



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

PRTRA AZIONE A8.6bis

Studio modellistico di ricaduta degli inquinanti emessi in fase di manovra e di ormeggio per le navi in attracco ai diversi ormeggi di Venezia insulare e Porto Marghera.

ARPAV

Direttore Area Tecnico Scientifica: Carlo Terrabujo

Progetto e realizzazione

Osservatorio Regionale Aria

Salvatore Patti (Responsabile della struttura)

Francesca Liguori, Silvia Pillon, Alberto Dalla Fontana

E' consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte

Prefazione

La valutazione dell'influenza del Porto di Venezia sulla qualità dell'aria è stata effettuata sulla base di un percorso pluriannuale di analisi che dalla scala regionale si è via via focalizzato sul dettaglio locale delle ricadute dei pennacchi delle navi in transito nella laguna, secondo un percorso metodologico condiviso con altre quattro grosse aree portuali nel Mediterraneo (Barcellona, Marsiglia, Genova e Salonicco) e portato avanti con due progetti cofinanziati dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) nell'ambito del programma MED 2007-2013: APICE - Common Mediterranean strategy and local practical Actions for the mitigation of Port, Industries and Cities Emissions (<http://www.apice-project.eu/>) e CAIMANs - Cruise and passenger ship Air quality Impact Mitigation Actions (<http://www.medmaritimeprojects.eu/section/caimans>).

Nel presente rapporto si sintetizzano e si analizzano i principali risultati delle simulazioni modellistiche condotte nell'ambito dei due progetti, focalizzando la discussione sulla valutazione dell'impatto attuale delle attività navali sul territorio veneto e, in maggior dettaglio, veneziano.

Sommario

1. Breve sintesi del percorso di approfondimento dell'impatto delle emissioni portuali: dal progetto APICE al progetto CAIMANs.....	4
1.1 Il progetto APICE (luglio 2010 – febbraio 2013)	4
1.2 Il progetto MED CAIMANs (luglio 2014 –giugno 2015)	10
2. Analisi delle emissioni prodotte dalle navi in fase di ormeggio e manovra	11
3. Analisi delle ricadute	23
4. Conclusioni	38
Riferimenti bibliografici	41
Allegato A: Ipotesi di elettrificazione delle banchine: analisi della riduzione delle emissioni e delle concentrazioni	42

1. Breve sintesi del percorso di approfondimento dell'impatto delle emissioni portuali: dal progetto APICE al progetto CAIMANs

Le emissioni navali comprendono un ampio spettro di inquinanti che insistono generalmente su un territorio, quello urbano, in cui sussistono diverse criticità relative alla qualità dell'aria. Gli inquinanti atmosferici che, non solo in Veneto ma in gran parte d'Europa, costituiscono una delle maggiori problematiche ambientali sono le polveri sottili, PM10 e PM2.5.

L'analisi dell'impatto del Porto di Venezia sulla qualità dell'aria è partita proprio dal particolato atmosferico, che ha caratteristiche molto complesse, sia relativamente alla sua composizione (che dipende dall'interazione di fonti emissive diverse, sia puntuali che diffuse), che alla sua evoluzione in atmosfera, che si caratterizza per la scala interregionale di diffusione, trasporto e formazione chimico-fisica.

La valutazione dell'impatto delle attività portuali sulla qualità dell'aria è stata dunque pensata e realizzata in APICE attraverso un percorso metodologico multidisciplinare, finalizzato alla quantificazione del contributo delle varie sorgenti emissive sui livelli di inquinamento da polveri sottili e all'identificazione del contributo delle attività portuali in un sistema complesso in cui intervengono molti fattori con scale spaziali e temporali diverse.

Data la natura principalmente secondaria delle polveri atmosferiche PM10 e PM2.5, la valutazione del peso delle diverse sorgenti richiede una scala di indagine adeguata alla scala del fenomeno indagato. Il progetto APICE ha quindi previsto, per tutte le cinque aree portuali coinvolte nel progetto, una valutazione modellistica di scala regionale (i domini di studio sono di circa 200-300 km di lato), con un maggiore dettaglio a livello delle aree urbane interessate dalla presenza del porto.

Questa risoluzione spaziale, idonea a valutare l'impatto degli inquinanti secondari che dipendono dall'interazione di numerose sorgenti e fattori meteorologici, non garantisce di valutare con il massimo dettaglio spaziale l'impatto degli inquinanti primari direttamente emessi dai pennacchi navali, in transito o in stazionamento nei pressi di aree abitate. Per tale motivo, il partenariato scientifico già coinvolto nel progetto APICE ha ulteriormente affinato la valutazione delle ricadute navali con il progetto CAIMANs, mettendo in gioco strumenti modellistici più idonei alla stima del contributo delle emissioni navali sulla scala locale. Con CAIMANs sono stati presi in considerazione tutti gli inquinanti di origine primaria per i quali sono in vigore valore limite di protezione della salute della popolazione.

In sintesi il percorso di approfondimento condotto ha visto applicate diverse e complesse tecniche di indagine, che vanno dal monitoraggio degli inquinanti presso le sorgenti portuali, all'applicazione di complesse tecniche modellistiche e statistiche, con scale di indagine che vanno dal regionale al dettaglio locale.

1.1 Il progetto APICE (luglio 2010 – febbraio 2013)

Come già sottolineato nell'introduzione, oltre al monitoraggio della qualità dell'aria in prossimità dei siti portuali e in ambito urbano, ed alle successive determinazioni analitiche degli inquinanti atmosferici, alcune delle quali altamente specialistiche, il progetto APICE ha previsto l'applicazione di tecniche modellistiche sofisticate, come i modelli a recettore e i modelli fotochimici euleriani. Questi strumenti hanno permesso di quantificare il peso delle diverse sorgenti sui livelli di concentrazione delle polveri PM10 e PM2.5 (*source apportionment*), comprendendo oltre al porto tutte le principali sorgenti emissive tipiche

delle aree urbane: il traffico, il riscaldamento, le attività industriali, l'agricoltura, nonché gli apporti naturali quali le emissioni biogeniche e il sale marino.

Il progetto APICE per Venezia ha previsto in particolare l'applicazione della catena modellistica regionale implementata presso l'Osservatorio Aria di ARPAV (modello fotochimico CAMx), in grado di simulare il trasporto, la dispersione e la formazione del particolato a partire dai precursori, in due scenari temporali diversi: l'estate del 2011 (da giugno ad agosto) ed il periodo tardo-autunnale (metà novembre – metà dicembre) del medesimo 2011.

I modelli fotochimici calcolano le concentrazioni dei principali inquinanti gassosi e aerosol (particolato atmosferico) in domini tridimensionali con griglia orizzontale regolare; occupano la maggior parte del tempo di calcolo nel risolvere un set di reazioni chimiche e fotochimiche che riproduce in modo semplificato i principali fenomeni di ossidazione che avvengono nei primi strati dell'atmosfera. Per far questo riconducono le migliaia di specie chimiche, in particolare organiche, presenti in aria in gruppi di specie "del modello" con comportamento simile. Gli inquinanti così schematizzati subiscono trasporto ad opera del campo di vento, diluizione in base alle caratteristiche dispersive presenti nell'istante specifico (dovute al bilancio tra le forze meccanica del vento e il calore del sole), ossidazione e/o fotoreduzione e/o rimozione per reazione chimica-fisica con il substrato (deposizione).

Si tratta in generale di modelli complessi che richiedono un altrettanto complesso set di input meteorologici ed emissivi. Gli input meteorologici utilizzati nella catena modellistica di ARPAV provengono dal modello meteorologico a scala locale COSMO-LAMI (applicazione italiana -Limited Area Model Italy – del modello COSMO), che gira su scala continentale (tutta Europa e il nord Africa) con risoluzione di 7 km, ed è gestito dal Centro di Supercalcolo del CINECA di Bologna, nonché ufficialmente identificato come sistema previsionale di riferimento per il Sistema Nazionale dei Centri Funzionali di Protezione Civile.

Le condizioni al contorno (livelli di concentrazione degli inquinanti ai bordi del dominio di calcolo, stimati attraverso un modello fotochimico a scala continentale, e che rappresentano gli apporti provenienti dalle aree esterne al territorio indagato) sono fornite dal sistema Prev'Air, la piattaforma di previsione della qualità dell'aria francese (<http://www2.prevoir.org/>).

Il dominio di indagine utilizzato per le simulazioni di APICE copre l'intera regione Veneto e gran parte di Friuli Venezia Giulia e Trentino Alto Adige, oltre alle intere provincie di Brescia e Mantova e alla porzione nord-orientale dell'Emilia Romagna; si tratta di un dominio di circa 250 km di lato con risoluzione di 4 km. Per analizzare in maggior dettaglio l'impatto delle emissioni portuali, su tale dominio ne è stato innestato uno a scala inferiore, corrispondente a quasi la totalità del territorio del Comune di Venezia, con passo di griglia di 1 km.

Le concentrazioni degli inquinanti stimate dal modello sono il risultato della sommatoria di diversi contributi: apporti di origine *biogenica*, derivati dalla condensazione delle emissioni gassose di composti organici di origine vegetale, dal sale marino e dal risollevarsi eolico di polveri di origine terrigena; apporti provenienti dalla zona esterna al dominio di calcolo (*boundary conditions*) e quelli provenienti dal dominio regionale principale (con risoluzione di 4 km) verso quello innestato (con risoluzione 1 km); infine tutti questi contributi si sommano e interagiscono con il contributo derivante dalle emissioni locali nel dominio innestato (corrispondente al Comune di Venezia).

Un modulo specifico del modello fotochimico implementato, il PM Source Apportionment Tool (PSAT), ha permesso di tracciare sia i contributi primari che secondari (originatesi a partire da emissioni primarie di gas precursori), provenienti dai diversi settori emissivi e dalle due porzioni del dominio (principale e innestato).

I principali risultati dell'applicazione modellistica svolta sono stati:

- Nel PERIODO ESTIVO, in cui mediamente il vento trasporta nell'area di indagine masse d'aria provenienti principalmente dal 1° e 2° quadrante (nord est al mattino, sud est nella seconda parte

della giornata), il contributo del solo traffico portuale sulle concentrazioni di PM2.5 simulate dal modello a Sacca Fisola (scelto come punto rappresentativo delle condizioni di fondo urbano per il centro storico, in corrispondenza della stazione di monitoraggio della rete ARPAV) è pari a circa l'8%. Sullo stesso punto, le altre sorgenti emissive regionali (sia del dominio principale che innestato) contribuiscono per circa il 36%; tutte le sorgenti esistenti al di fuori del dominio di calcolo (*boundary conditions*) e le sorgenti di origine naturale contano su Sacca Fisola per oltre il 50%.

Nel medesimo periodo estivo, guardando l'intero territorio comunale, i massimi contributi dell'attività portuale si stimano in prossimità dell'area industriale di Porto Marghera e aumentano con valori fino al 15% circa. Si ricorda che nel periodo estivo i livelli di concentrazione di PM10 misurati e stimati con il modello sono ampiamente inferiori al limite giornaliero di protezione della salute e che il PM2.5 è mediamente pari al 75% del PM10.

- Nel PERIODO TARDO-AUTUNNALE, in cui il vento proviene prevalentemente dal 4° quadrante (nord ovest), portando nel territorio comunale masse d'aria cariche in gran parte di inquinanti emessi nella pianura veneta, il contributo del traffico portuale sulle concentrazioni di PM2.5 rilevate a Sacca Fisola è pari a circa il 2%. Sulla stessa posizione, le altre sorgenti emissive presenti nel dominio principale contribuiscono per circa il 66%; tutte le sorgenti esistenti al di fuori dell'area di applicazione del modello (*boundary conditions*) e quelle di origine naturale contano per il restante 30% circa.

Anche in tale periodo, guardando l'intero territorio comunale, i massimi si stimano in prossimità dell'area industriale di Porto Marghera, in cui il contributo del traffico portuale aumenta fino al 4% circa. Si ricorda che, in inverno, i livelli di concentrazione di PM10 sono mediamente circa 3 volte più elevati rispetto al periodo estivo, con diversi superamenti del limite giornaliero, e che il PM2.5 corrisponde a più del 90% del PM10.

La valutazione del peso delle emissioni portuali è stata condotta, oltre che con l'applicazione modellistica sopra descritta, attraverso l'applicazione di un modello statistico a recettore (il modello PMF). A differenza dei modelli deterministici, come CAMx, che stimano le concentrazioni degli inquinanti a partire dalle emissioni, i modelli a recettore determinano il peso delle diverse sorgenti sulle concentrazioni misurate attraverso l'analisi statistica degli andamenti dei traccianti misurati durante specifiche campagne di monitoraggio. Durante l'intero anno 2011 sono state condotte delle campagne specialistiche presso tre punti del territorio veneziano, in particolare presso i siti della rete di monitoraggio ARPAV di Sacca Fisola, di Parco Bissuola (stazioni di fondo urbano rispettivamente del centro storico e della terraferma) e di Malcontenta (sito industriale presso Porto Marghera). Sulle concentrazioni misurate di PM2.5 e PM10 sono state quantificate, tramite analisi di laboratorio, alcune componenti quali metalli, microinquinanti organici, elementi terrigeni e sali inorganici di origine secondaria. Tale approccio ha portato ad una quantificazione del contributo del porto sul sito di Sacca Fisola leggermente superiore a quella stimata dal modello fotochimico: 23% durante il periodo estivo e 7% in quello invernale. Questo può dipendere sia dall'impossibilità per il modello a recettore di discernere gli apporti di polveri fini derivanti dalla scala locale rispetto a quelli provenienti dal resto della regione e dai territori contermini, sia dalla non perfetta separazione dell'emissione navale dalla quota residua di emissioni industriali dovute al consumo di olio combustibile. Nel bilancio dei combustibili utilizzati dalle attività industriali e portuali di Porto Marghera nell'anno 2011¹ infatti, solo un decimo dell'olio combustibile è stato utilizzato dalle navi, ma ad esse

¹ Negli ultimi anni, data la riconversione di alcune attività industriali e la chiusura di altre, si è verificata una progressiva diminuzione dell'utilizzo di olio combustibile pesante per le attività industriali di Porto Marghera.

corrispondono più della metà delle emissioni annue di PM2.5 e PM10 derivanti dalla combustione di oli pesanti, in quanto, diversamente dalle sorgenti industriali, le navi non presentano attualmente alcuna tecnologia di abbattimento.

La valutazione del contributo del porto sulla qualità dell'aria è stata condotta con analoghi strumenti in tutti i cinque porti coinvolti nel progetto; seppure le cinque città presentino caratteristiche molto diverse tra loro (differenti condizioni di qualità dell'aria e meteorologiche, emissioni regionali e locali, nonché volumi di traffico navale), la stima dell'impatto delle emissioni navali sulle concentrazioni di polveri svolta in particolare dai modelli fotochimici è abbastanza confrontabile, con peso relativo nell'area urbana contenuto entro il 10% nel periodo estivo e entro il 5-6% in quello tardo-autunnale.

Oltre alla quantificazione dell'influenza delle emissioni portuali sulle concentrazioni, in APICE è stata effettuata la valutazione dell'efficacia di alcune ipotesi di intervento per la mitigazione e il contenimento delle emissioni connesse alla presenza del porto. Per questo aspetto, non oggetto del presente report, si rimanda alle pubblicazioni: "Qualità dell'aria nella laguna di Venezia" [1] e "Metodi e modelli per l'indagine scientifica su emissioni e concentrazioni in atmosfera: risultati principali per la laguna di Venezia" [2].

Le seguenti figure, ricavate dalle pubblicazioni [1] e [2] citate, mostrano i principali risultati dell'applicazione modellistica condotta.

Figura1.1-1: Risultati progetto APICE: stima mediante modello fotochimico del peso delle sorgenti emissive nel determinare le concentrazioni di PM2.5 presso la stazione di Sacca Fisola a Venezia (media estiva e media tardo autunnale)

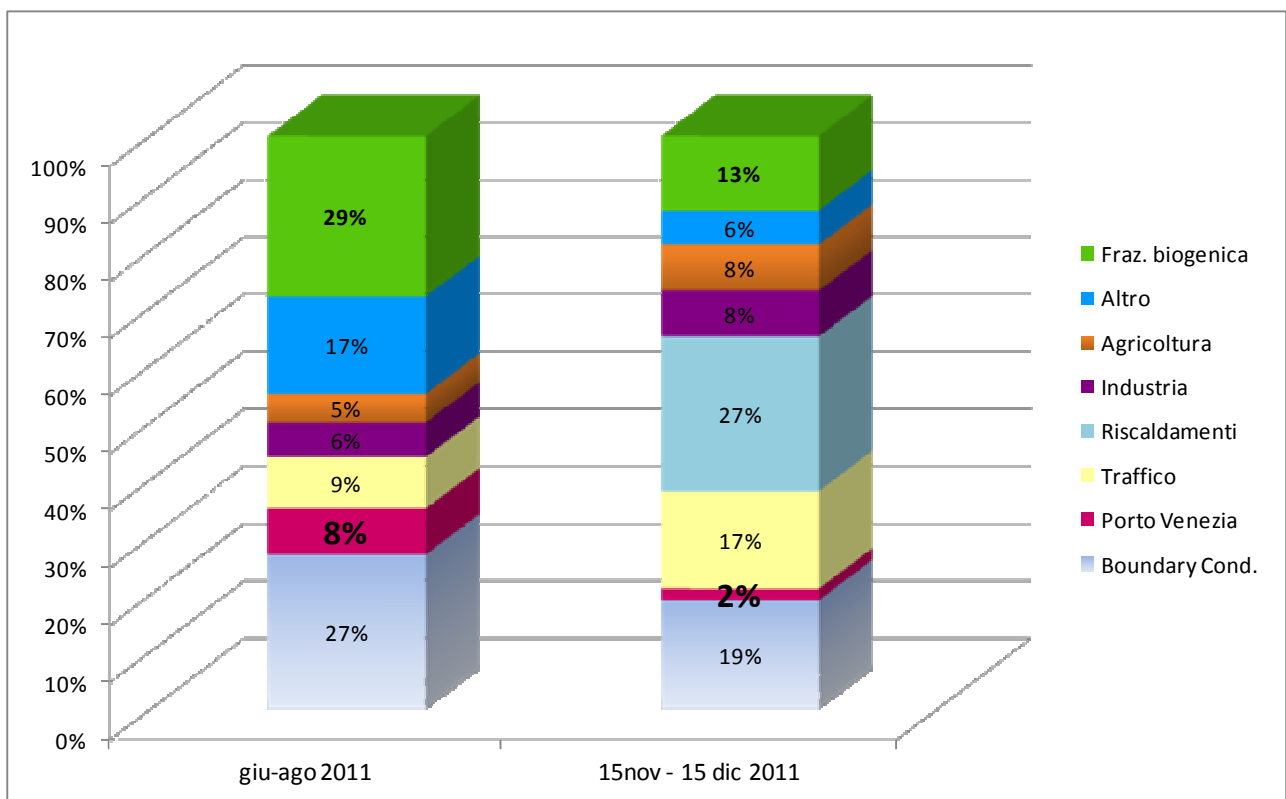


Figura 1.1 -1: Contributo medio del porto di Venezia sulla concentrazione di PM2.5 nel periodo estivo

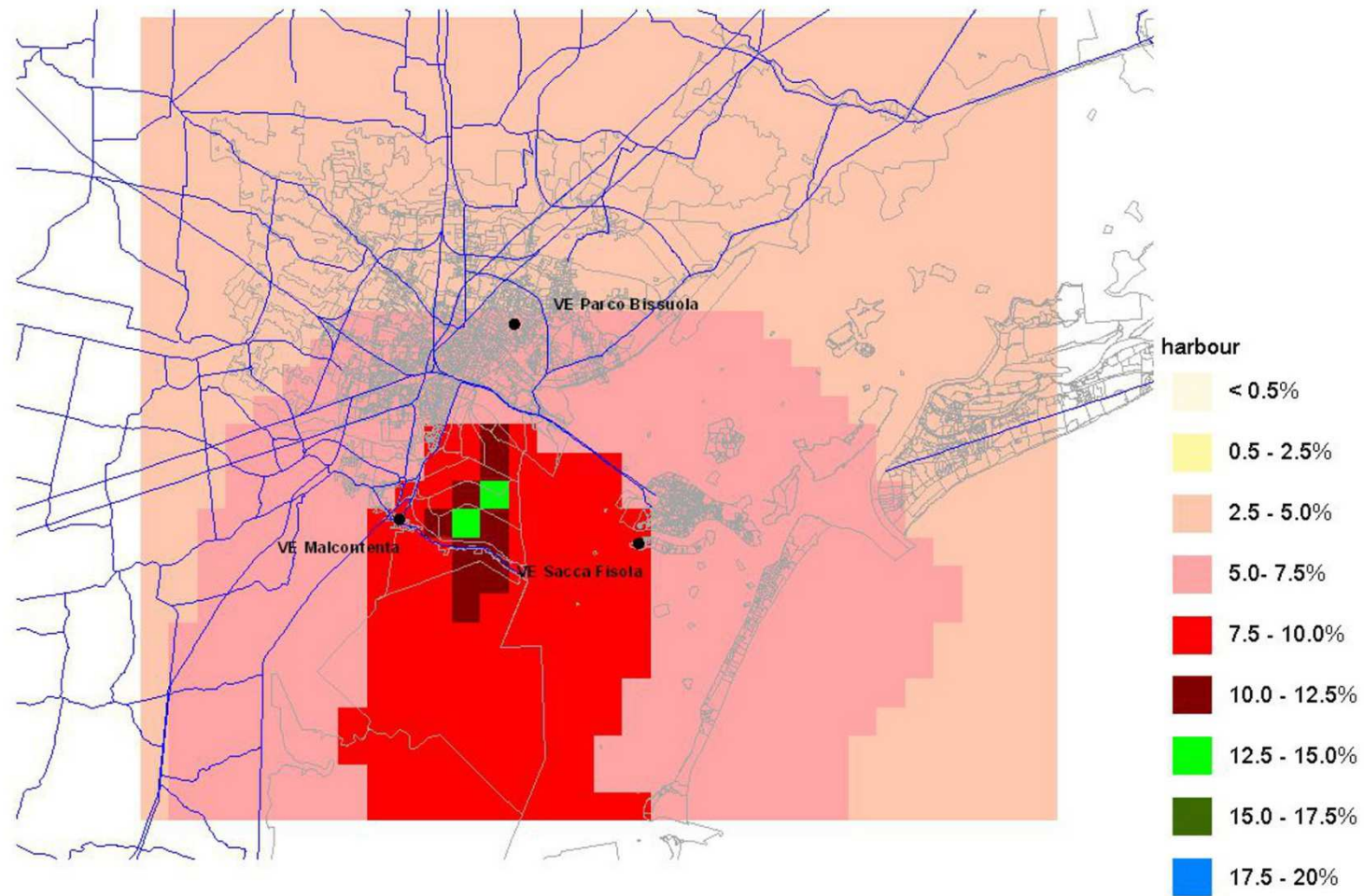
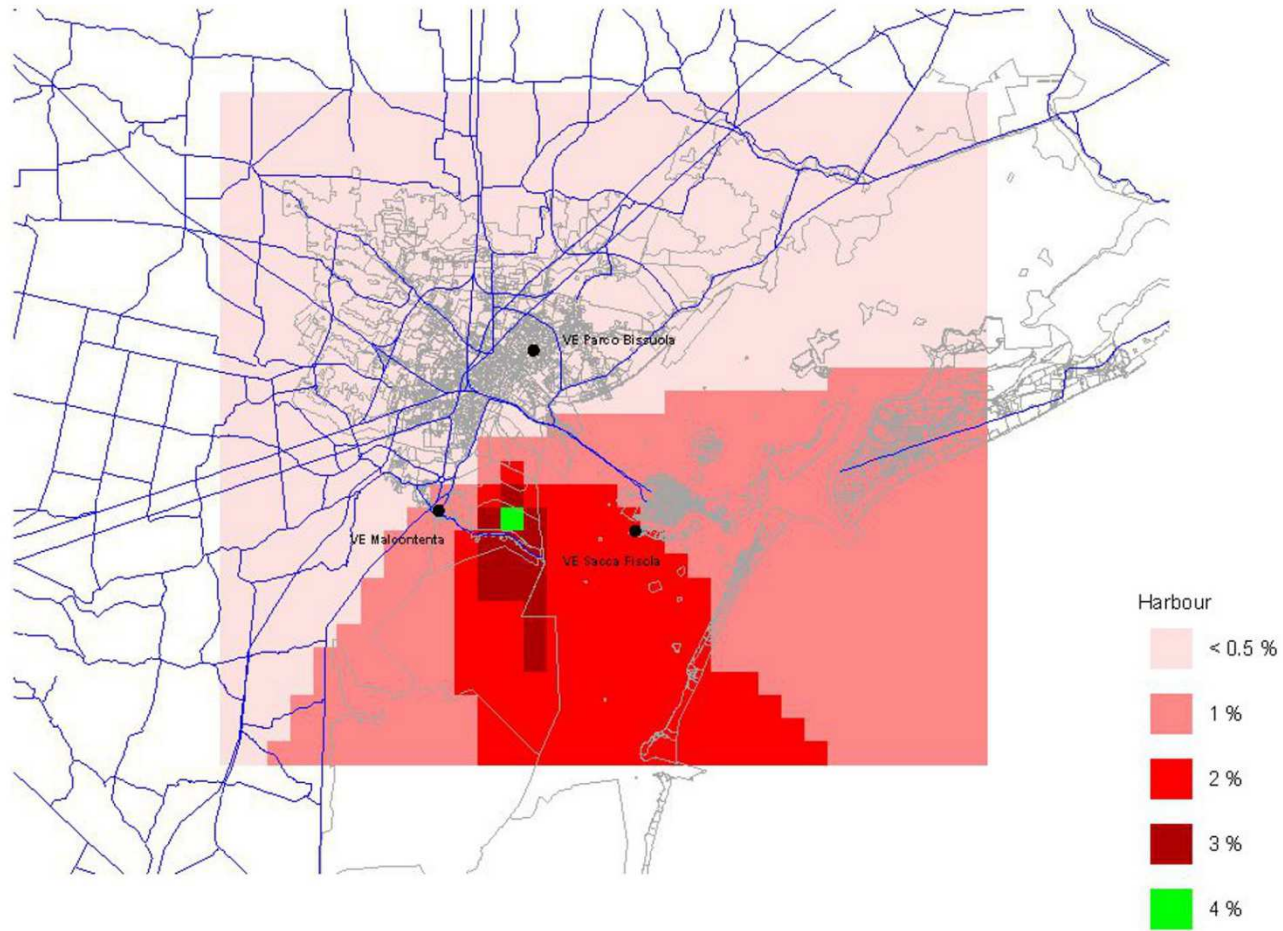


Figura 1.1 -2: : Contributo medio del porto di Venezia sulla concentrazione di PM2.5 nel periodo tardo autunnale



1.2 Il progetto MED CAIMANs (luglio 2014 –giugno 2015)

Seppure il contributo dei porti delle cinque città del Mediterraneo sulle concentrazioni di polveri sottili non è stato valutato dalle indagini condotte con il progetto APICE tra le fonti urbane più significative, soprattutto nel periodo invernale in cui sono maggiori le concentrazioni misurate, è comunque evidente che le navi, e in particolare le navi passeggeri, che tipicamente vanno ad ormeggiarsi nel cuore storico delle città e a ridosso delle zone a maggior densità abitativa, costituiscono una sorgente locale potenzialmente rilevante. Si è sentita quindi l'esigenza di approfondire l'impatto alla scala locale, ampliando lo spettro degli inquinanti primari considerati.

In CAIMANs si è deciso di adottare un metodo di indagine fondato sui modelli di dispersione a scala locale che, seppure non riproducendo la reattività chimica dell'atmosfera (e quindi non idonei a stimare le concentrazioni di inquinanti secondari), a partire da una dettagliata descrizione spaziale e temporale delle emissioni, possono essere spinti ad un'alta risoluzione, come i 100 metri adottati per le simulazioni condotte nel progetto. Con questi strumenti sono stati modellizzati i pennacchi emessi dalle navi in crociera al largo dal porto, in manovra e in ormeggio, andando a studiare come e dove vanno ad impattare il tessuto urbano delle città cinque portuali.

La base dati di partenza sono stati i record dei passaggi navali registrati in ciascun porto, relativi all'anno 2013, studiato come anno più recente e completo all'avvio dello studio (luglio 2014).

Con questo dettaglio d'informazione si sono ricostruite, ora per ora, le emissioni dei camini delle navi utilizzando, come strumento comune, un codice scritto dall'Osservatorio Aria di ARPAV che traduce la metodologia EMEP/EEA di riferimento a livello europeo per questo settore emissivo (EEA, 2013). La stima ha riguardato sia i macroinquinanti tipicamente studiati (ossidi di azoto e di zolfo, particolato atmosferico, monossido di carbonio e idrocarburi non metanici, monossido di carbonio), sia i microinquinanti (come metalli e microinquinanti organici) trattati dalla metodologia EMEP/EEA, nonché il benzo(a)pirene, secondo due distinte fonti bibliografiche per i fattori di emissione.

I principali risultati del progetto sono approfonditi nei paragrafi seguenti.

Anche nel progetto CAIMANs, come in APICE, sono stati analizzati alcuni scenari futuri: dapprima quello tendenziale in un medio futuro (2020 o 2025 a seconda della città) e poi quelli in cui si è introdotto, di volta in volta, una specifica azione di mitigazione delle emissioni, come la trasformazione della flotta navale a gas naturale e l'alimentazione elettrica delle navi in fase di ormeggio. La differenza tra il numero di persone esposte ai diversi intervalli di concentrazione degli inquinanti atmosferici nei diversi scenari indagati è stata dunque discussa come strumento per valutare l'efficacia degli interventi di mitigazione ipotizzati in ciascuna città portuale del progetto. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla pubblicazione del report finale del progetto CAIMANs [3].

2. Analisi delle emissioni prodotte dalle navi in fase di ormeggio e manovra

Il porto di Venezia è dislocato in tre distinte aree: i terminal crociere e passeggeri con diversi approdi nella città lagunare, il porto commerciale di Porto Marghera, che dal 2014 ospita anche il terminal Ro-Pax dei traghetti, e il porto di San Leonardo a sud, per l'approdo delle petroliere che a tutt'oggi entrano in laguna. Come sottolineato nei paragrafi precedenti, la stima delle emissioni navali nel porto di Venezia viene effettuata applicando la metodologia EMEP/EEA per il settore 1.A.3.d². In particolare si è adottato il maggior livello di dettaglio, che permette di ricostruire l'emissione di ogni "toccata" in porto (transito di ogni nave dalla fase di avvicinamento al porto alla partenza, comprendente l'avvicinamento, la manovra in arrivo, lo stazionamento, la manovra in uscita e l'allontanamento dal dominio di indagine).

Le principali assunzioni della metodologia europea, adottata anche per la stima delle emissioni pubblicate nell'inventario regionale INEMAR Veneto per le annualità 2007-2008, 2010 e 2013, sono:

- il calcolo delle emissioni differenziato per motori principali (in gran parte utilizzati per la propulsione) e ausiliari (utilizzati per energia e servizi);
- la stima dell'emissione basata sulla potenza installata del motore (calcolata a sua volta come funzione empirica della stazza della nave), riscalata per un fattore correttivo di utilizzo del motore, e sul tempo impiegato in ogni fase di navigazione (stazionamento, manovra e crociera);
- la flotta navale suddivisa in nove categorie (petroliere, portarinfuse, container, cargo, traghetti per carico merci, navi passeggeri, altro e rimorchiatori) a ognuna delle quali è associato uno specifico "parco" motori;
- il "parco" motori comprendente cinque tipologie (*slow-, medium- and high-speed diesel*, turbine a gas e turbine a vapore);
- la stima dell'emissione distinta per due tipologie di combustibile: olio combustibile pesante (Bunker Fuel Oil) e distillati, diesel e gasolio marino (senza distinzione tra Marine Gas Oil e Marine Diesel Oil);
- i fattori di emissione di NO_x, COV, PM e i fattori di consumo del combustibile specifici per ogni combinazione tipo motore/combustibile e fase di navigazione;
- le emissioni di SO₂ ricavate in base al contenuto di zolfo nel combustibile;
- le emissioni di CO e dei microinquinanti, quali i metalli pesanti, calcolate a partire dal consumo di combustibile, a sua volta calcolato dai fattori specifici di consumo per tipo motore in base alla potenza del motore;
- la ricostruzione del parco motore/combustibile per le nove categorie di nave basata sulle statistiche internazionali circa le flotte navali circolanti a scala mondiale e del Mediterraneo (flotta mondiale 2010).

In pratica per effettuare la stima al massimo livello di dettaglio sarebbero necessarie informazioni specifiche sul tipo di motore installato in ogni nave in transito nel porto e sul combustibile utilizzato. Data

² La versione più aggiornata del Guidebook è pubblicata al <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016> ; per quanto riguarda il settore trasporti marittimi non ci sono sostanziali aggiornamenti della metodologia e dei fattori di emissione rispetto alle precedenti versioni utilizzate per la stima delle emissioni del porto di Venezia.

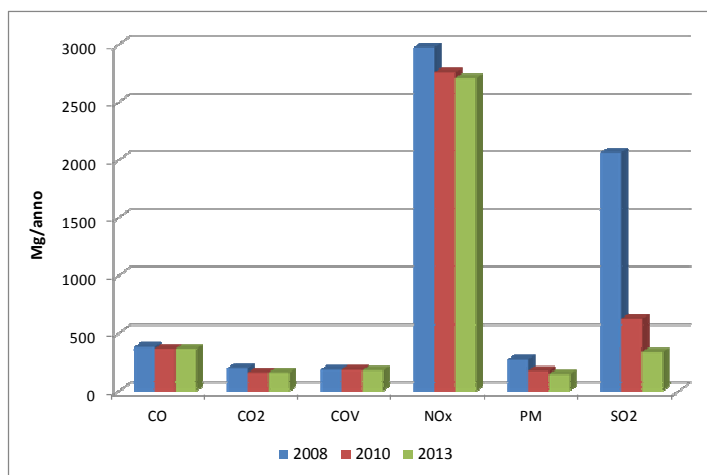
l'impossibilità di ottenere questo tipo di informazioni, a ciascuna tipologia di nave viene attribuito il tipo motore in base ad una flotta media. Per esempio, considerando la flotta media mondiale 2010, le navi passeggeri risultano dotate per l'83% circa di motori di tipo *medium speed diesel*, più del 90% dei quali alimentati ad olio combustibile pesante, e per un 6% di motori di tipo *high speed diesel* (in maggioranza alimentati con distillati); le altre categorie sono presenti per questo tipo nave in percentuali inferiori. I fattori di emissione degli ossidi azoto, delle polveri e dei composti organici volatili, nonché il consumo specifico per tipologia di nave, vengono calcolati come media pesata dei fattori di emissione e consumo specifici per tipologia di motore e combustibile, secondo le percentuali di presenza dei diversi motori nelle flotte mondiali.

Per quanto riguarda l'emissione di ossidi di zolfo, dal 01/01/2010 è entrato in vigore il limite di 0.1% di zolfo nei combustibili usati nella fase di ormeggio. Tale obbligo comporta il passaggio ad un uso esclusivo dei distillati marini in questa fase di navigazione, in quanto al momento attuale non è disponibile sul mercato Bunker Fuel Oil con così basso tenore di zolfo.

La riduzione del tenore di zolfo nei combustibili si riflette non solo nella diminuzione delle emissioni gassose di SO₂, ma anche nella diminuzione di emissione di particolato, in quanto lo zolfo costituisce in fase di combustione nucleo di aggregazione per la formazione di particolato all'emissione. Inoltre, a differenza degli altri inquinanti, il fattore di emissione delle polveri è significativamente più basso per i distillati (MDO e MGO) rispetto all'olio combustibile pesante (BFO). La conseguenza dell'entrata in vigore della normativa europea sul tenore di zolfo in fase di stazionamento ha avuto quindi l'effetto di ridurre significativamente le emissioni di polveri associati a questa fase, dal 2010 in poi, come visibile dalla tabella seguente in cui si riportano le emissioni da attività marittime del Comune di Venezia pubblicate nelle ultime tre edizioni dell'inventario regionale³.

Figura 2-1: INEMAR Veneto – Emissioni annue da Attività Marittime nel Comune di Venezia (fase di stazionamento e manovra)

Emissioni	2008	2010	2013
CO	382	366	366
CO ₂	200	157	157
COV	187	185	179
NOx	2974	2758	2706
PM	274	174	144
SO ₂	2064	624	335



Nel seguito si presenta in maggior dettaglio la stima delle emissioni più aggiornata disponibile, calcolata nell'ambito del progetto CAIMANs per l'anno 2013 (e utilizzata anche per la redazione dell'inventario

³ Si sottolinea che nell'inventario INEMAR Veneto vengono contabilizzate le sole emissioni che avvengono all'interno della laguna di Venezia, relative alla fase di manovra e di stazionamento.

INEMAR Veneto 2013), attraverso un software sviluppato da ARPAV, che implementa la metodologia europea di riferimento.

Definita l'estensione del dominio di studio, da cui dipende la lunghezza delle rotte che si intende considerare nel calcolo emissivo, il programma messo a punto per CAIMAND stima le emissioni degli inquinanti atmosferici per il periodo considerato nel database dei movimenti navali. Le informazioni necessarie sono la categoria di nave (cargo, passeggeri, tanker..), il suo tonnellaggio, l'ora di arrivo e partenza e la durata della fase di manovra. Il programma calcola quindi le emissioni associate ad ogni movimento navale, dall'arrivo alla partenza, suddividendo le emissioni per combustibile e fase di navigazione (stazionamento, manovra e crociera). Le emissioni orarie, associate ad ogni terminal e ogni rotta di manovra e di crociera considerate, sono ottenute sommando le emissioni di tutte le navi ormeggiate contemporaneamente (v. grafici di Figura 2-5, 2-6 e 2-7). Tale stima è l'input necessario all'utilizzo successivo di modelli matematici per la valutazione della dispersione degli inquinanti emessi. Il programma stima anche il contributo dei rimorchiatori durante la fase di manovra (considerando una stazza media della flotta di rimorchiatori in assistenza al porto).

Gli inquinanti considerati nel progetto sono: ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), idrocarburi non metanici (NMVOC), ossidi di zolfo (SO₂), polveri fini, i metalli piombo Pb, arsenico (As), cromo (Cr), cadmio (Cd), rame (Cu), nickel (Ni), selenio (Se), zinco (Zn), il mercurio (Hg), e alcuni microinquinanti organici quali policlorobifenili (PCB), esaclorobenzene (HCB) e diossine e furani (PCDD/F). Per quanto riguarda il particolato primario, i fattori di emissioni non distinguono tra polveri totali sospese (PTS) e le frazioni fini PM₁₀ e PM_{2.5}; si adotta quindi l'assunzione cautelativa che tutto il particolato emesso si concentri nelle frazioni più sottili (le emissioni primarie di PTS, PM₁₀ e PM_{2.5} assumono dunque lo stesso valore).

Oltre agli inquinanti compresi nella metodologia europea EMEP/EEA, nel progetto CAIMANS si sono ricostruite anche le emissioni di benzo(a)pirene, considerato uno degli inquinanti critici per la qualità dell'aria e per gli effetti sulla salute della popolazione.

In mancanza di un riferimento univoco, la stima di questo inquinante è stata inizialmente condotta utilizzando due diverse fonti, che danno valutazioni che si differenziano tra loro per quanto riguarda i motori *slow speed diesel* alimentati a olio combustibile BFO: Cooper and Gustafsson (2004) [4] e Agrawal (2010) [5]. Nel seguito si presentano le stime ottenute con i fattori di emissione proposti da Cooper and Gustafsson (2004), in quanto ritenuto uno studio più completo.

Nel porto di Venezia nell'anno oggetto del presente studio, il 2013, la maggior parte delle navi passeggeri e piccole navi da crociera si è ormeggiata presso i terminal del centro storico di Venezia (Santa Marta e San Basilio e in misura minore Punta della Salute e Riva Sette Martiri) da cui accedono attraverso la bocca di porto di Lido, mentre nel 2014 la maggior parte dei traghetti si è trasferita presso il nuovo terminal Ro-Pax nell'area di Fusina a Porto Marghera, con accesso dalla bocca di porto di Malamocco. Per quanto riguarda invece le grandi navi da crociera, il terminal principale è tutt'ora la Marittima a Venezia, a cui accedono tramite la bocca di Lido, attraverso il canale della Giudecca.

Grazie all'Accordo Blue Flag 2, accordo volontario siglato tra quasi tutte le compagnie crocieristiche sotto la direzione del Comune di Venezia, durante la stagione 2013 le navi da crociera hanno utilizzato i distillati marini (a cui sono associati fattori di emissione di polveri minori rispetto al BFO e un contenuto di zolfo inferiore allo 0.1%) non solo in fase di ormeggio, come previsto dalla normativa vigente, ma anche in fase di avvicinamento al terminal, dall'entrata in laguna attraverso le bocche di porto. Tale accordo non si applica invece ai traghetti, per i quali in fase di manovra è consentito, secondo la normativa vigente, l'utilizzo di

BFO con un contenuto di zolfo massimo dello 1.5%. Nella fase di manovra delle navi in approdo presso gli ormeggi del centro storico, sono stati inoltre considerate le emissioni dei rimorchiatori (uno per le navi fino a 125 m di lunghezza, due per le navi con dimensioni maggiori).

Per quanto riguarda il traffico commerciale sono stati considerati sia gli ormeggi presso i canali industriali di Porto Marghera che l'approdo di San Leonardo per le petroliere. Anche per le navi commerciali è stato considerato il solo utilizzo di distillati marini con contenuto di zolfo inferiore allo 0.1% in stazionamento, mentre per la fase di manovra si è mantenuto il mix di combustibile previsto dal parco motori/combustibili associato alla categoria della nave.

Oltre alle emissioni navali all'interno della laguna di Venezia, per gli scopi modellistici del progetto sono state considerate anche le emissioni per una rotta di circa 10 km esterna alla lagune di Venezia. Le stesse percentuali di zolfo considerate per la manovra delle navi commerciali, sono state applicate per la stima delle emissioni in fase di crociera (oltre le bocche di porto) per tutte le tipologie di nave.

Nella seguente Tabella 2-1 si riportano le emissioni calcolate per l'anno 2013, suddivise sia per fase di navigazione che per crociere, navi passeggeri (traghetti e piccole navi da crociera con stazza lorda inferiore alle 40'000 tonnellate) e navi commerciali.

Nei grafici di Figura 2-2, 2-3 e 2-4 sono rappresentate le emissioni di alcuni degli inquinanti riportati in Tabella 2-1.

In particolare è interessante notare il maggior contributo del traffico commerciale rispetto al traffico passeggeri per tutti gli inquinanti, nonché il diverso peso delle fasi di navigazione per NOx e CO₂ rispetto a polveri e SO₂. Per gli inquinanti per i quali i fattori di emissione tra motori ausiliari (sempre attivi, a maggiore potenza durante lo stazionamento) e principali (attivi solo in navigazione e, a potenza ridotta, in fase di manovra) sono simili, lo stazionamento rappresenta la fase maggiormente emissiva, in quanto sono maggiori le ore nell'anno spese in questa fase rispetto alle altre.

Per le polveri invece, per le quali i fattori di emissione a parità di combustibile dei motori ausiliari sono circa un terzo di quelli dei motori principali, è la fase di manovra ad essere la più significativa, tenendo conto che la rotta di crociera considerata nel dominio di calcolo è di soli 10 km (corrispondente a circa un quarto d'ora di navigazione in arrivo e in partenza, rispetto alla fase di manovra che dura mediamente 1 – 1.5 ore a seconda della bocca di porto di ingresso/uscita).

Nel calcolo delle emissioni di SO₂ in fase di manovra, pesa invece l'utilizzo di combustibile con tenore di zolfo diverso per le tre categorie navali considerate: per le crociere il calcolo considera, come già evidenziato, l'utilizzo di distillati con tenore di zolfo pari allo 0.1% in ottemperanza dell'Accordo Blue Flag 2; per le navi traghetto si considera il limite di 1.5% previsto dal DLgs 152/2006 (art 295 comma 6), mentre per le altre navi, per cui fino al 2020 è in vigore il limite di 3.5%, si considera un tenore medio di zolfo pari a 1% per MDO/MGO e allo 2.7% per BFO, in accordo con le statistiche internazionali sulla composizione dei combustibili (Entec, 2002) [5].

Mentre il peso delle 3 categorie di navi considerate rimane più o meno costante per tutti gli inquinanti (circa il 20 – 25% delle emissioni sono a carico delle navi da crociera con stazza superiore alle 40'000 ton, il 10-15% è attribuito alle navi traghetto e passeggeri di piccola stazza, il restante 60-70% alle navi commerciali), la fase di navigazione che pesa maggiormente nell'emissione complessiva dipende dalla relazione tra inquinante e tipo di combustibile. Per NOx, CO e CO₂, che hanno fattori di emissione simili tra distillati marini e oli pesanti, la fase di stazionamento prevale (in quanto ha una durata complessiva maggiore, come già sottolineato), mentre le polveri e alcuni metalli, quali arsenico e nichel, che sono maggiormente associati al bunker fuel oil, presentano maggiori emissioni nelle fasi di manovra e crociera, come evidenziato dalla Figura 2-3.

Tabella 2-1: Emissioni Porto di Venezia 2013 CAIMANS

Emissioni	UdM	totale porto				Crociere > 40'000 ton			Passeggeri			Commerciali			Rimorchiatori
		TOT	Stazionam.	Manovra	Crociera	Stazionam.	Manovra	Crociera	Stazionam.	Manovra	Crociera	Stazionam.	Manovra	Crociera	Manovra
NOx	t	3021.7	1917.7	788.6	315.4	355.5	185.3	117.4	145.7	63.2	43.1	1416.5	247.7	154.9	292.3
NMVOG	t	190.4	100.9	78.2	11.3	15.3	19.7	4.3	6.3	6.5	1.6	79.3	22.6	5.5	29.4
PM	t	167.0	64.6	79.4	22.9	10.8	12.6	6.8	4.4	8.8	2.5	49.4	32.1	13.6	25.9
BaP	g	226.6	132.0	71.8	22.9	28.3	17.4	9.4	11.6	5.7	3.5	92.0	18.7	10.0	30.0
SO2	t	562.7	65.9	268.9	227.9	12.6	8.1	91.4	5.2	31.1	33.5	48.1	216.1	103.0	13.6
CO	t	401.1	243.8	121.8	35.6	46.6	30.0	15.2	19.1	10.2	5.6	178.1	31.1	14.8	50.5
CO2	kt	172.4	105.1	52.2	15.1	20.1	12.9	6.5	8.2	4.3	2.4	76.8	13.2	6.3	21.8
Pb	kg	7.50	4.28	2.38	0.84	0.82	0.53	0.36	0.34	0.22	0.13	3.13	0.74	0.35	0.89
Cd	kg	0.63	0.33	0.21	0.09	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.24	0.08	0.04	0.07
Hg	kg	1.54	0.99	0.45	0.10	0.19	0.12	0.04	0.08	0.03	0.02	0.72	0.09	0.04	0.20
As	kg	7.96	1.32	3.73	2.91	0.25	0.16	1.20	0.10	0.64	0.44	0.96	2.65	1.26	0.27
Cr	kg	8.77	1.65	4.04	3.09	0.31	0.20	1.28	0.13	0.68	0.47	1.20	2.81	1.34	0.34
Cu	kg	51.05	28.99	16.26	5.81	5.54	3.56	2.46	2.27	1.55	0.90	21.18	5.14	2.45	6.01
Ni	kg	334.70	32.94	165.28	136.49	6.29	4.05	56.42	2.58	29.83	20.69	24.07	124.57	59.37	6.82
Se	kg	6.42	3.29	2.17	0.95	0.63	0.40	0.40	0.26	0.24	0.15	2.41	0.85	0.40	0.68
Zn	kg	65.05	39.53	19.74	5.78	7.55	4.86	2.47	3.09	1.65	0.91	28.88	5.04	2.40	8.19
PCB	g	6.87	1.25	3.18	2.44	0.24	0.15	1.01	0.10	0.54	0.37	0.91	2.23	1.06	0.26
PCDD	mg	10.12	4.28	3.77	2.07	0.82	0.53	0.86	0.34	0.49	0.32	3.13	1.87	0.89	0.89
HCB	g	4.88	2.64	1.60	0.64	0.50	0.32	0.27	0.21	0.17	0.10	1.93	0.57	0.27	0.55

PCDD: abbreviazione per somma di diossine e furani (PCDD/F)

Figura 2-2: Emissioni Porto di Venezia 2013 - principali macroinquinanti.

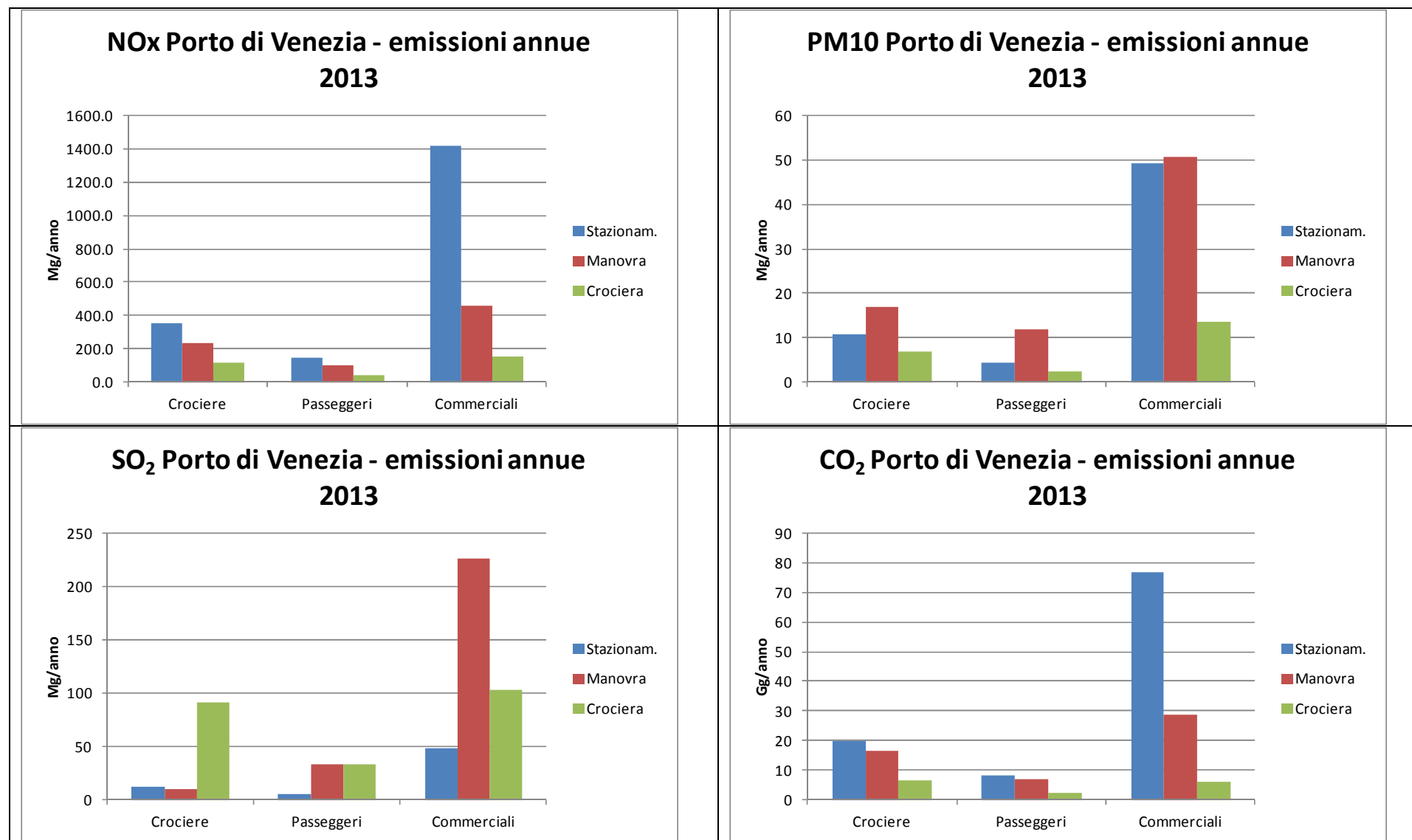


Figura 2-3: Emissioni Porto di Venezia 2013 - ripartizione per tipologia di nave e fase di navigazione

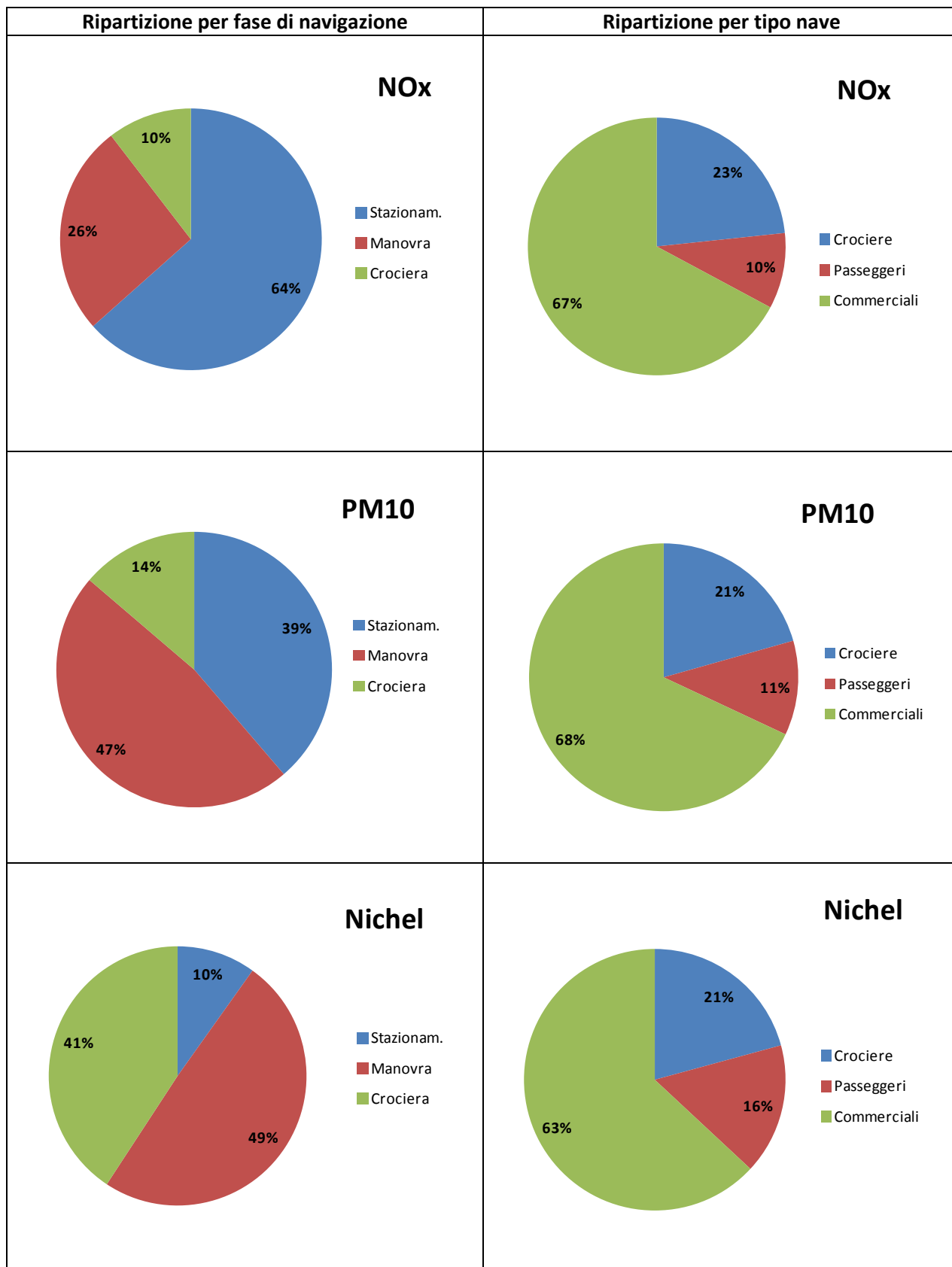
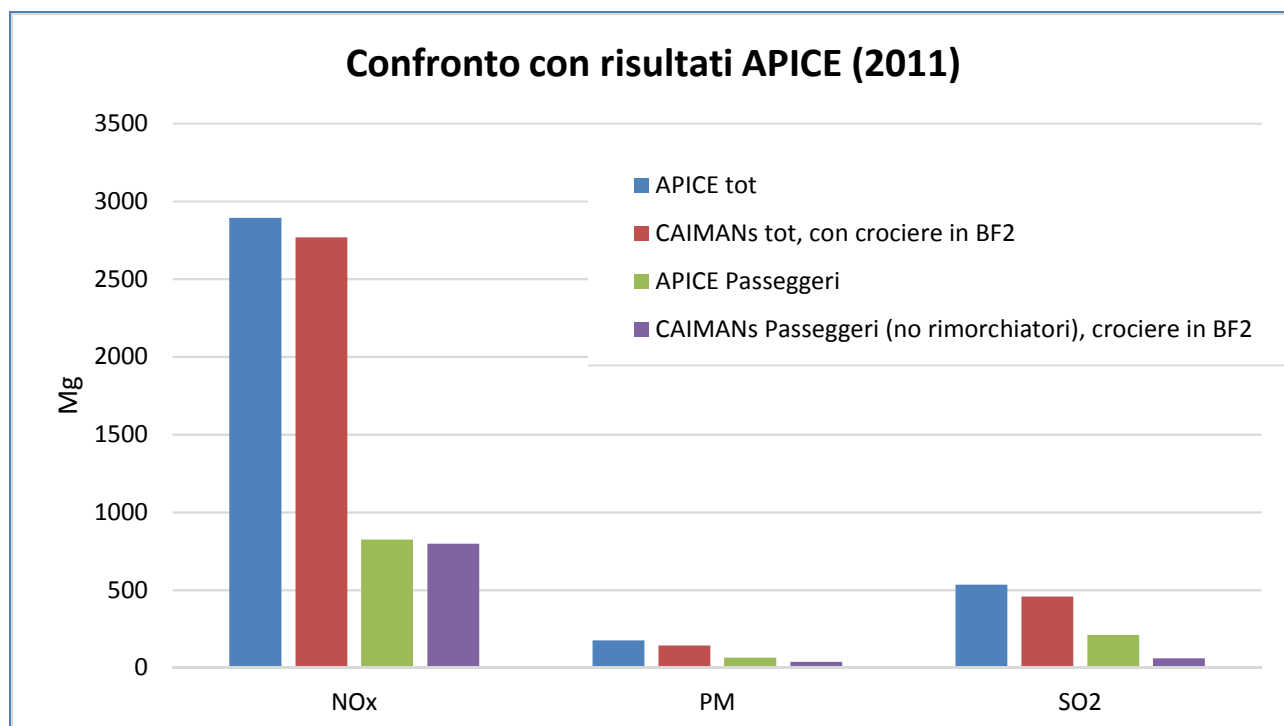


Figura 2-4: Emissioni Porto di Venezia – Confronto stime APICE (2011) vs CAIMANs (2013)



In Figura 2-4 si riporta il confronto tra le stime emissive effettuate durante il progetto APICE e le più recenti stime effettuate per il progetto CAIMANs. Si nota che, a parità circa dei flussi navali, l'applicazione del Blue Flag 2, ha un'effetto di riduzione per tutti gli inquinanti, ma più marcato per polveri e ossidi di zolfo.

Infine nelle seguenti figure, si riportano gli andamenti orari delle emissioni di tutte le navi da crociera e passeggeri che sono approdate alla Marittima e negli altri approdi del Porto di Venezia nel 2013, stimate con il software sviluppato da ARPAV.

Come si può notare dai grafici, le emissioni delle grandi navi da crociera si concentrano da primavera ad autunno inoltrato, con picchi maggiori tra agosto e ottobre, mentre le restanti navi passeggeri mantengono un andamento più o meno costante durante l'anno.

Figura 2-5: Emissioni Porto di Venezia – 2013: Ossidi di azoto, emissioni orarie navi crociera.

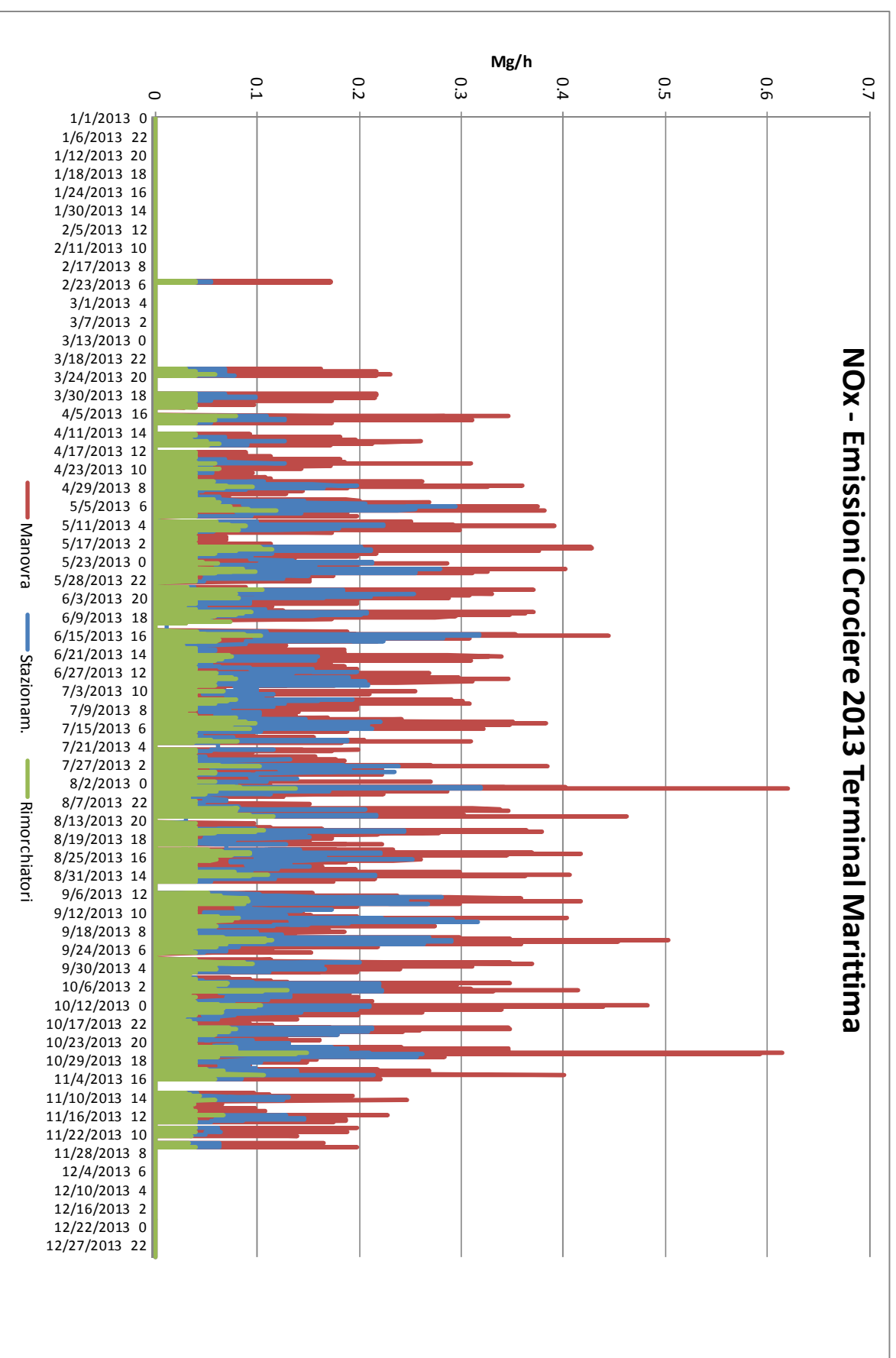


Figura 2-6: Emissioni Porto di Venezia – 2013: polveri fini, emissioni orarie navi crociera.

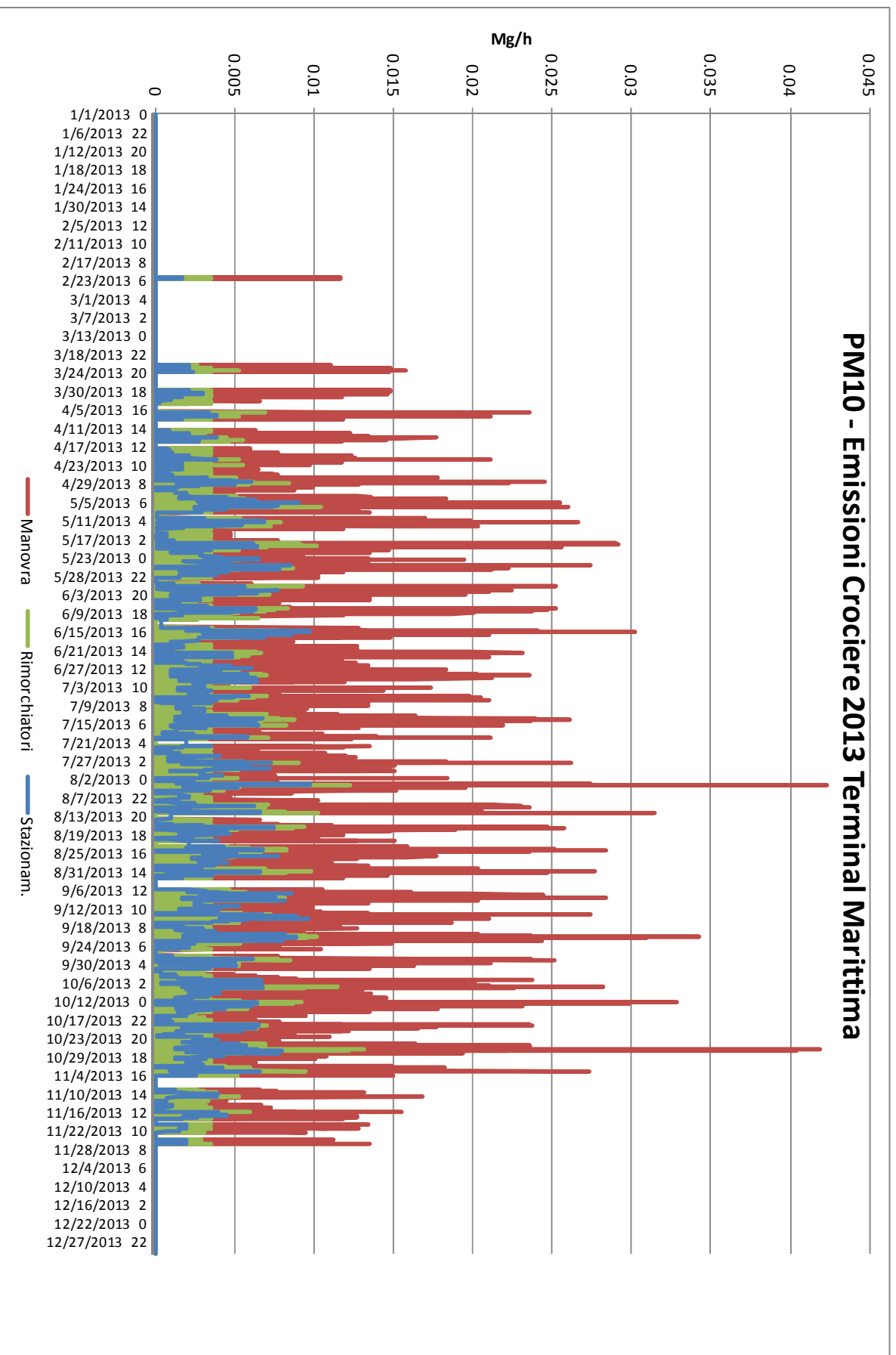
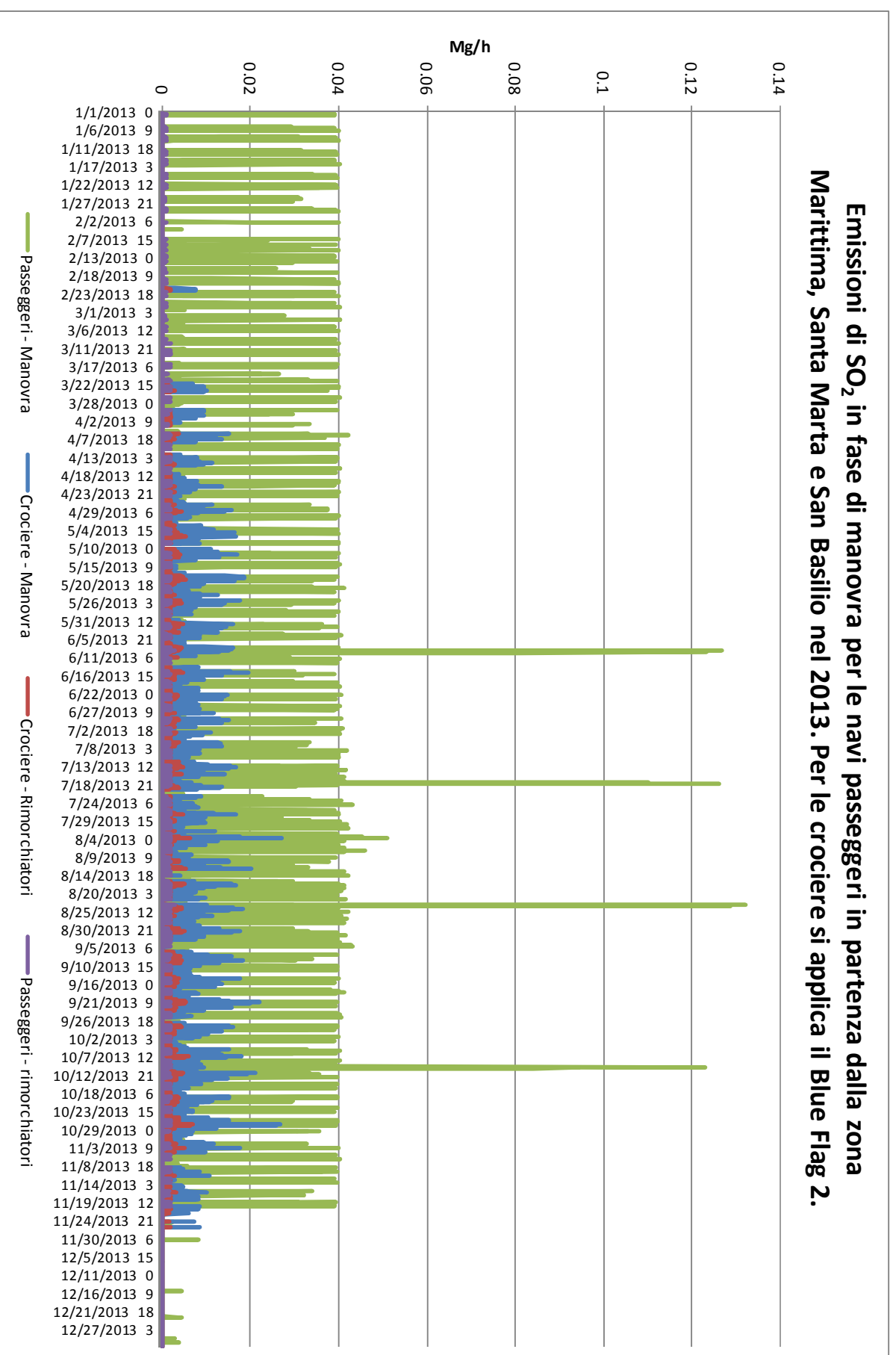


Figura 2-7: Emissioni Porto di Venezia – 2013: Ossidi di zolfo, emissioni orarie navi passeggeri.



3. Analisi delle ricadute

L'impatto sulla qualità dell'aria di tutte le navi, commerciali e passeggeri, del porto di Venezia è stato valutato tramite l'applicazione del modello di dispersione CALPUFF (Scire et al., 2001, v. 5.8) ad un dominio di analisi di circa 24 x 24 km², con una risoluzione di 500 metri ed un ulteriore affinamento della risoluzione ai 100 metri sull'entroterra di Mestre e Porto Marghera e sulla città storica di Venezia e la parte Nord del Lido.

L'input meteorologico al modello di dispersione è stato ottenuto mediante il modello diagnostico CALMET (Scire et al., 2000, v. 5.8), implementato su tutta la regione con risoluzione a 4 km a partire dai dati registrati dalle stazioni meteorologiche della rete dei Centro Meteo di Teolo di ARPAV, nonché delle stazioni sinottiche gestite dall'Aeronautica Militare; a queste, per una migliore descrizione delle condizioni meteorologiche della laguna, si sono aggiunti i dati rilevati presso alcune stazioni dell'Ente Zona Industriale di Porto Marghera (che si ringrazia per la fornitura dei dati) e, sul mare, della piattaforma ISMAR-CNR del Comune di Venezia. L'output del modello a 4 km è stato utilizzato per la successiva elaborazione di un campo meteorologico con 500 m di risoluzione e centrato sulla laguna di Venezia.

Le emissioni navali delle tre distinte fasi di ormeggio, manovra e navigazione sono state inserite nel modello CALPUFF come emissioni da camino, inserendo ora per ora i flussi di massa, calcolati con lo specifico codice discusso al paragrafo precedente. Le altezze di tali camini, che rappresentano schematicamente i fumaioli delle navi, sono state attribuite in base alla stazza della nave, a partire dalle informazioni fornite dai tecnici di Fincantieri, secondo il seguente criterio:

- ❖ in fase di ormeggio (nave ferma in porto con i soli motori ausiliari accesi)
 - 10 m per le navi con tonnellaggio inferiore alle 40'000 tonnellate di stazza lorda
 - 30 m per le navi con tonnellaggio compreso tra 40'000 e 90'000 tonnellate di stazza lorda
 - 55 m per le navi con tonnellaggio compreso tra 90'000 e 115'000 tonnellate di stazza lorda
 - 60 m per navi con tonnellaggio inferiore alle superiore a 115'000 tonnellate di stazza lorda
- ❖ in fase di manovra (nave in transito, con i motori principali a potenza ridotta e i motori ausiliari attivi, manovrata dal/i rimorchiatore/i)
 - 10 m per le navi con tonnellaggio inferiore alle 40'000 tonnellate di stazza lorda
 - 30 m per le navi con tonnellaggio superiore alle 40'000 tonnellate di stazza lorda
- ❖ in fase di navigazione
 - 20 m per tutte le navi

La minor altezza del camino in fase di manovra e di crociera simula l'effetto di abbassamento del pennacchio dovuto al movimento della nave. In fase di crociera, la più distante dal centro urbano oggetto di studio, non si mantiene la distinzione per tipo di navi ma le emissioni vengono aggregate sulle stesse sorgenti.

Ad ogni camino è stato attribuito un diametro di 1.5, una temperatura dei fumi di 160°C e una velocità di uscita dei fumi pari a 10 m/s.

Grazie alla dettagliata informazione presente nel database delle "toccate" delle navi (relativo all'intero anno 2013, fornito dalla Capitaneria di Porto di Venezia), le emissioni sono state aggregate in circa 40

gruppi di ormeggi la cui posizione è stata utilizzata per la localizzazione delle emissioni di questa fase. Le emissioni della fase di manovra sono state ottenute dalla sovrapposizione dei percorsi di manovra relativi ai vari terminal (Marittima, Santa Marta/San Basilio, Riva Sette Martiri/San Biagio, Salute, per quanto riguarda il Canale della Giudecca, i vari ormeggi di Porto Marghera per il Canale Malamocco-Marghera) e simulando un rilascio ogni 250 metri lungo la rotta di manovra (in rosso nella Figura 3-1 e Figura 3-2) che corrisponde, per le velocità di transito in gioco, ad una posizione circa ogni 10 minuti. Data la maggior velocità di navigazione, le emissioni della fase di crociera sono state parametrizzate con un rilascio ogni 500 metri lungo i circa 10 chilometri di rotta (in verde in Figura 3-1) presenti all'interno del dominio di studio.

Figura 3-1: Dominio principale con risoluzione 500 m (riquadro blu) e domini a risoluzione 100 m (riquadri neri)

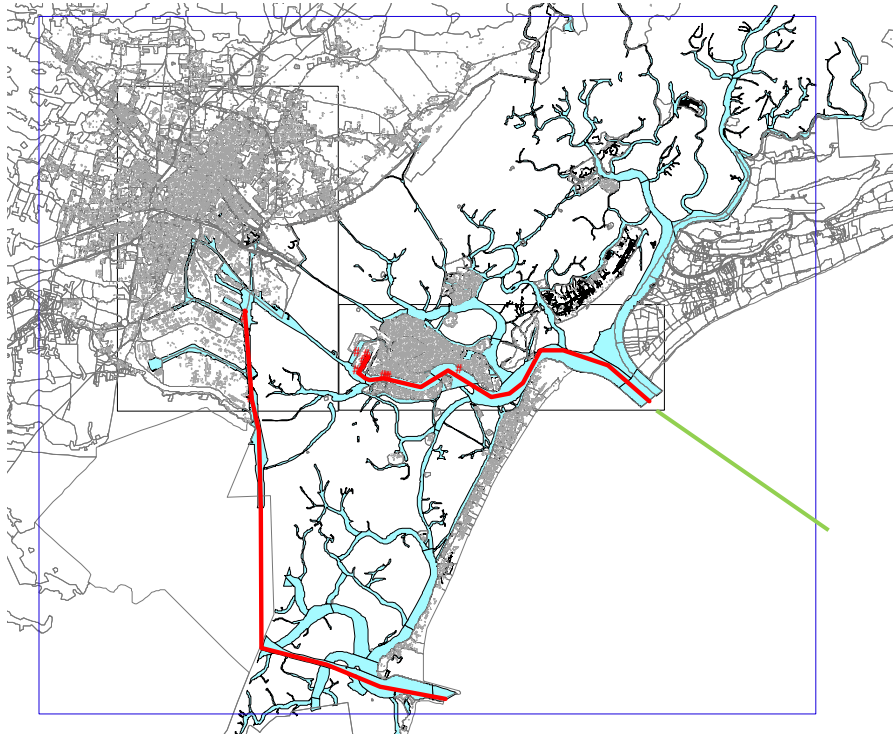


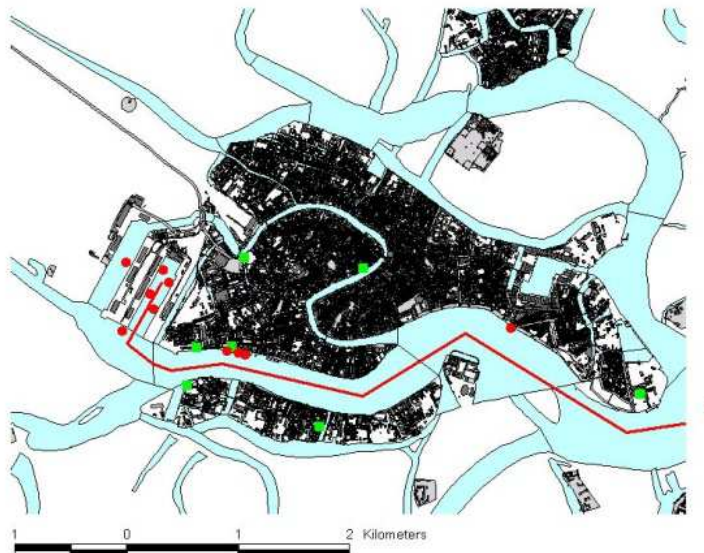
Figura 3-2: Posizionamento sorgenti – fase di manovra per le navi passeggeri



**Sorgenti a
camino**



Figura 3-3: Posizionamento sorgenti – fase di manovra per le navi passeggeri



Nel seguito si presentano i principali risultati ottenuti dalle simulazioni modellistiche condotte. Dato che (a differenza delle simulazioni effettuate con il modello fotochimico nel progetto APICE) in questo caso è stato stimato il solo contributo navale, il diretto raffronto tra le concentrazioni ottenute e i valori limite di protezione della popolazione mostra, nella maggior parte dei casi, un impatto relativamente contenuto rispetto agli standard di qualità dell'aria; per tale motivo, e in considerazione del fatto che il contributo navale insiste su una situazione di qualità dell'aria in cui concorrono molte fonti diverse (v. paragrafo precedente), nel progetto CAIMANS è stata scelta come metrica per valutare l'entità dell'impatto delle emissioni navali la quota percentuale del valore limite che si ottiene nel punto di massima ricaduta per ciascun inquinante (la concentrazione nel punto di massima ricaduta viene cioè divisa per il valore limite di protezione della salute), individuando il 5% come soglia minima per la significatività dell'impatto⁴. In Tabella 3-1 si riportano standard di qualità dell'aria vigenti considerati nella valutazione dell'impatto del Porto di Venezia.

Per il 2013 i risultati del calcolo di dispersione indicano che gli inquinanti con un impatto più significativo sulla qualità dell'aria sono il biossido di azoto (NO₂) e il biossido di zolfo (SO₂), i soli inquinanti che eccedono il 5% di almeno uno standard di qualità per essi definito. Le concentrazioni più elevate ottenute nel dominio di indagine, per ciascuna statistica e inquinante analizzato, sono riassunte in Tabella 3-2, mentre in Tabella 3-3 sono riportati i singoli contributi suddivisi per tipo nave e per la fase di navigazione. I valori di

⁴ Livelli di concentrazione stimati dal modello inferiori al 5% del relativo valore limite identificano pertanto un contributo della sorgente analizzata non particolarmente rilevante. Una simile soglia di significatività è stata talvolta in passato adottata dalla Commissione Regionale di Valutazione di Impatto Ambientale.

concentrazione di entrambe le tabelle sono i massimi stimati dal modello nel dominio di calcolo, indipendentemente dal punto in cui ricadono.

Con riferimento alle navi passeggeri, in particolare per l'NO₂ la concentrazione annua massima calcolata a partire dalle emissioni delle navi passeggeri è circa pari a 4 µg/m³ (circa il 9% dello valore limite annuale di 40 µg/m³) e si stima avvenga sulle acque di fronte e dietro il terminal passeggeri della Marittima; l'area che eccede il 5% del valore limite annuale raggiunge una porzione molto confinata della città storica, ovvero principalmente il terminal passeggeri stesso. Considerando invece il totale delle emissioni navali (Porto Marghera + terminal passeggeri), il massimo della media annuale di NO₂ supera i 7 µg/m³ (circa il 18% del valore limite), ma si concentra soprattutto in zona industriale, anche se l'area in cui le concentrazioni superano il 5% del valore limite (2 µg/m³) copre interamente il centro abitato di Marghera (v. Figura 3-4). In Figura 3-5 sono presentati i contributi separati per tipologia di nave.

Tabella 3-1: valori limite vigenti di protezione della salute pertinenti per la valutazione delle ricadute dovute alle emissioni navali

Inquinante	Nome limite	Indicatore statistico	Valore
SO₂	Limite orario per la protezione della salute umana	Media 1 h	350 µg/m³ da non superare più di <u>24</u> volte per anno civile
	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	Media 24 h	125 µg/m³ da non superare più di <u>3</u> volte per anno civile
NO₂	Limite orario per la protezione della salute umana	Media 1 h	200 µg/m³ da non superare più di <u>18</u> volte per anno civile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m³
PM10	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	Media 24 h	50 µg/m³ da non superare più di <u>35</u> volte per anno civile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m³
PM2.5	Valore limite per la protezione della salute umana	Media annuale	25 µg/m³
Pb	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	0.5 µg/m³
BaP	Valore obiettivo	Media annuale	1.0 ng/m³
Ni	Valore obiettivo	Media Annuale	20.0 ng/m³
As	Valore obiettivo	Media Annuale	6.0 ng/m³
Cd	Valore obiettivo	Media Annuale	5.0 ng/m³

Per quanto riguarda l'esposizione di breve periodo per l'NO₂, il modello stima valori di ricaduta particolarmente significativi per il 99.8 percentile delle concentrazioni orarie di un anno (che corrisponde al 19° massimo⁵ orario di un anno per il quale è definito il valore limite di 200 µg/m³). Con riferimento alle sole navi passeggeri, si ottiene un valore massimo pari a 174 µg/m³ (circa l'87% del limite) in prossimità del terminal delle crociere e valori che variano da 50 and 120 µg/m³ (dal 25% al 60% del limite) nella città storica insulare (Figura 3-7); considerando il totale delle emissioni navali il modello stima il superamento del valore limite orario per questo inquinante solo in acqua, nell'area di laguna tra Mestre e Venezia, ma concentrazioni superiori al 50% del valore limite interessano tutto il centro storico di Venezia e parte dell'area urbana di Mestre (Figura 3-6).

Per quanto riguarda il limite per le concentrazioni orarie di SO₂, il massimo valore del 99.7 percentile delle concentrazioni orarie di un anno (che corrisponde al 25° massimo orario di un anno, per il quale è definito il limite di 350 µg/m³) è stimato di circa 43 µg/m³ in area lagunare nei pressi della zona industriale e di circa 32 µg/m³, al di fuori delle bocche lagunari dove le navi crociera utilizzano olio combustibile. Il 5% del valore limite viene superato in alcune aree del centro storico più a ridosso delle rotte di manovra (Figura 3-8).

Come già verificato in APICE, anche in CAIMANs si conferma che il contributo delle navi alle concentrazioni di PM10 non è particolarmente rilevante: meno del 5% del limite annuale e circa il 10% del limite giornaliero nel punto di massima ricaduta in zona industriale; mentre le zone abitate non sono interessate da ricadute superiori al 5% dei valori limite (Figura 3-9 e Figura 3-10). Anche il contributo dei microinquinanti è generalmente molto contenuto: meno dello 1% del corrispondente valore obiettivo per piombo (Pb), cadmio (Cd), arsenico (As) e benzo(a)pirene (BaP). Il microinquinante con la concentrazione maggiore è il nichel (Ni), per il qual il valore massimo nel dominio corrisponde a circa l'1.5% del valore obiettivo definito per la media annua (e pari a 20 ng/m³, si v. Figura 3-11).

Tabella 3-2: Massime concentrazioni stimate dal modello CALPUFF nel dominio di calcolo

Inquinante	Parametro	Valore limite DLgs 155/2010	Concentrazione nel punto di massima ricaduta			
			Solo navi passeggeri	% del Valore Limite	Tutte le navi	% del Valore Limite
NO ₂ (µg/m ³)	Media annua	40	3.6	9%	7.2	18%
NO ₂ (µg/m ³)	19° massimo orario	200	174.0	87%	241.5	121%
SO ₂ (µg/m ³)	25° massimo orario	350	31.4	9%	43.4	12%
SO ₂ (µg/m ³)	4° massimo giornaliero	125	5.2	4%	10.1	8%
PM10 (µg/m ³)	Media annua	40	0.3	0.75%	1.7	4%
PM10 (µg/m ³)	36° massimo giornaliero	50	1.0	2%	5.2	10%
PM2.5 (µg/m ³)	Media annua	25	0.3	1.5%	1.7	7%
Pb (ng/m ³)	Media annua	500	0.02	0.004%	0.08	0.02%
As (ng/m ³)	Media annua	6	0.01	0.2%	0.03	0.5%
Ni (ng/m ³)	Media annua	20	0.5	2.5%	0.8	4%
Cd (ng/m ³)	Media annua	5	0.002	0.04%	0.006	0.12%
B(a)p (ng/m ³)	Media annua	1	0.001	0.1%	0.002	0.2%

⁵ Il DLgs 155/2010 per la protezione della salute prevede valori concentrazione in aria ambiente da non superare sia nel lungo periodo (generalmente ci si riferisce a valori medi annuali) che nel breve periodo (giorno o ora); in quest'ultimo caso sono spesso individuati (NO₂, SO₂, PM10) valori di concentrazione da non superare più di un certo numero di casi all'anno: per considerare superato il valore limite le concentrazioni devono eccedere la soglia di legge per più del numero di volte consentito in un anno. Cfr Tabella 3.1 per il dettaglio dei limiti considerati nel presente studio.

Tabella 3-3 : Massime concentrazioni stimate dal modello CALPUFF, differenziate per tipologia di nave e fase di navigazione

punto di massima ricaduta		STAZIONAMENTO				MANOVRA				Fase crociera	TOT Navi	TOT
Inquinante	Parametro	Crociere	Passeggeri	Commerciali	Totale Pass.	Crociere	Passeggeri	Commerciali	Totale Pass.	(rotte di 10 km)	Passeggeri	
NO ₂ (µg/m ³)	media annua	2.3	1.0	6.6	3.1	0.6	0.4	1.1	1.0	0.5	3.6	7.2
NO ₂ (µg/m ³)	19° massimo	112.5	61.8	115.3	154.0	36.8	33.9	33.5	70.7	35.3	174.0	241.5
SO ₂ (µg/m ³)	media annua	0.2	0.1	1.2	0.3	0.1	0.3	1.1	0.3	0.5	0.5	1.5
SO ₂ (µg/m ³)	25° massimo	9.4	6.8	30.2	13.5	3.3	18.9	37.2	21.8	29.5	31.4	43.4
SO ₂ (µg/m ³)	4° massimo giorn.	2.1	1.5	7.3	3.2	0.8	2.7	6.9	3.3	4.8	5.2	10.1
PM10 (µg/m ³)	media annua	0.2	0.1	1.6	0.3	0.08	0.10	0.25	0.18	0.1	0.3	1.7
PM10 (µg/m ³)	36° massimo giorn.	0.6	0.4	5.1	0.8	0.27	0.30	0.56	0.57	0.2	1.0	5.2
PM2.5 (µg/m ³)	media annua	0.2	0.1	1.6	0.3	0.08	0.10	0.25	0.18	0.1	0.3	1.7
Pb (ng/m ³)	media annua	0.02	0.01	0.08	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.08
As (ng/m ³)	media annua	0.005	0.002	0.025	0.006	0.001	0.005	0.014	0.007	0.010	0.011	0.028
Ni (ng/m ³)	media annua	0.12	0.06	0.62	0.15	0.03	0.25	0.62	0.28	0.5	0.5	0.8
Cd (ng/m ³)	media annua	0.001	0.001	0.006	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.006
B(a)P (ng/m ³)	media annua	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002

Figura 3-4 : NO₂ media annuale – totale Porto di Venezia

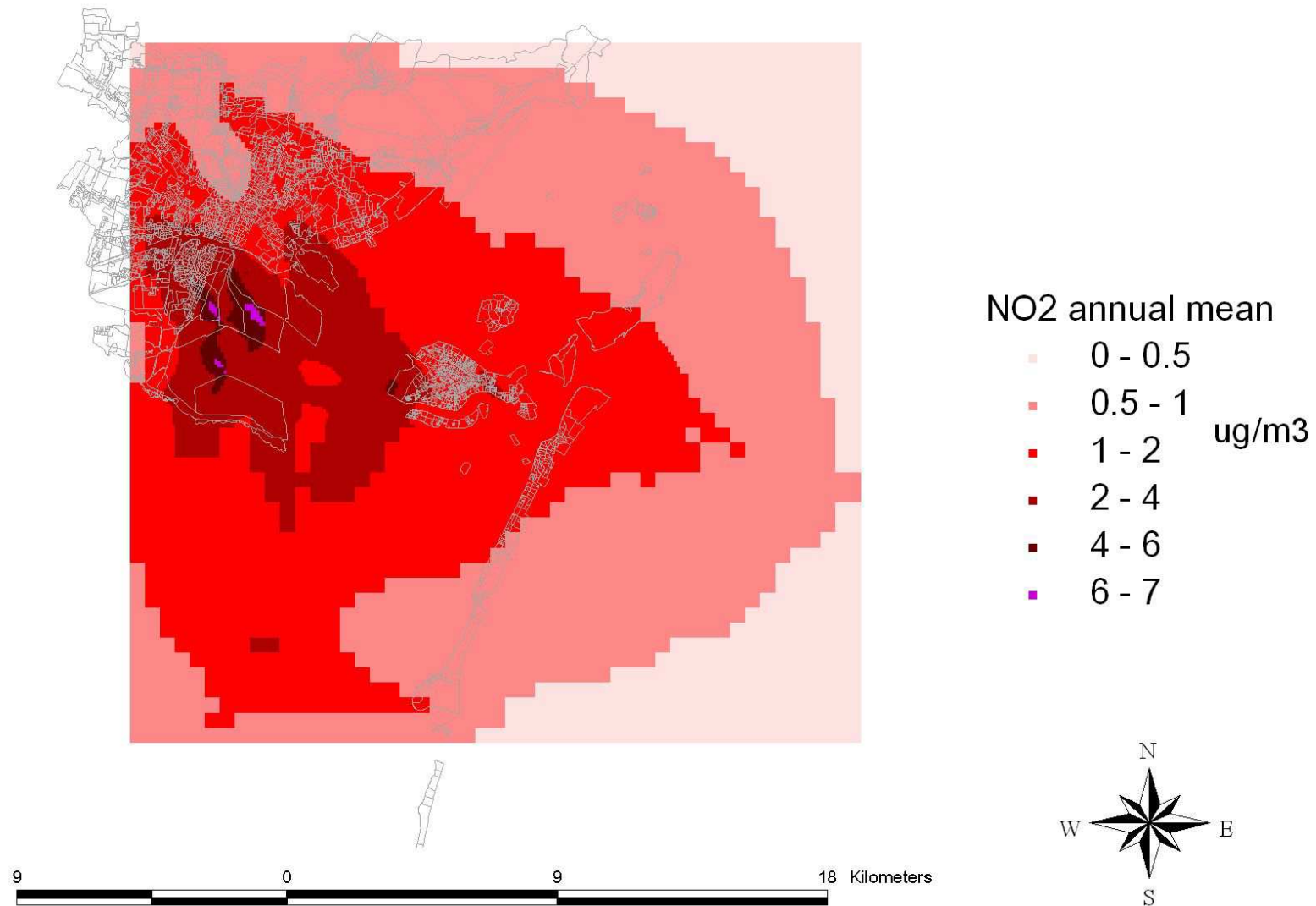
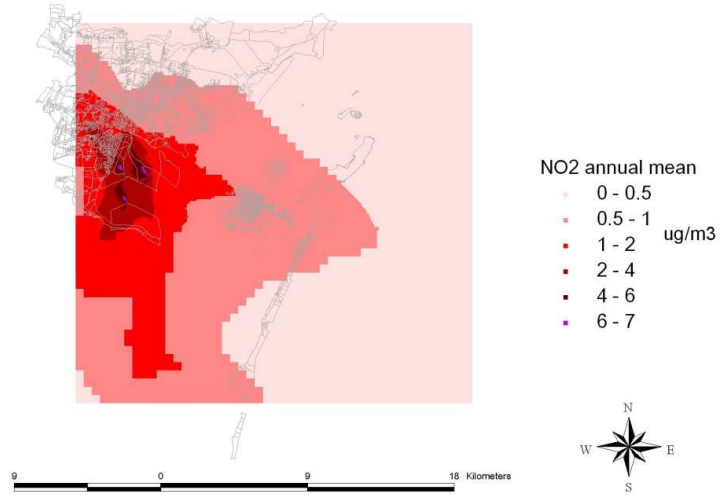
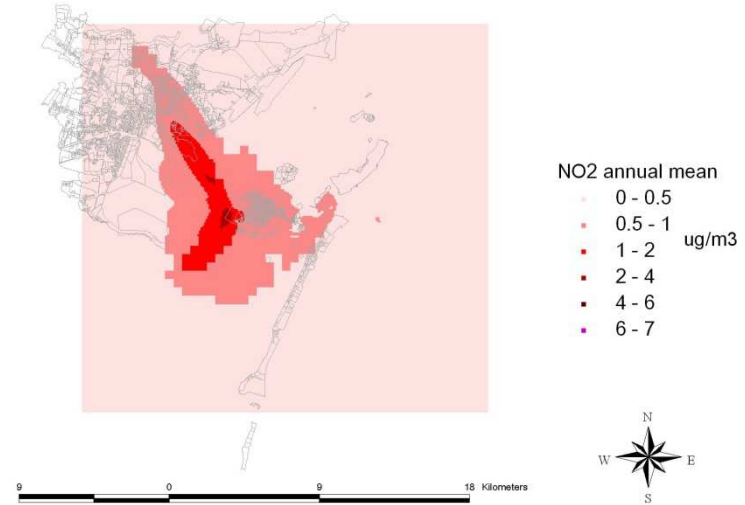


Figura 3-5 : NO₂ media annuale – totale Porto di Venezia. Ripartizione per tipologia di navi

Navi commerciali



Navi da crociera



Altre navi passeggeri

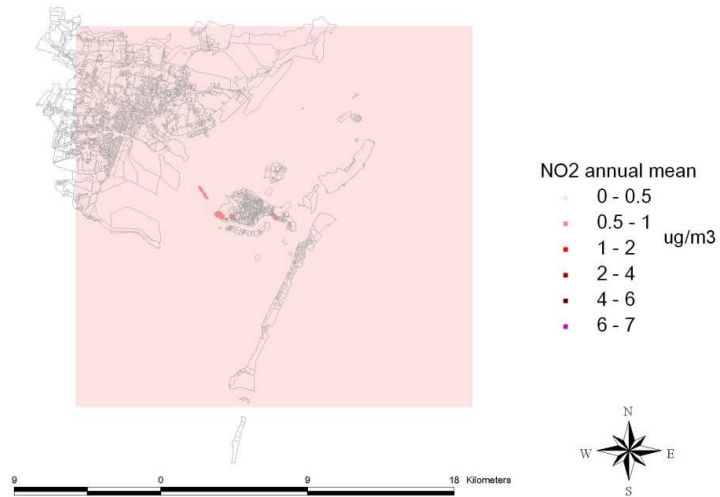


Figura 3-6 : NO₂ 19° massimo orario nel corso del 2013 – totale Porto di Venezia

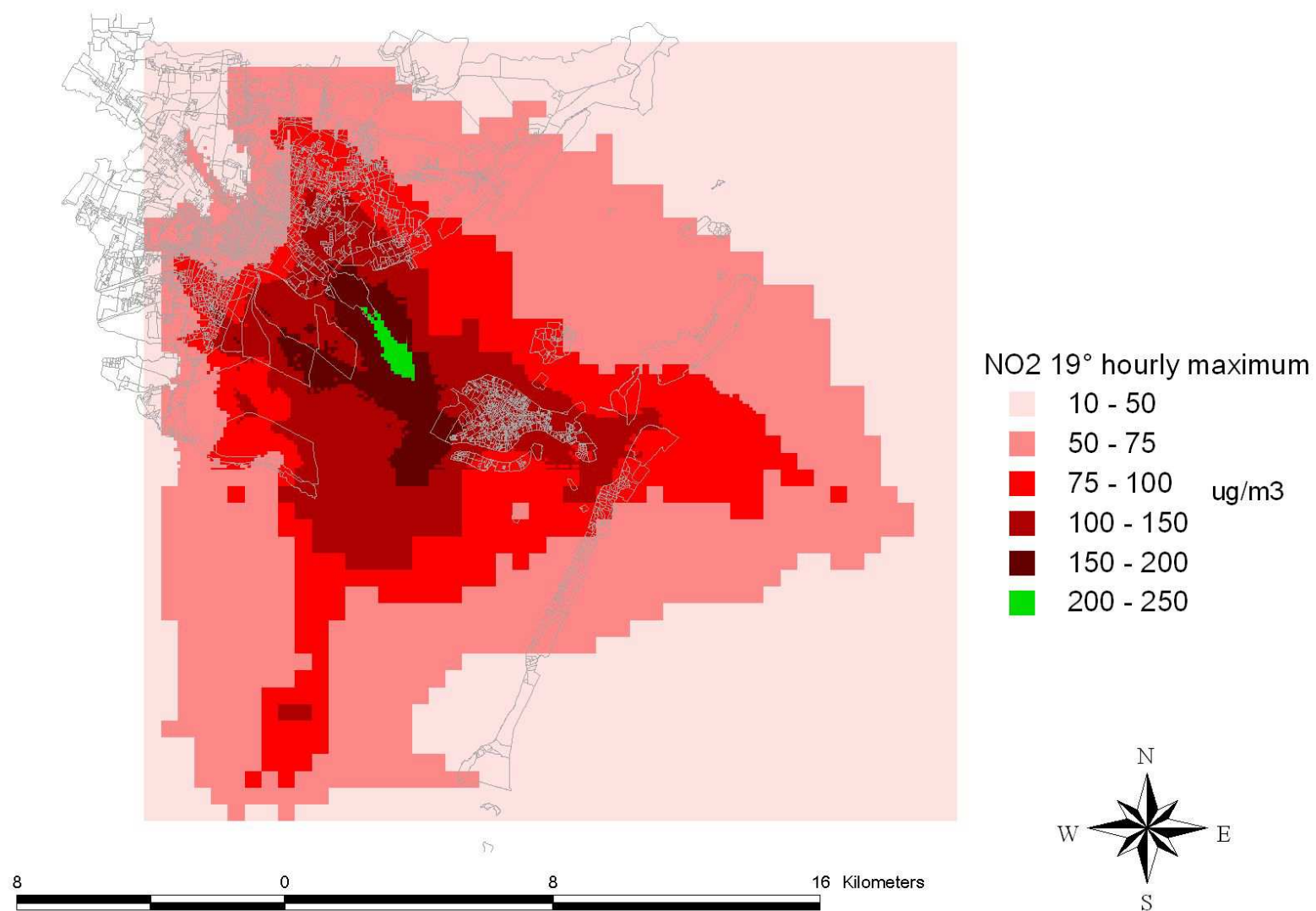
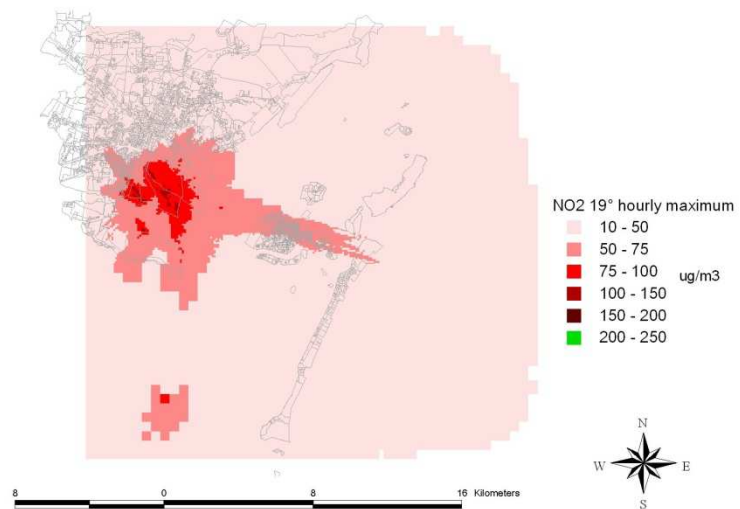
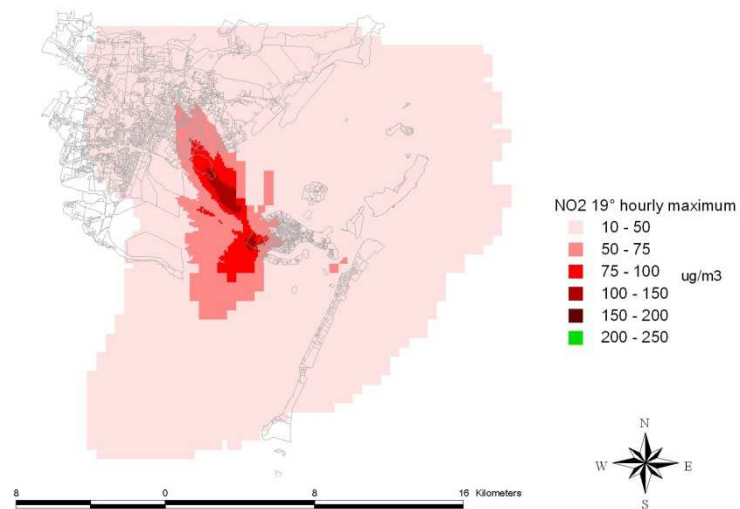


Figura 3-7 : NO₂ 19° massimo orario nel corso del 2013 – totale Porto di Venezia. Ripartizione per tipologia di navi

Navi commerciali



Navi da crociera



Altre navi passeggeri

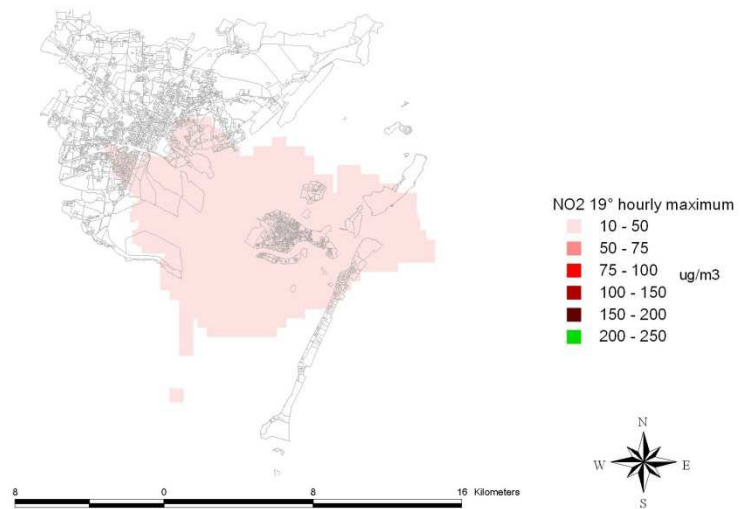


Figura 3-8 : SO₂ 25° massimo orario nel corso del 2013 – totale Porto di Venezia.

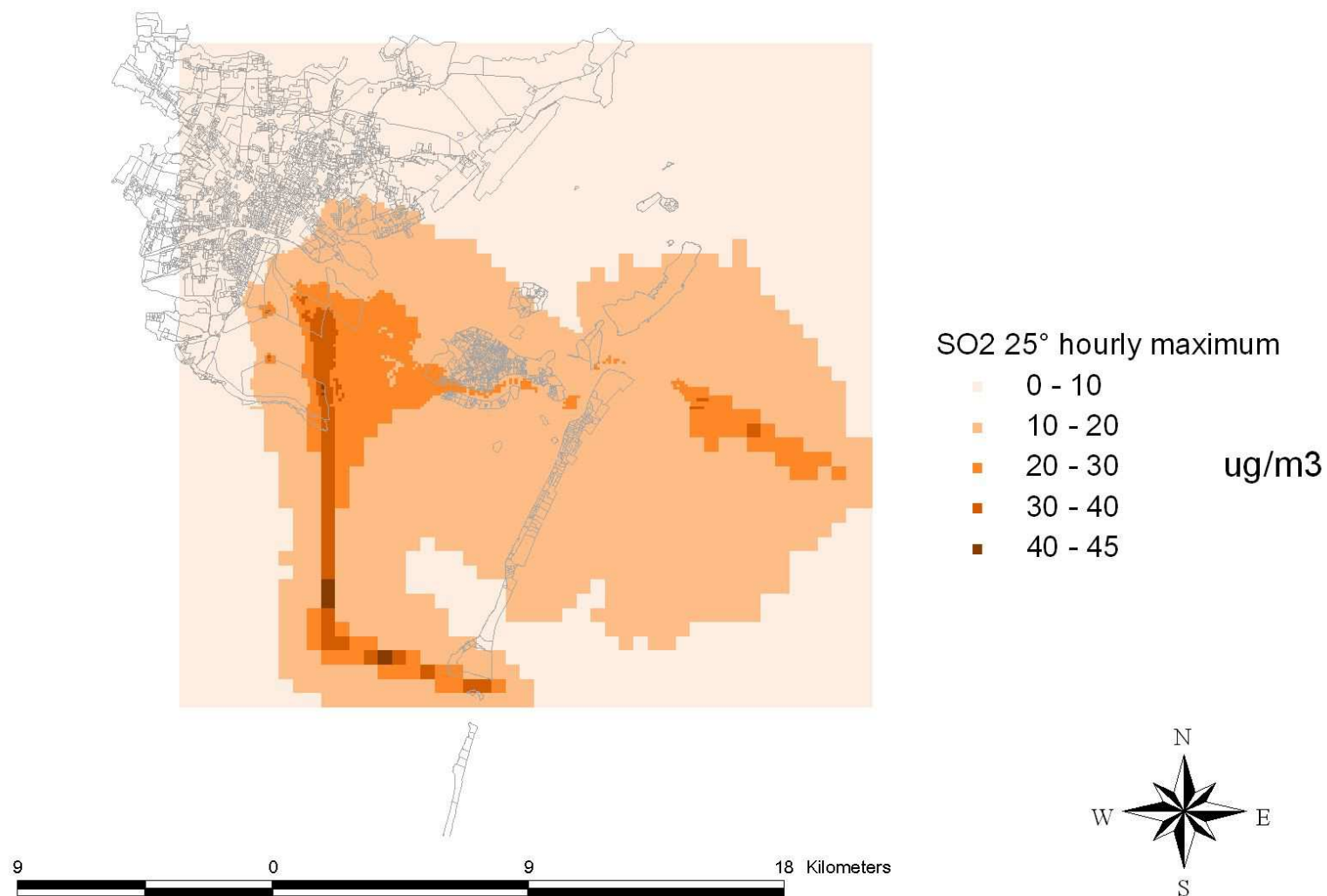


Figura 3-9 : PM10 media annuale 2013 – totale Porto di Venezia.

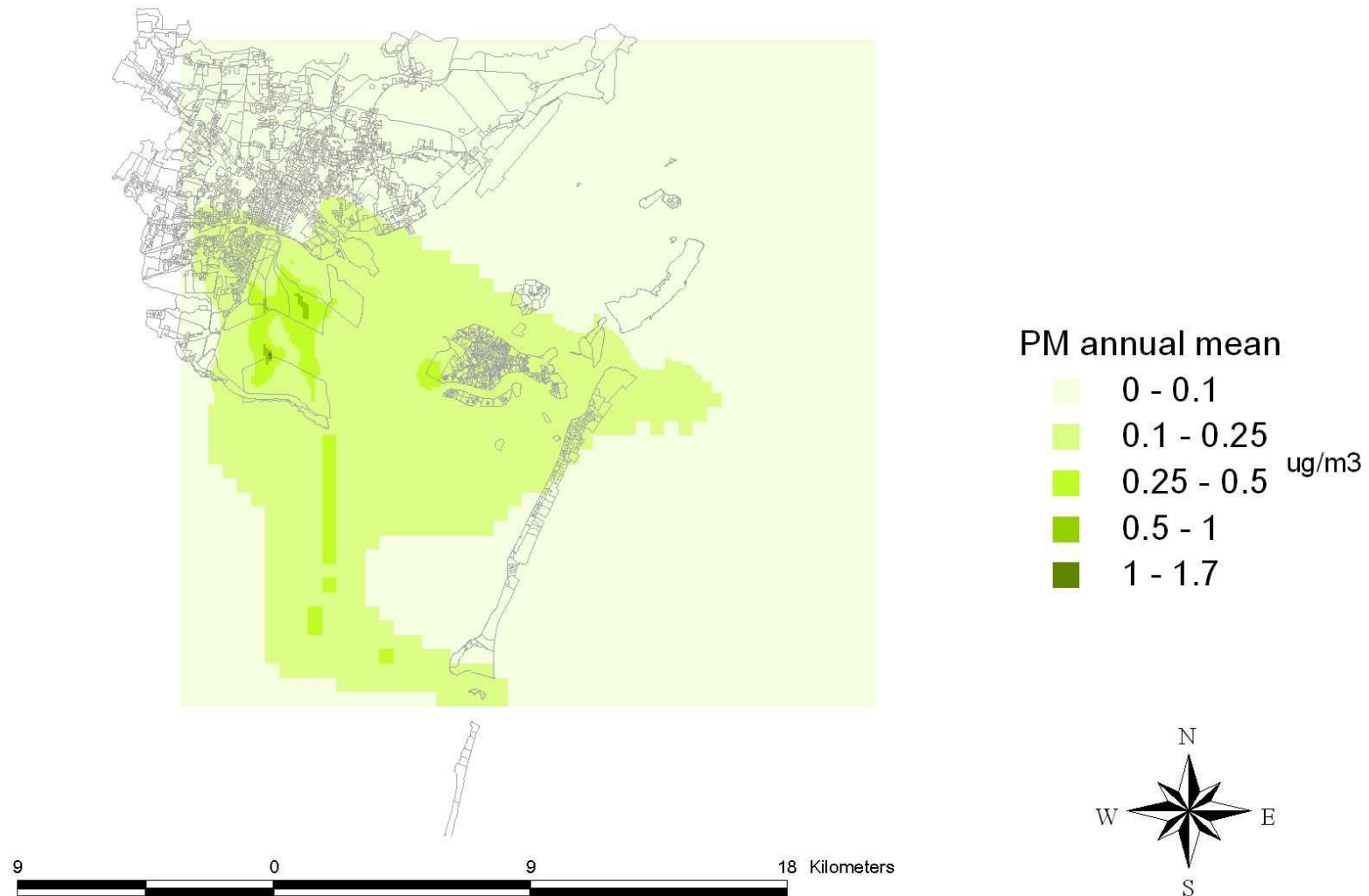


Figura 3-10 : PM10 36° massima media giornaliera nel 2013 – totale Porto di Venezia.

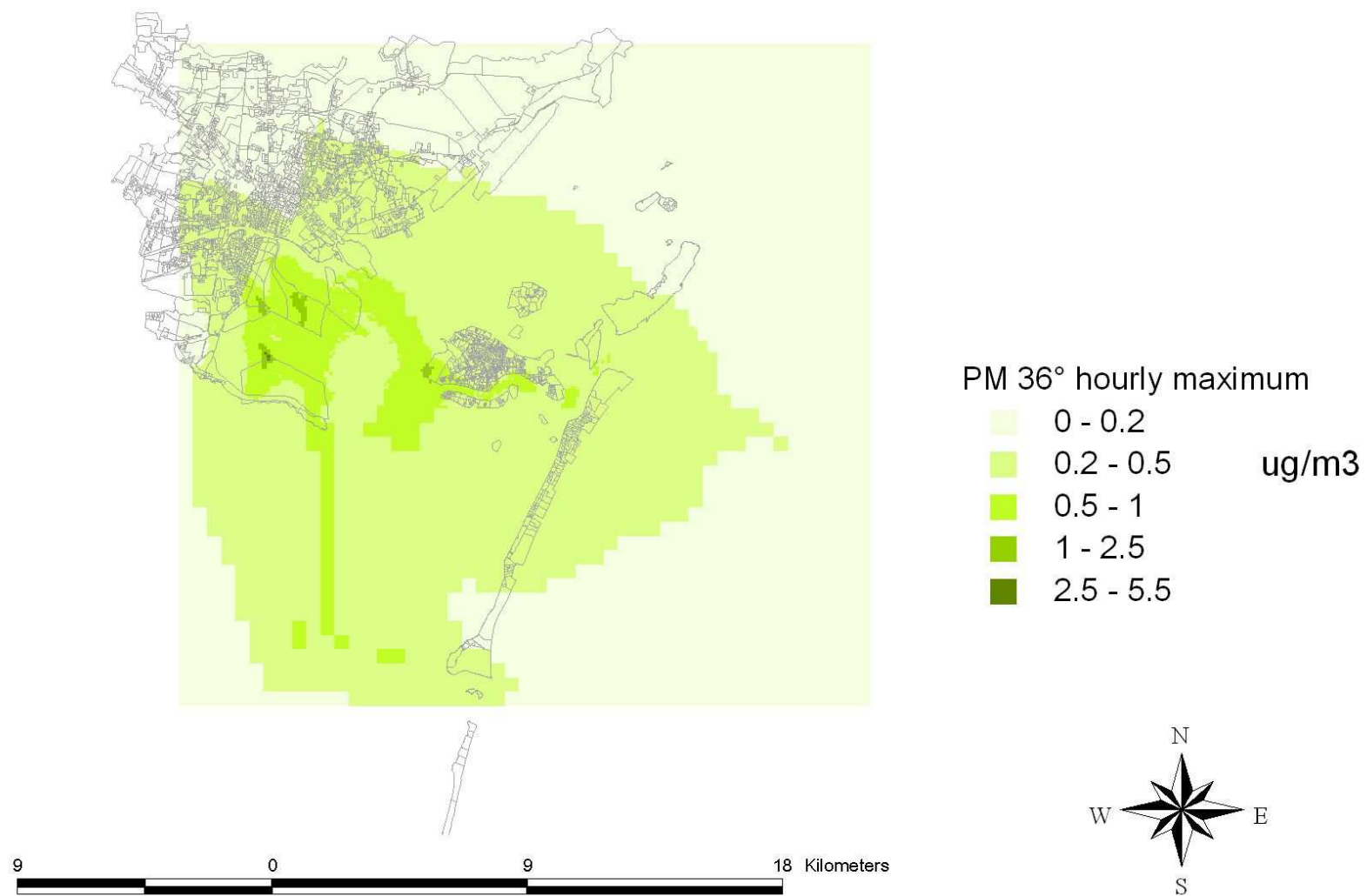
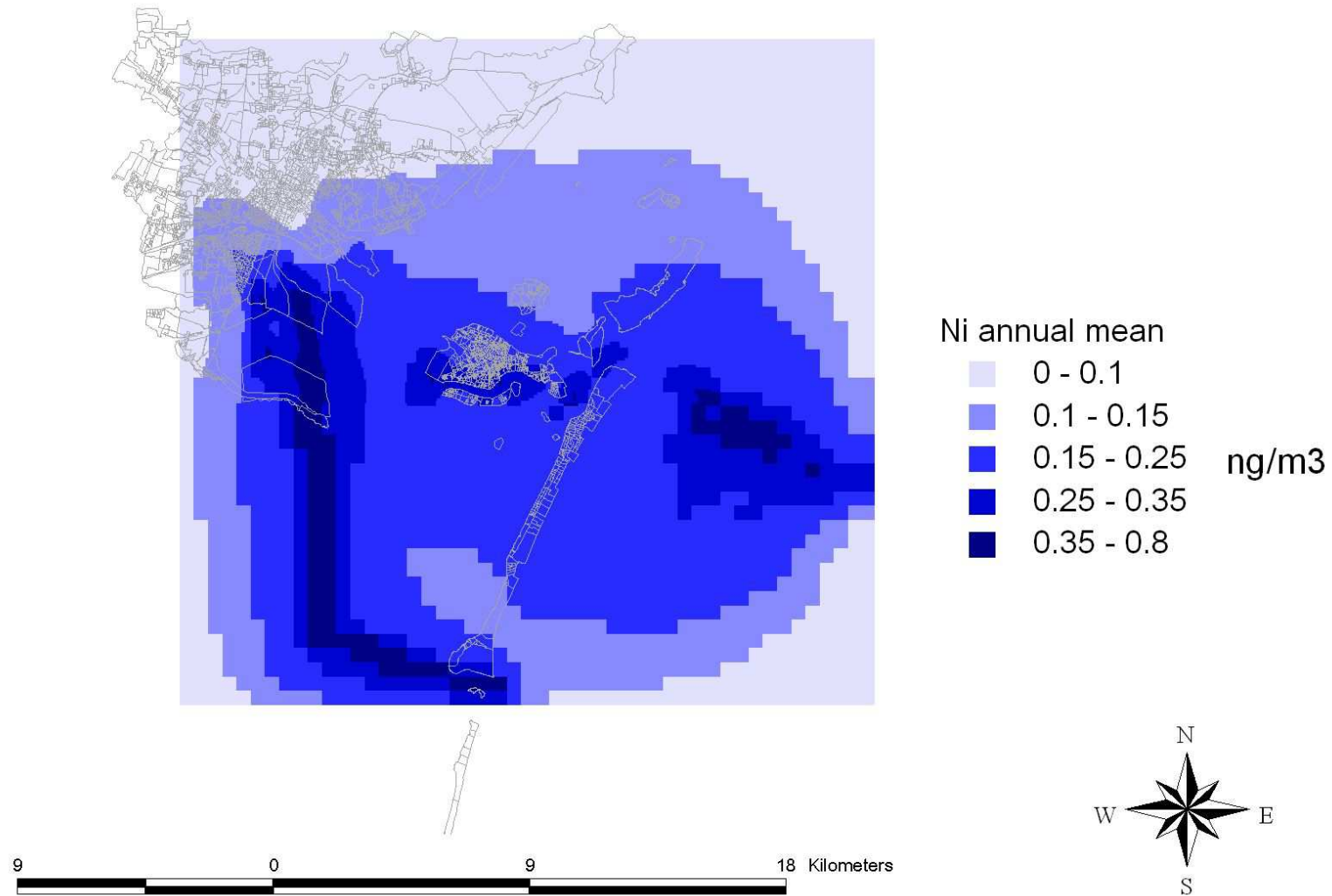


Figura 3-11 : Nichel media annuale 2013 – totale Porto di Venezia.



4. Conclusioni

Gli strumenti modellistici impiegati per l'analisi delle ricadute sulla qualità dell'aria delle emissioni navali del Porto di Venezia hanno evidenziato:

1. l'influenza del porto sulle concentrazioni di polveri sottili del centro storico di Venezia è compresa entro il 2-8%, con un peso maggiore durante la stagione calda (in cui le concentrazioni misurate sono generalmente al di sotto del valore limite di protezione della salute);
2. le concentrazioni di microinquinanti stimate dal modello di dispersione, che simula le ricadute dei soli pennacchi navali, sono tendenzialmente poco rilevanti rispetto ai valori limite attualmente in vigore;
3. le concentrazioni orarie di ossidi di zolfo e soprattutto di ossidi di azoto possono raggiungere valori che, rispetto ai limiti di protezione della salute, possono essere considerati significativi, tenendo anche presente che tali concentrazioni vanno a sommarsi alle altre fonti in area urbana (traffico acquico locale, riscaldamento e traffico urbano per la terraferma);
4. In zona abitata il modello non stima per nessun inquinante alcun superamento dei valori limite di protezione della salute.

Queste conclusioni, in particolare dai punti 2 a 4, si ottengono considerando l'applicazione dell'Accordo volontario Blue Flag 2 che comporta per le navi da crociera l'utilizzo di combustibile con tenore di zolfo non superiore allo 0.1% anche in fase di manovra, dalle bocche di porto agli ormeggi e viceversa. Dato che allo stato attuale non è disponibile olio combustibile pesante Bunker Fuel Oil con tenore di zolfo così basso, tale accordo implica l'uso esclusivo all'interno della laguna⁶ per le grandi navi passeggeri di distillati marini (in particolare marine gas oil), che rispetto al BFO si presenta come un combustibile "più pulito".

Nelle tabelle di seguito riportate i risultati ottenuti con le simulazioni condotte con il progetto CAIMANs sono stati analizzati in funzione dell'esposizione della popolazione. Sono stati presi in considerazione gli inquinanti, e relative le statistiche di confronto con i valori limite vigenti, che hanno verificato un impatto più significativo per la popolazione: NO₂, SO₂, PM10 e, tra i microinquinanti, il nichel a cui si associano i valori di concentrazioni maggiori.

In particolare le celle del dominio sono state classificate in base alla popolazione residente e, nella Tabella 4-1, sono presentati i massimi di concentrazione stimati dal modello nelle celle che ricadono nelle varie classi individuate (si tratta della più alta concentrazione stimata dal modello in una delle celle che ricadono in quella data classe di densità di popolazione). In tabella sono presentati sia i massimi relativi alle sole navi passeggeri che al totale delle navi (passeggeri in attracco prevalentemente presso il centro storico di Venezia e commerciali in attracco presso i canali industriali di Porto Marghera). Come si può vedere tendenzialmente all'aumentare della densità di popolazione le concentrazioni decrescono (i massimi di dominio in particolare ricadono in laguna), anche se per quanto riguarda l'NO₂ valori significativi (corrispondenti a più di metà del valore limite orario) interessano anche celle in corrispondenza delle zone più densamente abitate dell'area urbana di Venezia e Mestre - Marghera.

⁶ L'utilizzo di distillati marini è già obbligatorio per tutte le tipologie di nave in fase di stazionamento dal 1 gennaio 2010, secondo quanto previsto dal DLgs 152/2006 art 295 comma 8.

Nella Tabella 4-2 viene invece riportata la percentuale della popolazione residente nel dominio di indagine esposta a vari livelli di concentrazione, classificati in base al rapporto rispetto al relativo valore limite di protezione della salute.

Sottolineando che nell'agglomerato di Venezia da anni non si rilevano criticità per quanto riguarda il biossido di azoto NO₂⁷, è comunque interessante quantificare il peso che il modello stima relativamente al solo contributo navale sulle concentrazioni orarie di questo inquinante (in pratica quale quota delle concentrazioni misurate presso le reti di rilevamento potrebbe essere attribuita al contributo derivante dalle emissioni navali). Sebbene il modello non rilevi superamenti dei valori limite in nessuna zona abitata, il 100% della popolazione del dominio di indagine si stima essere esposta, per almeno 19 ore all'anno, a concentrazioni di NO₂ derivanti dalle emissioni navali che superano il 10% del valore limite (20 µg/m³), mentre per il 30% a concentrazioni orarie che superano (sempre per almeno 19 volte l'anno) il 50% del valore limite (100 µg/m³) come contributo diretto dalle emissioni navali.

⁷ Si confrontino le relazioni regionali di Qualità dell'aria dal 2005 in poi per le stazioni di background urbano;
<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/file-e-allegati/documenti/relazioni-regionali-della-qualita-dellaria/>

Tabella 4-1: Massima concentrazione stimata dal modello CALPUFF nelle celle con densità abitativa crescente

Descrizione	Massima ricaduta per classe di popolazione													
	NO ₂				SO ₂				PM10				Ni	
	19° massimo orario		media annua		25° massimo orario		4° massimo gior.		media annua		36° massimo gior.		media annua	
	200 µg/m ³		40 µg/m ³		350 µg/m ³		125 µg/m ³		40 µg/m ³		50 µg/m ³		20 ng/m ³	
	<i>navi passeggeri</i>	<i>tutte le navi</i>	<i>navi passeggeri</i>	<i>tutte le navi</i>	<i>navi passeggeri</i>	<i>tutte le navi</i>	<i>navi passeggeri</i>	<i>tutte le navi</i>	<i>navi passeggeri</i>	<i>tutte le navi</i>	<i>navi passeggeri</i>	<i>tutte le navi</i>	<i>navi passeggeri</i>	<i>tutte le navi</i>
acqua	174.0	241.5	3.6	7.2	18.8	39.8	4.4	10.1	0.3	1.7	1.0	5.2	0.3	0.8
< 25 ab/cella	142.1	182.1	2.4	7.2	28.3	42.8	5.1	8.5	0.3	0.4	1.0	1.1	0.4	0.5
25-50 ab/cella	106.5	147.8	1.9	4.0	30.8	36.1	5.0	9.2	0.3	0.5	1.0	1.3	0.4	0.5
50 -75 ab/cella	104.8	151.2	1.5	4.1	31.4	37.6	5.2	7.2	0.1	0.3	0.4	0.8	0.5	0.7
75-100 ab/cella	102.7	147.7	1.4	4.4	14.4	34.3	2.1	6.2	0.1	0.3	0.2	0.7	0.3	0.7
100-150 ab/cella	116.0	158.0	1.8	4.1	11.5	42.1	2.0	7.2	0.1	0.3	0.2	0.7	0.2	0.7
150-250 ab/cella	135.6	176.2	2.1	4.5	9.2	43.4	1.5	6.9	0.0	0.3	0.1	0.7	0.1	0.5
250-500 ab/cella	90.2	137.3	1.5	2.6	7.0	42.9	1.3	7.3	0.0	0.3	0.1	0.6	0.1	0.6
500-1000 ab/cella	106.4	147.9	1.9	3.2	5.5	33.5	1.1	6.4	0.0	0.2	0.1	0.4	0.1	0.4
1000-1500 ab/cella	112.7	154.0	1.7	2.5	4.4	18.9	0.9	3.3	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.3
>1500 ab/cella	73.3	135.8	1.0	2.0	2.4	10.1	0.6	2.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2

Tabella 4-2: Percentuale di popolazione esposta a contributi navali in concentrazione superiori a quote crescenti dei valori limite di protezione della salute in vigore

	NO ₂ 19° mass orario		NO ₂ media annua		SO ₂ 25° mass orario		SO ₂ 4° mass gior.		PM10 media annua		PM10 36° mass gior.		Ni media annua	
	navi pass.	tot navi	navi pass.	tot navi	navi pass.	tot navi	navi pass.	tot navi	navi pass.	tot navi	navi pass.	tot navi	navi pass.	tot navi
Concentrazioni > VL	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Concentrazioni > 50% VL	1%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Concentrazioni > 10% VL	89%	100%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Concentrazioni > 5% VL	99%	100%	0%	14%	1%	11%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Riferimenti bibliografici

- [1] Qualità dell'aria nella laguna di Venezia. APICE: verso la riduzione dell'inquinamento atmosferico. A cura di E. Gissi, T. Quaglia, edizioni Franco Angeli, 2013,
http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Publication/ApiceVE_GissiQuaglia_edts_19MB.pdf
- [2] Metodi e modelli per l'indagine scientifica su emissioni e concentrazioni in atmosfera: risultati principali per la laguna di Venezia, APICE Project Report, di Salvatore Patti, Silvia Pillon, Francesca Liguori, 2013,
http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Publication/APICE_componente_Scientifica_Venezia_invio%5B1%5D.pdf
- [3] Air Quality impact and green house gasses assessment for cruise and passenger ships, CAIMANs Final STEP 1 Report,
http://www.medmaritimeprojects.eu/download/ProjectCaimans/output/CAIMANs_Final_Report_partB.pdf
- [4] Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors, D. Cooper and T. Gustafsson, Report series SMED and SMED&SLU Nr 4 2004,
http://www.smed.se/wp-content/uploads/2011/05/SMED_Report_2004_5.pdf
- [5] Emissions from main propulsion engine on container ship at sea, H. Agrawal et al., Journal of geophysical research, vol 115, 2010
- [6] "European Commission Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community", Final Report, Entec, 2002,
http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter1_ship_emissions.pdf

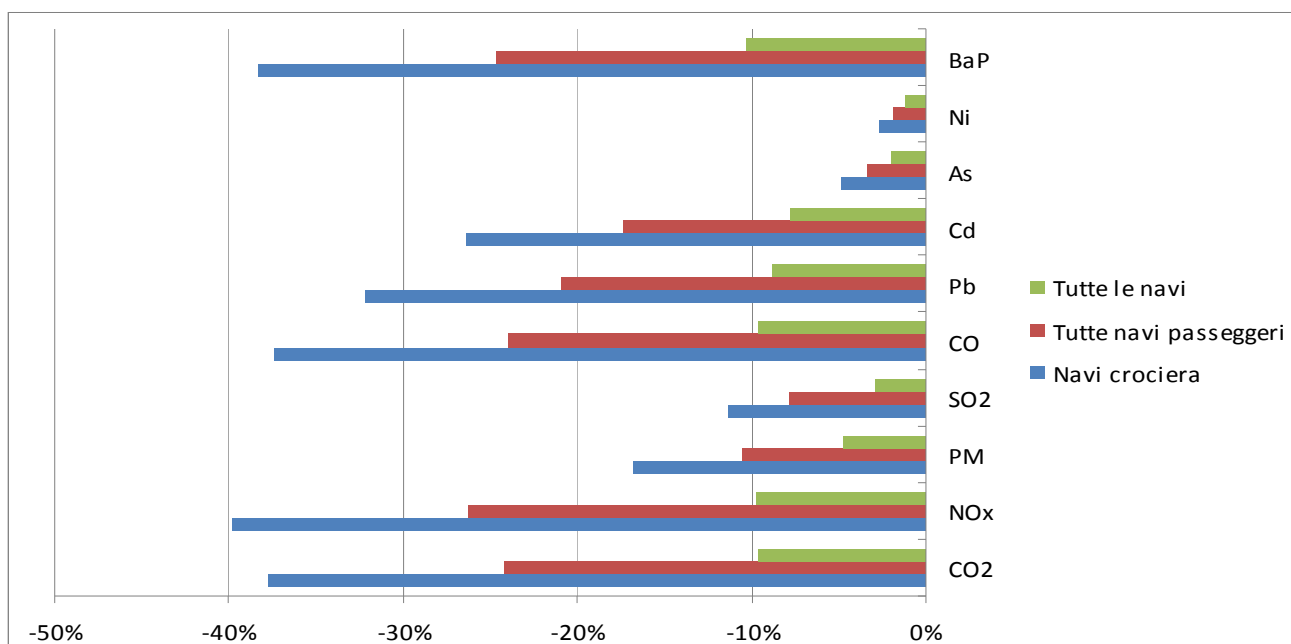
Allegato A: Ipotesi di elettrificazione delle banchine: analisi della riduzione delle emissioni e delle concentrazioni

A supporto dell'azione A8.6, "Elettrificazione delle banchine per l'alimentazione elettrica delle navi all'ormeggio al fine di ridurre le emissioni navali in fase di stazionamento", si riportano i risultati ottenuti nell'ambito del progetto CAIMANs relativamente a un'ipotesi di elettrificazione delle banchine del terminal passeggeri presso la Marittima, corrispondente all'installazione di quattro banchine elettrificate (APV, 2011 in Gissi e Quaglia, 2013 [1]). Le banchine fornirebbero circa 6200 ore di energia elettrica in un anno tali da soddisfare il 90% delle ore di stazionamento delle navi crociera sopra le 40'000 tonnellate e il 73% delle ore di stazionamento di tutte le crociere, comprese quelle di stazza inferiore.

Tale scenario, da considerarsi un'ipotesi esplorativa e non corredata di un completo progetto di fattibilità, è comunque interessante in termini di stima delle potenziali riduzioni sia di emissione che di concentrazione. Nel seguito si presentano i principali risultati ottenuti dall'applicazione di questo scenario rispetto ad uno scenario futuro 2020 senza alcun intervento di mitigazione. La stima al 2020 è stata ottenuta, in mancanza di valutazioni robuste per eventuali trend di crescita del traffico crocieristico applicabili al caso veneziano e alla sua peculiare "sospensione" rispetto alle decisioni relative al futuro, mantenendo il numero e la tipologia del traffico crociere invariato rispetto al 2013, ma introducendo il limite dello 0.5% per il contenuto di zolfo dei combustibili navali sancito dalla Direttiva 2005/33/EC a partire dal 2020.

In Figura A1-1 si riportano le riduzioni percentuali delle emissioni ottenute con lo scenario sopra descritto. Considerando le emissioni totali delle navi da crociera nel dominio di indagine (stazionamento, manovra e 10 km di navigazione, v. precedente Figura 3-1), la riduzione complessiva delle emissioni si avvicina al 40% per NO_x, CO CO₂ e benzo(a)pirene, mentre è tendenzialmente inferiore per gli inquinanti maggiormente emessi in fase di manovra e navigazione (v. precedente Figura 2-3). Considerando le emissioni navali complessive del Porto di Venezia nello scenario 2020, per tutte le tipologie navali e tutti gli approdi, compresi quelli della zona industriale, la massima riduzione stimata si attesta attorno al 10%.

Figura A1-1 : Scenario ipotetico di elettrificazione della banchina della Marittima – riduzioni delle emissioni attese.



In termini di concentrazione, il modello stima per questo scenario, con riferimento alle concentrazioni orarie di NO₂, per le quali è più significativo il contributo prodotto dalle navi, riduzioni del fino al 34% dei picchi di concentrazione, come presentato in Tabella A1-1.

In considerazione del fatto che tale scenario si applica alle sole navi da crociera, la riduzione delle concentrazioni viene stimata nel punto di massima ricaduta delle emissioni delle navi passeggeri.

Si sottolinea che nello scenario 2020 si tiene in conto del trasferimento degli approdi delle navi traghetto presso il nuovo terminal passeggeri di Fusina. Per tale motivo le concentrazioni attribuite alle sole navi passeggeri nel punto di massima ricaduta sono nello scenario 2020 inferiori rispetto allo scenario 2013.

Tabella A1-1 : Scenario ipotetico di elettrificazione della banchina della Marittima – riduzioni delle concentrazioni attese nel punto di massima ricaduta dovuta alle navi passeggeri.

<i>Inquinante</i>	<i>Parametro</i>	<i>Scenario 2013</i>	<i>Scenario 2020</i>	<i>Scenario con elettrificazione banchine</i>	<i>Riduzione attesa</i>
NO ₂ (µg/m ³)	media annua	3.6	3.2	1.8	-44%
NO ₂ (µg/m ³)	19° massimo	174.0	154.6	101.3	-34%
SO ₂ (µg/m ³)	media annua	0.5	0.5	0.5	0%
SO ₂ (µg/m ³)	25° massimo	31.4	28.7	28.4	-1%
SO ₂ (µg/m ³)	4° massimo giorn.	5.2	5.8	5.8	-33%
PM10 (µg/m ³)	media annua	0.3	0.3	0.2	-20%
PM10 (µg/m ³)	36° massimo giorn.	1.0	1.0	0.8	-33%
PM2.5 (µg/m ³)	media annua	0.3	0.3	0.2	-50%
Pb (ng/m ³)	media annua	0.02	0.02	0.01	0%
As (ng/m ³)	media annua	0.01	0.02	0.02	0%
Ni (ng/m ³)	media annua	0.5	0.7	0.7	0%
Cd (ng/m ³)	media annua	0.002	0.001	0.001	0%
B(a)p (ng/m ³)	media annua	0.001	0.001	0.001	0%

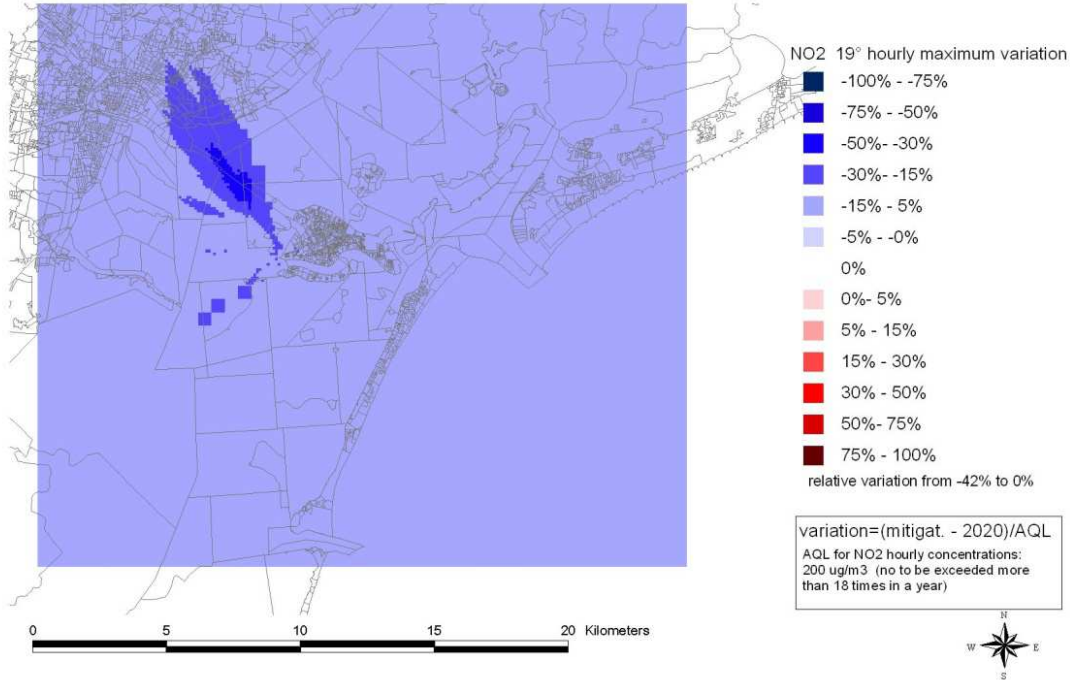
Infine nelle seguenti mappe di Figura A1-2 si riportano le riduzioni stimate delle concentrazioni di NO₂; per dare una valutazione relativa del beneficio ottenuto con lo scenario di elettrificazione delle banchine (on

power supply), le variazioni di concentrazione rappresentate in mappa sono calcolate rispetto ai valori limite di qualità dell'aria. In particolare per quanto riguarda l'esposizione di breve periodo le riduzioni attese arrivano fino ad un massimo del 40% rispetto al valore limite, mentre sono stimate riduzioni dall'1 al 3% delle concentrazioni medie annue.

Figura A1-2 : Scenario ipotetico di elettrificazione della banchina della Marittima – riduzioni delle concentrazioni di NO2.

a) variazione del 19° massimo delle concentrazioni orarie

Venice mitigation scenario: On shore power supply for cruise ships
 Variation between mitigation and future baseline concentrations in respect to the AQL



b) variazione della concentrazione media annua

Venice mitigation scenario: On shore power supply for cruise ships
 Variation between mitigation and future baseline concentrations in respect to the AQL

