaduta.

Nello specifico, a partire dal 2011 viene utilizzato il sistema modellistico denominato CALPUFF, abbinato al suo pre-processore meteorologico CALMET, applicato su tre aree geografiche dell'ampiezza di 20x20 km² comprendenti le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, per calcolare le ricadute di NO₂, NOx e PM₁₀. Le informazioni necessarie per l'applicazione modellistica sono costituite da un lato dai dati meteorologici provenienti da stazioni al suolo e da misure in quota, dall'altro lato dalla quantificazione delle attività dei cantieri. A partire dai dati di utilizzo di mezzi a motore, sia terrestri che acquatici, e della presenza di aree sterrate, su cui la circolazione dei mezzi e l'azione del vento provocano sollevamento di polveri, si effettua una stima dei quantitativi di inquinanti (ossidi di azoto e polveri) emessi in atmosfera (Figura a lato). I risultati dei calcoli modellistici vengono presentati in termini di mappe spaziali dei valori di lungo termine (media annuale oppure massimo assoluto o massimo di ordine inferiore della serie



Stima delle emissioni annuali di NOx (in alto) e PM₁₀ (in basso), espressi in megagrammi, dei cantieri del MOSE alle tre bocche di porto: confronto tra valori relativi agli anni 2012 e 2014.

annuale), di medio termine (medie stagionali), di breve termine (medie giornaliere o valori orari) delle concentrazioni dei diversi inquinanti trattati (ossidi di azoto e polveri PM₁₀). Inoltre vengono analizzate le serie temporali dei valori orari o giornalieri, a seconda dell'inquinante considerato, in punti del dominio che corrispondono a siti sensibili o coincidenti con le stazioni di misura.



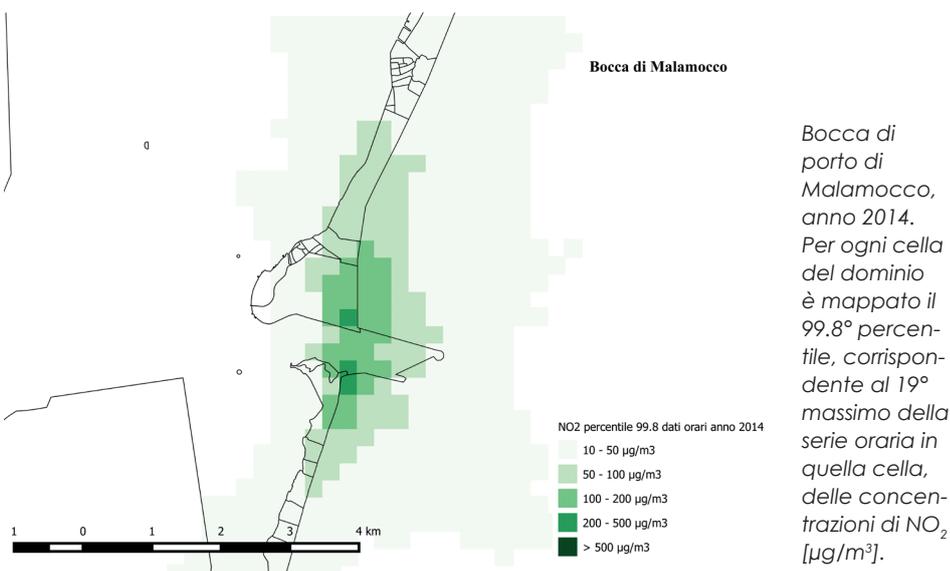
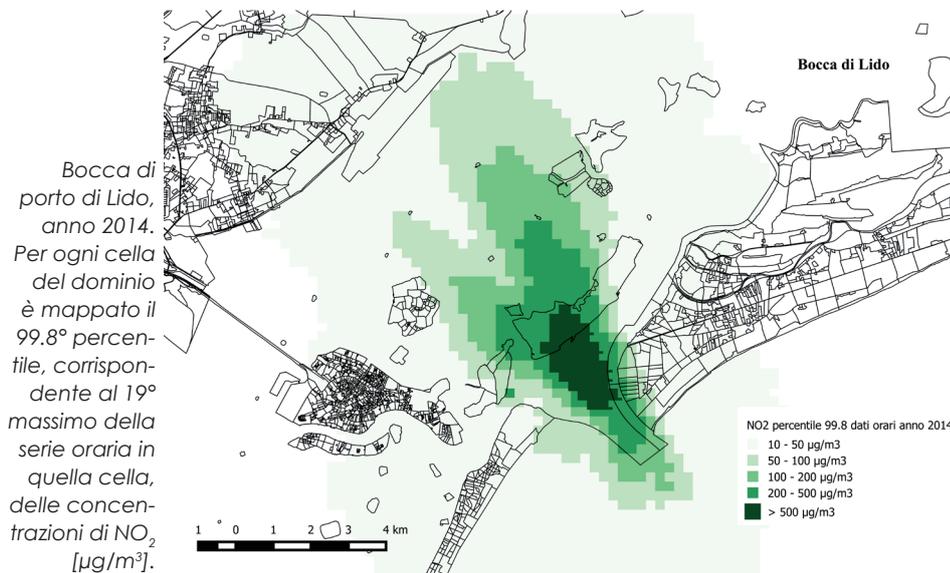
Concentrazione media annuale di PM₁₀, Bocca di porto di Lido (anno 2014). La concentrazione di particolato simulata dal modello, sommata al valore di fondo, è sovrapposta all'immagine satellitare della Bocca di porto. Il maggiore impatto (concentrazioni superiori al valore limite) è confinato alle aree di cantiere. L'interessamento dei siti residenziali è limitato ad una piccola zona a ridosso del cantiere nel comune di Cavallino-Treporti e parte dell'isola di Sant'Erasmus, dove si registrano concentrazioni di oltre 1 µg/m³ superiori al valore di fondo, ma comunque inferiori al valore limite di legge.

VF: valore di fondo (concentrazione media annuale misurata dalla centralina ARPAV di Sacca Fisola).
VL: valore limite di protezione della popolazione (40 µg/m³).

Tra il 2011 e il 2014, per tutte e tre le bocche di porto le concentrazioni medie annue stimate di PM_{10} e NO_2 mostrano incrementi inferiori a $5 \mu g/m^3$ non appena ci si allontana dai confini delle aree di cantiere, e inferiori a $1 \mu g/m^3$ entro qualche centinaio di metri (3 o 4 chilometri nei casi di maggiore ricaduta). Sommando il contributo delle attività di cantiere, stimato dal modello, al livello di concentrazione di fondo, per il quale si è utilizzato il valore cautelativo misurato dalla stazione ARPAV di Sacca Fisola, non si segnala alcun rischio di superamento del limite di $40 \mu g/m^3$ (valore limite per la protezione della popolazione sia per il PM_{10} che per l' NO_2 , come da D.Lgs. 155/2010) nelle zone esterne ai cantieri.

Solo in corrispondenza di una attività cantieristica più intensa, ma limitata nel tempo, l'estensione dell'area di impatto potenziale (con incremento della media annuale superiore ad $1 \mu g/m^3$ rispetto ai valori di fondo) ha interessato alcuni siti residenziali: alla bocca di porto di Lido una zona di Cavallino-Treporti direttamente a ridosso del cantiere e una porzione dell'isola di Sant'Erasmo; alla bocca di porto di Malamocco, in maniera marginale l'abitato di San Pietro in Volta.

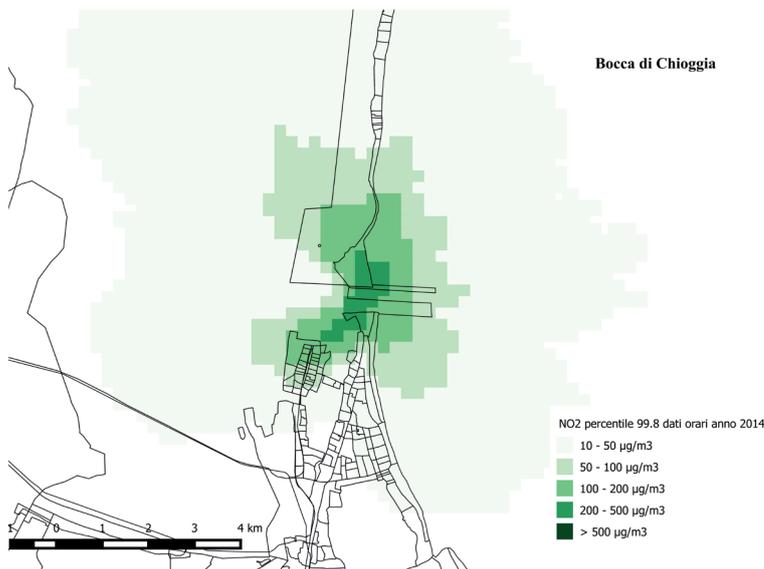
Per quanto riguarda l' NO_x , il modello stima valori di concentrazione media annuale superiori al limite di $30 \mu g/m^3$ (D.Lgs. 155/2010, relativo alla protezione della vegetazione) in corrispondenza dei cantieri, privi di vegetazione. L'area in cui si registrano valori di ricaduta apprezzabili, cioè al di sopra di $1 \mu g/m^3$, si



estende generalmente in un raggio di circa 2 chilometri intorno ai cantieri. I valori di concentrazione più elevati sono associati a condizioni meteorologiche stabili con vento debole. Si tratta

in genere di condizioni notturne, ma la presenza del mare induce l'instaurarsi, in alcuni casi, di condizioni molto stabili anche durante il giorno. È proprio in queste condizioni che il modello simula le ricadute maggiori, in particolare con calma di vento.

Per quanto riguarda i valori di breve periodo per l' NO_2 , il D.Lgs. 155/2010, per la protezione della salute umana, richiede che non si verifichino in un anno più di 18 superamenti del valore orario di $200 \mu g/m^3$. Dai risultati modellistici, incrementati del valore di fondo, si evince che il rischio di superamento del limite normativo è generalmente confinato alle aree a ridosso dei cantieri, con le eccezioni di alcuni siti residenziali nella parte sud-ovest dell'isola di Sant'Erasmo, alla bocca di porto di Lido, e di una piccola parte dell'abitato di San Pietro in Volta, alla bocca di porto di Malamocco (Figure in alto).



Deposizioni atmosferiche

Le deposizioni atmosferiche rappresentano il principale processo attraverso il quale il particolato viene rimosso dall'atmosfera e trasferito nei comparti terrestri e acquatici. Lo studio delle deposizioni atmosferiche e della loro composizione in termini di inquinanti organici ed inorganici, serve a stimare il flusso di questi inquinanti verso l'ecosistema lagunare.

I campioni di deposizioni atmosferiche raccolte coprono un range temporale di circa 5 anni, da luglio 2005 a marzo 2010.

Durante il periodo di campionamento delle deposizioni sono stati raccolti, quando disponibili, anche i dati di precipitazione registrati dalla centralina meteorologica dell'ARPAV e/o dalla centralina Ceppe dell'ex Magistrato alle Acque. Tali dati, integrati durante il periodo di deposizione, hanno permesso di studiare le relazioni tra le precipitazioni ed il flusso dei contaminanti nei siti indagati.

Le deposizioni bulk (ovvero senza distinzione tra frazione secca e frazione umida) sono state raccolte in campionatori alti un metro e costituiti da due supporti cilindrici e due contenitori, uno in polietilene ed uno in vetro. Il contenitore in polietilene, utilizzato per la determinazione di contaminanti inorganici (prevalentemente metalli pesanti) prima del campionamento è stato lavato ripetutamente con acqua ultrapura acidificata al 2% con acido nitrico. Il contenitore in vetro, utilizzato per la determinazione di contaminanti organici (IPA, PCB) è stato invece lavato con solventi organici. Al termine di ogni periodo di deposizione, è stato misurato il volume dei campioni con un cilindro graduato

e conservato in contenitori adatti per le analisi successive. Il particolato rimasto adeso alle superfici del campionatore è stato invece raccolto con l'aiuto di filtri. L'analisi di elementi e composti presenti nell'ambiente in tracce o ultra tracce ha richiesto una metodologia di campionamento ed analisi molto accurata, onde evitare la contaminazione dei campioni di deposizioni atmosferiche. Tutte le operazioni di decontaminazione dei materiali e di pretrattamento dei campioni sono state condotte in un laboratorio a contaminazione controllata Clean Room classe 100, munita di cappe a flusso laminare, presente nel Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica (DAIS) dell'Università Ca' Foscari.

L'analisi dei contaminanti inorganici nei campioni di deposizioni ha previsto la mineralizzazione del campione di deposizione e del filtro in forno a microonde (Microwave HPR-100/10S High pressure) utilizzando una miscela di acido nitrico e fluoridrico. Le soluzioni ottenute dalla mineralizzazione sono state analizzate tramite Inductively Coupled Plasma-Quadrupole Mass Spectrometry (ICP-MS Agilent 7500I). L'accuratezza e la precisione dell'intero metodo sono state controllate ripetutamente utilizzando materiale standard di riferimento (NIST 1684). L'analisi dei contaminanti organici nei campioni di deposizioni sono state condotte dal Laboratorio Centro Studi Microinquinanti Organici (CSMO).

In assenza di limiti legislativi riguardanti le deposizioni atmosferiche, per identificare delle soglie di flussi di deposizione giornalieri di riferimento si è fatto ricorso a misure di deposizione svolte all'inizio del Piano di Monitoraggio della matrice Aria, da novembre 2004 - aprile 2005 (*ante operam*). Tuttavia l'ampia variabilità numerica dei flussi di deposizione (in parte anche dovuta agli



Deposimetri in due diversi siti di campionamento: presso il cantiere di Malamocco, sul tetto di un container (foto in alto) e a Punta Sabbioni (foto in basso), all'interno del Circolo SO.CI.VE.

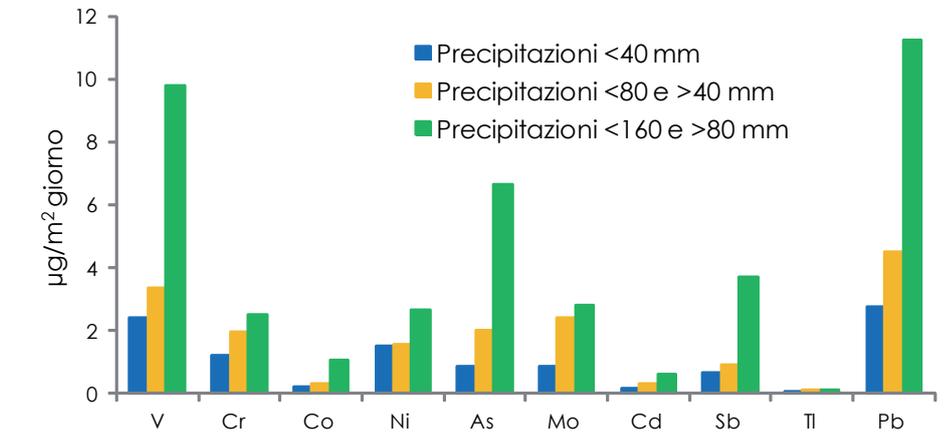
eventi di precipitazione) non ha permesso di stabilire tali soglie se non come valori massimi di riferimento. Ciò è stato compensato utilizzando sia dati disponibili in letteratura e provenienti da altre attività (sia di monitoraggio ambientale che di ricerca) rappresentativi dell'area monitorata, sia valutando statisticamente i trend temporali dei flussi di deposizione misurati.

I dati ottenuti dall'analisi delle deposizioni atmosferiche negli anni di monitoraggio hanno evidenziato differenze e analogie tra inquinanti per quanto riguarda i trend temporali dei loro flussi atmosferici e la loro correlazione con le precipitazioni. In particolare i flussi di Nickel, Cromo, Cadmio e Cobalto sono strettamente legati alle precipitazioni atmosferiche, mentre per altri elementi come Vanadio, Arsenico, Antimonio e Piombo, gli alti flussi sono causati da specifici eventi atmosferici

(Figura a destra).

I dati ottenuti dall'analisi delle deposizioni atmosferiche negli anni di monitoraggio hanno evidenziato differenze e analogie tra inquinanti per quanto riguarda i trend temporali dei loro flussi atmosferici e la loro correlazione con le precipitazioni. In particolare i flussi di Nickel, Cromo, Cadmio e Cobalto sono strettamente legati alle precipitazioni atmosferiche, mentre per altri elementi come Vanadio, Arsenico, Antimonio e Piombo, gli alti flussi sono causati da specifici eventi atmosferici (Figura a destra).

Per tutti i contaminanti organici si osserva un trend temporale legato all'alternanza stagionale, con concentrazioni maggiori tra la fine del-

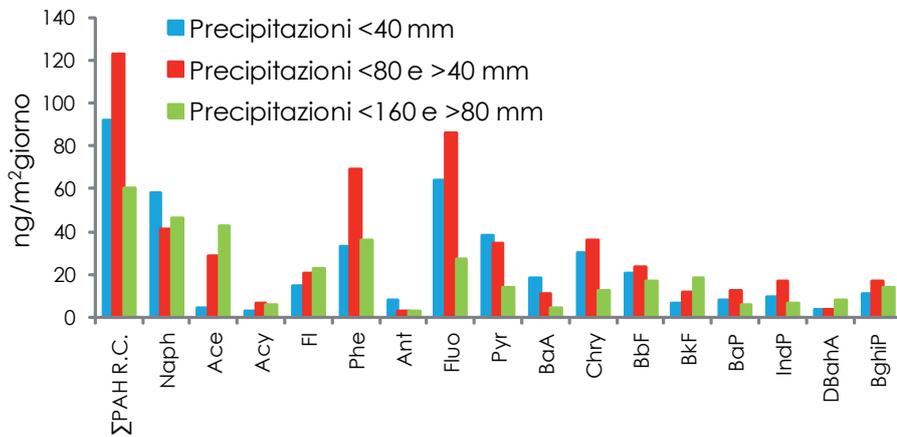


Media delle deposizioni di contaminanti inorganici raggruppati secondo le precipitazioni.

l'inverno e l'inizio della primavera e si osserva inoltre una bassa dipendenza dalle precipitazioni (Figura qui sotto).

Lo studio delle correlazioni tra variabili è stato interpretato e avvalorato tramite l'utilizzo dell'analisi statistica delle componenti principali (PCA) (Figura in basso). Nel grafico 3D riportato viene rappresentata la distribuzione delle variabili secondo le tre componenti principali; tale rappresentazione aiuta a comprendere le correlazioni tra variabili e ad evidenziare delle similitudini negli andamenti. Nel grafico si evidenziano due gruppi principali: i contaminanti inorganici, correlati alle precipitazioni (eccetto il Cromo), ed i contaminanti organici, il cui flussi è indipendente dalle precipitazioni.

Lo studio delle deposizioni nei tre siti posti nelle vicinanze delle tre bocche di porto ha messo in luce delle differenze spaziali. I valori medi dei flussi degli inquinanti analizzati nei pressi della bocca di porto di Lido sono inferiori e più omogenei dei flussi misurati nei pressi della bocca di porto di Malamocco e di Chioggia. Tuttavia non si osserva per nessuno dei contaminanti esaminati una tendenza all'aumento o alla diminuzione nel range temporale di campionamento, che va dal 2005 al 2010.



Media delle deposizioni di contaminanti organici raggruppati secondo le precipitazioni.

Factor coordinates of the variables

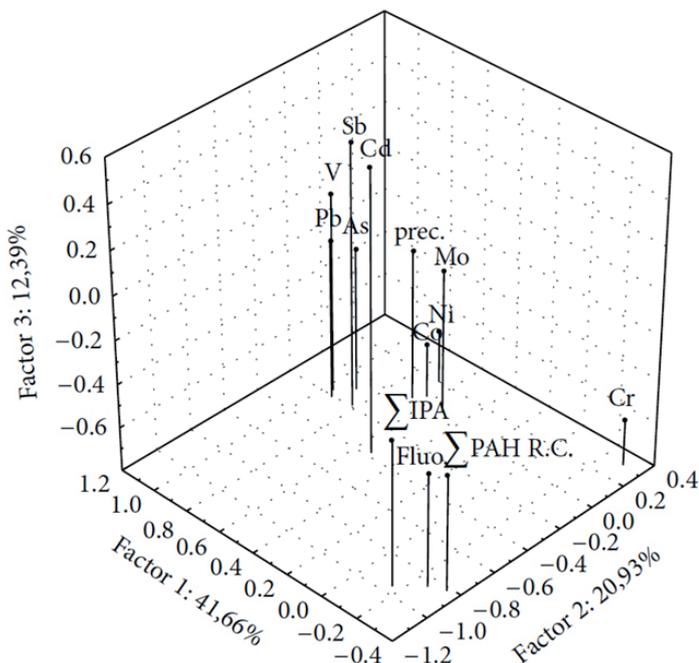


Grafico 3D della distribuzione delle variabili (inquinanti organici, inorganici e precipitazione) secondo le tre componenti principali ottenute tramite PCA.

Questo tipo di grafico permette di osservare le eventuali correlazioni tra variabili: le variabili che nel grafico appaiono vicine sono tra loro correlate e apportano informazioni simili. In questo caso si distinguono essenzialmente due gruppi di variabili: un gruppo coincide con gli inquinanti organici ed un gruppo con quelli inorganici, fatta eccezione del Cromo. Le precipitazioni sono correlate all'andamento degli inquinanti inorganici.

Monitoraggio delle polveri al passaggio di mezzi pesanti

Il monitoraggio delle polveri ambientali è stato eseguito utilizzando delle centraline mobili, basate sul principio della diffusione della luce (DustTrak, TSI Inc.). Questi strumenti permettono l'acquisizione della concentrazione di PM_{10} alla frequenza di minuto. Poiché essi risentono di interferenze ambientali (ad esempio valori elevati di umidità relativa in atmosfera), il monitoraggio è stato effettuato impiegando due centraline in coppia: una posizionata in prossimità della sorgente e l'altra ad una distanza rappresentativa della ubicazione dei recettori sensibili. L'analisi dei dati è basata fondamentalmente sulla comparazione fra le concentrazioni ottenute, simultaneamente, nei due siti di misura e la loro correlazione con la direzione e l'intensità del vento. Un esempio è rappresentato dai passaggi di autobetoniere, dirette al cantiere di Malamocco, lungo la strada comunale dei Murazzi (loc. Portosecco), che è stato monitorato nel mese di Luglio 2008 (foto a lato). La concentrazione di PM_{10} è stata misurata simultaneamente lungo la strada comunale dei Murazzi e nella piazza di Portosecco (vicino alla sorgente) e nella piazza di Portosecco (in prossimità dei recettori sensibili).

Durante il monitoraggio sono state contate circa 15 autobetoniere in entrambi i sensi di marcia (in media un passaggio ogni 6/7 minuti). La Figura sottostante riporta una tipica situazione di transito delle autobetoniere, dopo avere sottratto la concentrazione di fondo ottenuta dalla centralina posizionata nella piazza.

L'intensità dei picchi è compresa fra circa $10 \mu g/m^3$ e $40 \mu g/m^3$ con una media di $22 \mu g/m^3$ che può considerarsi il contributo medio alla concentrazione di PM_{10} dovuto al passaggio di un'autobetoniera. Ipotesizzando un transito di autobetoniere alla frequenza di una all'ora, si ottiene un contributo alla concentrazione media oraria di PM_{10} dell'ordine di $0.4 \mu g/m^3$ e giornaliera di circa $0.017 \mu g/m^3$ (per confronto il limite giornaliero normativo è di $50 \mu g/m^3$).

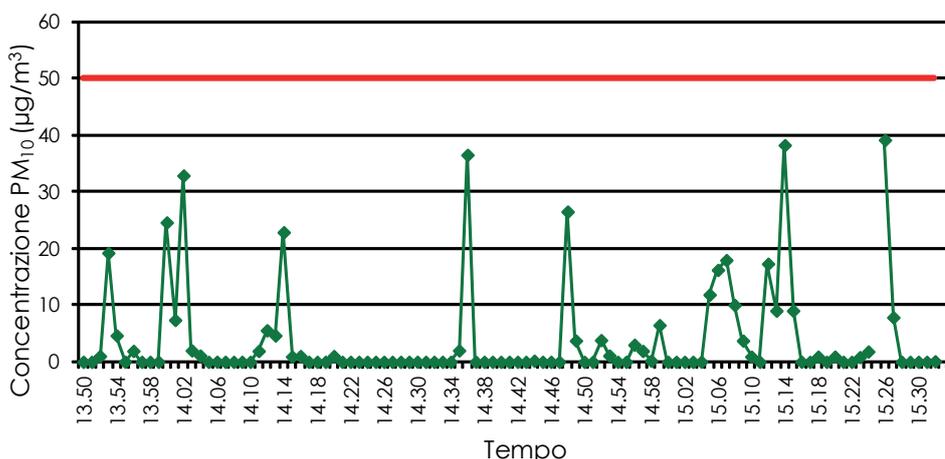
Simulazioni modellistiche relative al passaggio di mezzi pesanti su strada hanno indicato concentrazioni di PM_{10} giornaliere dell'ordine dei nanogrammi per metro cubo ai lati della strada confermando che il dato sperimentale rappresenta una stima superiore del contributo alla concentrazione di PM_{10} dovuto al passaggio degli automezzi.

Pertanto le misure eseguite hanno permesso di valutare sperimentalmente un contributo al PM_{10} , dovuto al passaggio di mezzi pesanti su strade asfaltate, trascurabile per gli effetti sulla salute umana (alla frequenza di transito indicata).



Mappa con localizzazione dei due punti di monitoraggio (in alto).

Strumento lungo la strada comunale dei Murazzi (vicino alla sorgente, foto in centro) e nella piazza di Portosecco (in prossimità dei recettori sensibili, foto in basso).



Concentrazioni di PM_{10} misurate lungo la strada comunale dopo avere sottratto il fondo misurato. La linea rossa indica la concentrazione limite giornaliera.