



Project cofinanced par le Fonds
Européen de Développement Régional
Project co-financed by the European
Regional Development Fund



Metodi e modelli per l'indagine scientifica su
emissioni e concentrazioni in atmosfera: risultati
principali per la laguna di Venezia

Febbraio 2013



APICE Project Report

di Salvatore Patti, Silvia Pillon, Francesca Liguori

con la collaborazione di:

Elena Elvini, Alberto Dalla Fontana, Alessio De Bortoli, Aurelio Latella, Stefania De Vettori, Giannmaria Formenton, Giorgia Giraldo, Enzo Tarabotti (ARPAV);
Paolo Prati, Maria Chiara Bove, Eleonora Cuccia (Università di Genova).

APICE Partnership

Area : Venezia

Lead Partner e partner scientifico: ARPA Veneto

Coordinatore Scientifico: Salvatore Patti

Gruppo di lavoro

Francesca Liguori, Silvia Pillon, Elena Elvini, Alberto Dalla Fontana, Alessio De Bortoli, Aurelio Latella, Laura Susanetti, Stefania De Vettori, Giannmaria Formenton, Giorgia Giraldo, Giovanna Marson, Erika Baraldo, Luca Zagolin, Enzo Tarabotti.

Financial Manager: Antonella Spolaore

Support to financial management: Lucia Da Rugna

Partner istituzionale: Regione Veneto – Direzione Pianificazione Territoriale e Strategica

Project Manager: Tiziana Quaglia

Alberto Miotto, Regione Veneto – Dipartimento pianificazione e parchi

Pierpaolo Campostrini, CORILA Managing director, EU Marine Integrated policy, environmental research issues, stakeholder participation, public administration involvement

Elena Gissi, IUAV University of Venice, Urban Planning

Matteo Morgantin, CORILA, data processing

Contents

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduzione..... | 4 |
| 2. Stima delle emissioni portuali - scenario attuale (anno 2011) | 5 |
| 3. Stima delle emissioni portuali - scenario futuro (anno 2020)..... | 10 |
| 4. La long campaign | 13 |
| 5. Il source apportionment: valutazione del peso delle attività portuali sulle concentrazioni di polveri sottili | 17 |
| <i>Il peso del porto: conclusioni e confronto con le altre pilot area per lo scenario attuale</i> | <i>43</i> |
| <i>Lo scenario futuro senza mitigazioni.....</i> | <i>43</i> |
| 6. Gli scenari di mitigazione..... | 48 |
| 7. Conclusioni..... | 54 |

1. Introduzione

La valutazione dell'impatto delle attività portuali sulla qualità nell'aria nelle cinque città coinvolte nel progetto e lo studio di possibili azioni di mitigazione hanno rappresentato l'oggetto di indagine della componente scientifica del progetto APICE (*common mediterranean strategy and local practical Action for the mitigation of Port, Industries and Cities Emissions*). Attraverso un percorso metodologico multidisciplinare, sono state messe in campo distinte e complementari tecniche conoscitive, allo scopo di valutare il contributo delle varie sorgenti emmissive sui livelli di inquinamento da polveri sottili e di identificare le attività portuali a maggior impatto ambientale.

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 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 degli inquinanti (*source apportionment*). Per inquinanti, quali le polveri sottili, in cui le frazioni di origine secondaria (vale a dire le frazioni che si formano in atmosfera per reazioni chimico-fisiche tra altri inquinanti) hanno un peso determinante nei livelli misurati, non è lineare il passaggio tra quanto viene emesso alla fonte e quanto si misura in aria ambiente. Allo stesso modo la ripartizione delle emissioni primarie dei vari precursori tra le diverse fonti emmissive non rispecchia direttamente l'attribuzione del peso delle stesse sorgenti in termini di concentrazione. Il legame tra la causa (emissione) e l'effetto (concentrazione) dipende da una serie complessa di fattori (meteorologia, composizione chimica dell'atmosfera, apporti dai territori confinanti) che agiscono in tempi e scale diverse.

Un primo obiettivo dell'approfondimento scientifico è stata quindi l'analisi del *source apportionment* dei livelli di concentrazione delle polveri PM10 e PM2.5 che si misurano nelle cinque città, comprendendo oltre al porto tutte le principali sorgenti emmissive 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.

Oltre alla quantificazione dell'influenza di tali emissioni sulle concentrazioni, tramite i modelli fotochimici 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.

In riferimento a questo secondo obiettivo, sono stati presi in considerazione i progetti di sviluppo dei porti nel medio periodo (orizzonte temporale tra il 2015 e il 2025, a seconda della città) andando a prevedere, i livelli di concentrazione futuri.

Sulla base dello scenario futuro così ricostruito, in ogni città del progetto sono state ipotizzate azioni di mitigazione, individuate dai tavoli di lavoro a livello locale, a cui sono stati chiamati a partecipare vari attori in ciascuna area di studio, sotto la regia del partner istituzionale di progetto (Regione, Provincia o Autorità Portuale a seconda della città).

L'efficacia di tali azioni è stata successivamente quantificata attraverso il confronto tra le concentrazioni degli inquinanti atmosferici previste con i modelli fotochimici per lo scenario di sviluppo e lo scenario integrato con le mitigazioni.

Il confronto coi risultati raggiunti seguendo il medesimo percorso metodologico presso tutte le città pilota del progetto, ha consentito infine di estendere tale valutazione agli ulteriori interventi di mitigazione e contenimento non considerati specificatamente nella singola città ma studiati dagli altri tavoli di lavoro.

2. Stima delle emissioni portuali - scenario attuale (anno 2011)

Le emissioni portuali considerate per il Porto di Venezia comprendono le emissioni delle navi, le emissioni su strada e rotaia indotte dal traffico merci e passeggeri, nonché le emissioni polverulente dovute alle operazioni di carico e scarico di merce alla rinfusa.

La stima delle emissioni navali dell'anno 2011 è stata condotta applicando la metodologia europea EMEP/EEA (EEA, 2009, aggiornamento Marzo 2011, cosiddetto *Guidebook*), a partire dal database dei movimenti navali fornito dall'Autorità Portuale. A causa dell'indisponibilità di dati sul consumo di combustibile, la procedura di stima applicata (Tier 3) è quella suggerita dal *Guidebook* e che si basa sulla potenza installata dei motori e sul tempo speso in ciascuna fase di viaggio dalla singola nave (fase di stazionamento, manovra e crociera).

La fase di manovra, nel caso specifico del porto di Venezia, corrisponde grosso modo alla navigazione all'interno della laguna, dalle bocche di porto fino agli ormeggi. In particolare le navi mercantili approdano alla sezione commerciale/industriale di Porto Marghera entrando dalla bocca di Malamocco e navigando attraverso il canale Malamocco-Marghera, mentre le navi da crociera, i traghetti, le navi veloci e gli yacht raggiungono gli ormeggi nel centro storico di Venezia attraverso il Canale della Giudecca entrando dalla bocca di porto di S. Nicolò, tra Punta Sabbioni e il Lido. Le petroliere entrano anch'esse attraverso la bocca di Malamocco e vanno ad ormeggiare al terminal petrolifero di San Leonardo, a sud.

Il calcolo di stima è stato eseguito prendendo in considerazione gli effettivi tempi di stazionamento e di manovra per ciascuna nave registrata nel database dell'APV, mentre l'emissione in fase di crociera è stata calcolata considerando velocità di crociera tipiche lungo circa 44 km di rotte (di cui 22 o 24, a seconda della bocca di transito, in acque territoriali) ricadenti all'interno del dominio di analisi, definito come un quadrato di 100 km² centrato su Venezia. Ad ogni nave sono stati applicati i fattori di emissione (in g/kWh) che la metodologia propone per NO_x, NMVOC, PM e per il consumo specifico di combustibile per differenti combinazioni di tipo motore (turbine a gas e a vapore, motori diesel a bassa, media e alta velocità) e combustibili (olio combustibile, *Bunker Fuel Oil* BFO diversificato da olio diesel marino *Marine Diesel Oil* MDO e gasolio marino *Marine Gas Oil* MGO, questi ultimi invece indistinti). I fattori di emissione sono inoltre proposti separatamente per motore principale e ausiliario e per le tre fasi di crociera, manovra e stazionamento. La metodologia EMEP/EEA non considera invece l'utilizzo di LNG (*Liquefied Natural Gas*), presente d'altronde in percentuali ancora molto basse nel Mediterraneo.

In mancanza della specificazione nel database del tipo motore e del combustibile usato, l'associazione al fattore di emissione è stata effettuata utilizzando le distribuzioni statistiche di tipo motore e combustibile per tipo nave¹ della flotta mondiale 2010. La potenza installata del motore principale e del motore ausiliario sono state calcolate a partire dalla stazza lorda e dalla tipologia di ciascuna nave, informazioni invece disponibili nel database utilizzato.

Per il calcolo delle emissioni in fase di stazionamento, si è tenuto conto del divieto a partire da gennaio 2010 (D.Lgs. 152/2006, come emendato dal D.Lgs 205/2007) per le navi all'ormeggio di consumo di combustibile con tenore di zolfo superiore a 0,1% in peso. Poiché non vi è disponibilità sul mercato di oli combustibili pesanti con tenore di zolfo così ridotto, le navi all'ormeggio dal 2010 devono necessariamente effettuare un cambio a MGO/MDO.

¹ Le tipologie della metodologia EMEP/EEA quelle indicate in tabella 1

Per CO e SO_x, inquinanti per i quali la metodologia non fornisce fattori di emissione in g/kWh, la stima è stata svolta utilizzando i fattori di emissione espressi in funzione del consumo di combustibile (g/kg di combustibile, fattori di emissione della procedura *Tier 1*); a sua volta il consumo di combustibile è stato calcolato utilizzando i consumi specifici indicati dalla procedura *Tier 3*.

In mancanza di informazioni specifiche relative ai combustibili in uso dalle navi presenti nel Porto di Venezia, per il contenuto di zolfo sono stati assunti i seguenti valori:

- 2,7% per BFO, secondo statistiche internazionali (EC, 2002), che riferiscono un contenuto di zolfo sensibilmente minore del limite normativo in vigore nel 2011 di 4.5% (divenuto 3.5% dal 2012);
- 1% per la classe indistinta MDO/MGO della metodologia EMEP/EEA (valore riportato in EC, 2002 per MDO e ritenuto cautelativo in quanto il limite alla vendita attuale in Italia è 0,1% per MGO e 1,5% per MDO che risulta tuttavia avere una diffusione sensibilmente inferiore);
- il rispetto da parte di tutte le navi passeggeri (navi da crociera incluse) del limite del 1,5% in manovra e crociera entro le acque territoriali. Pur essendo ancora controversa la sussistenza di un tale obbligo per le navi da crociera, nel calcolo questo valore massimo di zolfo è stato applicato a tutte le navi passeggeri transitanti attraverso la bocca di porto di Lido, ipotizzando un'adesione completa a tale limite da parte delle compagnie crocieristiche, che d'altronde, avevano già aderito nel 2008 in maniera compatta all'accordo volontario del *Blue Flag* (con limite in manovra al 2% S);
- 0,1% per il combustibile usato dai rimorchiatori (secondo quanto indicato dalla Capitaneria di Porto di Venezia).
- in fase di stazionamento 0,1% per tutte le navi.

Per la fase di manovra è stato calcolato il contributo emissivo dovuto all'utilizzo dei rimorchiatori, considerando la regola generale² che prevede l'utilizzo di un rimorchiatore per navi superiori a 4000 tonnellate di stazza lorda e di un secondo rimorchiatore per navi di lunghezza superiore a 250 metri. La stima ha considerato l'utilizzo esclusivo di MGO (su indicazione della Capitaneria di Porto di Venezia).

La somma delle emissioni così calcolate per tutte le navi registrate in arrivo e partenza nel porto di Venezia nell'anno 2011 è riportata nella seguente Tabella 1. In tale tabella è anche riportata la durata complessiva (in ore) spesa dall'insieme delle navi in ciascuna fase, indicatore utile per confrontare le stime emissive risultanti nei 5 porti del progetto.

Si noti, come nonostante le ore di ormeggio siano sensibilmente maggiori rispetto a quelle di manovra (d'altronde una singola nave impiega solitamente meno di 2 ore per una manovra di arrivo/partenza, mentre rimane all'ormeggio da un minimo di qualche ora fino anche a più giorni), le emissioni della fase di stazionamento non sono drasticamente superiori a quelle di manovra. Questo risultato è conseguente alle ipotesi di stima adottate, ovvero un regime di utilizzo dei motori (in termini di carico o di tempo di accensione) per la manovra maggiore dell'ormeggio, e l'uso esclusivo di MDO/MGO per l'ormeggio, per consentire il rispetto del limite dello 0,1% S. L'effetto del limite 0,1% S all'ormeggio è evidente se si guardano le emissioni di SO₂ che in manovra sono drasticamente maggiori di quelle all'ormeggio.

Se si confrontano le emissioni della fase di manovra con quelle di crociera si nota anche in questo caso un salto verso emissioni maggiori per unità di tempo, dovuto, in questo caso al maggiore regime di utilizzo dei motori principali per la crociera. Nel caso delle navi passeggeri si evidenzia

² Ordinanza della Capitaneria di Venezia 155/2010

un ulteriore salto incrementale, dovuto alla navigazione fuori dalle acque territoriali (circa metà delle tratte di navigazione considerate), dove non sussiste più l'obbligo del rispetto dell'1.5% S per tale categoria di navi.

In Figura 1 le emissioni annue stimate sono suddivise tra le navi che transitano dalla bocca di Malamocco e arrivano agli ormeggi del porto commerciale e industriale di Porto Marghera e le navi che entrano dalla bocca di Lido e, attraverso il canale della Giudecca, giungono agli approdi nella Venezia insulare. Il grafico non prende in considerazione le emissioni della fase di crociera al di fuori delle bocche lagunari.

Le emissioni dovute al traffico indotto dal trasporto di merci e passeggeri, su rotaia e gomma, sono state calcolate a partire dalle stime dei transiti in ingresso ed uscita dal Porto Marghera e dai terminal del Tronchetto e della Marittima a Venezia, forniti da APV. Tali stime non comprendono i transiti ascrivibili alle attività industriali dell'area di Porto Marghera.

Per quanto riguarda il traffico su strada, sono stati utilizzati i fattori di emissione per la flotta italiana 2012 secondo la metodologia europea di riferimento COPERT IV (ISPRA, 2012), mentre per le locomotive i fattori di emissione fanno riferimento alla metodologica EMEP/CORINAIR, considerando – in questo caso – la lunghezza delle tratte non elettrificate. Le emissioni calcolate fanno riferimento ad un dominio di analisi di 100 km² centrato su Venezia, all'interno del quale è stata conteggiata la lunghezza dei tragitti tipicamente percorsi lungo le principali direttrici.

I risultati sono riportati in Figura 2, in cui le emissioni dovute al traffico indotto sono affiancate a quelle relative alle fasi di manovra e di ormeggio delle navi.

Per quanto riguarda la stima delle emissioni polverulente dovute alle operazioni di carico e scarico di merce alla rinfusa, è stata applicata la metodologia di riferimento americana USA-EPA (*AP42, Aggregate Handling And Storage Piles*) in cui il calcolo di tale emissione parte dai quantitativi di materiali incoerenti movimentati, dalla loro tipica umidità e dal vento caratteristico dell'area. Il calcolo è stato eseguito sul totale di merce alla rinfusa movimentato in un anno nel porto di Venezia (APV, 2011), compreso il carbone per la centrale termoelettrica di Fusina. Il risultato di questa stima porta, a differenza di altre città del progetto (in particolare Salonicco), ad un valore molto contenuto, pari a 4 tonnellate di PM10 e 1 tonnellata di PM2.5.

Il confronto con le altre città partner di APICE è proposto invece in Figura 3, dove alla stima delle emissioni di PM2.5 è affiancato come indicatori dei traffici portuali il numero di arrivi annui di navi. Si osserva come, pur non essendo sempre coincidente l'anno di riferimento della stima emissiva, a causa della locale disponibilità di dati, la stima delle emissioni rispecchia il diverso volume di traffico dei diversi porti, con il solo caso anomalo di Genova.

Tabella 1 Emissioni relative alle attività navali – Porto di Venezia, anno 2011.

| EMISSIONI DELLE NAVI (Mg) - anno riferimento 2011 | | | | | | | | | |
|---|------------|-------------|-------------|------------|-------------------------------------|------|------------|--------------|----------------|
| Stazionamento | CO | NOx | SO2 | NMVOG | NH3 | PM10 | PM2.5 | Durata (ore) | |
| Container | 50 | 423 | 14 | 17 | Not estimated in EMEP/EEA guidebook | 11 | 11 | 18,705 | |
| Cargo rinfuse solide | 25 | 209 | 7 | 8 | | 5 | 5 | 19,913 | |
| General cargo | 23 | 188 | 6 | 7 | | 5 | 5 | 42,147 | |
| Navi cisterna | 69 | 559 | 19 | 48 | | 27 | 27 | 22,553 | |
| Altro | 12 | 90 | 3 | 3 | | 2 | 2 | 9,504 | |
| Passengeri | 64 | 503 | 17 | 21 | | 15 | 15 | 35,930 | |
| Ro Ro Cargo | 7 | 53 | 2 | 2 | | 1 | 1 | 3,677 | |
| Rimorchiatori | | | | | | | | | |
| Totale | 249 | 2025 | 67 | 106 | | | 67 | 67 | 152,428 |
| Manovra | CO | NOx | SO2 | NMVOG | NH3 | PM10 | PM2.5 | Durata (ore) | |
| Container | 18 | 153 | 129 | 14 | Not estimated in EMEP/EEA guidebook | 19 | 19 | 2,524 | |
| Cargo rinfuse solide | 4 | 31 | 26 | 3 | | 4 | 4 | 1,151 | |
| General cargo | 5 | 37 | 32 | 3 | | 5 | 5 | 3,013 | |
| Navi cisterna | 7 | 60 | 50 | 5 | | 7 | 7 | 2,571 | |
| Altro | 1 | 11 | 7 | 1 | | 1 | 1 | 552 | |
| Passengeri | 50 | 322 | 193 | 32 | | 50 | 50 | 4,071 | |
| Ro Ro Cargo | 3 | 23 | 21 | 2 | | 3 | 3 | 521 | |
| Rimorchiatori | 39 | 233 | 10 | 23 | | 20 | 20 | 11,459 | |
| Totale | 127 | 870 | 468 | 82 | | | 109 | 109 | 25,863 |
| Crociera | CO | NOx | SO2 | NMVOG | NH3 | PM10 | PM2.5 | Durata (ore) | |
| Container | 31 | 363 | 227 | 7 | Not estimated in EMEP/EEA guidebook | 20 | 20 | 1,765 | |
| Cargo rinfuse solide | 8 | 88 | 55 | 2 | | 5 | 5 | 1,002 | |
| General cargo | 14 | 141 | 95 | 3 | | 6 | 6 | 3,547 | |
| Navi cisterna | 16 | 173 | 112 | 3 | | 9 | 9 | 2,274 | |
| Altro | 4 | 40 | 22 | 1 | | 1 | 1 | 748 | |
| Passengeri | 106 | 845 | 552 | 18 | | 29 | 29 | 3,653 | |
| Ro Ro Cargo | 9 | 77 | 56 | 2 | | 3 | 3 | 525 | |
| Totale | 188 | 1727 | 1119 | 36 | | | 73 | 73 | 13,514 |
| Stazionamento + Manovra + Crociera | CO | NOx | SO2 | NMVOG | | NH3 | PM10 | PM2.5 | Durata (ore) |
| Container | 100 | 940 | 370 | 38 | Not estimated in EMEP/EEA guidebook | 50 | 50 | 22,995 | |
| Cargo rinfuse solide | 36 | 328 | 88 | 12 | | 14 | 14 | 22,066 | |
| General cargo | 42 | 365 | 133 | 14 | | 16 | 16 | 48,707 | |
| Navi cisterna | 92 | 792 | 181 | 56 | | 43 | 43 | 27,398 | |
| Altro | 17 | 142 | 32 | 5 | | 5 | 5 | 10,803 | |
| Passengeri | 219 | 1671 | 763 | 71 | | 94 | 94 | 43,654 | |
| Ro Ro Cargo | 18 | 153 | 78 | 6 | | 7 | 7 | 4,723 | |
| Rimorchiatori | 39 | 233 | 10 | 23 | | 20 | 20 | 11,459 | |
| Totale | 564 | 4622 | 1655 | 224 | | | 249 | 249 | 191,805 |

Figura 1: Emissioni del Porto di Venezia – anno di riferimento 2011

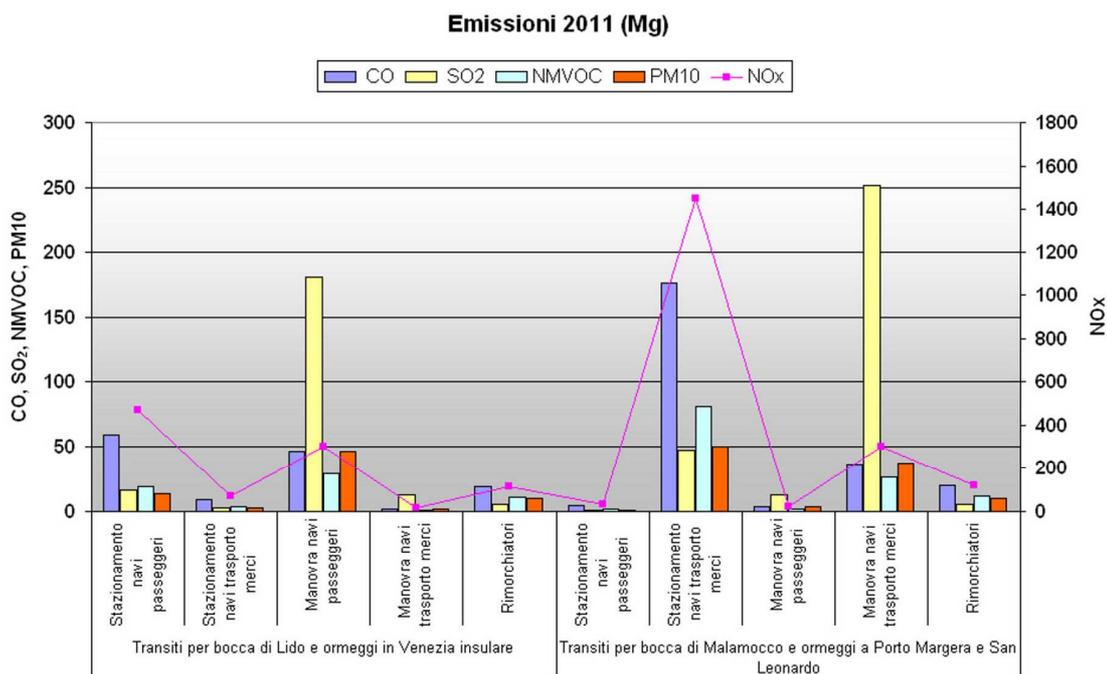


Figura2: Confronto emissioni navali e da traffico indotto dalle attività portuali – anno di riferimento 2011

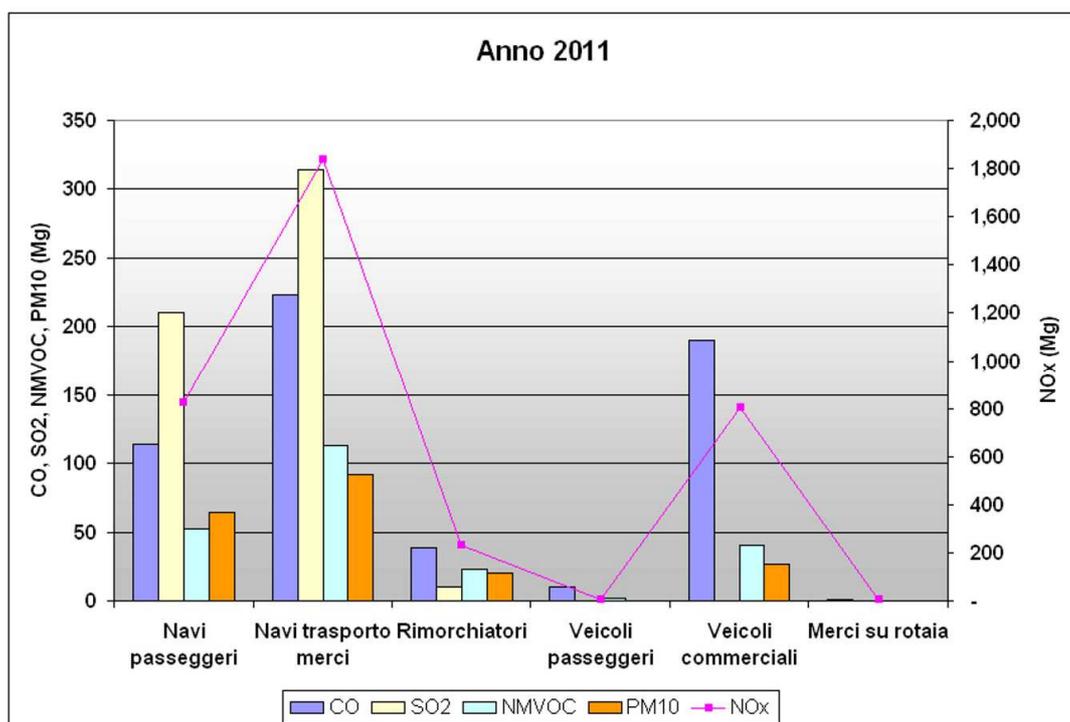
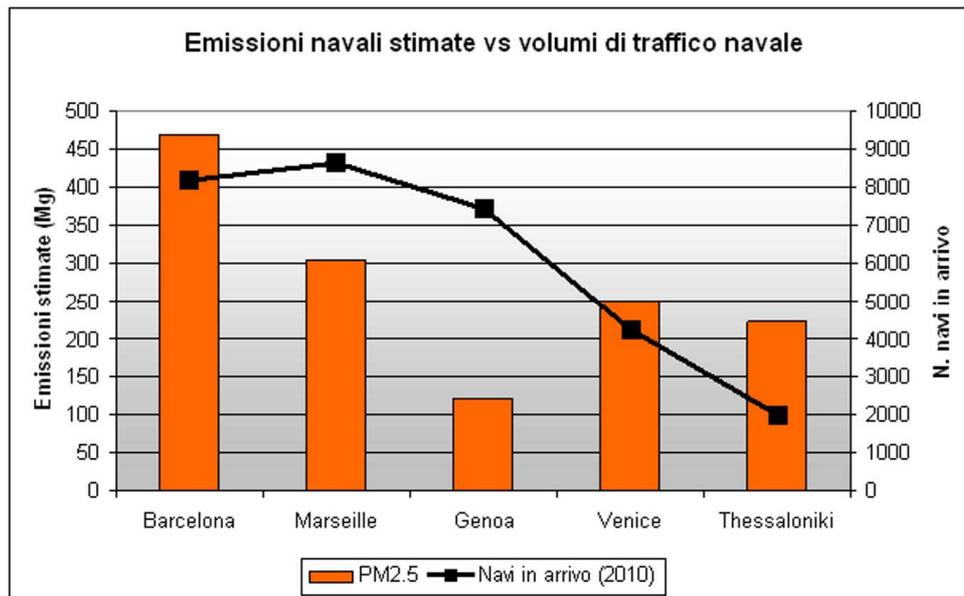


Figura 3: Emissioni e volumi di traffico navale nelle 5 aree del progetto



3. Stima delle emissioni portuali - scenario futuro (anno 2020)

La stima delle emissioni portuali per lo scenario 2020 è stata calcolata considerando:

- la completa realizzazione del nuovo Terminal Ro-Ro di Fusina, con conseguente spostamento del traffico dei traghetti dalla Marittima a Fusina e con un incremento stimato per navi Ro-Ro e Ro-Pax dai circa 500 movimenti annuali attuali a 1800 futuri (scenario massimo indicato da APV). Le emissioni sono state calcolate considerando per ciascuna nave un tempo di ormeggio di 6 ore e un tempo di manovra di arrivo o partenza di circa 2 ore.
- la parziale realizzazione del nuovo Terminal Container in area Montesyndial, con un numero di arrivi annuo di 155 navi con conseguente incremento del traffico delle navi container al 2011 del 21%;
- un incremento medio annuo del 2% per i passaggi delle navi da crociera.
- Il traffico delle petroliere e delle navi dirette alla zona industriale è invece stato lasciato inalterato rispetto al caso base 2011.

Per quanto riguarda i limiti normativi sui combustibili, lo scenario 2020 prevede:

- 0.1 %S in stazionamento come nel caso base;
- 0.5% S in manovra (sia per BFO che per MDO, secondo le proporzioni per tipo nave presenti nella metodologia CORINAIR già usata per il caso base; al BFO inoltre è stato applicato un fattore di riduzione delle polveri di circa il 20% secondo riferimenti bibliografici (EC, 2008);

In Tabella 2 si riporta il risultato della proiezione senza l'applicazione di nessuna mitigazione. I risultati della stima sono inoltre rappresentati in Figura 4, in cui si riporta il risultato della proiezione delle emissioni al 2020 con l'incremento dei transiti come esplicitato. In Figura 5 invece sono esplicitate le differenze percentuali tra le emissioni al 2020 e al 2011 calcolate considerando sia le variazioni sulle emissioni di Porto Marghera e Venezia separatamente che insieme; le differenze percentuali inoltre sono calcolate prima considerando le sole emissioni di stazionamento e manovra e poi sommando le emissioni in fase di crociera.

Tabella 2 Emissioni relative alle attività navali – Porto di Venezia, anno 2020.

| EMISSIONI DELLE NAVI (Mg) - anno riferimento 2020 | | | | | | | | | |
|---|------------|--------------|------------|------------|-------------------------------------|------|------------|--------------|----------------|
| Stazionamento | CO | NOx | SO2 | NMVOC | NH3 | PM10 | PM2.5 | Durata (ore) | |
| Container | 61 | 514 | 17 | 20 | Not estimated in EMEP/EEA guidebook | 14 | 14 | 22,721 | |
| Cargo rinfuse solide | 25 | 209 | 7 | 8 | | 5 | 5 | 19,913 | |
| General cargo | 23 | 188 | 6 | 7 | | 5 | 5 | 42,147 | |
| Navi cisterna | 69 | 559 | 19 | 48 | | 27 | 27 | 22,553 | |
| Altro | 12 | 90 | 3 | 3 | | 2 | 2 | 9,504 | |
| Passengeri | 87 | 686 | 23 | 28 | | 20 | 20 | 41,405 | |
| Ro Ro Cargo | 76 | 59 | 2 | 2 | | 2 | 2 | 4,110 | |
| Rimorchiatori | | | | | | | | | |
| Totale | 352 | 2,305 | 77 | 117 | | | 75 | 75 | 162,353 |
| Manovra | CO | NOx | SO2 | NMVOC | NH3 | PM10 | PM2.5 | Durata (ore) | |
| Container | 22 | 186 | 29 | 17 | Not estimated in EMEP/EEA guidebook | 19 | 19 | 3,066 | |
| Cargo rinfuse solide | 4 | 31 | 5 | 3 | | 3 | 3 | 1,151 | |
| General cargo | 5 | 37 | 7 | 3 | | 4 | 4 | 3,013 | |
| Navi cisterna | 7 | 60 | 10 | 5 | | 6 | 6 | 2,571 | |
| Altro | 1 | 11 | 2 | 1 | | 1 | 1 | 552 | |
| Passengeri | 119 | 769 | 161 | 75 | | 96 | 96 | 9,260 | |
| Ro Ro Cargo | 4 | 25 | 5 | 2 | | 3 | 3 | 583 | |
| Rimorchiatori | 60 | 359 | 16 | 35 | | 31 | 31 | 17,667 | |
| Totale | 222 | 1,478 | 235 | 141 | | | 162 | 162 | 37,863 |
| Crociera | CO | NOx | SO2 | NMVOC | NH3 | PM10 | PM2.5 | Durata (ore) | |
| Container | 38 | 442 | 52 | 9 | Not estimated in EMEP/EEA guidebook | 20 | 20 | 2,290 | |
| Cargo rinfuse solide | 8 | 88 | 10 | 2 | | 4 | 4 | 1,070 | |
| General cargo | 14 | 141 | 19 | 3 | | 5 | 5 | 3,758 | |
| Navi cisterna | 16 | 173 | 22 | 3 | | 7 | 7 | 2,429 | |
| Altro | 4 | 40 | 6 | 1 | | 1 | 1 | 798 | |
| Passengeri | 240 | 1,919 | 324 | 57 | | 82 | 82 | 8,312 | |
| Ro Ro Cargo | 10 | 86 | 13 | 2 | | 3 | 3 | 626 | |
| Totale | 330 | 2,888 | 446 | 77 | | | 122 | 122 | 19,284 |
| Stazionamento + Manovra + Crociera | CO | NOx | SO2 | NMVOC | | NH3 | PM10 | PM2.5 | Durata (ore) |
| Container | 121 | 1,141 | 98 | 46 | Not estimated in EMEP/EEA guidebook | 53 | 53 | 28,077 | |
| Cargo rinfuse solide | 36 | 328 | 22 | 12 | | 12 | 12 | 22,135 | |
| General cargo | 42 | 365 | 32 | 14 | | 14 | 14 | 48,918 | |
| Navi cisterna | 92 | 792 | 50 | 56 | | 40 | 40 | 27,552 | |
| Altro | 17 | 142 | 11 | 5 | | 4 | 4 | 10,854 | |
| Passengeri | 446 | 3,374 | 509 | 161 | | 198 | 198 | 58,978 | |
| Ro Ro Cargo | 90 | 171 | 20 | 6 | | 7 | 7 | 5,320 | |
| Rimorchiatori | 60 | 359 | 16 | 35 | | 31 | 31 | 17,667 | |
| Totale | 904 | 6,671 | 757 | 335 | | | 359 | 359 | 219,500 |

Figura 4: Emissioni del Porto di Venezia – anno di riferimento 2020

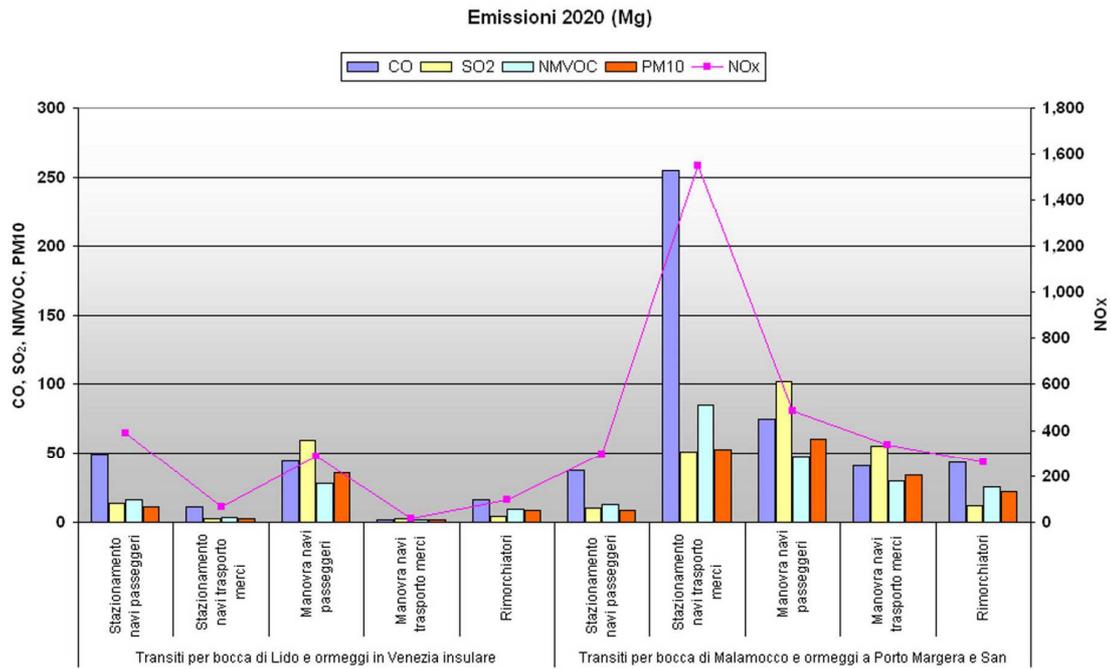


Figura 5: Confronto tra lo scenario attuale e lo scenario futuro senza mitigazioni

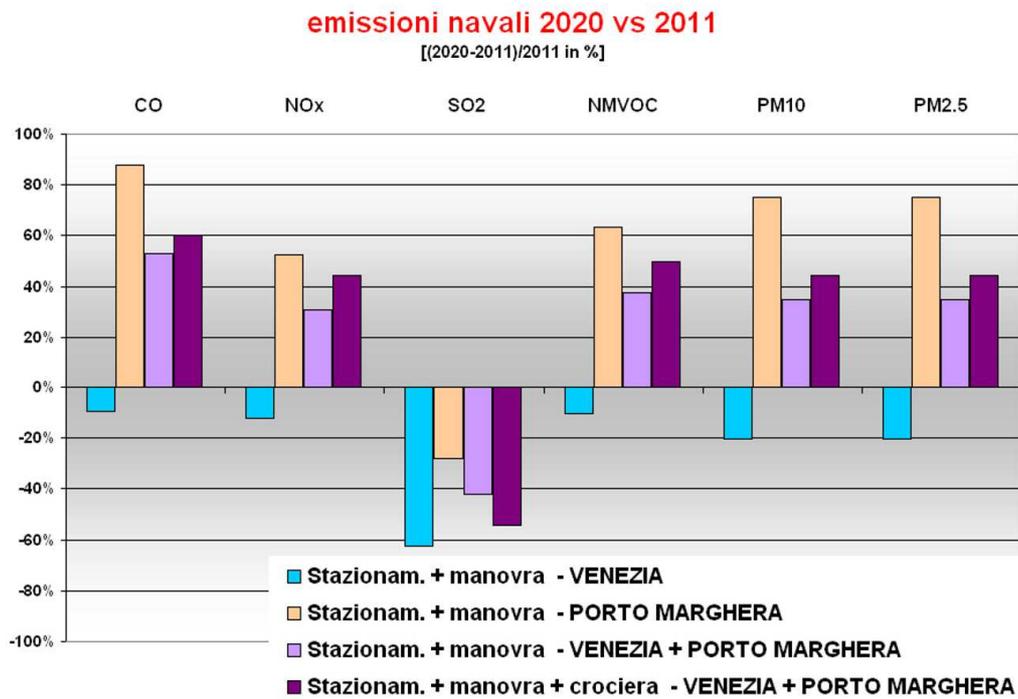
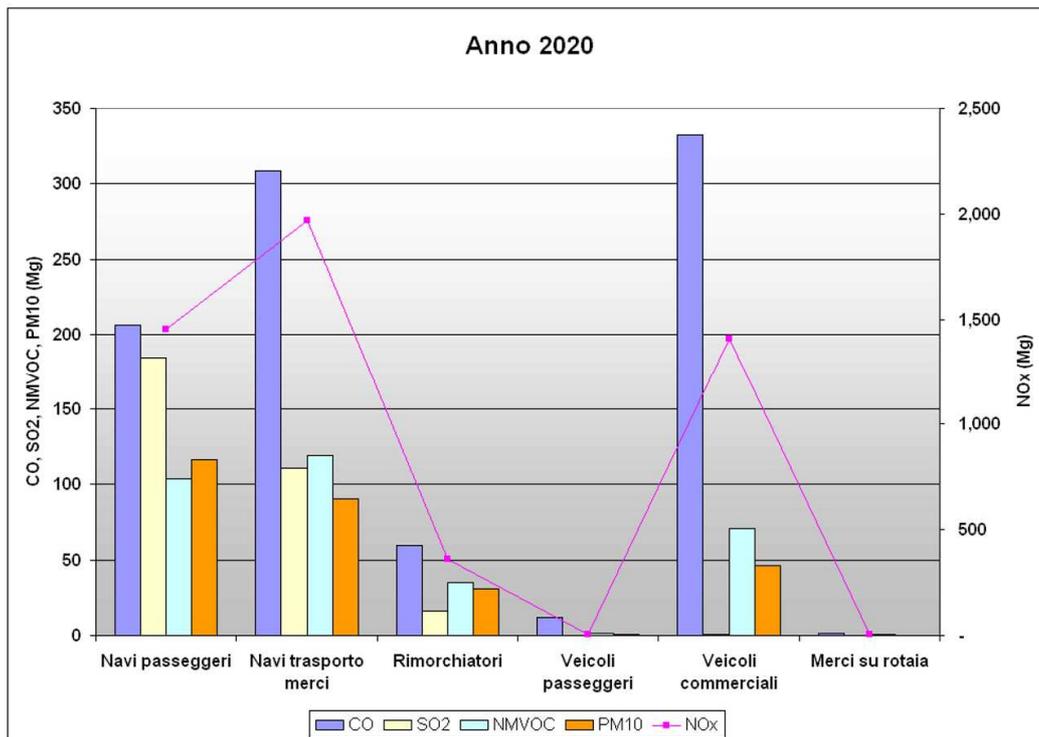


Figura6: Confronto emissioni navali e da traffico indotto dalle attività portuali – anno di riferimento 2020



Considerando il totale delle emissioni di stazionamento e di manovra del porto, nonostante l'incremento complessivo del traffico navale, l'applicazione del limite di 0.5% S in manovra comporta una sostanziale diminuzione delle emissioni di SO₂ nello scenario futuro rispetto al caso base 2011 (-42%).

Per quanto riguarda gli altri inquinanti invece, rispetto allo scenario attuale, l'incremento del traffico portuale comporterà un aumento delle emissioni di PM (dove PTS = PM10 = PM2.5, secondo la metodologia EMEP/EEA) pari al 35%, di CO del 53%, di COV del 38% e di NOx del 31%.

Anche per lo scenario futuro al 2020 è stata stimata l'emissione dovuta al traffico indotto dal traffico merci e passeggeri delle attività portuali. Il calcolo è stato svolto a partire dalla stima del traffico passeggeri e merci indotto su strada e ferrovia, fornito da APV. Per la stima emissiva i fattori emissivi CORINAIR sono stati decrementati per tenere conto degli effetti di svecchiamento del parco veicolare. Il confronto tra le emissioni portuali e il traffico indotto per il 2020 è riportato nel grafico di Figura 6.

4. La long campaign

Oltre ad una campagna di interconfronto effettuata a Marsiglia, che ha permesso di confrontare metodi di monitoraggio e analitiche di laboratorio tra i partner scientifici (Detournay *et al.*, 2012), il progetto ha previsto l'esecuzione, presso ciascuna area pilota, di una campagna di monitoraggio in cui, per l'intero anno 2011, la misura e la speciazione chimica del PM2.5 sono state condotte in

postazioni sia interessate dall'impatto delle attività del porto, sia di fondo urbano. In area veneziana sono state selezionate tre postazioni della rete fissa di monitoraggio dell'ARPAV. Oltre a indubbe considerazioni di praticità, si è ritenuto infatti di particolare interesse analizzare il *source apportionment* a partire dalle concentrazioni misurate in punti su cui è già presente una serie storica dei livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici e in cui il monitoraggio verrà mantenuto nel futuro. Questa scelta ha inoltre permesso di approfondire la valutazione in punti di una rete ottimizzata per monitorare sia la complessità delle sorgenti di inquinamento presenti nel territorio, sia l'esposizione media della popolazione residente. Questa indagine è stata comunque affiancata con una modellistica di ampia scala che ha permesso di passare da una valutazione puntuale delle concentrazioni e del *source apportionment* ad una stima estesa all'intero territorio veneziano.

Le stazioni selezionate sono:

- Malcontenta, in zona industriale che rappresenta il punto della rete più esposto alle emissioni del porto commerciale/industriale;
- Sacca Fisola che non solo rappresenta il livello di fondo urbano del centro storico, ma è anche la stazione delle rete fissa di ARPAV più prossima al passaggio delle grandi navi in fase di manovra;
- Parco Bissuola, sito di fondo urbano in terraferma veneziana.

Mentre nelle postazioni di Malcontenta e Sacca Fisola il monitoraggio del PM10 (polveri con diametro aerodinamico³ inferiore a 10 μm) è stato integrato con misure di PM2.5 (sottoinsieme del PM10: si tratta della frazione più fine con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 μm) e su questa frazione sono state effettuate determinazioni analitiche specifiche, la valutazione dei traccianti delle attività portuali e industriali a Sacca Fisola è stata condotta sul PM10. Nei grafici di Figura 7 e 8 sono riportati rispettivamente gli andamenti giornalieri di PM10 e PM2.5 rilevati nell'anno 2011. E' evidente che le concentrazioni critiche sono tipiche del periodo invernale, in cui i livelli di polveri sono mediamente più che doppi rispetto al periodo estivo. Tali polveri sono costituite soprattutto dalle frazioni più fini (anche più del 90% del PM10 è costituito da PM2.5 in media nel semestre freddo, sia a Parco Bissuola che a Malcontenta). Questa condizione, che caratterizza non solo il territorio veneziano, ma l'intera regione ed in generale è tipica del Bacino Padano, differenzia sostanzialmente il caso veneziano dalle altre pilot area. In Figura 9, si evidenzia infatti come, sebbene in tutte le città siano tipici valori di concentrazione delle polveri massimi nel semestre freddo, la differenza estate – inverno nel caso di Venezia è particolarmente marcata.

³ Tenuto conto che il particolato è in realtà costituito da particelle di diversa densità e forma, si utilizza il diametro aerodinamico per descrivere dal punto di vista dimensionale le particelle che lo compongono. Il diametro aerodinamico rappresenta il diametro di una particella sferica avente densità unitaria (1 g/cm^3) e medesimo comportamento aerodinamico delle particelle di aerosol (in particolare velocità di sedimentazione e capacità di diffondere entro filtri di determinate dimensioni) nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa.

Figura 7: Medie giornaliere del PM10 in area veneziana – anno 2011

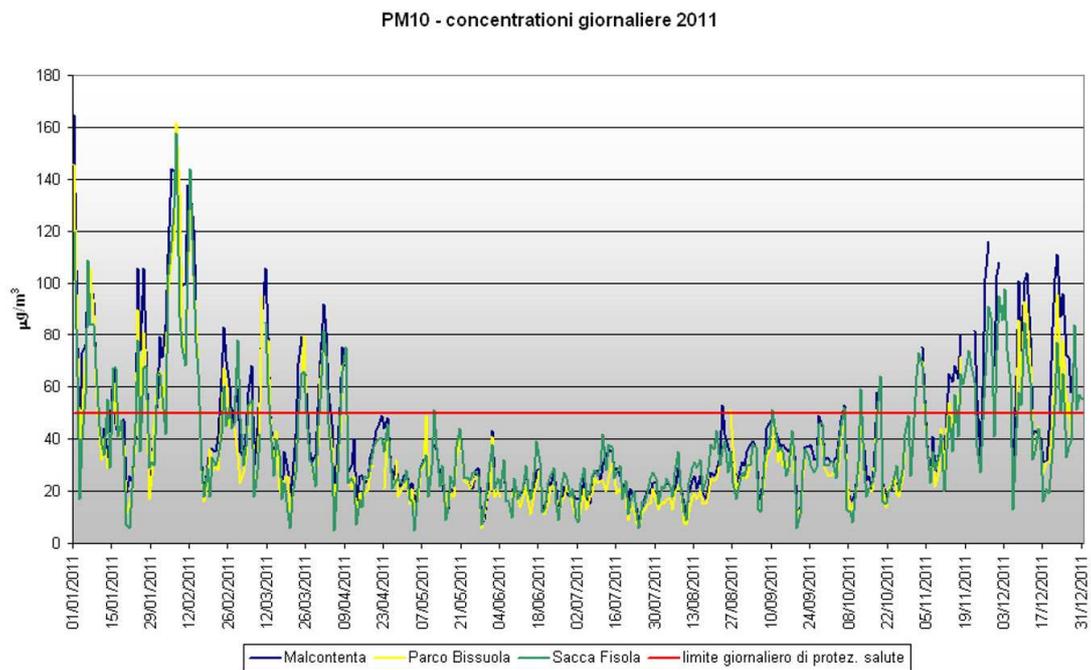


Figura 8: Medie giornaliere del PM2.5 in area veneziana – anno 2011

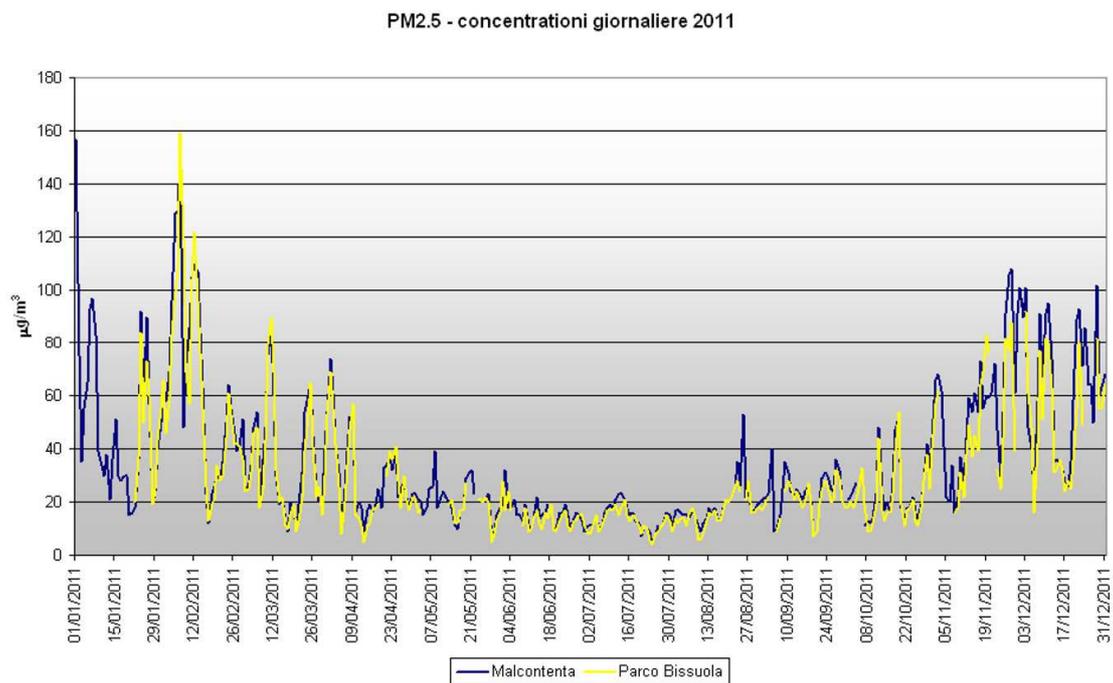
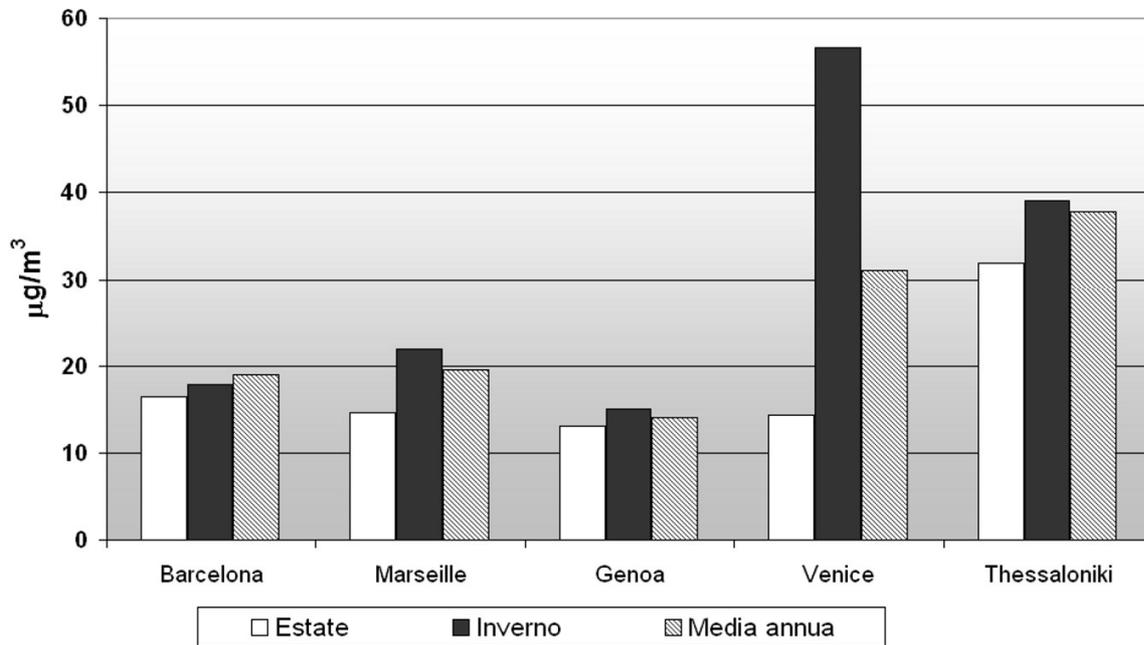


Figura 9: PM2.5 nei siti di background urbani delle 5 pilot area del progetto



5. Il source apportionment: valutazione del peso delle attività portuali sulle concentrazioni di polveri sottili

Uno degli obiettivi principali del progetto APICE è la valutazione dell'incidenza delle attività portuali sui livelli di concentrazione delle polveri sottili, ovvero del PM2.5, nell'area urbana del Comune di Venezia.

Questa finalità è stata perseguita seguendo due diversi approcci scientifici:

- a partire dalle misure di **composizione del PM2.5 e del PM10**, sulle quali è stato implementato il modello statistico a recettore Positive Matrix Factorisation (PMF);
- a partire dalle **emissioni**, che hanno costituito l'input fondamentale per la catena di modellistica fotochimica a scala regionale implementata presso l'Osservatorio Regionale Aria di ARPAV.

Le concentrazioni di PM2.5 e PM10, misurate presso la rete di rilevamento della qualità dell'aria di ARPAV, rappresentano le quantità di polveri presenti in un m³ di aria ambiente: sono il risultato dell'azione di molteplici sorgenti antropiche e biogeniche, a scala locale e interregionale, e delle condizioni meteorologiche tipiche del territorio indagato.

Per distinguere l'influenza relativa delle diverse sorgenti a partire dai dati di concentrazione, è necessario individuare statisticamente la presenza e gli andamenti temporali di traccianti che possano essere ascritti a determinate fonti o gruppi di sorgenti. La determinazione statistica è tanto più affidabile tanto più il database dei dati osservato è completo e tanto più gli andamenti temporali delle sorgenti emissive indagate (cicli giornalieri, mensili o stagionali) si distinguono chiaramente gli uni dagli altri.

L'analisi dell'effetto di una specifica emissione può d'altra parte essere eseguita ricostruendo le condizioni di trasporto, dispersione e le reazioni chimiche che subisce l'inquinante una volta immesso in atmosfera, attraverso l'utilizzo di modelli matematici che riproducono, semplificandole, la chimica e la fisica dell'atmosfera. La stima della concentrazione di uno specifico inquinante è dunque il risultato della sommatoria delle più importanti fonti emissive antropiche e degli apporti di origine biogenica.

Si tratta dunque di due modalità di indagine del *source apportionment* ("apporzionamento" delle sorgenti, o ricostruzione dei pesi relativi delle sorgenti che contribuiscono ai livelli di concentrazione misurati o predetti) significativamente diverse, in grado di distinguere e classificare diversi tipi di sorgente e di componente del particolato.

L'approccio statistico a partire dalle concentrazioni: il modello a recettore PMF

L'applicazione del modello a recettore richiede la misura dei diversi traccianti chimici presenti nelle polveri PM2.5, e quindi la speciazione chimica delle stesse: in pratica i filtri sui quali vengono campionate le polveri, dopo essere stati pesati per risalire alle concentrazioni totali, vengono analizzati in laboratorio per quantificare la presenza di alcune specie chimiche quali metalli, microinquinanti organici, elementi terrigeni e sali inorganici di origine secondaria (cioè che si formano in atmosfera per reazione chimica di precursori gassosi).

Nei siti di Parco Bissuola e Malcontenta è stata effettuato il monitoraggio e la speciazione chimica in ioni e componente organica del PM2.5, mentre i metalli, tra cui i traccianti delle attività industriali e portuali sono stati valutati sul PM10 in tutti e tre i siti selezionati.

La speciazione chimica in particolare ha riguardato i seguenti composti:

- **composti inorganici secondari** (SIA – *Secondary Inorganic Aerosol*): sali di ammonio, nitrato e solfato che si formano in atmosfera a partire dai precursori NH_3 , NO_x e SO_2 e che costituiscono una quota significativa delle concentrazioni annuali di $\text{PM}_{2.5}$, in particolare nel periodo invernale⁴;
- **carbonio totale**, che comprende sia la componente organica primaria e secondaria sia la componente inorganica di origine terrigena (carbonati e bicarbonati in particolare);
- **metalli e altri composti inorganici in tracce**: arsenico, cadmio, cromo, ferro, manganese, mercurio, nickel, vanadio, piombo, rame, tallio e zinco;
- **composti organici semivolatili** (SVOC, *Semi-Volatile Organic Compound*): la combustione di combustibili fossili e di biomassa comporta l'emissione di composti organici che variano dal metano alle nanoparticelle. I composti semivolatili si presentano generalmente allo stato solido (o liquido ad alta densità) in condizione ambiente: emessi con gas o vapori, condensano addensandosi sull'aerosol atmosferico. Dal riscaldamento (estrazione termica) di una porzione dei filtri di campionamento, sono stati estratti più di 100 SVOC. Di questi, 65 specie sono state quantificate e raggruppate in 4 diverse categorie per l'applicazione del modello a recettore: gli alcani e gli Idrocarburi Policiclici Aromatici IPA (sia prodotti di combustione che residui incombusti di combustibili fossili), gli opani (residui incombusti della combustione di olio pesante), ed alcuni composti a catena complessa denominati *Biomass Burning Tracer BBT*, tipicamente emessi dalla combustione di biomassa.

In Figura 10 si riporta la composizione media annuale del $\text{PM}_{2.5}$ per i due siti di Malcontenta e Parco Bissuola. Il macrogruppo "frazione inorganica e terrigena" comprende, tra gli altri, gli ossidi dei metalli pesanti, le componenti cristalline e di aerosol marino, e altri composti non speciatati fino a coprire il 100% della media annuale di $\text{PM}_{2.5}$ rilevata dalle centraline. Circa il 30% del $\text{PM}_{2.5}$ risulta costituita da composti inorganici secondari (SIA), mentre la frazione organica, sia di origine primaria che secondaria corrisponde a circa un quarto delle polveri monitorate.

In Figura 11 sono invece riportate le medie del semestre caldo e freddo dei più interessanti traccianti industriali e degli SVOC per i due siti di misura.

⁴ Infatti il principale costituente, il nitrato di ammonio, tende a volatilizzare in estate e quindi a manifestare concentrazioni nettamente inferiori rispetto alla stagione fredda; inoltre le concentrazioni dei precursori NH_3 e NO_x , tendono ad essere maggiori nei periodi autunnali e primaverili il primo (emesso quasi totalmente dal comparto agricolo, i massimi di concentrazione si verificano in occasione degli spandimenti dei reflui zootecnici) e invernali il secondo (quando alle emissioni da traffico e industria si associano quelle dei riscaldamenti domestici e commerciali).

Figura 10: composizione media del PM2.5 in area veneziana

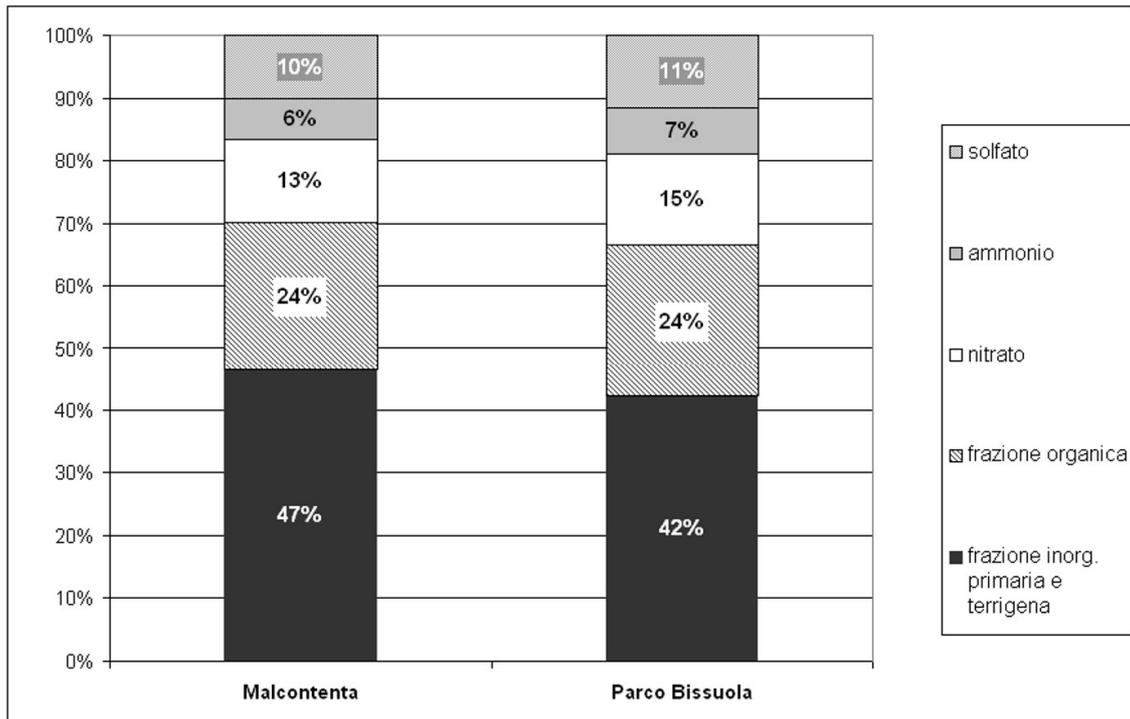


Figura 11a: metalli sul PM10 in area veneziana

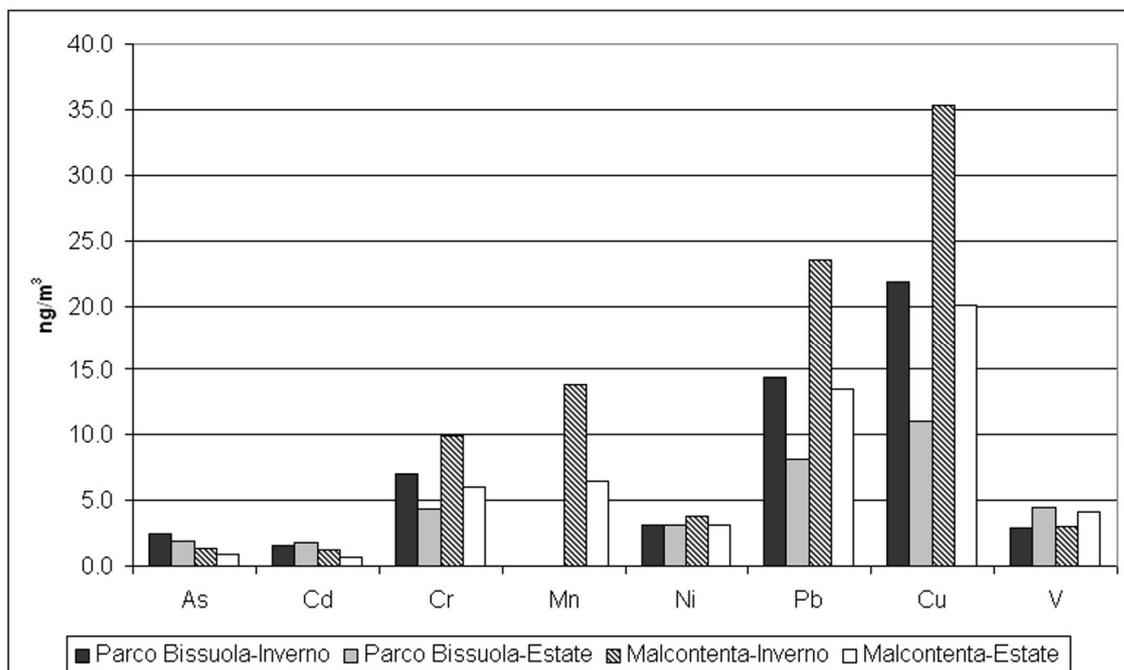
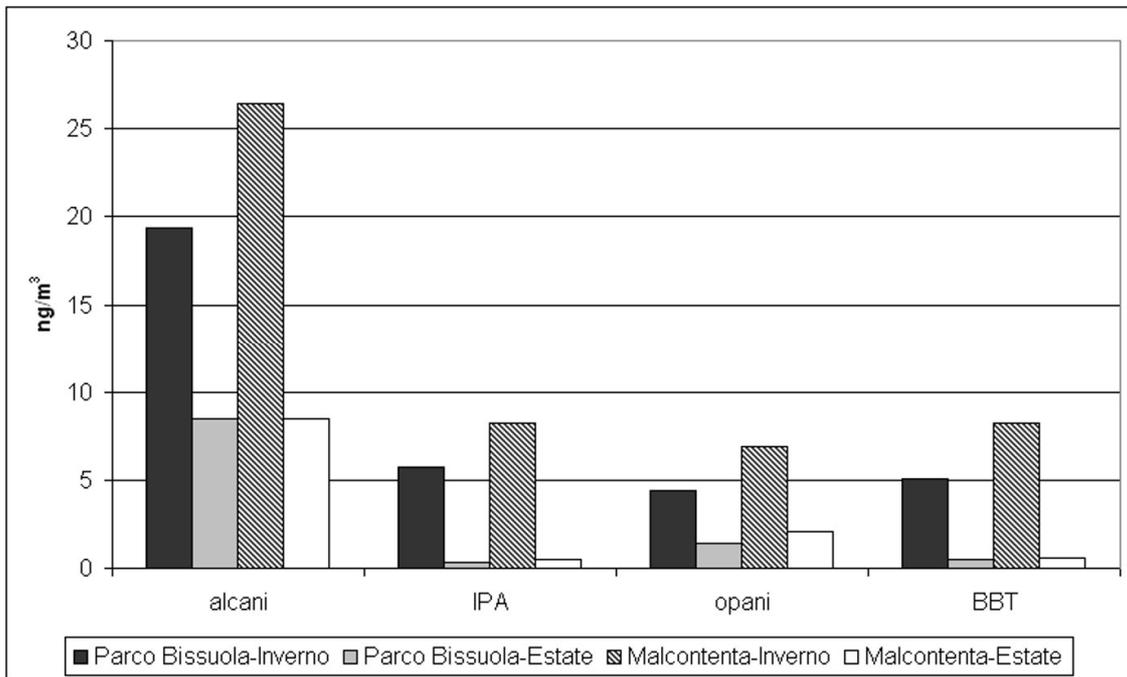


Figura 11b: SVOC sul PM2.5 in area veneziana



In generale il monitoraggio ha confermato che il sito di Malcontenta è maggiormente esposto ad un inquinamento di tipo industriale e portuale, mentre i composti secondari mostrano livelli molto simili sia nel sito industriale che di background urbano. Per quanto riguarda gli SVOC, le concentrazioni medie delle 4 categorie selezionate mostrano una chiara stagionalità con valori molto bassi nella stagione calda sia nel sito industriale che in quello di background. Pur mostrando livelli di concentrazione confrontabili, anche per i composti semivolatili il sito di Malcontenta registra valori più elevati.

Sui dati di monitoraggio così ottenuti è stato applicato dai colleghi dell'Università di Genova il modello a recettore PMF (Paatero, P., Tapper, U., 1994), quantificando il source apportionment sul PM10. I risultati relativi alle medie annuali di PM2.5 sono rappresentati in Figura 12. Il modello a recettore ha permesso l'individuazione dei seguenti gruppi di sorgenti:

- frazione che origina dalla biomassa: include sia la componente organica di derivazione vegetale (condensazione dei composti organici emessi dalla vegetazione, ma anche minuscoli frammenti vegetali), che i residui di combustione di legna in impianti domestici; a questa sorgente, più rilevante nel sito di background, viene attribuito un peso del 16% a Malcontenta e del 25% a Parco Bissuola rispetto alla media annuale.
- combustione di oli pesanti: si tratta della frazione di polveri che viene tracciata da Ni e V, tipicamente emessi dalla combustione di olio pesante; in area veneziana tale frazione, che

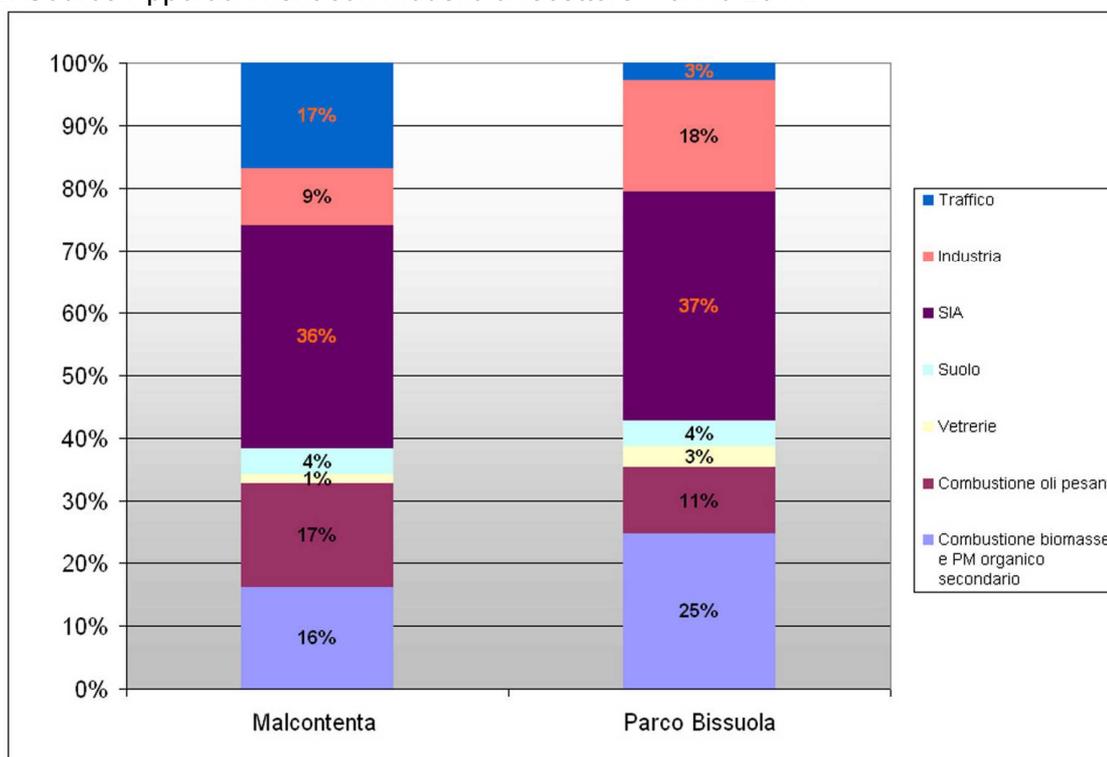
ha sia origine navale che industriale, conta rispettivamente per il 17%, il 13% e l'11% delle medie annuali di PM10 rilevate a Malcontenta, Sacca Fisola e Parco Bissuola⁵;

- vetrerie: tracciate da As e Cd, rappresentano una frazione residuale variabile tra 1 ed 3%
- frazione terrigena, stimata essere pari al 4% in entrambi i siti;
- composti inorganici secondari, la cui origine il modello a recettore non è in grado di attribuire alle diverse sorgenti;
- traffico urbano (17% a Malcontenta e 3% a Parco Bissuola);
- contributo industriale (9% a Malcontenta e 18% a Parco Bissuola).

Gli ultimi due comparti mostrano un'attribuzione dei pesi relativi inaspettata, con contributo del comparto industriale doppio sulle concentrazioni stimate nel sito di Parco Bissuola rispetto a Malcontenta, mentre il peso del traffico urbano viene considerato maggiore nel sito industriale. Questi risultati dipendono potrebbero dipendere da alcune lacune del database dei valori di concentrazione misurati ed essere quindi affetti da incertezza elevata.

Il source apportionment (valutato per i modelli a recettore sul PM10) può in prima approssimazione essere considerato rappresentativo anche per le concentrazioni medie di PM2.5, dato l'elevato rapporto PM2.5/PM10 registrato presso le centraline (fino al 90% nel periodo invernale).

Figura 12: Source Apportionment con modello a recettore – anno 2011



⁵ Considerando le medie di PM10 estive ed invernali, i contributi degli oli pesanti sono rispettivamente: 18% e 7% a Parco Bissuola, 23% e 7% a Sacca Fisola e 25% e 12% a Malcontenta.

L'approccio a partire dalle emissioni: il modello fotochimico CAMx

I modelli euleriani fotochimici calcolano le concentrazioni dei principali inquinanti gassosi e in forma di aerosol in domini tridimensionali con griglia orizzontale regolare e fissata per l'intera durata del run.

Tali modelli 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 tridimensionali:

- input meteorologici, quali campi di vento, temperatura, pressione, nuvolosità, contenuto di acqua nelle nubi e di precipitazione;
- geografia e orografia del dominio⁶;
- condizioni iniziali e al contorno (*boundary conditions*), vale a dire le concentrazioni presenti ai bordi del dominio di calcolo che, trasportate all'interno del dominio stesso dal campo di vento, contribuiscono ai livelli di inquinamento del territorio indagato; ovviamente tali *boundary conditions* sono tanto più importanti tanto più è piccolo il dominio o più è grande la scala di dispersione degli inquinanti (nel caso delle polveri sottili, domini a scala inferiore del Bacino Padano Adriatico risentono in modo significativo dell'influenza dei territori contermini, mentre i contributi che arrivano dall'esterno del Bacino Padano sono di modesta entità rispetto a quelli dovuti alle sorgenti interne);
- emissioni puntuali (camini o sorgenti industriali localizzate in un dato punto del dominio) e diffuse (estese sul territorio, come i riscaldamenti domestici, o lungo delle direttrici, come il traffico); nella stima dell'aerosol urbano i macroinquinanti necessari al modello sono essenzialmente il PM_{2.5} e PM₁₀ primario e i loro principali precursori gassosi: ossidi di azoto NO_x, biossido di zolfo SO₂, monossido di carbonio CO, composti organici volatili COV, ammoniacca NH₃. A loro volta questi composti, in particolare per quanto riguarda NO_x, COV e PM, sono ricondotti a diverse specie "del modello" che entrano nelle reazioni chimiche previste dal codice di calcolo implementato⁷.

⁶ Un parametro molto importante per la descrizione del dominio di calcolo è l'albedo, cioè la riflettività del suolo (massima in presenza di acqua e minima sui terreni scuri che assorbono i raggi solari) che fornisce energia alle reazioni chimico-fisiche; oltre a questo parametro, e dipendente da esso, sono anche necessari input quali la presenza di ozono, polveri e altri gas che riflettono e disperdono nei bassi strati dell'atmosfera i raggi solari. In base a questi parametri e all'angolo di zenith vengono calcolati i tassi delle principali reazioni di fotolisi (velocità con cui avvengono le reazioni di dissociazione molecolare ad opera dei raggi solari nel campo del violetto e dell'ultravioletto).

⁷ La "speciazione" prevede l'utilizzo di profili di composizione chimica che dipendono dal settore emissivo e sono generalmente derivati da riferimenti bibliografici, e possono essere da molto semplici (ad esempio l'NO_x emesso dal traffico può considerare composto per il 95% da NO e il 5% da NO₂) a molto complessi (si pensi alla grande varietà di solventi e altri composti organici utilizzati in ambito industriale o domestico).

L'Osservatorio Regionale Aria di ARPA Veneto ha da anni implementato una catena modellistica a scala regionale, fondata sul modello fotochimico CAMx (Comprehensive Atmospheric Model with eXtensions), finanziato dall'US Environmental Protection Agency US-EPA, e sviluppato e liberamente distribuito da Environ (<http://www.camx.com/>). La versione utilizzata per le simulazioni del progetto è la 5.3, rilasciata a dicembre 2010.

Gli input meteorologici vengono elaborati a partire 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 maglia di 7 km.

COSMO è uno dei cinque modelli ad area limitata di riferimento in Europa nell'ambito del programma SRNWP (*Short Range Numerical Weather Prediction*) di EUMETNET (il network europeo dei servizi meteorologici). LAMI, attualmente gestito dal Centro di Supercalcolo del CINECA di Bologna, è ufficialmente identificato come sistema previsionale di riferimento per il Sistema Nazionale dei Centri Funzionali di Protezione Civile.

Le condizioni al contorno sono invece fornite dal sistema Prev'Air (che gestisce il modello fotochimico CHIMERE a scala continentale con risoluzione di risoluzione orizzontale di circa 50km, <http://www.prevoir.org/fr/index.php>); si tratta di un servizio di previsione delle concentrazioni di NO₂, O₃ e PM10 nato nel 2003 da un'iniziativa del Ministero dell'ecologia francese.

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 250km 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, che copre quasi la totalità del territorio del Comune di Venezia con passo di griglia di 1km (v. Figura 13).

I periodi di simulazione dell'anno 2011 previsti dal progetto sono due: l'estate in cui è massima in tutte le pilot area del progetto l'influenza delle attività portuali (**da giugno ad agosto**) e un mese nel semestre freddo a cavallo tra **novembre e dicembre**.

Le condizioni avvevte medie nei due periodi indagati sono rappresentate nelle mappe di Figura 14 e 15. Come si vede dalle immagini, mentre le condizioni estive nel dominio sono caratterizzate dall'influenza della brezza marina, con venti che nella prima parte del giorno spirano da NE, per poi girare da SE nel pomeriggio, nel periodo dal 15 novembre al 15 dicembre i venti prevalenti provengono da N, con una significativa presenza del settore da NO⁸.

Per quanto riguarda gli input emissivi, oltre a quelli derivanti dalle attività portuali presentate al precedenti paragrafi, sono state ricostruite le emissioni antropiche e biogeniche per ogni cella di griglia del dominio di calcolo ed ogni ora di simulazione.

Per lo scenario attuale, le emissioni della regione Veneto sono il risultato della proiezione all'anno 2010 della prima edizione dell'inventario regionale, riferita all'anno 2005 e realizzata mediante il software INEMAR⁹. L'inventario è stato pubblicato in versione definitiva nell'ottobre 2011 nei siti

8 In generale nel periodo invernale il regime dei venti è segnato dalla presenza della bora, e si caratterizza quindi per la prevalenza dei venti di NE; tuttavia nei periodi intermedi sono frequenti anche venti dal 4°quadrante, che per altro, nel caso specifico, incrementano l'influenza del porto sull'area urbana del centro storico.

⁹ Nella versione 6/2008.

web della Regione del Veneto e di ARPA Veneto¹⁰. Per analizzare nel modo più fedele possibile i rapporti relativi tra le diverse sorgenti emmissive, gli input al modello fotochimico sono stati elaborati, a partire dall'inventario 2005, secondo due modalità:

- **aggiornamento** - si è intrapresa la redazione dell'inventario regionale 2007/2008 partendo dal comparto industriale e privilegiando le grandi aziende presenti nell'area di Porto Marghera¹¹, per alcune delle quali l'aggiornamento è stato spinto fino al 2009 o 2010 (rif. database EPRTR);
- **proiezione** - si è effettuata, per tutti gli altri settori e per le piccole industrie, la proiezione dell'inventario 2005 all'annualità 2010, sulla base delle stime fornite per la Regione Veneto dal sistema GAINS Italy, sviluppato da ENEA per conto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e disponibile al sito [http://gains-it.bologna.enea.it/gains/IT/disclaimer.info](http://gains.it.bologna.enea.it/gains/IT/disclaimer.info)¹²..

Tale proiezione, che tiene in parte anche conto degli effetti della crisi economica, è stata estesa a tutte le regioni e le province contenute nel dominio di calcolo.

Le emissioni annuali così stimate, sono state modulate temporalmente considerando, per ogni macrosettore emmissivo, gli andamenti mensili, settimanali e giornalieri caratteristici. Per quanto riguarda il traffico marittimo, si è considerata separatamente la modulazione temporale dei due porti commerciale e turistico, distintamente per le fasi di stazionamento e manovra (v. Figure 16 e 17).

¹⁰

Sito

Regione

Veneto:

<http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Ambiente/Atmosfera/INEMAR+Veneto+2005/>

Sito ARPAV: <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/emissioni-di-inquinanti/inventario-emissioni>

¹¹ Nell'ambito del progetto è stato affrontato l'aggiornamento delle emissioni dal 2005 al 2008 (e successivamente al 2010) di alcuni settori ritenuti di particolare interesse nella provincia di Venezia. L'elaborazione dell'inventario regionale 2007/2008 per tutto il territorio regionale è proseguita in tempi successivi a quelli schedulati dal progetto APICE.

¹² Il modello GAINS-Italia (Greenhouse and Air Pollution Interaction and Synergies) è un modello di valutazione integrata che fa parte di MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'inquinamento atmosferico, Zanini et al. 2005). GAINS-Italia, in particolare, è frutto della collaborazione tra ENEA e IIASA ed è stato sviluppato secondo la metodologia sulla modellistica integrata nel modello RAINS Europe.

Figura 13: Domini di simulazione del modello fotochimico

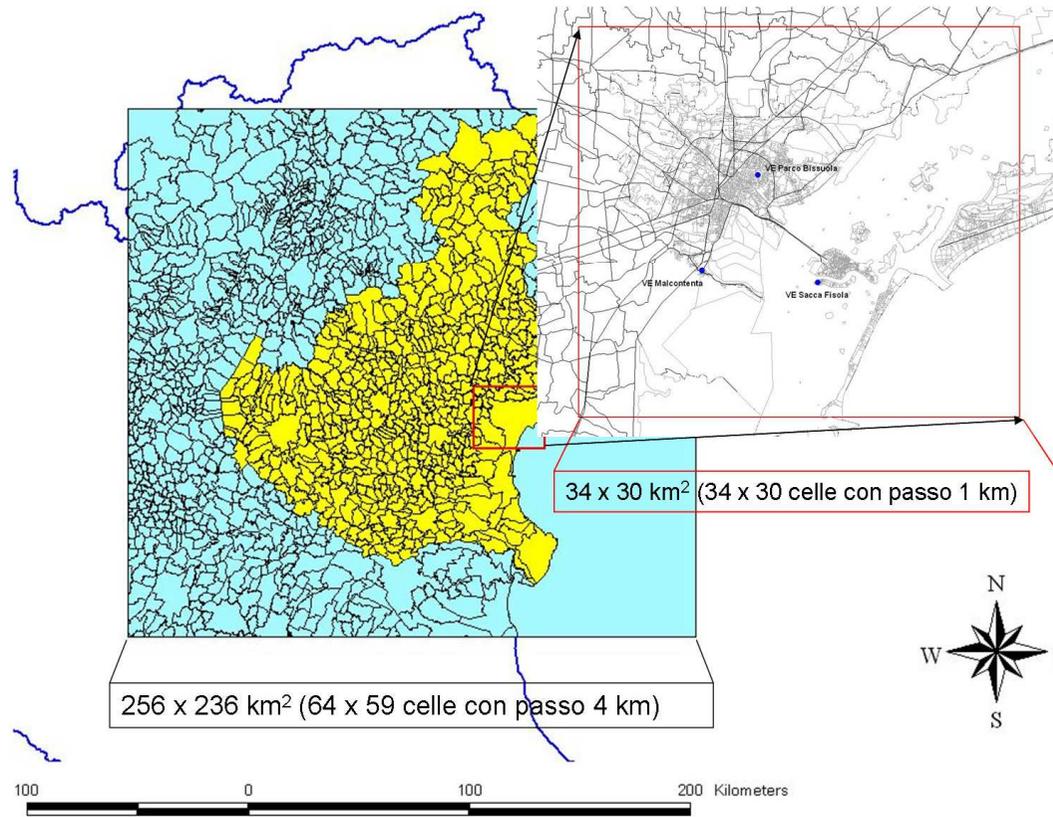


Figura 14: Venti prevalenti nello scenario estivo di simulazione

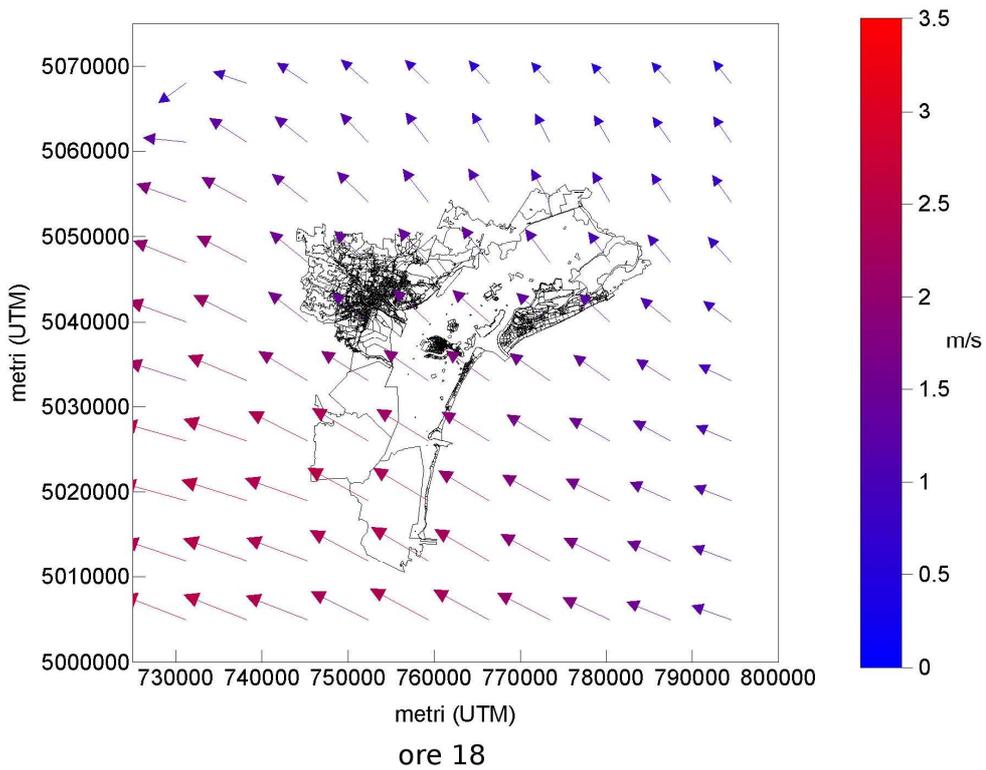
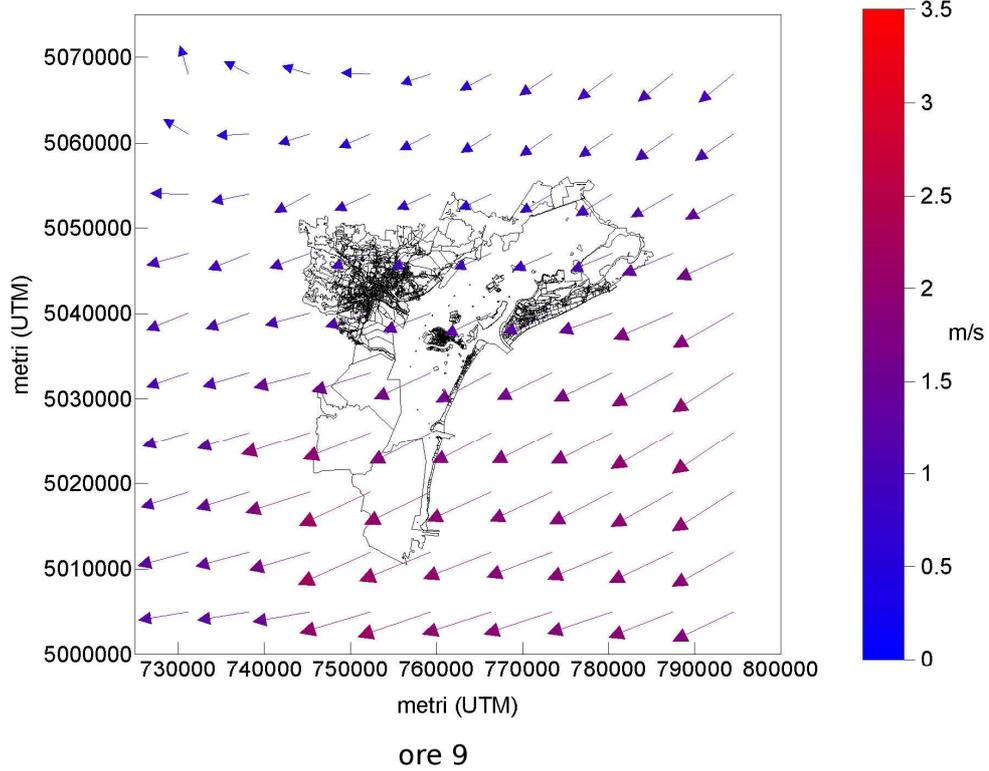
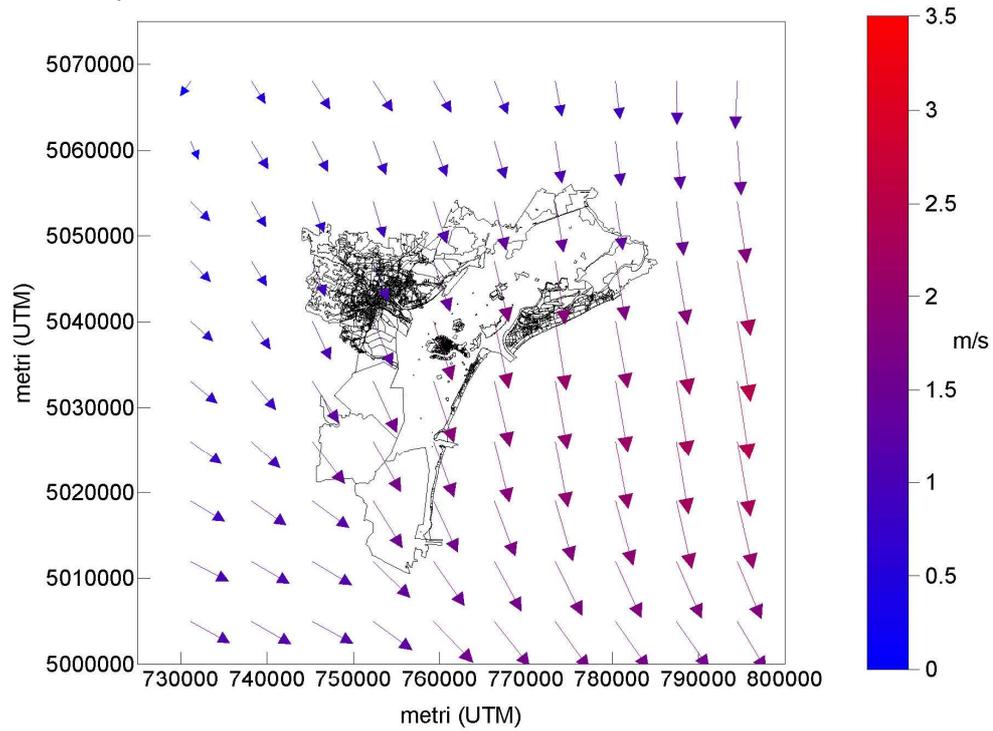
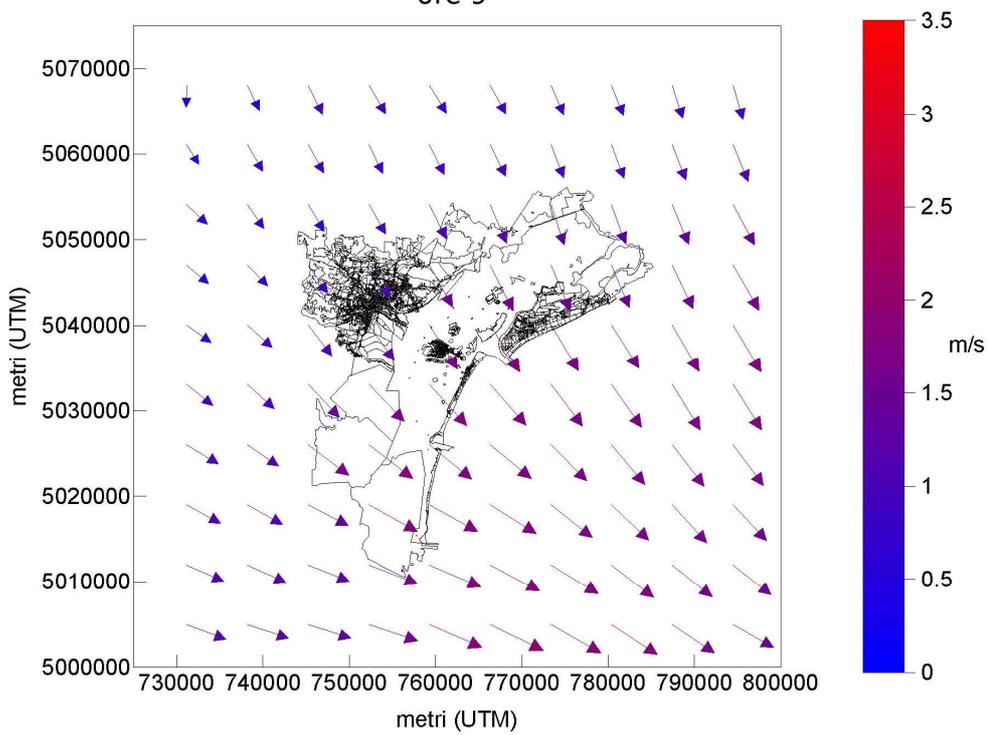


Figura 15: Venti prevalenti nello scenario tardo-autunnale di simulazione



ore 9



ore 18

Figura 16: Andamento mensile delle emissioni del porto di Venezia

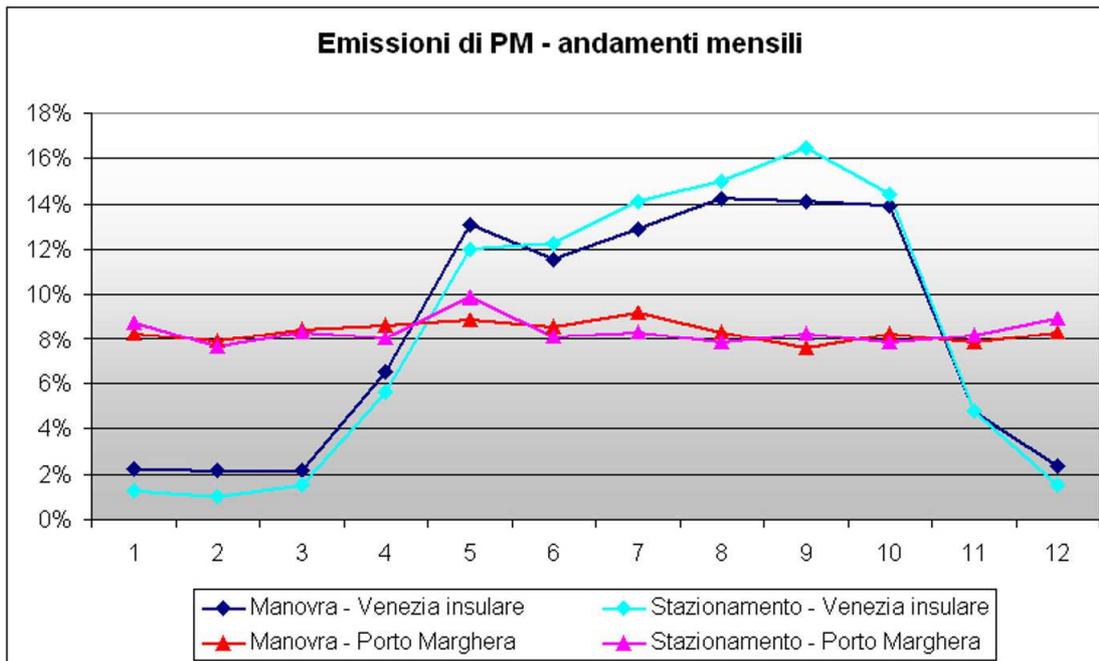
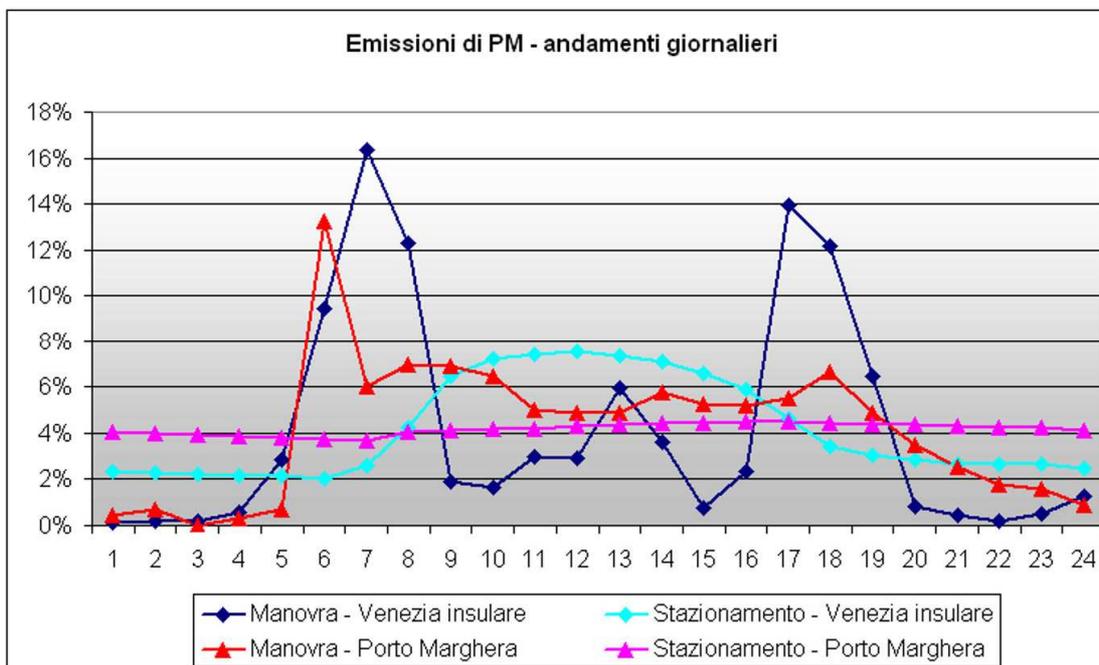


Figura 17: Andamento giornaliero delle emissioni del porto di Venezia



A titolo di esempio, nelle Figure 18 e 19 sono riportati i grafici delle emissioni di PM2.5 primario, rispettivamente nel dominio principale e nel dominio innestato. Nei grafici lo scenario attuale e futuro sono stati affiancati per rendere visibile il trend previsto tra il 2010/2011 e il 2020.

Come si può vedere, al variare della scala di indagine, i rapporti relativi tra i diversi comparti emissivi cambiano sostanzialmente. Mentre nel dominio regionale, il settore dominante è rappresentato dalla combustione di biomassa legnosa nei caminetti domestici, il più importante contributo alle emissioni di polveri primarie nel Comune di Venezia deriva dal porto. Si consideri inoltre che nell'inventario a scala locale sono quantificate solo le emissioni relative alle fasi di manovra e stazionamento, mentre in quello regionale invece sono ricomprese anche le emissioni in fase di crociera (fase di navigazione oltre le bocche di porto fino al bordo del dominio principale). Anche le emissioni dal settore di produzione dell'energia, particolarmente significative a scala locale, costituiscono solo una quota minore delle emissioni a scala regionale (aspetto di cui tener conto nella successiva valutazione del *cold ironing*).

Lo scenario 2020 è stato stimato utilizzando il sistema modellistico GAINS Italy, partendo dal database delle emissioni antropiche predisposto per il caso base. Rispetto al 2010, lo scenario futuro è caratterizzato da un forte rinnovo del parco veicolare dei trasporti su strada, con emissioni primarie da questo settore sulla scala locale praticamente dimezzate rispetto lo scenario attuale. Mentre a scala regionale si stima un decremento delle emissioni di circa il 20%, a scala comunale l'incremento delle emissioni marittime, dovute allo sviluppo del porto, così come descritto nel precedente paragrafo (e quindi in realtà non completo per quanto riguarda il nuovo terminal container e non comprensivo del terminal off-shore) e in assenza di mitigazioni, copre e supera il decremento stimato per gli altri settori.

Figura 18: Stima delle emissioni regionali di PM2.5 primario

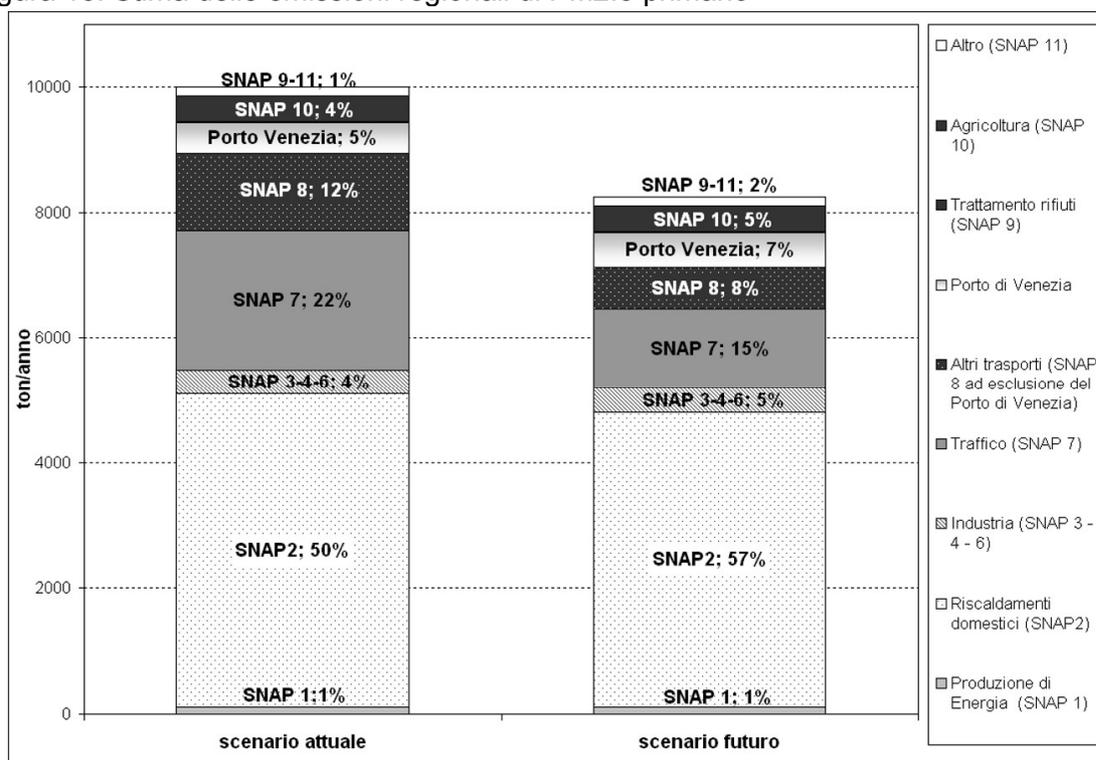
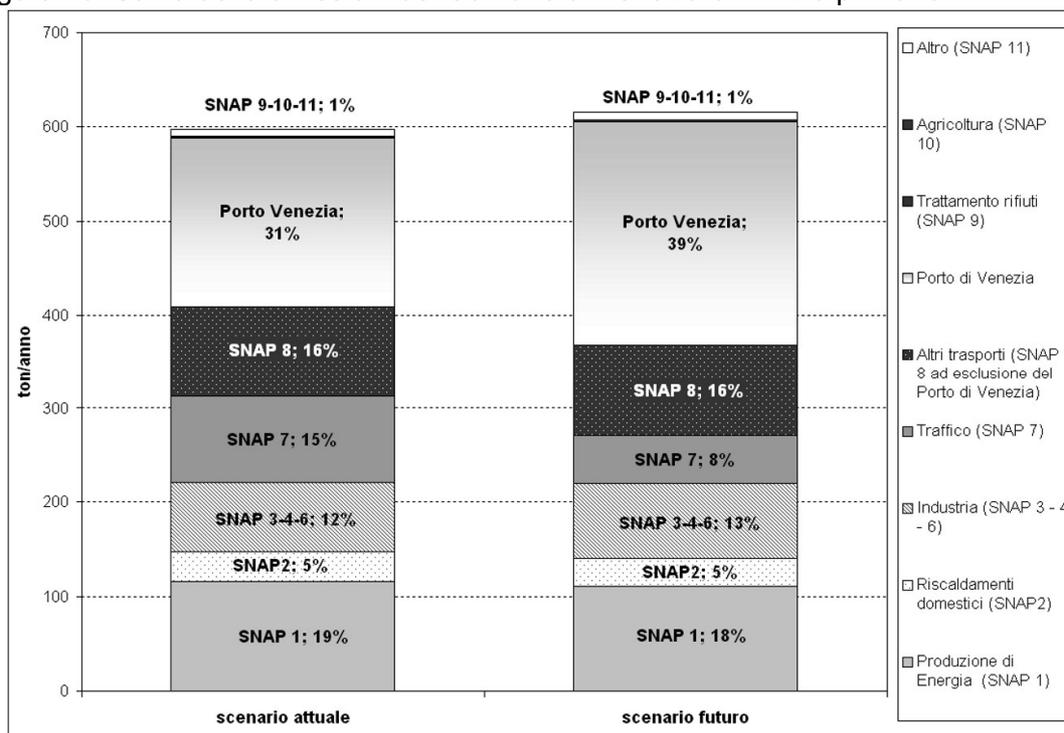


Figura 19: Stima delle emissioni del Comune di Venezia di PM2.5 primario



Oltre alle emissioni di origine antropica, sono stati considerati i seguenti fenomeni di origine naturale:

- la formazione di particolato organico secondario per condensazione di composti organici volatili e semivolatili emessi dalla vegetazione, in particolare arborea (isoprene e altri terpeni);
- il risollevarimento dalle superfici incoerenti ad opera di venti intensi;
- l'aerosol marino, anche questo veicolato dal campo di vento.

Mentre le emissioni biogeniche di COV sono fornite dall'inventario regionale INEMAR aggiornato al 2007/2008, per la stima delle emissioni di polveri di risollevarimento e sale marino sono stati implementati con il progetto APICE specifici algoritmi di calcolo che si basano sugli input meteorologici del modello CAMx.

In Figura 20 e 21 sono riportate le mappe della concentrazione media di PM2.5 dello scenario estivo (giugno-agosto 2011) e tardo-autunnale (15 novembre – 15 dicembre) per il dominio innestato.

Come si può vedere dal confronto misura/modello (i dati delle stazioni sono rappresentati in mappa con dei cerchi in cui la concentrazione media osservata è rappresentata con la stessa scala di colore della mappa) la performance del sistema modellistico risulta sostanzialmente buona, con errore medio¹³ estivo pari a -17% nel sito industriale e -7% nel sito di background, ed errore medio tardo-autunnale pari a -10% nel sito industriale e +6% in quello di background.

¹³ (Modello – Misura)/Misura.

Figura 20: Risultato della simulazione con modello fotochimico per lo scenario attuale – periodo estivo

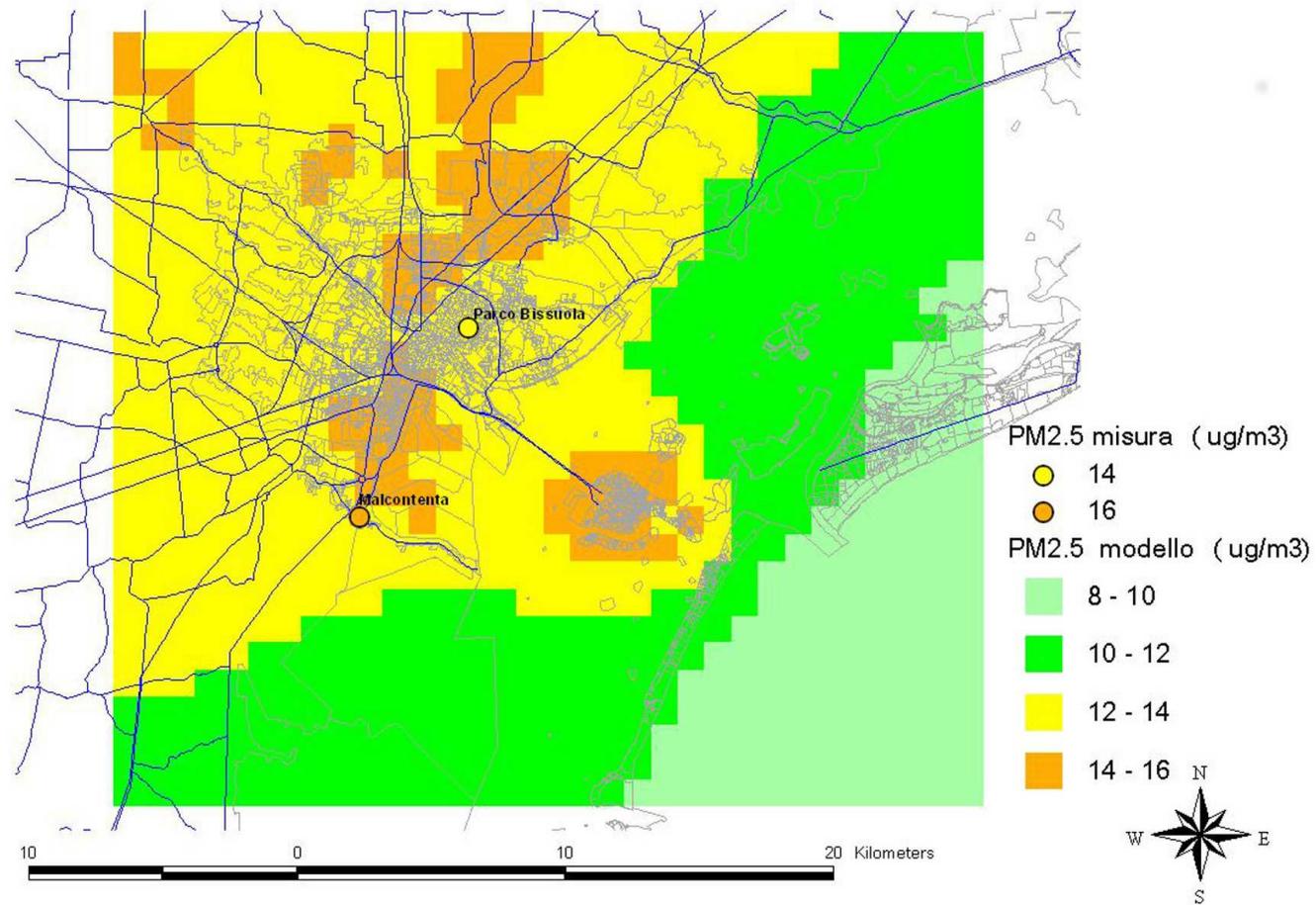
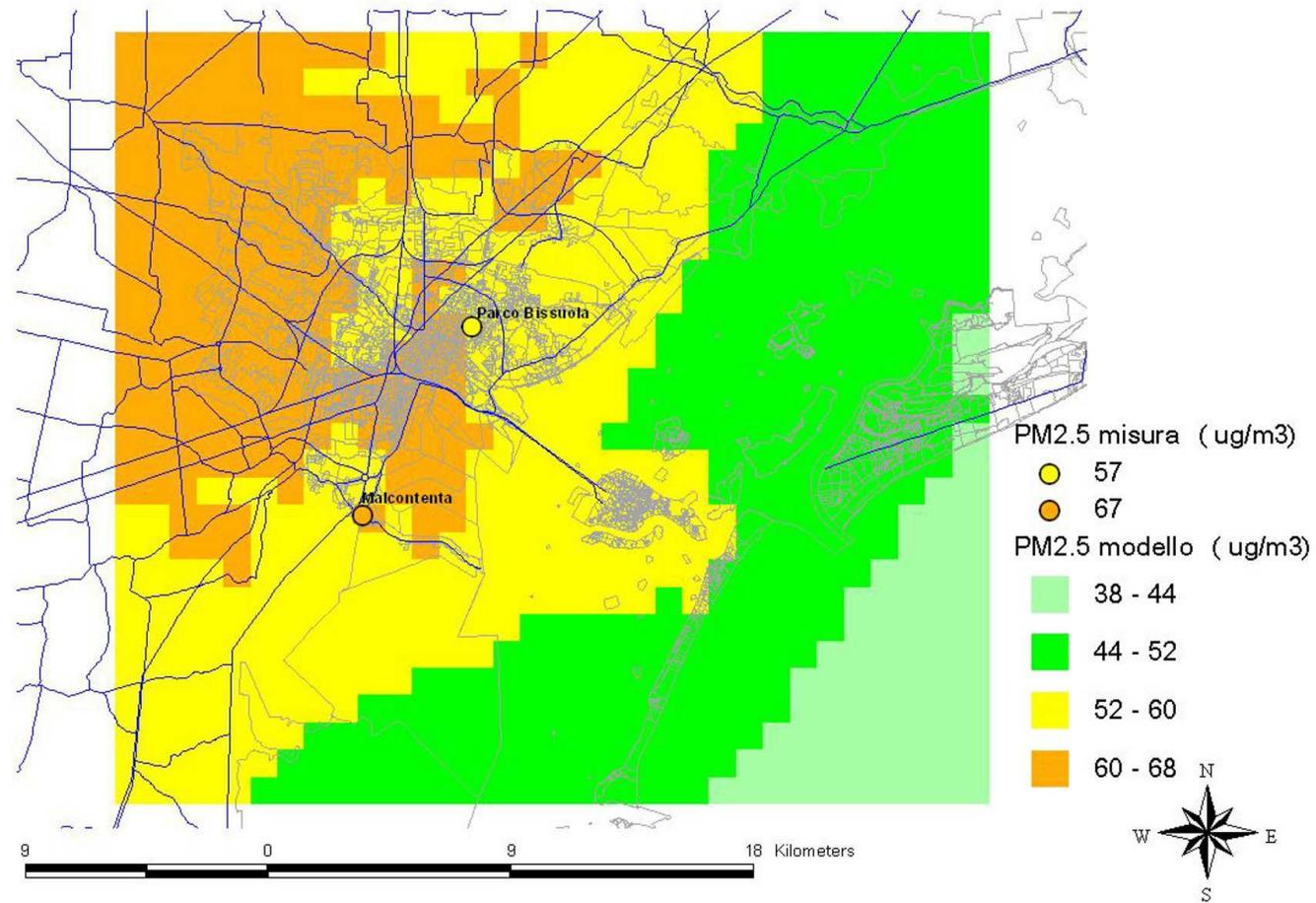


Figura 21: Risultato della simulazione con modello fotochimico per lo scenario attuale - periodo tardo-autunnale



La simulazione del periodo tardo-autunnale, più complessa a causa delle particolari condizioni meteorologiche che si instaurano nel Bacino Padano e che sono responsabili, assieme alle emissioni antropiche e alla formazione secondaria di aerosol, dei livelli particolarmente elevati delle polveri fini, è in realtà affetta da una sovrastima dei composti inorganici secondari SIA. Per tale motivo, nella valutazione del *source apportionment*, per non attribuire un peso troppo elevato alla formazione secondaria, e quindi ai settori responsabili dell'emissione dei gas precursori, la stima di tale frazione del PM2.5 è stata corretta (in base al rapporto misura/modello medio) in tutto il dominio di calcolo. In relazione al PM2.5, l'errore associato al modello quindi viene ricalcolato pari -36% per Malcontenta e -19% per Parco Bissuola, incertezza che può ritenersi comunque soddisfacente¹⁴.

La concentrazione media è il risultato della sommatoria di diversi contributi: apporti di origine biogenica, derivati dalla condensazione delle emissioni gassose di isoprene e terpeni, dal sale marino e dal risollevarimento eolico; apporti provenienti dalla zona esterna al dominio di calcolo (*boundary conditions*) e provenienti dal dominio principale esterno verso quello innestato; nonché apporti dovuti alle emissioni locali.

Il PM source Apportionment Tool (PSAT) implementato dal modello CAMx ha permesso di tracciare sia i contributi primari che secondari (a partire quindi dai gas precursori), provenienti dai diversi settori emissivi e dalle due porzioni del dominio (principale e innestato).

I gruppi emissivi considerati nel source apportionment sono:

- porto di Venezia;
- traffico (SNAP¹⁵ 7);
- industria e produzione di energia (SNAP 1, 3, 4, e 6);
- agricoltura (relativamente alle emissioni di ammoniaca, SNAP 10)
- leftover group (restante parte dello SNAP 8, compreso il porto di Chioggia e il traffico acqueo lagunare, SNAP 9 e 11).

Il peso relativo di tutti questi gruppi emissivi, suddivisi tra dominio principale e locale, sulle concentrazioni di PM2.5 viene calcolato dal modello per ogni cella del dominio di calcolo. A titolo esemplificativo nelle Figura 22 e 23 si riportano le mappe degli apporti dovuti alla sommatoria delle emissioni locali e di quelli provenienti dal resto del dominio, per lo scenario estivo.

Considerando l'area del centro storico di Venezia, il livello di PM2.5 simulato è composto da: circa 18% di polveri di origine biogenica, 12% di apporti dal resto della regione, 35% di apporti provenienti dalle *boundary conditions* e il restante 35% è legato alle fonti locali (sia di particolato primario che di gas precursori).

¹⁴ Il DLgs 155/2010 prevede come obiettivo di qualità un'incertezza della modellizzazione inferiore al 50% della media annuale per PM10 e PM2.5 (Allegato I).

¹⁵ SNAP= Selected Nomenclature for Air Pollution, nella terminologia italiana Macrosettore

Figura 22: Contributo delle emissioni locali sulla concentrazione media di PM2.5 - scenario attuale - periodo estivo

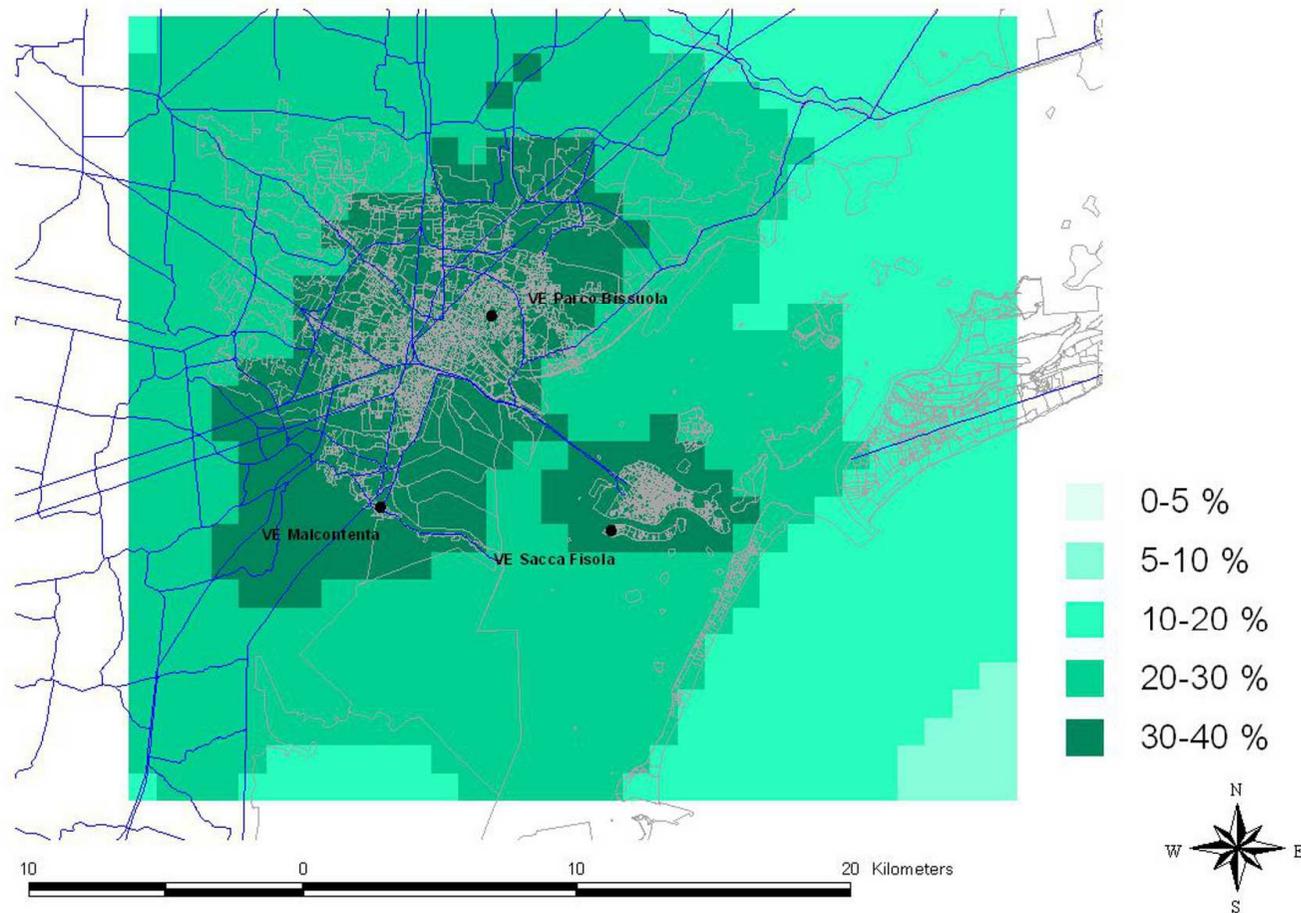
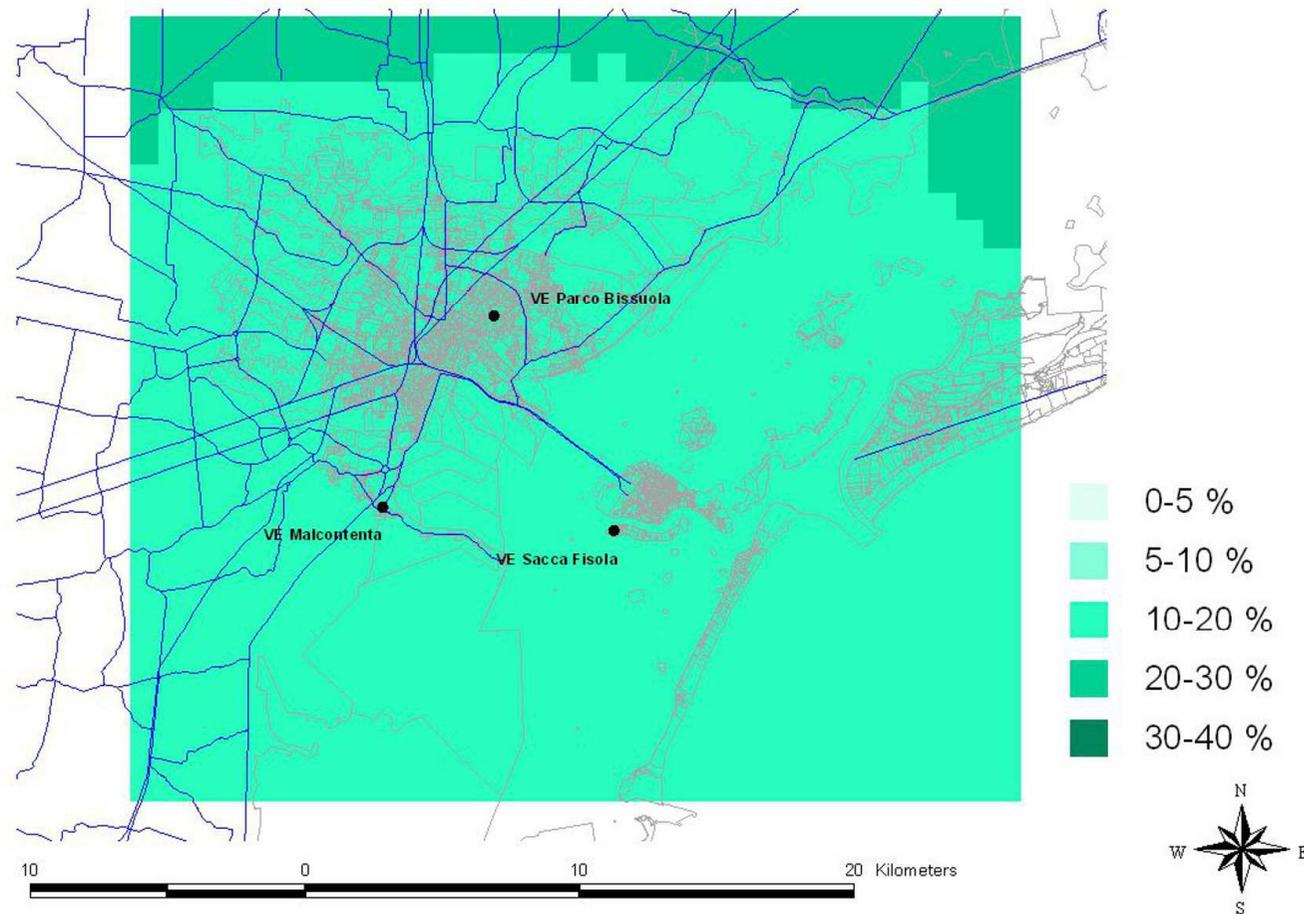


Figura 23: Contributo delle emissioni dal resto della regione sulla concentrazione media di PM2.5 - scenario attuale - periodo estivo



In Figura 24 si riporta il risultato del source apportionment stimato con CAMx per le 3 stazioni di misura (suddiviso solo per settore emissivo e non per area di provenienza delle emissioni) mentre nella mappa di Figura 25 è rappresentato l'andamento spaziale del contributo medio del porto nello scenario estivo.

L'influenza delle attività portuali sulle concentrazioni di PM_{2.5} estive nel centro storico e di gran parte della terraferma è compresa tra il 5 ed l'8%, con massimi localizzati al Tronchetto e alla punta occidentale della Giudecca e nelle aree di Malcontenta e di Marghera più vicine alla zona industriale. Il peso del porto sulle concentrazioni di PM_{2.5} raggiunge il suo massimo proprio all'interno dell'area industriale, in prossimità degli approdi del porto commerciale/industriale, dove raggiunge valori attorno al 15%.

Completamente diverso invece è lo scenario tardo-autunnale in cui, si ricorda, i venti spirano prevalentemente da NO, incrementando l'influenza delle emissioni regionali sulle concentrazioni stimate per l'area urbana veneziana. Analogamente al caso estivo, in Figura 26 e 27 si riportano le mappe relative alla suddivisione delle concentrazioni di PM_{2.5} stimate dal modello, nei contributi derivanti dalle emissioni antropiche rispettivamente interne ed esterne al dominio innestato.

Nello scenario tardo-autunnale i valori di concentrazione medi sono decisamente più elevati rispetto allo scenario estivo, e il *source apportionment* evidenzia il consistente influsso delle emissioni da riscaldamenti domestici (sia primario, derivato dalla combustione di biomassa, che secondario, derivato dagli ossidi di azoto emessi da tutte gli impianti di riscaldamento) che arrivano a contare più del 30% delle concentrazioni di polveri sottili (il cui 70 - 80% deriva dai contributi regionali).

Figura 24: Source Apportionment con modello fotochimico – scenario attuale - periodo estivo

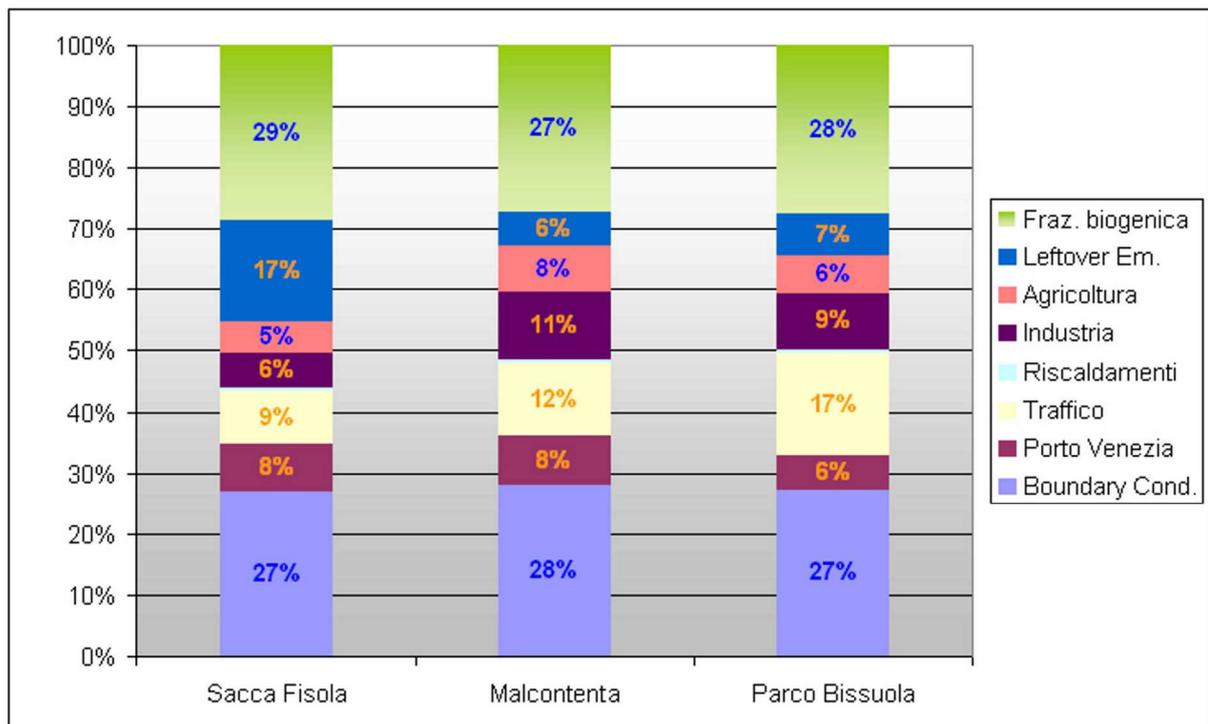


Figura 25: Contributo medio del porto di Venezia sulla concentrazione di PM2.5 – scenario attuale - periodo estivo

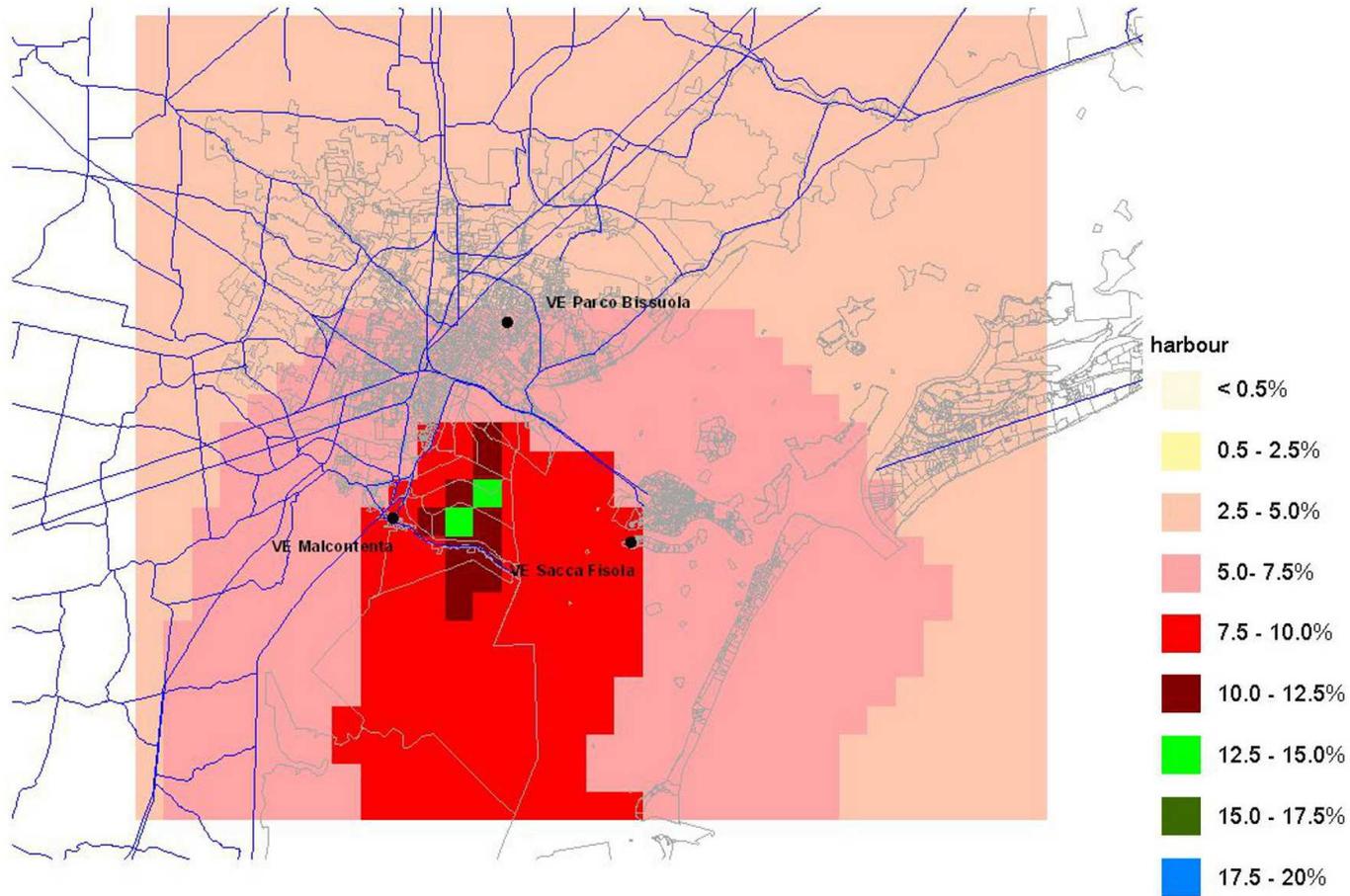


Figura 26: Contributo delle emissioni locali sulla concentrazione media di PM2.5 - scenario attuale - periodo tardo-autunnale

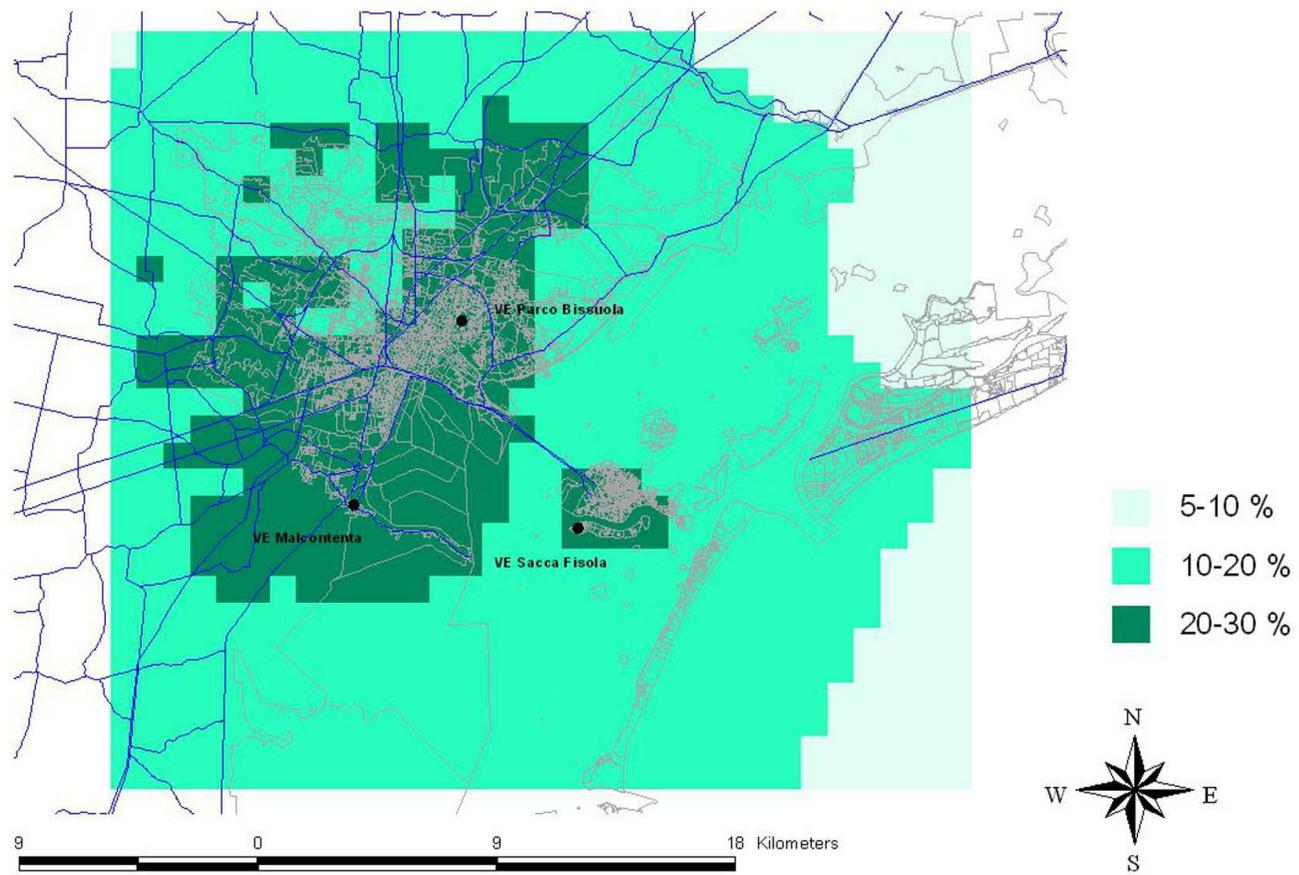
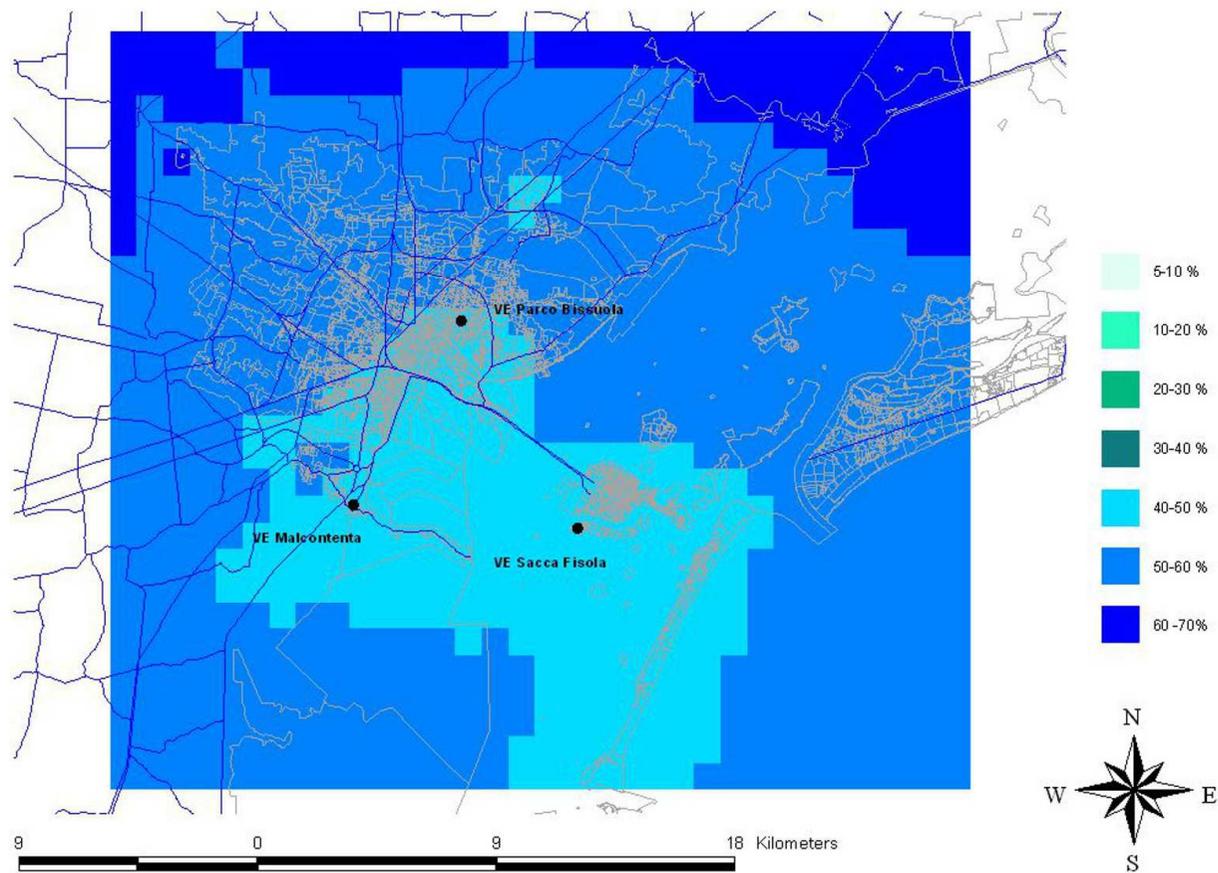


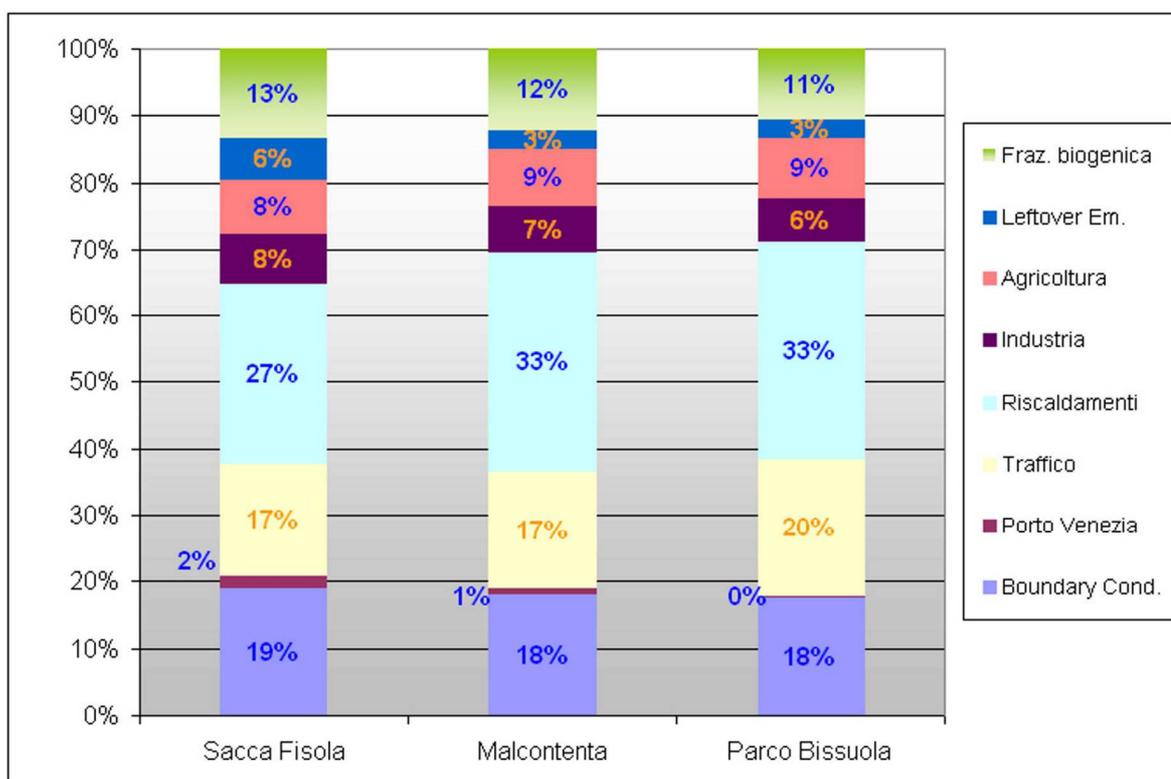
Figura 27: Contributo delle emissioni dal resto della regione sulla concentrazione media di PM2.5 - scenario attuale - periodo tardo-autunnale



Considerando il centro storico, in questo scenario la frazione biogenica delle polveri sottili ammonta a circa il 12%, mentre il contributo proveniente dalle *boundary condition* è circa il 17%. Gli apporti delle emissioni locali si abbassano al 21%, mentre l'influenza delle emissioni regionali esterne al dominio innestato il 50% della concentrazione delle polveri stimate dal modello. In questo periodo, in cui per altro sono minime le emissioni del porto "turistico" (rappresentate cioè dalle navi passeggeri che entrano dalla bocca di Lido e approdano alle banchine situate nel centro storico), il contributo delle emissioni navali si riduce al 1-2% nell'area del centro storico e al 4% nell'area di Porto Marghera.

Il *source apportionment* dello scenario tardo-autunnale è riportato per le 3 stazioni di misura in Figura 28, mentre la mappa relativa al contributo delle emissioni navali nel periodo freddo è riportata in Figura 29.

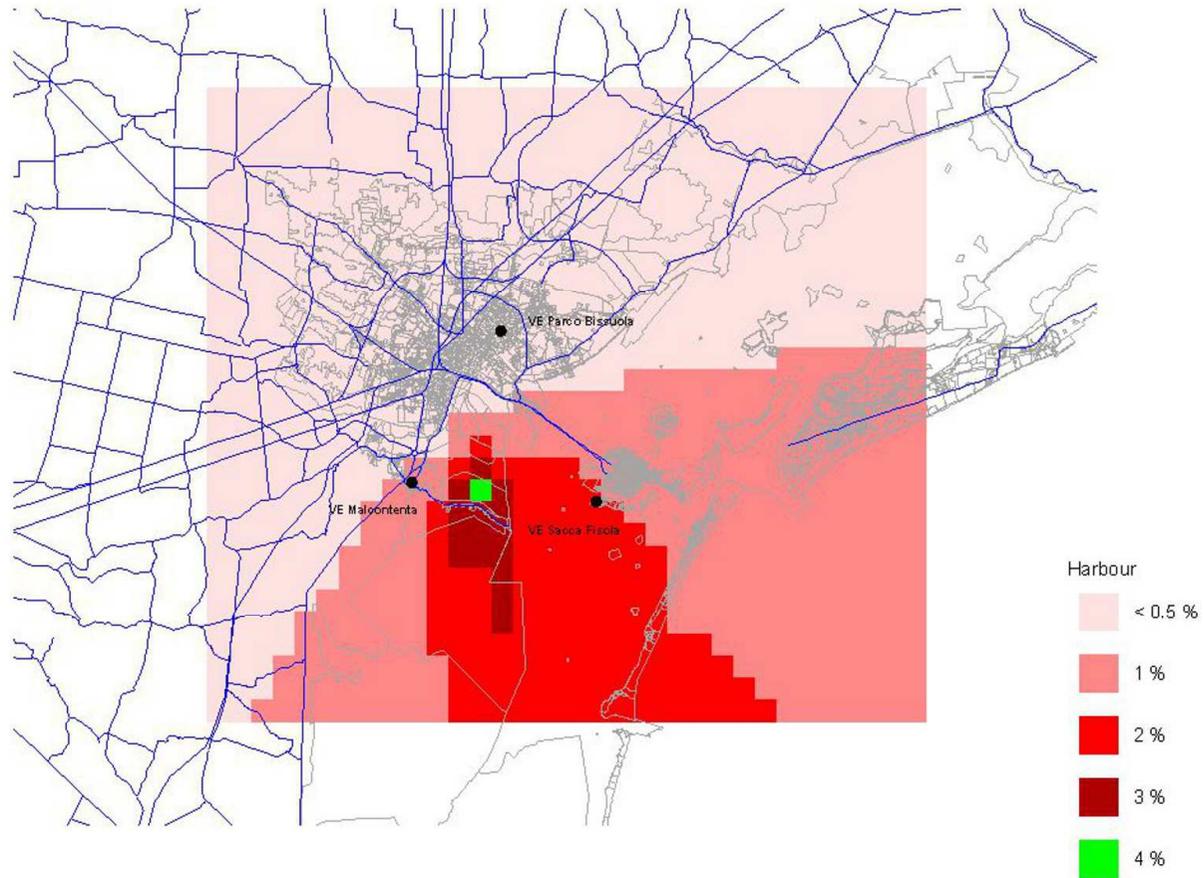
Figura 28: Source Apportionment con modello fotochimico – scenario attuale - periodo tardo-autunnale



Nelle mappe e nei grafici fin'ora presentati, sono stati riportati i valori di incidenza del contributo portuale mediati nel periodo di simulazione.

In realtà tale contributo mostra un andamento orario altamente fluttuante; a titolo di esempio in Figura 30 si riportano i valori orari stimati per il sito di Sacca Fisola del peso relativo del porto sulla concentrazione di PM2.5.

Figura 29: Contributo medio del porto di Venezia sulla concentrazione di PM2.5 – scenario attuale - periodo tardo-autunnale



Contributi superiori al 20% sono frequenti nel periodo estivo, ma anche nello scenario tardo-autunnale si possono verificare picchi in cui il porto si stima influisca più del 10% sulle concentrazioni orarie delle polveri fini.

Il peso del porto: conclusioni e confronto con le altre pilot area per lo scenario attuale

L'influenza del porto valutata con le due metodologie porta a risultati non del tutto consistenti. Mentre il modello a recettore indica che mediamente nell'anno nell'area veneziana tra il 10 ed il 17% delle polveri sottili presenti in atmosfera deriva dalla combustione di oli pesanti, il modello CAMx, pur rilevando, in alcune aree del dominio ed in relazione a determinate condizioni meteorologiche ed emissive, situazioni in cui alle emissioni navali sono attribuite quote consistenti del PM2.5, mediamente attribuisce al porto un contributo sostanzialmente inferiore.

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 infatti solo un decimo dell'olio combustibile è utilizzato dalle navi, ma ad esse corrispondono più della metà delle emissioni annue di PM2.5 e PM10 derivanti dalla combustione di oli pesanti. Questo perché rispetto alle sorgenti industriali, le navi non presentano attualmente alcuna tecnologia di abbattimento.

Entrambi i metodi comunque verificano un'importante differenza tra lo scenario estivo ed tardo-autunnale, correlata ai flussi delle navi turistiche e da crociera. Il contributo del porto è per lo scenario attuale in controtendenza rispetto agli andamenti del PM2.5 e del PM10, che mostrano concentrazioni molto al di sopra dei limiti solo nei semestri freddi.

Nei grafici seguenti si mostra il confronto con le altre pilot area, sia per quanto riguarda il peso dei porti individuato dai modelli a recettore (Figura 31) che dai modelli fotochimici (Chemical Transport Model o CTM, Figura 32).

I 5 porti coinvolti nel progetto presentano caratteristiche anche molto diverse tra loro: le condizioni di qualità dell'aria e meteorologiche, le emissioni regionali e locali, nonché i volumi di traffico navale. Ciò nonostante in particolare per quanto riguarda i modelli fotochimici, l'impatto delle emissioni navali sulle concentrazioni di polveri 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. Il confronto dei risultati dei modelli a recettore mostra un quadro più variegato, in dipendenza del fatto che i database di traccianti utilizzati per l'implementazione di tali modelli è diverso tra città a città, così come le metodiche analitiche utilizzate per la loro determinazione su PM2.5 e PM10.

Lo scenario futuro senza mitigazioni

Per quanto riguarda lo scenario 2020, in Figura 33 è rappresentata la mappa delle concentrazioni ottenute in assenza di mitigazioni. Lo scenario futuro è stato calcolato per un solo mese estivo (luglio), ritenuto più interessante nella valutazione del contributo del porto.

Il *source apportionment* relativo al 2020 per le 3 stazioni di misura è invece riportato Figura 34, da cui emerge oltre ad un significativo decremento dell'incidenza delle emissioni da traffico un leggero aumento del peso relativo delle attività portuali. Questo costituisce lo scenario base rispetto al quale sono successivamente valutate le azioni di mitigazione.

Figura 31: Source apportionment dei 5 porti – stima con modello recettore

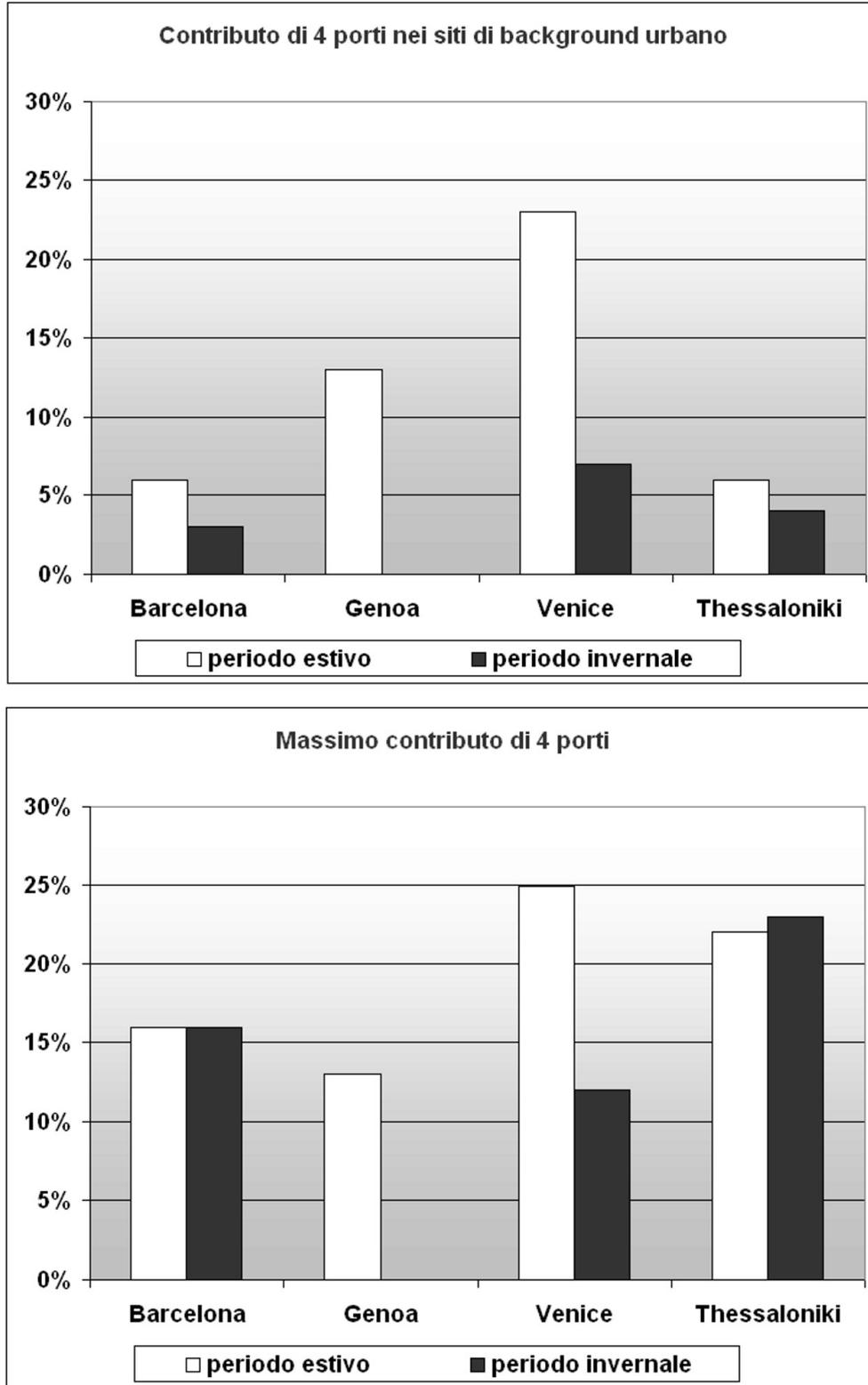


Figura 32: Source apportionment dei 5 porti – stima con CTM

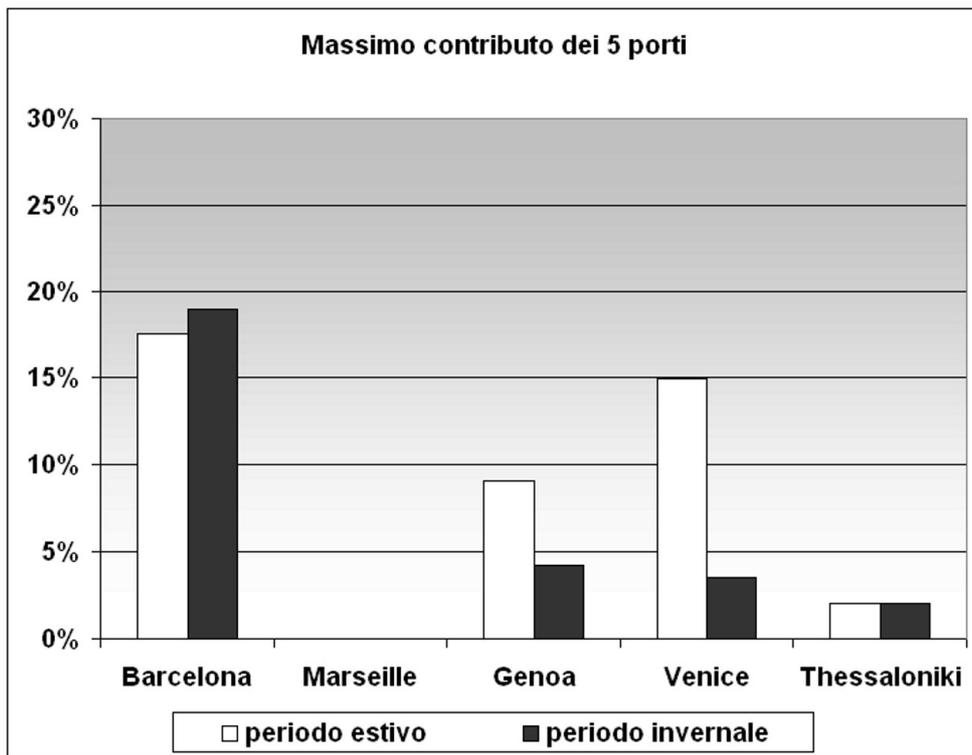
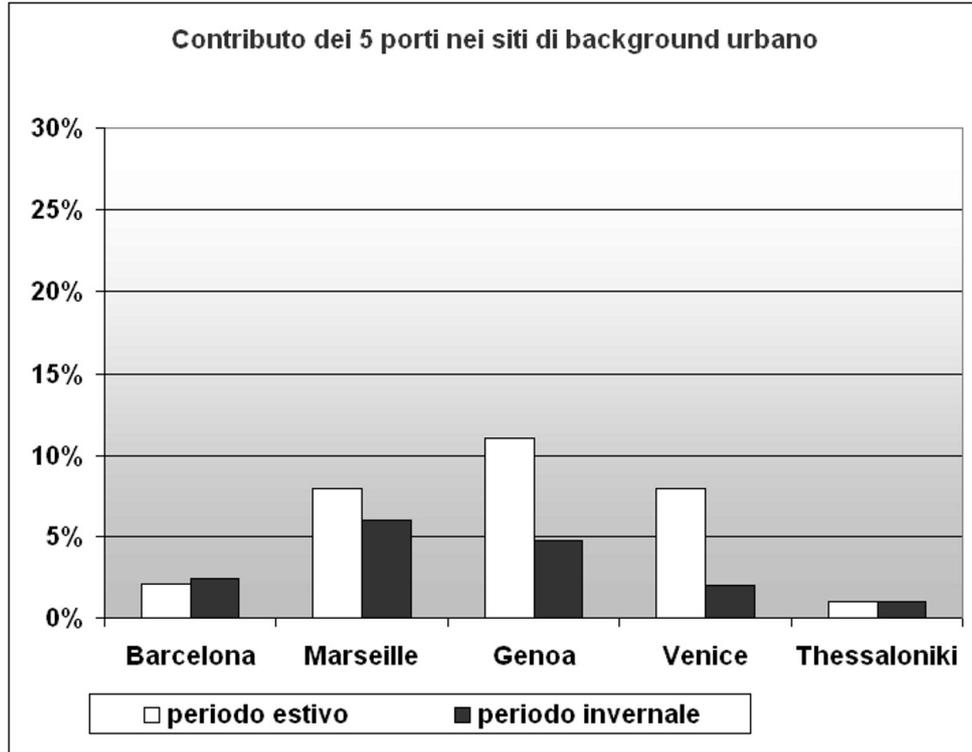


Figura 33: Risultato della simulazione con modello fotochimico per lo scenario futuro senza mitigazioni – periodo estivo

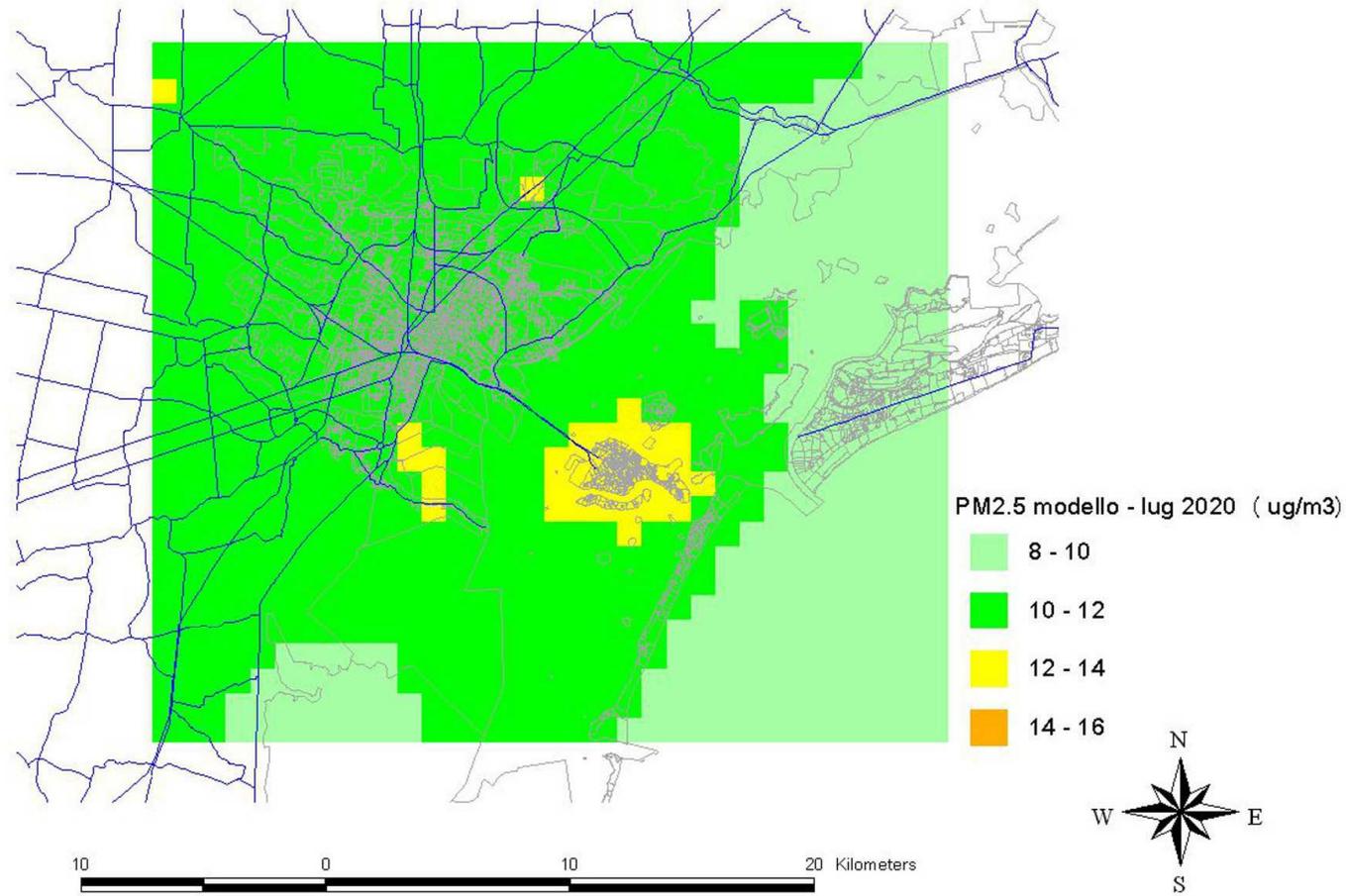
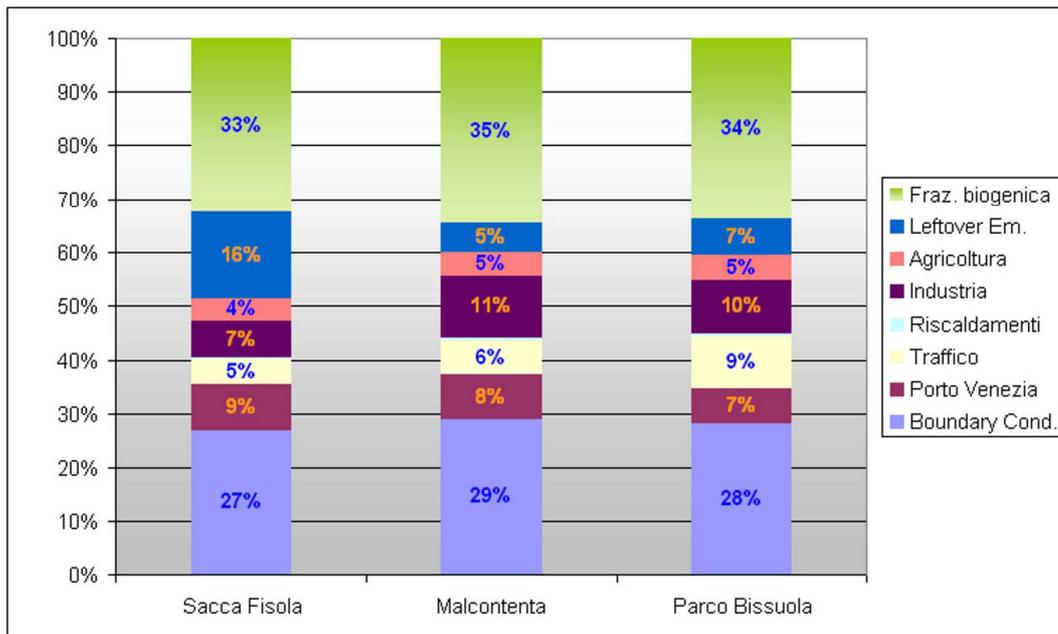


Figura 34: Source Apportionment con modello fotochimico – scenario futuro - periodo estivo



6. Gli scenari di mitigazione

Gli interventi di mitigazione di seguito descritti sono emersi come ipotesi di lavoro nelle discussioni del tavolo locale di APICE, a cui hanno partecipato, sotto la regia della Regione Veneto, l'Autorità Portuale di Venezia, il Comune di Venezia e ARPAV.

Alla componente scientifica del progetto, e dunque nel caso veneziano ad ARPAV, è stato affidato il compito di verificare l'efficacia di tali interventi in termini di riduzione delle emissioni (quantificazione dello scenario emissivo con mitigazioni) e in termini di riduzione delle concentrazioni (simulazione con il modello fotochimico di tale scenario).

Questa analisi di scenario è stata sviluppata per l'orizzonte temporale di sviluppo del porto al 2020, a prescindere quindi da specifiche tempistiche necessarie per la realizzazione di eventuali infrastrutture necessarie.

Le ipotesi discusse riguardano essenzialmente due tipi di interventi:

- la riduzione delle emissioni in fase di manovra, mediante l'utilizzo di combustibili con fattori di emissione più bassi rispetto al caso attuale o mediante l'utilizzo di opportuni dispositivi di trattamento dei fumi (scrubbers);
- la riduzione delle emissioni in fase di stazionamento mediante alimentazione elettrica delle navi all'ormeggio (cold ironing) o mediante l'utilizzo di scrubbers.

L'utilizzo di dispositivi per il trattamento dei fumi pur essendo un'azione sicuramente interessante per la matrice aria, presenta alcune incertezze legate agli eventuali impatti sulla matrice acqua in un ambiente di transizione quale quello lagunare. In commercio esistono molti tipi di scrubbers, i più comuni dei quali utilizzano acqua di mare per il lavaggio dei fumi ed il conseguente abbattimento di polveri e SOx. Mentre l'utilizzo di questi dispositivi in fase di navigazione e manovra risulterebbe a carico delle compagnie navali, che possono applicarli per rientrare nei limiti previsti dalla normativa al 2020 o eventualmente per l'eventuale adesione ad accordi volontari per l'ulteriori diminuzioni delle emissioni, la messa a punto di "scrubbers portuali" da utilizzarsi quindi in fase di stazionamento è stata prima proposta nella discussione del tavolo locale ma successivamente valutata non realizzabile dai tecnici di VTP. Per tale motivo e per la mancanza di precise informazioni tecniche e di fattibilità, nonché di una valutazione certa degli impatti sulle altre matrici (acqua e rumore in primis), si è ritenuto, in fase di definizione degli scenari di mitigazione da approfondire, di non indagare in modo specifico su questo tipo di intervento.

Sia la misura che riguarda l'utilizzo in fase di manovra di combustibili a minor impatto, che l'elettrificazione delle banchine sono stati analizzati con particolare riferimento alle navi passeggeri transitanti dalla Bocca di Porto di Lido e dirette ai terminal di Venezia insulare, tra cui le grandi navi da crociera. Si ricorda per altro che nello scenario 2020 i traghetti (merci e passeggeri) saranno deviati lungo la rotta che transita da Malamocco verso il terminal di Fusina (e quindi non sono compresi nelle azioni di mitigazione previste con il progetto APICE).

Di seguito si presenta una breve descrizione delle misure di contenimento considerate, i cui effetti sulle emissioni sono riassunti in Tabella 3.

Navi passeggeri da bocca di Lido con combustibili con tenore di zolfo non superiori allo 0.1%

Il primo intervento di mitigazione valutato considera l'edizione di un nuovo accordo volontario che impegnerebbe le navi passeggeri in transito dalla bocca di Lido, all'uso di combustibili con tenore di zolfo non superiori allo 0.1% anche in fase di manovra. In analogia con il precedente accordo Blue Flag siglato nel 2008 dalle compagnie crocieristiche con scalo a Venezia, l'accordo

coinvolgerebbe essenzialmente le navi da crociera, a cui si sommerebbero i traffici meno consistenti di navi passeggeri non rilocati a Fusina. Dallo scenario restano esclusi invece i transiti delle navi non passeggeri per Venezia insulare.

Tabella 3 Scenari al 2020; Emissioni annue (Mg) e variazioni percentuali.

| Scenari | CO | COV | NOX | PM10 | PM25 | SO ₂ |
|------------------------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-----------------|
| 2020 senza mitigaz | 574 | 258 | 3783 | 237 | 237 | 311 |
| variazione rispetto 2011 | 53% | 38% | 31% | 35% | 35% | -42% |
| A. ipotesi di Blue flag II | 572 | 258 | 3769 | 220 | 220 | 263 |
| variazione rispetto 2020 | 0% | 0% | 0% | -7% | -7% | -15% |
| variazione rispetto 2011 | 52% | 38% | 30% | 25% | 25% | -51% |
| B. cold ironing a 6195 ore | 543 | 247 | 3536 | 231 | 230 | 323 |
| variazione rispetto 2020 | -5% | -4% | -7% | -3% | -3% | 4% |
| variazione rispetto 2011 | 44% | 32% | 22% | 31% | 31% | -40% |
| C. cold ironing a 1500 ore | 912 | 295 | 3990 | 237 | 237 | 309 |
| variazione rispetto 2020 | 59% | 14% | 5% | 0% | 0% | -1% |
| variazione rispetto 2011 | 143% | 57% | 38% | 34% | 34% | -42% |
| D. scenario combinato A + B | 541 | 247 | 3522 | 214 | 213 | 275 |
| variazione rispetto 2020 | -6% | -4% | -7% | -10% | -10% | -12% |
| variazione rispetto 2011 | 44% | 32% | 22% | 21% | 21% | -49% |

Le navi passeggeri entranti dalla bocca di porto di Lido si dovrebbero perciò adeguare ad utilizzare anche in manovra combustibili con tenore di zolfo non superiori allo 0.1% S, come avviene già di fatto per lo stazionamento. Il rispetto di tale limite potrebbe essere ottenuto, non solo con il passaggio da olio pesante ai distillati (MDO/MGO), ma anche con l'utilizzo di scrubbers.

Nel calcolo dello scenario emissivo, a scopo cautelativo, è stato però considerato il solo utilizzo di MDO/MGO sia in manovra che in stazionamento, senza dunque considerare una più rilevante diminuzione di polveri che potrebbe essere associata all'utilizzo di scrubber.

La variazione tra scenario 2020 senza mitigazioni e scenario 2020 con applicazione del limite allo 0.1 S per la manovra delle navi passeggeri via Lido, per le emissioni totali del Porto in fase di manovra e stazionamento, risulta significativa per polveri ed SO₂, rispettivamente -7.5% e -16%, mentre l'effetto è trascurabile per gli altri inquinanti.

La fattibilità di una misura che implichi un cambio di combustibile nel passaggio dalla manovra alla navigazione va comunque approfondita per le questioni di sicurezza di navigazione. Qualora il raggiungimento del limite di 0.1% S fosse perseguito con l'utilizzo di scrubber, è necessario porre adeguata attenzione sul tipo di soluzione tecnologica adottata per limitare gli impatti sull'ecosistema lagunare. Un vantaggio comunque nell'utilizzo di scrubber potrebbe risiedere nella possibilità di abbattimento degli NO_x, a seconda del dispositivo utilizzato.

Interventi di elettrificazione della banchina per il contenimento delle emissioni in fase di stazionamento (cold ironing)

Potenzialmente lo spegnimento delle emissioni in fase di stazionamento rappresenta una delle azioni più significative in termini di contenimento delle emissioni, specie se la produzione di

energia necessaria alle navi in banchina viene fornita mediante combustibili più puliti o con l'utilizzo di importanti sistemi di abbattimento delle emissioni.

I costi di implementazione nonché la fattibilità tecnica ed economica però sono aspetti tali da rendere non verosimili scenari di implementazione del cold ironing che non siano preventivamente valutati nel contesto reale di cui vengono previsti.

Per tale motivo si è scelto di valutare i due scenari già predisposti e analizzati da APV e VTP Engineering, entrambi riferiti esclusivamente all'elettrificazione delle banchine della Marittima per lo stazionamento delle grandi navi passeggeri (navi crociera).

1. Cold ironing APV (6195 ore di alimentazione elettrica alla banchina)

L'utilizzo dell'alimentazione elettrica da terra è stata previsto per quattro ormeggi della Marittima per un monte ore annuale pari a 6195 ore, con approvvigionamento di circa 55.000 MWh dalla centrale termoelettrica di Fusina, come descritto nello studio di fattibilità messo a disposizione nel tavolo di lavoro di APICE (APV, 2011). Il monte ore di 6195 è stato calcolato nello studio di fattibilità considerando una non totale copertura delle 6900 ore di ormeggio delle grandi navi, a causa delle fasi di accensione e spegnimento e della presenza di navi in eccedenza rispetto alle 4 che verrebbero attraccate agli ormeggi elettrificati. Per ricavare l'incremento emissivo dovuto al surplus di produzione elettrica, è stata considerata l'emissione media per MWh di energia prodotta dalla centrale termoelettrica a carbone Andrea Palladio di Fusina, secondo il mix di combustibili utilizzato nell'anno 201016.

Al nuovo computo delle emissioni per il stazionamento delle navi in transito dalla bocca di Lido, secondo le ipotesi esposte, riportato in Tabella 3, deve quindi essere sommato un incremento di emissioni dalla centrale di Fusina indicativamente pari a circa 30 tonnellate di NOx, 20 tonnellate di SO2 e 2 tonnellate di PM10 (1 tonnellata per PM2.5).

Rispetto allo scenario 2020 senza mitigazione l'effetto di questa misura, comprensivo dell'incremento delle emissioni stimate per la centrale termoelettrica, consiste in un decremento del 6.5% di NOx e inferiore al 3% per le polveri. A questo effetto positivo corrisponde però, per la misura presa singolarmente, un incremento di quasi il 4% di SO2 (dovuto ai fattori di emissione del carbone).

2. Cold ironing progetto VTP (alimentazione elettrica per 1500 ore da centrale di cogenerazione)

Nel documento sintetico relativo al progetto di cold ironing sviluppato da VTP Engineering (VTP Engineering) l'alimentazione elettrica per le grandi navi che stazionano presso una delle banchine della Marittima è ipotizzata per 1500 ore annuali, mediante una centrale di cogenerazione elettrico/termico costituita da 3 motori stazionari che rispettano lo standard IMO Tier III, alimentati a gas naturale o biogas. Il funzionamento di tale centrale è pensato essere principalmente focalizzato alla produzione elettrica da immettere nella rete (circa 3000 ore, dimensionato sulla domanda energetica attuale) per un totale di 4500 ore all'anno. La fornitura di teleriscaldamento/teleraffrescamento, indicata nel progetto come potenzialità, non è stata considerata nello scenario qui presentato, non essendoci sufficienti informazioni sia relativamente all'applicabilità sia al potenziale risparmio di emissioni del settore civile (domestico e/o commerciale).

¹⁶ La centrale è autorizzata ad utilizzare anche CDR.

I fattori di emissione per i motori stazionari sono stati ricavati dalla metodologia CORINAIR per motori stazionari a metano (NRF 1.A.1.a gas fuel stationary engines, Guidebook 2009), sui quali è stato considerato un ulteriore decremento dei fattori di emissione di NOx, in quanto, secondo le specifiche tecniche del progetto, i motori progettati dovrebbero rispettare lo standard IMO Tier III dell'allegato VI della MARPOL.

In questo caso, al computo delle emissioni in fase di stazionamento per le navi in transito via Lido (v. Tabella 3), devono essere sommate le emissioni relative alla centrale di cogenerazione funzionante 4500 ore: circa 350 tonnellate di CO, 50 tonnellate di COV, 270 tonnellate NOx e 1 tonnellate di PM2.5, mentre le emissioni di SO2 da combustione di metano sono nulle.

Rispetto allo scenario 2020 senza mitigazione l'effetto di questa misura, comprensivo dell'incremento delle emissioni stimate per la centrale di cogenerazione, consiste in un decremento di pari all'1% circa per PM ed SO2 e 2% per NOx; risulta quindi avere un effetto significativamente più contenuto rispetto al progetto di cold ironing a 6195 ore sviluppato da APV (decremento del 6.5% di NOx, 3% per PM10, ma incremento del 4% di SO2).

Per rendere interessante da un punto di vista ambientale questo progetto si dovrebbe dunque non solo essere quantificare in modo più circostanziato il teleriscaldamento, ma anche incrementare il monte ore annuale di cold ironing fornito.

Scenario di mitigazione combinato: Cold ironing APV e combustibile in manovra con limite 0.1% di S per navi passeggeri Via Lido

Dal calcolo dei decrementi emissivi per i singoli interventi si è passati alla costruzione di uno scenario di mitigazione composto dalla misura di riduzione delle emissioni in fase di manovra e dalla misura di contenimento delle emissioni in fase di stazionamento più significativa (cold ironing per 4 banchine del terminal Marittima).

L'effetto complessivo di tale scenario, che si applica sempre soltanto alle navi entranti da Lido e dirette ai terminal del centro storico, comprendendo l'emissione aggiuntiva della centrale a carbone è pari ad una riduzione di circa il 10% del PM, il 12% di SO2 e del 7% dell'NOx, rispetto allo scenario di proiezione al 2020 senza mitigazioni.

In Figura 35 è rappresentata la variazione tra lo scenario 2020 con mitigazioni rispetto allo scenario 2020 di sviluppo, con riferimento sia ai soli approdi di Venezia centro storico, sia al totale delle emissioni portuali. La riduzione risulta particolarmente intensa considerando solo la fase di manovra dei terminal di Venezia insulare, con riduzioni fino ad oltre il 70% dell'SO2 e a quasi il 40% del PM, mentre l'effetto è sensibilmente più basso se si considera il porto nel suo complesso (come sopra indicato).

Con questa mitigazione l'incremento delle emissioni dal 2011 al 2020 viene contenuto di circa il 10%, passando da un incremento sia per NOx che PM del 30% ad un incremento di circa il 20%.

Questo scenario è stato indagato per un solo mese estivo con il modello fotochimico. I risultati della simulazione sono presentati nella mappa di Figura 36, in termini di variazione percentuale delle concentrazioni tra lo scenario 2020 con e senza mitigazioni. Come si può vedere il decremento medio delle concentrazioni di PM2.5 risulta attorno all'1% ed interessa in particolare il centro storico. Si osserva che complessivamente nessuno degli interventi di mitigazione ipotizzato consente di contenere l'effetto dovuto all'incremento dello sviluppo portuale previsto al 2020.

Figura 35: Variazione delle emissioni stimata per lo scenario di mitigazione

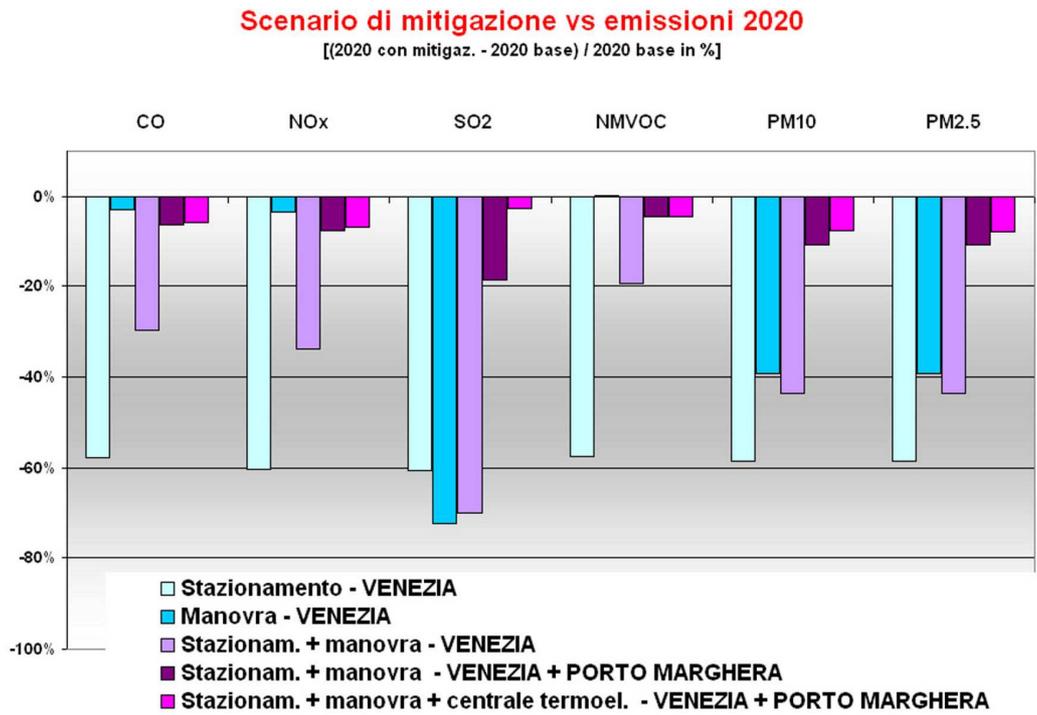
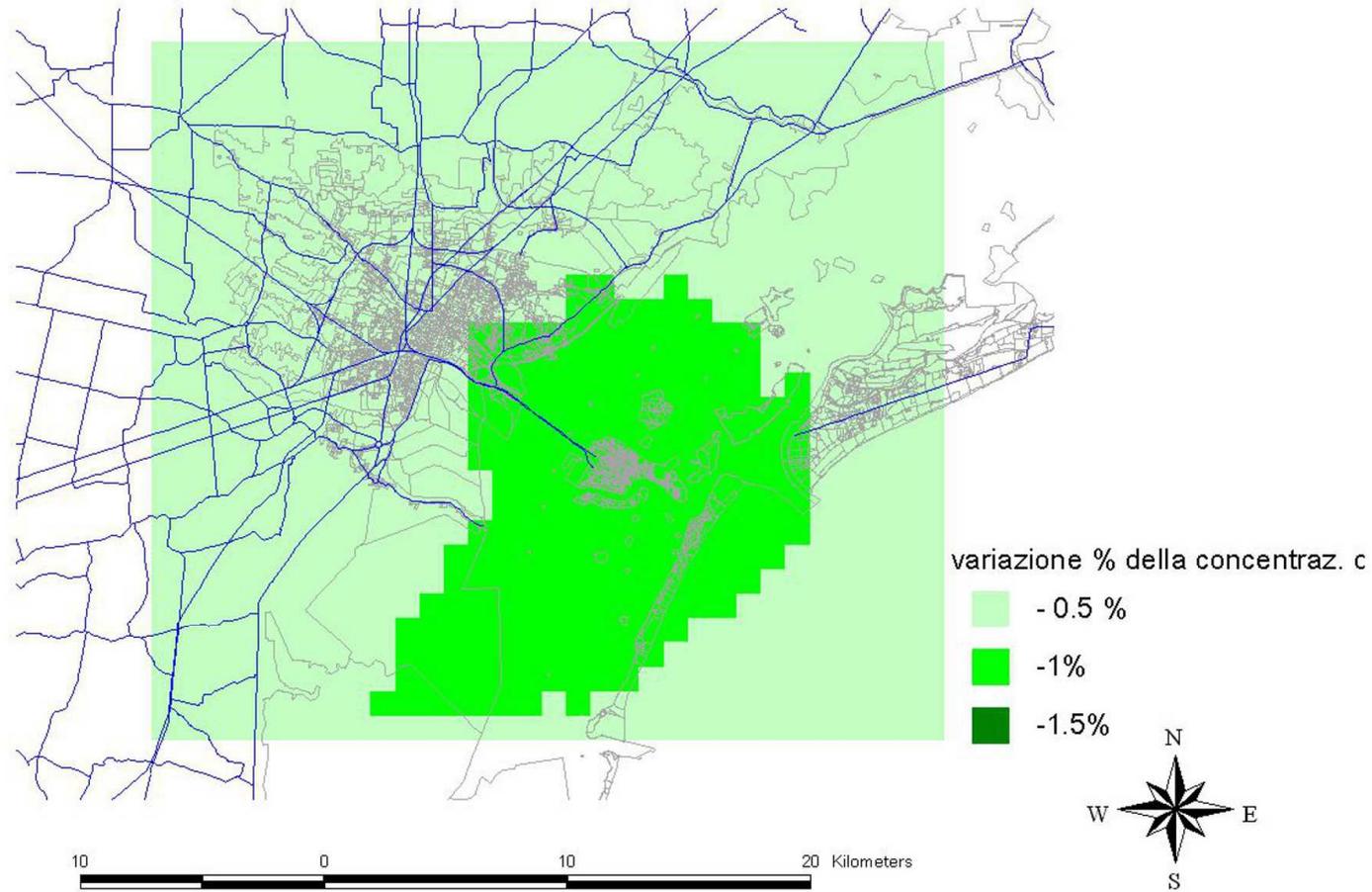


Figura 36: Variazione della concentrazione di PM2.5 stimata per lo scenario di mitigazione – periodo estivo



7. Conclusioni

Il contributo delle emissioni portuali sui livelli di concentrazione di polveri fini stimato per Venezia, per l'anno 2011, varia da un minimo dell'2% (modello fotochimico) o 7% (modello a recettore) in periodo tardo-autunnale nella Venezia insulare ad un massimo in periodo estivo per l'area di Porto Marghera del 15% (modello fotochimico) o 25% (modello a recettore).

I risultati di questa analisi sono in linea con quanto emerso dalle parallele indagini modellistiche condotte nelle città partner di Barcellona, Marsiglia, Genova e Salonicco, con un contributo individuato dai modelli a recettore tendenzialmente maggiore rispetto a quello dei modelli fotochimici.

Pur essendo emerso che le attività portuali non siano la principale fonte inquinante in nessuna delle città indagate, i tavoli di lavoro con gli attori locali hanno comunque perseguito l'obiettivo di individuare azioni concrete di intervento sul settore portuale per il quale tecnologie di trattamento dei fumi, strategie di miglioramento delle prestazioni dei motori o politiche sui combustibili non sono ancora diffuse nel bacino Mediterraneo.

Le azioni di intervento sono state ipotizzate in un orizzonte temporale di medio termine (2015-2025, a seconda della città) tenendo conto degli scenari di sviluppo che ciascuno dei porti prevede di realizzare e che, visti i trend di decremento delle emissioni che riguardano tutti gli altri settori emissivi, comporteranno l'aumento dell'incidenza delle attività portuali sui livelli di qualità dell'aria.

Le azioni valutate nel tavolo di lavoro di Venezia, in particolare, hanno riguardato interventi sulle emissioni delle navi passeggeri che interessano Venezia insulare: l'alimentazione elettrica delle grandi navi passeggeri (crociere) durante lo stazionamento presso la stazione Marittima e l'uso di combustibili a minor impatto emissivo durante la manovra nel tragitto da bocca di Lido agli ormeggi di Venezia. Tali azioni sono state esaminate in quanto andrebbero a diminuire l'impatto sulla città monumentale e sulla zone abitate investite dalle emissioni navali, intervenendo sul traffico passeggeri – ed in particolare crocieristico – che potrebbe meglio sostenere il costo di una simile politica di maggior tutela, rispetto al settore commerciale ed industriale.

Gli interventi valutati per Venezia andrebbero ad agire proprio nel periodo estivo in cui l'attività portuale si dimostra più influente sui livelli di concentrazione di polveri sottili che si misurano.

Si è comunque osservato che nessuno degli interventi di mitigazione ipotizzati a Venezia consente di contenere l'incremento emissivo derivante dallo sviluppo portuale previsto al 2020.