



Consorzio per il coordinamento delle ricerche
inerenti al sistema lagunare di Venezia

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Progetto **STUDIO B.6.72 B/10**

**ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL
MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI
DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE
BOCCE LAGUNARI**

Contratto CVN-CORILA n. 11373 spo/sim

Documento **MACROATTIVITÀ: ARIA**

SIMULAZIONI MODELLISTICHE

ERRATA CORRIGE DEL RAPPORTO FINALE B/8

Versione **1.0**

Emissione **15 Marzo 2015**

Redazione

Dott.ssa Elena Elvini

Redazione e Verifica

Dott. Franco Belosi
(CNR-ISAC)

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Indice

1 INTRODUZIONE.....	3
2 DESCRIZIONE ATTIVITA' SVOLTE	4
1.1.1 <i>Stima delle emissioni da mezzi di cantiere.....</i>	4
3 ANALISI DEGLI OUTPUT	5
4 APPROFONDIMENTO SITUAZIONI CRITICHE	11
5 CONFRONTI MISURE-MODELLO.....	18
6 CONCLUSIONI.....	22
7 APPENDICE	24

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce correzione di un errore, contenuto nel Rapporto Finale Studio B/8, nella stima delle emissioni dovute ai mezzi acquei operanti nei cantieri di Malamocco relative all'anno 2012. Sono qui esposti la stima emissiva corretta e i risultati delle simulazioni del modello di dispersione alla bocca di Malamocco, insieme ai relativi commenti. Sono corretti anche dei minori errori individuati nel citato Rapporto Finale Studio B/8.

Il testo, le tabelle e le figure qui contenuti si intendono in sostituzione dei corrispondenti elementi del Rapporto Finale Studio B/8 presentato nel mese di luglio 2013. Si precisa che i dati relativi all'anno 2012, oggetto della presente revisione, sono riportati correttamente nel Rapporto Finale Studio B/9, dove sono utilizzati nei confronti con i rispettivi valori relativi all'anno 2013.

In Appendice sono inserite tabelle di sintesi che riportano le stime emissive ed i valori di massima ricaduta relativi ai diversi anni (dal 2011 al 2013) in cui si è finora svolta la presente attività di modellistica della dispersione in atmosfera di inquinanti rilasciati durante i lavori dei cantieri del MOSE.

2 DESCRIZIONE ATTIVITA' SVOLTE

1.1.1 Stima delle emissioni da mezzi di cantiere

In Tabella 1 sono riportate le stime emissive annue per bocca di porto dei due inquinanti considerati e, per il PM10, anche le stime relative ai quadrimestri, sui quali sono state effettuate le simulazioni stagionali del modello di dispersione.

Tabella 1. Stima emissioni dei mezzi di cantiere (*composite*) per bocca di porto per l'intero anno 2012 e per i periodi delle simulazioni eseguite [Mg] - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA TABELLA 5 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

Bocca di Porto	Tipo	NOx intero anno 2012	PM intero anno 2012	PM 1° quadrim. 2012	PM 2° quadrim. 2012	PM 3° quadrim. 2012
Lido	Mezzi di terra	12.10	0.86	0.55	0.18	0.12
	mezzi acquei	58.52	5.13	1.63	2.19	1.32
	totale	70.62	5.99	2.18	2.37	1.44
Malamocco	Mezzi di terra	12.03	0.84	0.29	0.30	0.25
	mezzi acquei	16.98	1.52	0.42	0.55	0.55
	totale	29.01	2.36	0.71	0.84	0.80
Chioggia	Mezzi di terra	5.13	0.38	0.10	0.14	0.14
	mezzi acquei	5.99	0.55	0.21	0.21	0.14
	totale	11.12	0.93	0.31	0.34	0.28

Rispetto all'anno precedente, nel 2012 si rileva la tendenza al decremento delle emissioni a Lido e a Chioggia, legata alla diminuzione dell'impiego di alcune tipologie di mezzi di cantiere. Tale decremento è particolarmente rilevante per Chioggia in cui l'emissione annuale diminuisce di circa 2/3 sia per NOx che per PM da combustione; per questa bocca si rileva infatti un forte calo sia nell'utilizzo dei mezzi acquei sia, tra i mezzi di terra, di betoniere e autogru.

Anche per il cantiere di Lido si nota una diminuzione delle emissioni rispetto al 2011: il calo è pari a circa il 30% per gli NOx e al 25% per il PM10. Nonostante questo calo il cantiere di Lido continua a caratterizzarsi per una più intensa attività, con emissioni da mezzi da 2.5 a 6 volte maggiori rispetto alle altre due bocche di porto.

Per Malamocco si registra un incremento di oltre il 50% delle emissioni da mezzi, dovuta ad un maggior utilizzo di mezzi acquei.

3 ANALISI DEGLI OUTPUT

I valori di massima ricaduta per la media annuale, ottenuti per i vari inquinanti in ciascuna bocca di porto, sono ricapitolati in Tabella 2. Mentre nelle mappe di concentrazione sono rappresentati i valori ottenuti per tutti i punti di griglia del dominio di calcolo, in Tabella 2 sono stati esclusi i punti ricadenti all'interno delle aree descritte come sorgenti emissive.

Pur essendo le emissioni dei mezzi di cantiere stimate per la bocca di Chioggia notevolmente inferiori a quelli di Malamocco (poco più di un terzo, v. Tabella 1), si può notare come i valori di massima ricaduta per l'NO₂ siano paragonabili nei due siti, mentre per l'NO_x la massima concentrazione media annuale a Chioggia è circa la metà rispetto a Malamocco, a causa della diversa conformazione dei cantieri rispetto alla linea di costa e alla direzione prevalente dei venti; in particolare a Chioggia il punto di massima ricaduta viene individuato dal modello subito a nord della tura, mentre per Malamocco la massima ricaduta viene simulata a ovest dell'area di costruzione dei cassoni.

Le più consistenti emissioni da mezzi di Lido, invece, si riflettono in livelli di concentrazione più alti rispetto agli altri cantieri, con concentrazioni di NO_x e NO₂ nel tratto di mare in prossimità dell'isola artificiale circa 3-4 volte i massimi di Chioggia.

Tabella 2. Concentrazioni [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] - massimi (esclusi i punti di cantiere) delle medie annuali - anno 2012 -
CORREGGE E SOSTITUISCE LA TABELLA 8 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8

Bocca di porto	NO ₂	NO _x	PM10		
			emiss. mezzi	risollevamento	emiss. mezzi+ risollevamento
Lido	12.6	35.3	3.1	14.8	16.6
Malamocco	4.7	18.7	1.5	19.4	20.9
Chioggia	4.0	8.9	0.7	8.3	9.0

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

La concentrazione media annuale di NO₂ per il sito di Malamocco è riportata in

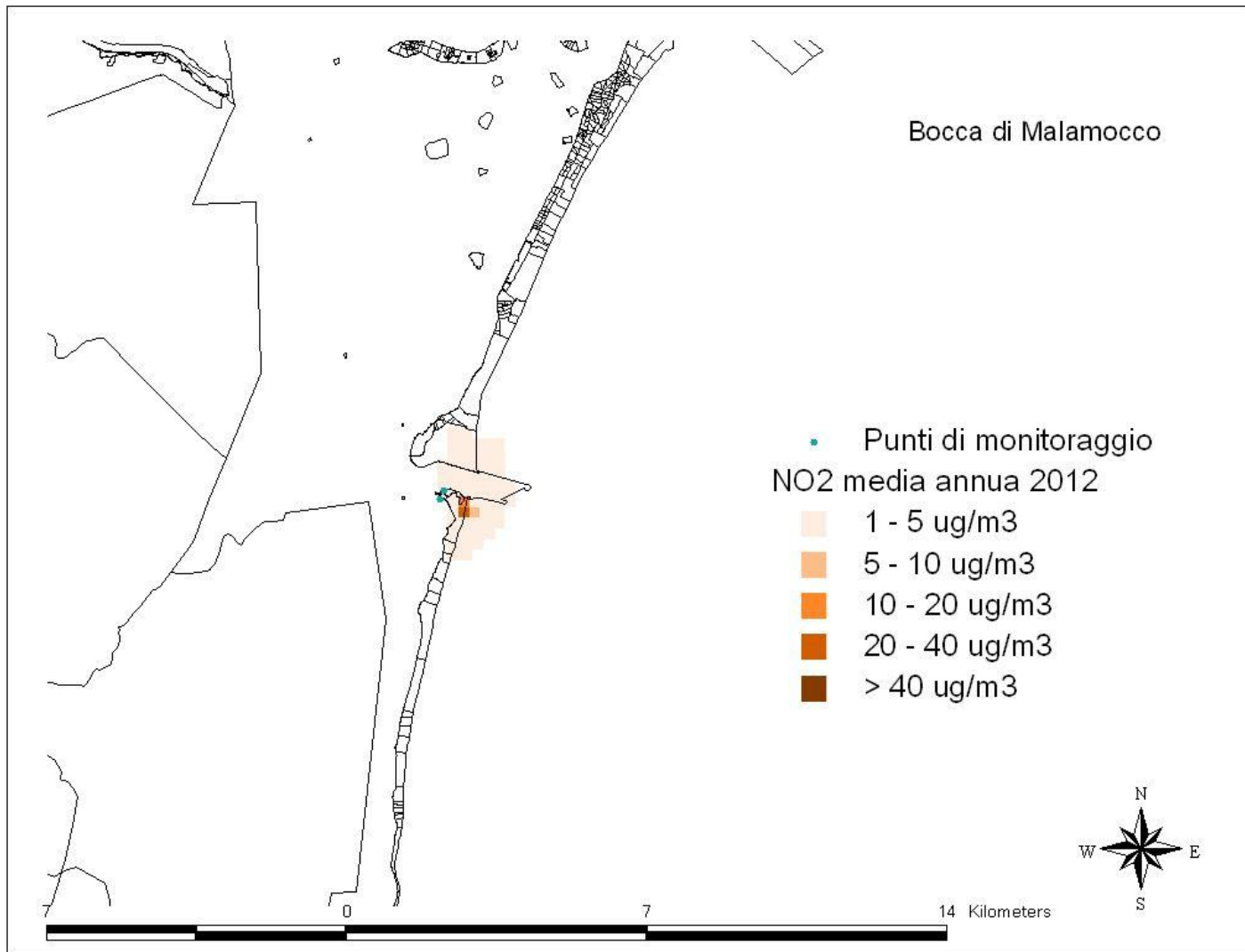


Figura 1 in cui è mappato il solo contributo del cantiere, mentre in Figura 2 si riporta la mappa ottenuta dalla sovrapposizione dell'impatto del cantiere con il valore di fondo derivato dai dati della centralina ARPAV di Sacca Fisola, la cui media annuale di NO₂ nel 2012 è pari a 32 µg/m³. Tale valore, registrato nella stazione fissa di background urbano più vicina ai cantieri, potrebbe essere considerato cautelativo in quanto tipico di un'esposizione in area a maggior densità abitativa ed emissiva rispetto alle bocche di porto (per le quali si potrebbe pensare, in assenza dell'attività cantieristica, ad un'esposizione più simile ad un background rurale). Il modello evidenzia valori medi annuali superiori ai 10 µg/m³ solo all'interno dell'area di cantiere, mentre le concentrazioni scendono a pochi µg/m³ subito all'esterno della stessa. Considerando anche il background, si evidenziano due sole celle, sempre entro l'area di cantiere in cui il modello individua un rischio di superamento della concentrazione media annuale di 40 µg/m³.

Per quanto riguarda la concentrazione media annuale di NO_x, riportata in Figura 3, la sola presenza delle emissioni di cantiere non comporta contributi all'esterno dell'area di lavoro, tali da rilevare un rischio significativo di superamento del limite di protezione della vegetazione di 30 µg/m³. In questo caso per individuare il valore di background non è possibile utilizzare i dati delle centraline fisse ARPAV presenti nell'area veneziana, in quanto nessuna di esse presenta caratteristiche di posizionamento idonee al controllo del rispetto dei valori di protezione della vegetazione. La stazione di background rurale più prossima è Mansuè (che nel 2012 ha registrato

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

un valore medio annuale di NO_x pari a 26 µg/m³) ma per caratteristiche geografiche (pianura interna trevigiana) non può essere presa come riferimento per l'area in esame.

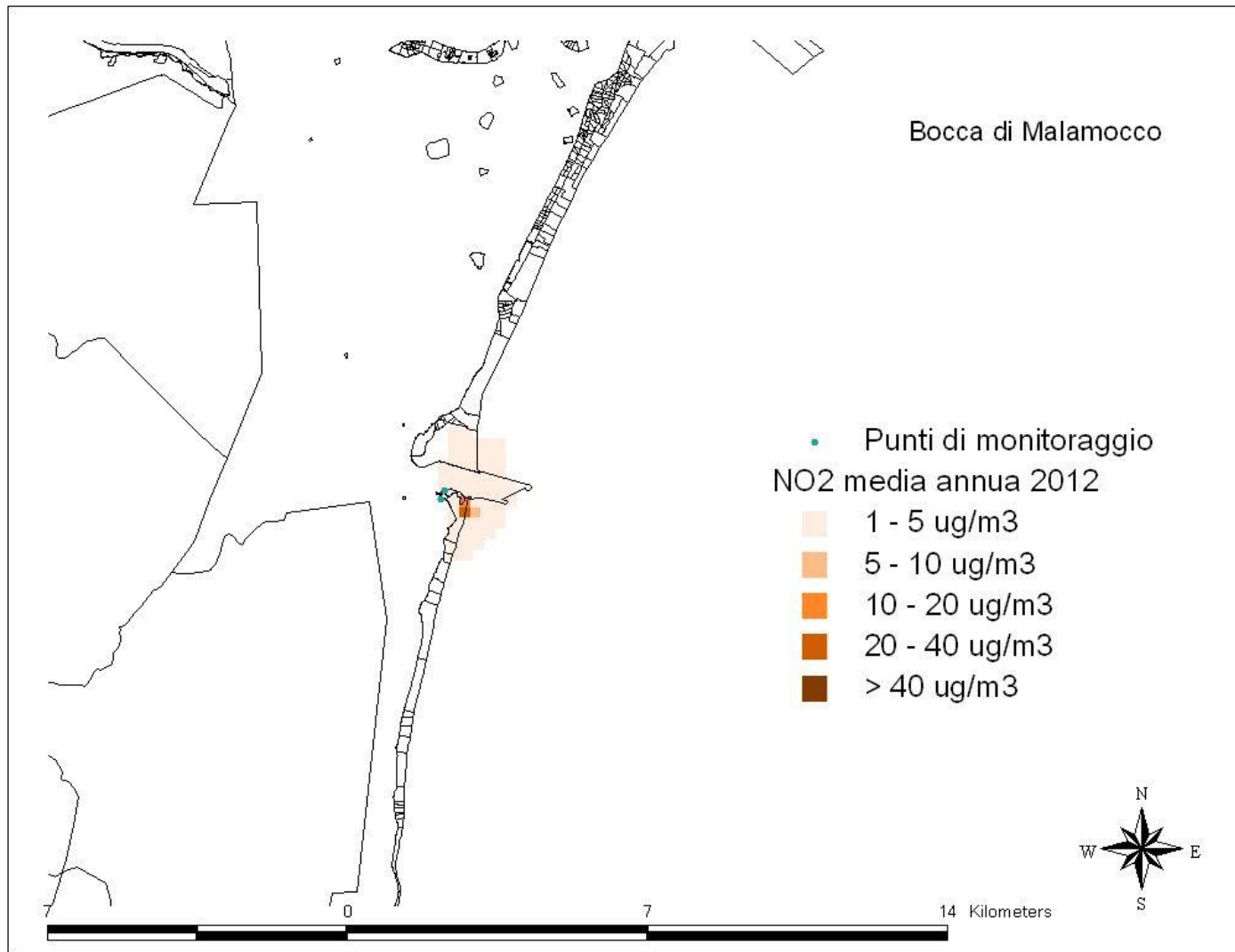


Figura 1. Concentrazione media annuale di NO₂ - bocca di Malamocco - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 2 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

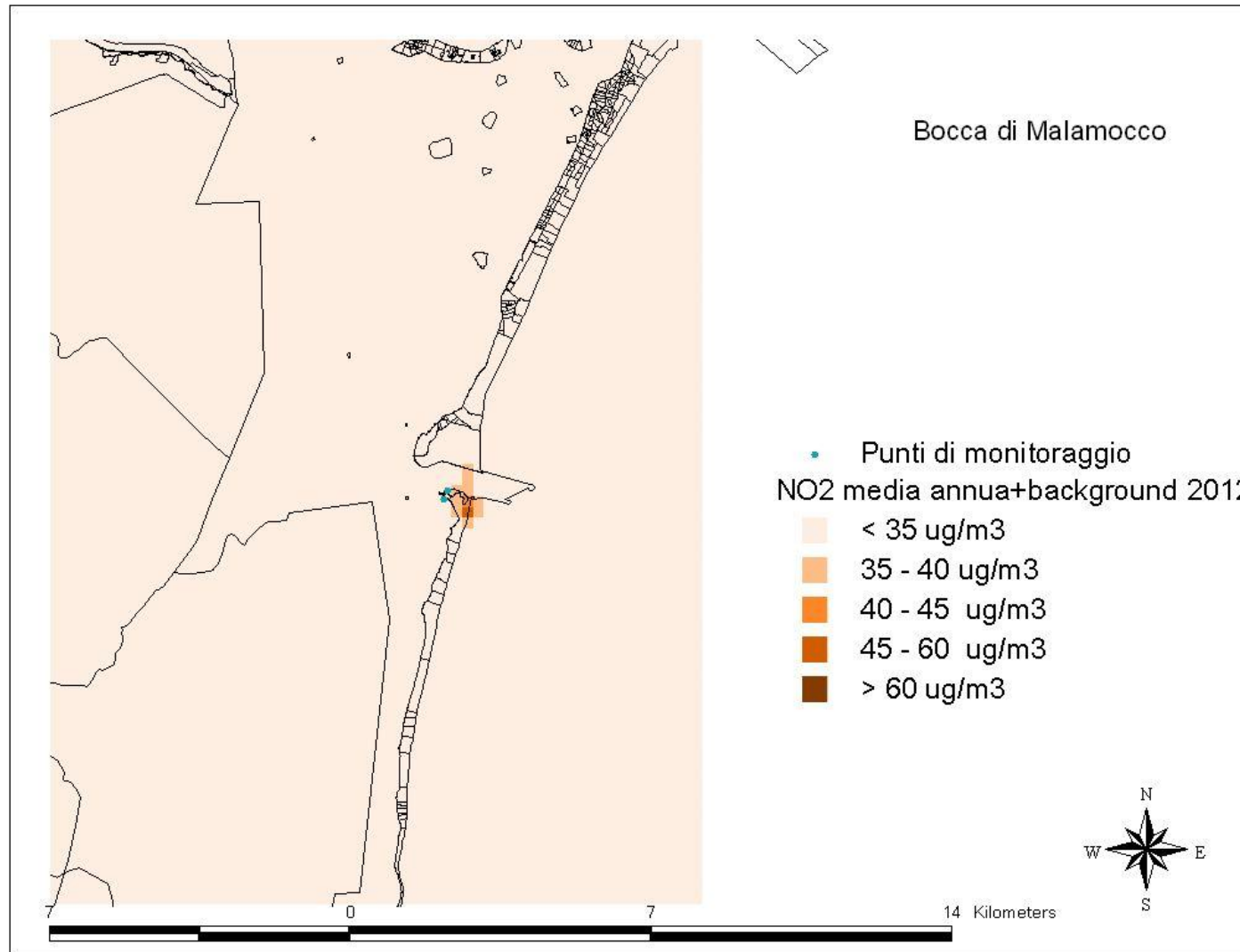


Figura 2. Concentrazione media annuale di NO₂ (attività di cantiere + background) - bocca di Malamocco - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 3 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

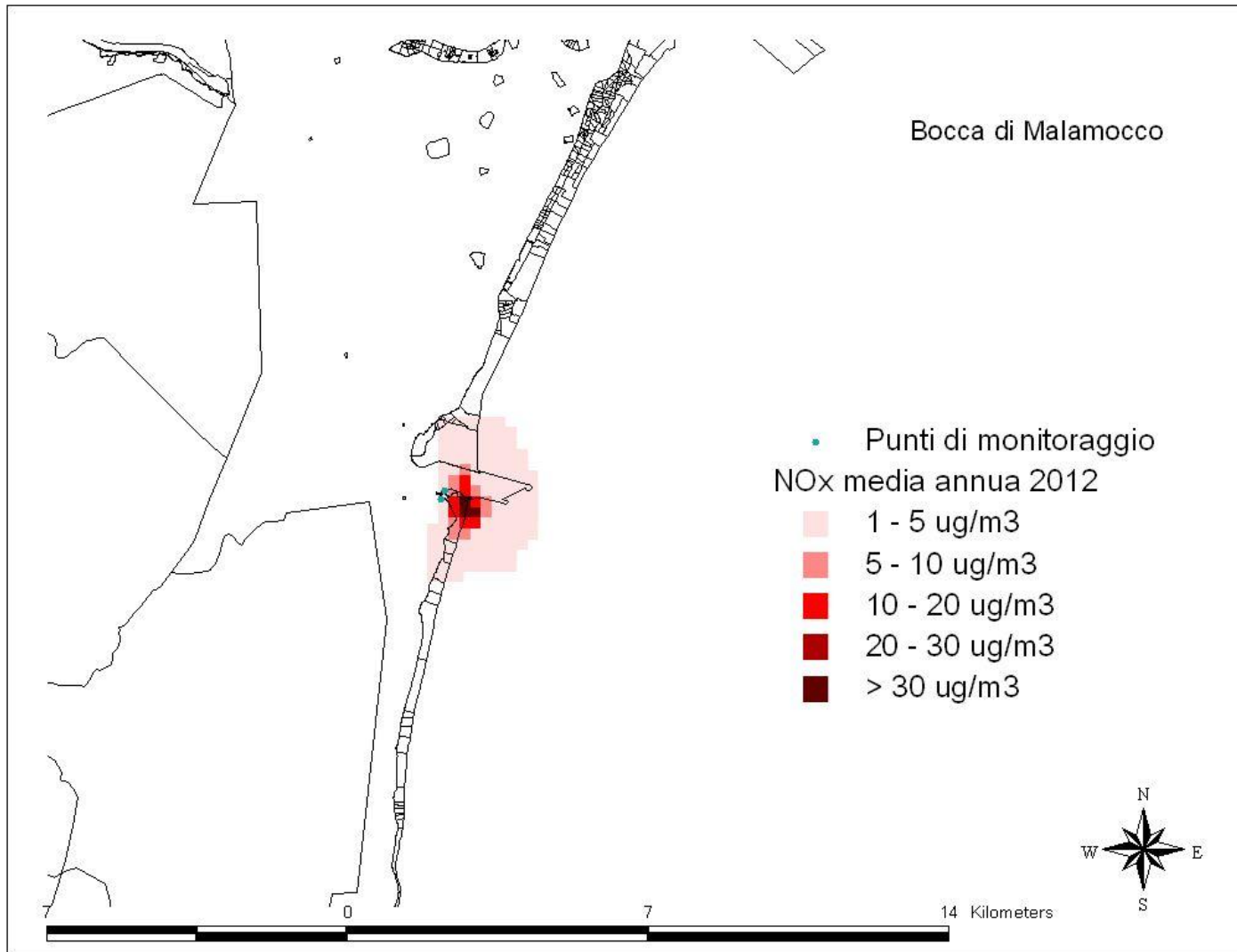


Figura 3. Concentrazione media annuale di NOx - bocca di Malamocco - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 4 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

4 APPROFONDIMENTO SITUAZIONI CRITICHE

L'analisi che segue mira ad individuare in quali situazioni emissive e meteorologiche l'influenza dei cantieri sui recettori limitrofi raggiunge i valori più elevati, in particolare per quanto riguarda PM10 ed NO₂, per i quali sono previsti limiti per la tutela della popolazione da eventi acuti.

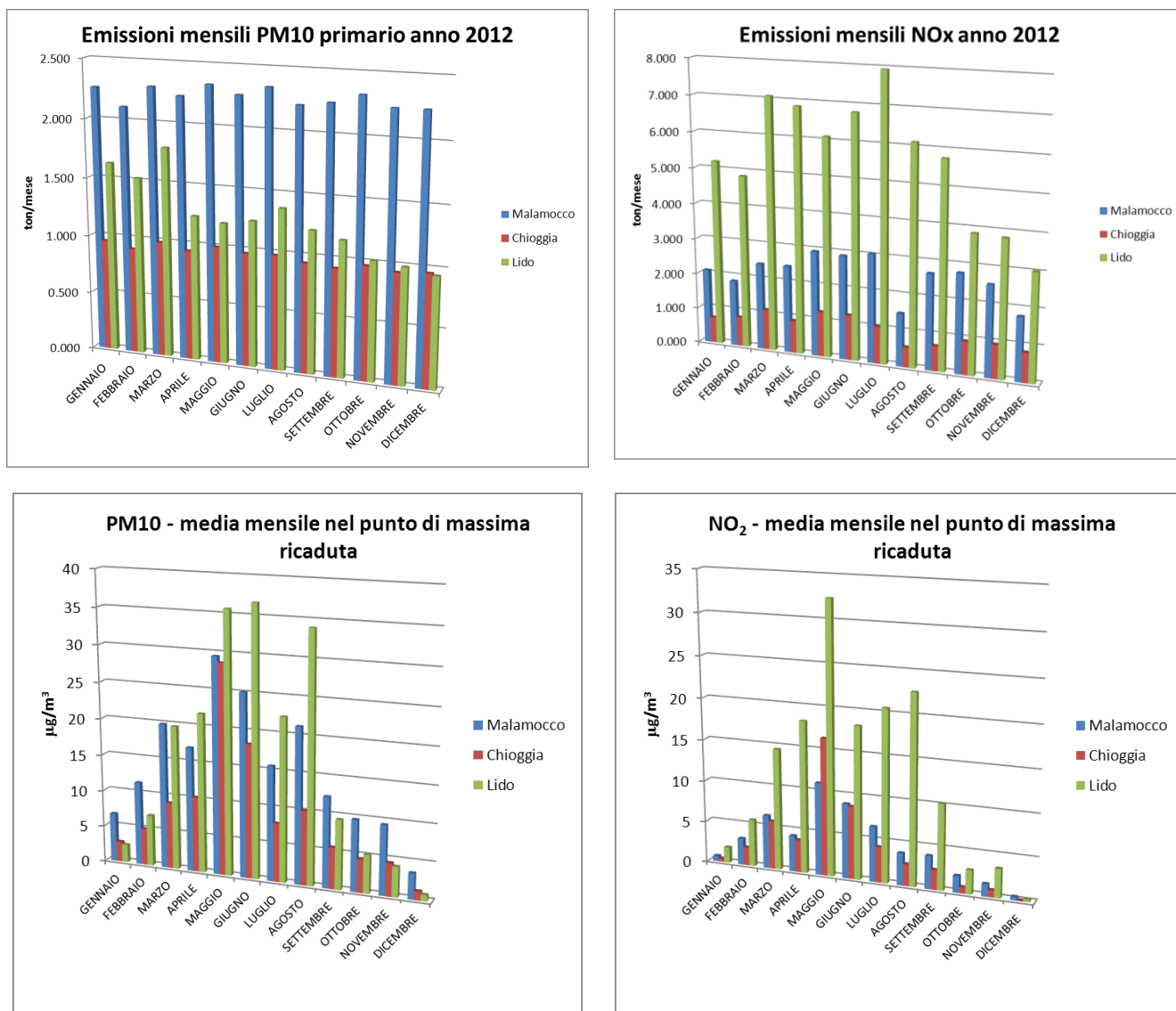


Figura 4. Emissioni e ricadute medie mensili - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 29 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

Una prima considerazione da fare nella ricerca delle condizioni critiche riguarda l'individuazione dei periodi di maggior emissione. Nei grafici di Figura 4 è riportato l'andamento mensile delle emissioni simulate per l'anno 2012 e delle corrispondenti concentrazioni stimate dal modello nei punti di massima ricaduta. Oltre a sottolineare nuovamente che i cantieri di Lido sono particolarmente attivi rispetto agli altri due siti, il grafico evidenzia, per tutte e tre le bocche di porto, un incremento delle emissioni di NO_x nel periodo da marzo a luglio. Tali contributi si sommano ad un background che invece tende a diminuire proprio nei mesi primaverili ed estivi sia per una attenuazione delle emissioni (in particolare si spengono le emissioni da riscaldamento)

che per le diverse condizioni meteo-dispersive (l'aumento delle ore di insolazione genera un incremento del rimescolamento verticale e una maggior dispersione delle emissioni inquinanti). Per quanto riguarda il PM10 invece l'andamento mensile delle emissioni è più omogeneo, con l'eccezione del calo emissivo a Lido da aprile per l'allagamento della tura.

Dai grafici di Figura 4 si nota come l'andamento delle ricadute risente della concomitanza di alcune situazioni meteorologiche che magnificano o smorzano l'effetto di incremento delle concentrazioni dovuto alla crescita dei ratei emissivi medi mensili. Nel sito di Lido, in particolare, la concentrazione media mensile di NO₂ è più elevata a maggio, nonostante le emissioni più alte si registrano a luglio: questo riflette il diverso peso nei due mesi delle condizioni non favorevoli alla dispersione (stabilità e vento debole) discusse qui di seguito e più diffusamente nel Rapporto Finale Studio B/8 (Figura 32 e relativa discussione). Analizzando l'andamento delle ricadute degli ossidi di azoto NO_x ed NO₂ in funzione della variazione delle condizioni meteorologiche, infatti, si nota come le concentrazioni maggiori siano associate a condizioni meteorologiche stabili con vento debole. Si tratta in genere di condizioni notturne, ma la presenza del mare, con inerzia termica tale da creare condizioni molto più stabili di quelle sulla terraferma, induce nel modello meteorologico CALMET (preprocessore del modello di dispersione CALPUFF) l'instaurarsi, in alcuni casi, di condizioni molto stabili anche durante il giorno. È proprio in queste condizioni che il modello simula le ricadute maggiori, con particolare riferimento ai casi in cui si verificano contemporaneamente condizioni di calma di vento (trattate con uno specifico algoritmo di dispersione).

Nei grafici di Figura 5 viene riportata la concentrazione media di NO_x ed NO₂ stratificata per condizioni di stabilità e per *range* di velocità del vento. L'atmosfera può essere classificata come instabile quando prevalgono condizioni di rimescolamento termico, stabile quando i moti verticali sono rallentati e l'atmosfera è fortemente stratificata, infine neutra quando prevale il rimescolamento meccanico ad opera dei venti più tesi. Gli istogrammi riportano, per le tre bocche di porto, la concentrazione media stimata dal modello nei punti di massima ricaduta (i punti, al di fuori delle aree di cantiere, in cui il modello stima il massimo valore della media annua) e nei punti recettori che coincidono con i punti di monitoraggio dei cantieri.

Sulla terraferma generalmente vi è un'alternanza tra condizioni stabili notturne e instabili diurne: a seconda dell'intensità della radiazione solare e del vento variano le intensità di tali condizioni di stabilità e instabilità. In presenza del mare invece l'azione della massa d'acqua (che trattiene e rilascia calore in modalità diverse rispetto al suolo) tende a mitigare sia l'instabilità diurna che la stabilità notturna. Nelle simulazioni effettuate il modello stima prevalentemente condizioni instabili (circa l'80% dei casi orari per i recettori che cadono in acqua o sulla linea di costa), ma fa registrare anche condizioni stabili diurne (sul totale di circa 15-16% dei casi orari, un 4-5% si verificano tra le ore 10 e le 15). È proprio in queste condizioni che il modello simula le ricadute più elevate. A titolo di esempio si riportano per il sito di Malamocco il giorno tipo delle concentrazioni di NO₂ nel punto di massima ricaduta stratificato per condizioni atmosferiche (Figura 6).

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

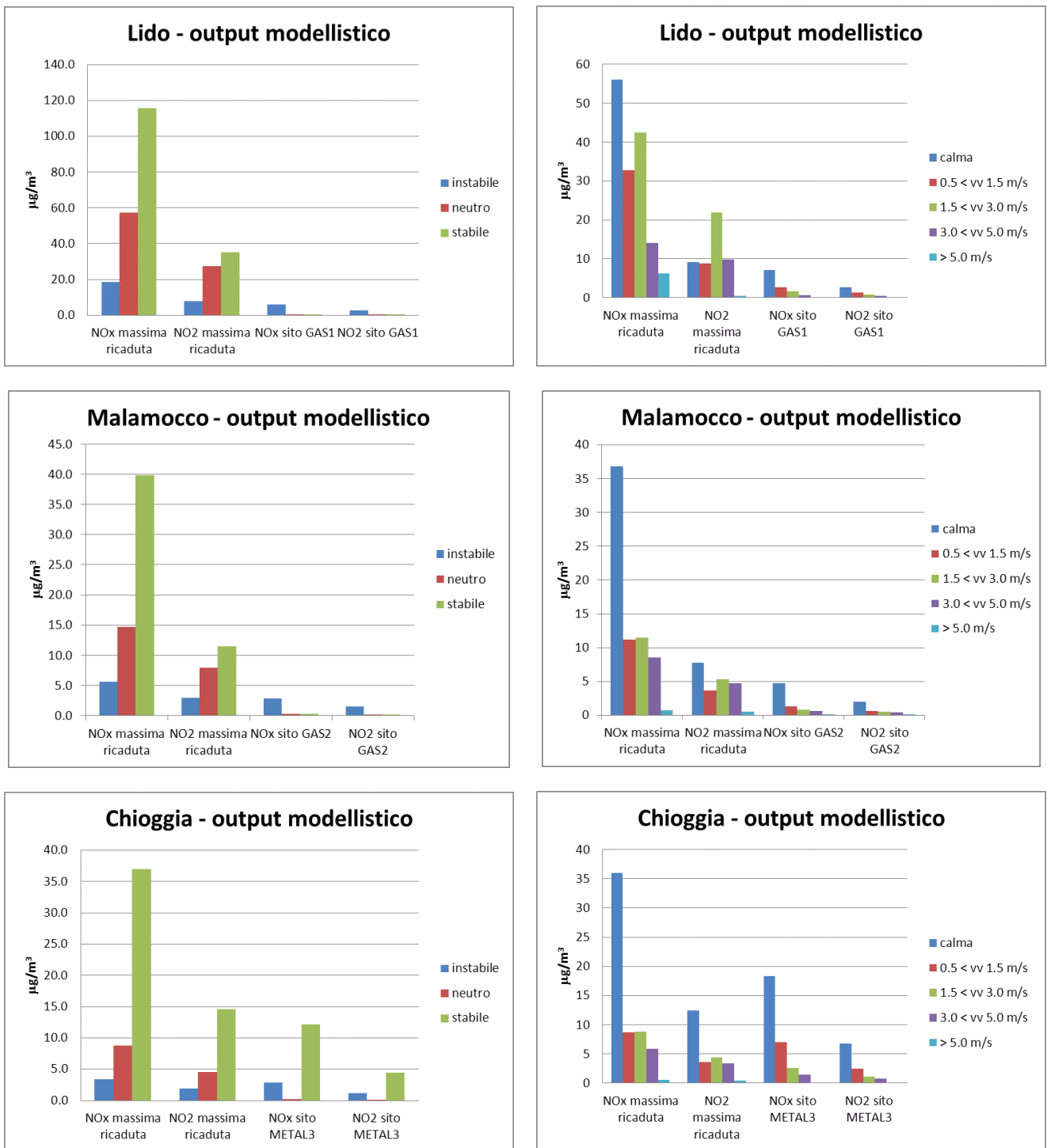


Figura 5. Concentrazione media stimata dal modello per stabilità atmosferica e per range di velocità del vento - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 30 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

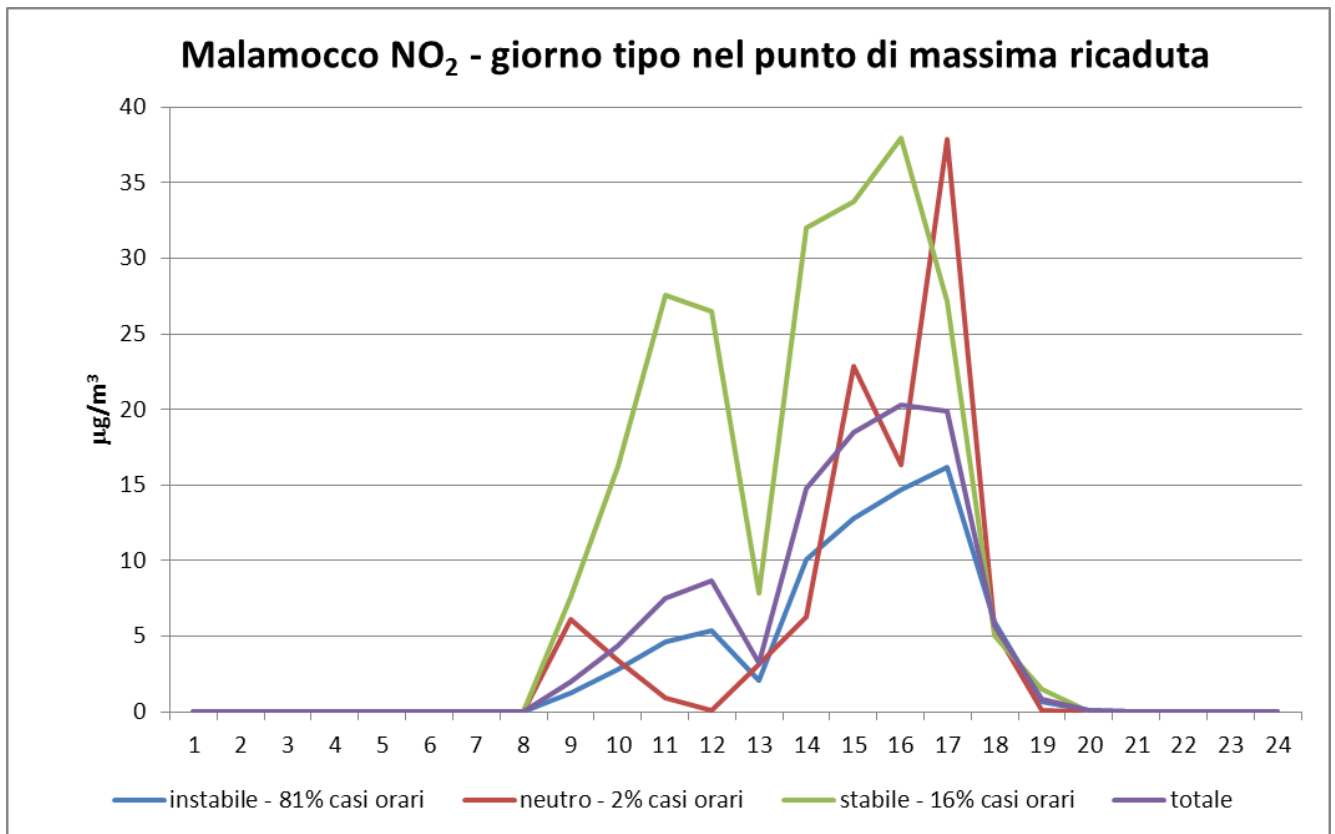


Figura 6 Andamento giornaliero delle ricadute per condizioni di stabilità atmosferica - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 31 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

In riferimento al limite orario dell'NO₂ per la protezione della salute, nella mappa di Figura 7 si riporta, per ogni punto del dominio, il 99.8° percentile¹ della serie oraria delle concentrazioni di NO₂ stimate dal modello per la bocca di porto di Malamocco. È evidente dalla mappa che la presenza di queste condizioni di stabilità atmosferica comporta picchi di concentrazione tali da evidenziare un rischio di superamento del limite orario, in un'area che interessa marginalmente il sito residenziale di San Piero in Volta.

¹ Il 99.8° percentile corrisponde al 19° massimo della serie oraria: tale valore può essere confrontato con il limite orario di 200 µg/m³, che si intende superato se si verificano più di 18 superamenti l'anno (DLgs 155/2010).

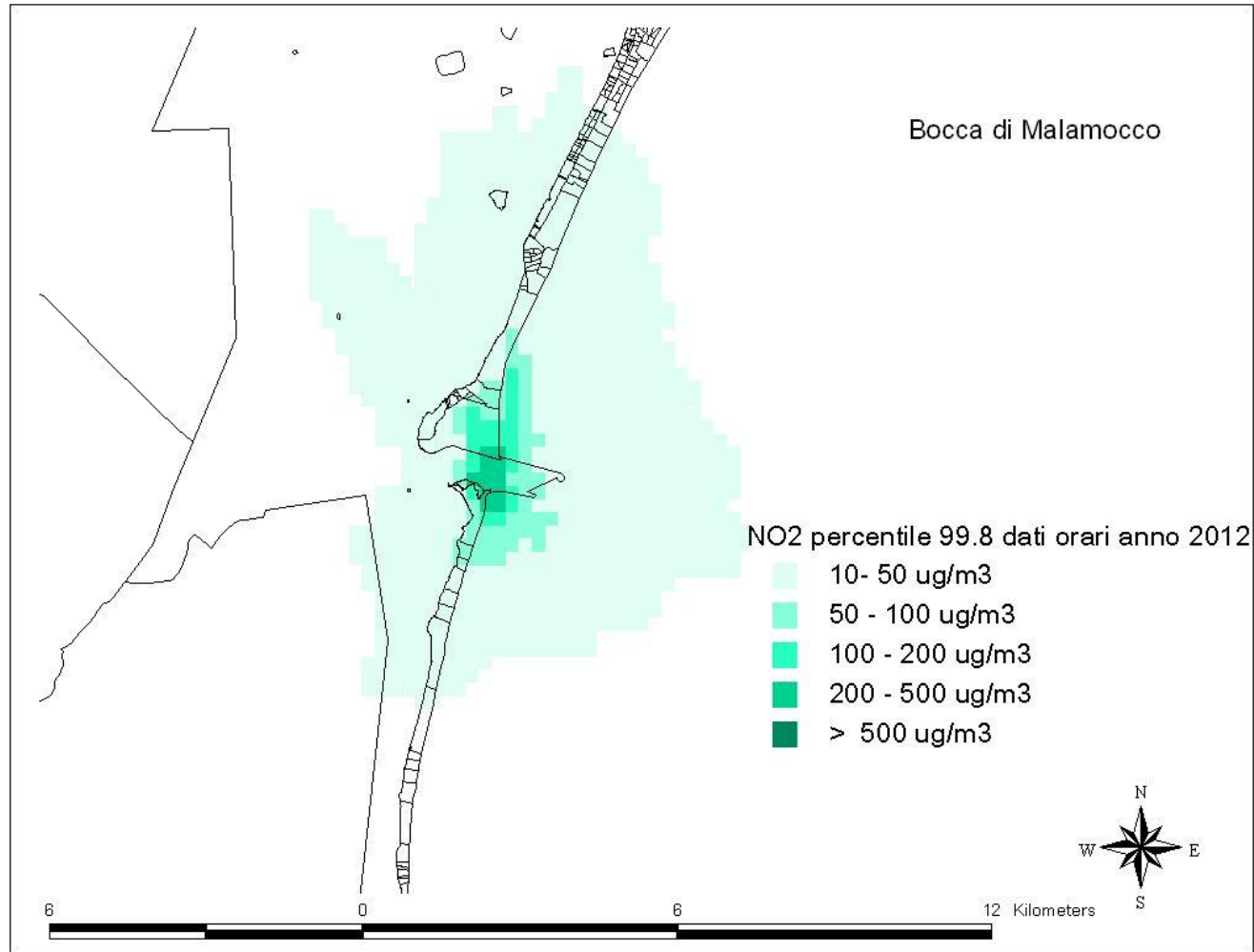


Figura 7. Percentile 99.8° delle concentrazioni di NO₂ - bocca di Malamocco - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 33 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Analizzando invece le concentrazioni giornaliere di PM10, risulta evidente che l'attività di cantiere genera emissioni polverulente particolarmente intense sulle piste di passaggio dei mezzi e nelle zone di lavorazione; tali emissioni tendono a decadere molto velocemente allontanandosi dal luogo di produzione. Nei grafici di Figura 8 sono riportati, per ogni bocca di porto, gli andamenti giornalieri simulati dal modello nei punti di massima ricaduta e presso i siti di monitoraggio individuati come punti recettori limitrofi ma non interni alle zone di lavoro. In ognuno dei grafici per confronto viene riportato anche l'andamento giornaliero delle polveri registrate presso il sito di misura di Punta Sabbioni.

Le concentrazioni di PM10 primario stimate dal modello all'interno delle aree di cantiere sono superiori ai valori di fondo, rappresentati come migliore approssimazione dalla misura di Punta Sabbioni, e sono dovuti essenzialmente al risollevarimento meccanico per il passaggio di mezzi. Tale "nube" polverulenta interessa comunque principalmente il sito di lavorazione: le concentrazioni stimate per i siti di Santa Maria del Mare per Malamocco (GAS2), del Circolo Vela di Punta Sabbioni per Lido (GAS1) e METAL3 di Chioggia del 2011, infatti, rilevano un contributo limitato a qualche $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al giorno. Le concentrazioni più alte si stimano nel caso di Chioggia in cui il sito recettore è molto prossimo alle aree di cantiere.

Dai grafici sopra presentati emerge che durante le condizioni meteorologiche più critiche, in cui i livelli ambientali di PM10 sono al di sopra del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il contributo del cantiere sui siti recettori (curve in verde nei grafici di Figura 8) è poco significativo, mentre i contributi leggermente più alti si stimano nel periodo primaverile ed estivo quando le concentrazioni ambientali sono in netta diminuzione.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

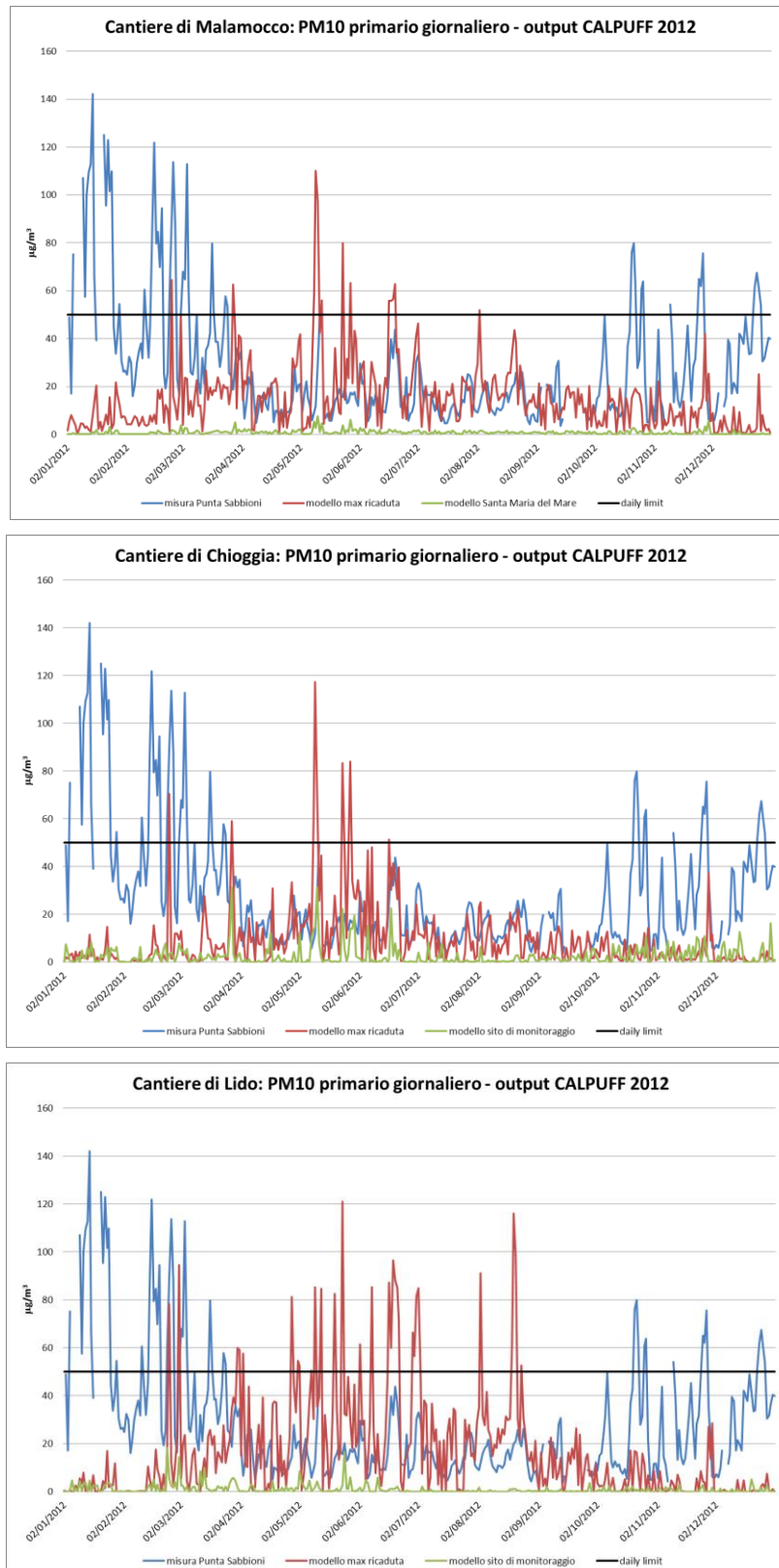


Figura 8 Andamento delle concentrazioni giornaliere di PM10 e confronto con il limite di protezione della salute - CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 36 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8

5 CONFRONTI MISURE-MODELLO

Focalizzando l'analisi sul sito di Malamocco, la Figura 9 riporta le concentrazioni di NO_x orarie mediate per ore del giorno (cosiddetto "giorno tipo") relative al periodo delle 3 campagne di monitoraggio. Il grafico affianca la serie delle medie orarie delle misure differenziate per giorno lavorativo e non lavorativo, con gli output modellistici, ovviamente relativi ai soli giorni di attività del cantiere. L'output modellistico è anch'esso differenziato in 2 serie: la serie delle stime in corrispondenza del punto di monitoraggio (punto GAS2) e la serie delle stime nel punto in cui per la bocca di Malamocco è stato indicato dal modello nel punto di massima ricaduta (massimo valore spaziale della media annua).

Le concentrazioni medie orarie di NO_x misurate variano nel *range* 50-100 µg/m³, con un andamento a campana con il massimo per i giorni lavorativi a mezzogiorno e anticipato alle ore 10 per i giorni non lavorativi. La massima differenza oraria tra le concentrazioni misurate nei giorni lavorativi rispetto a quelle misurate nei giorni non lavorativi è di 26 µg/m³.

Le medie orarie delle stime modellistiche seguono invece il profilo temporale che è stato imposto alle emissioni, stimate considerando l'inizio dei lavori alle 8, la pausa pranzo tra le 12 e le 13, e la chiusura del cantiere al massimo alle 17, come da indicazioni della Direzione Lavori. Il massimo valore medio orario stimato dal modello sul punto di misura è circa 7 µg/m³, mentre sul punto di massima ricaduta il valore massimo orario del giorno tipo stimato dal modello è di quasi 100 µg/m³.

L'elaborazione del "giorno tipo" per l'NO₂ sul periodo delle campagne di misura di Malamocco ritrae un andamento simile a quello registrato per gli NO_x (Figura 10).

Le concentrazioni medie orarie di NO₂ misurate variano nel *range* 14-45 µg/m³, con un andamento a campana con il massimo a mezzogiorno. La massima differenza oraria tra le concentrazioni misurate nei giorni lavorativi rispetto a quelle misurate nei giorni non lavorativi è di 15 µg/m³.

Le medie orarie delle stime modellistiche seguono anche per l'NO₂ il profilo temporale che è stato imposto alle emissioni come sopra descritto. Il massimo valore medio orario stimato dal modello sul punto di misura arriva 4 µg/m³, mentre sul punto di massima è di circa 40 µg/m³

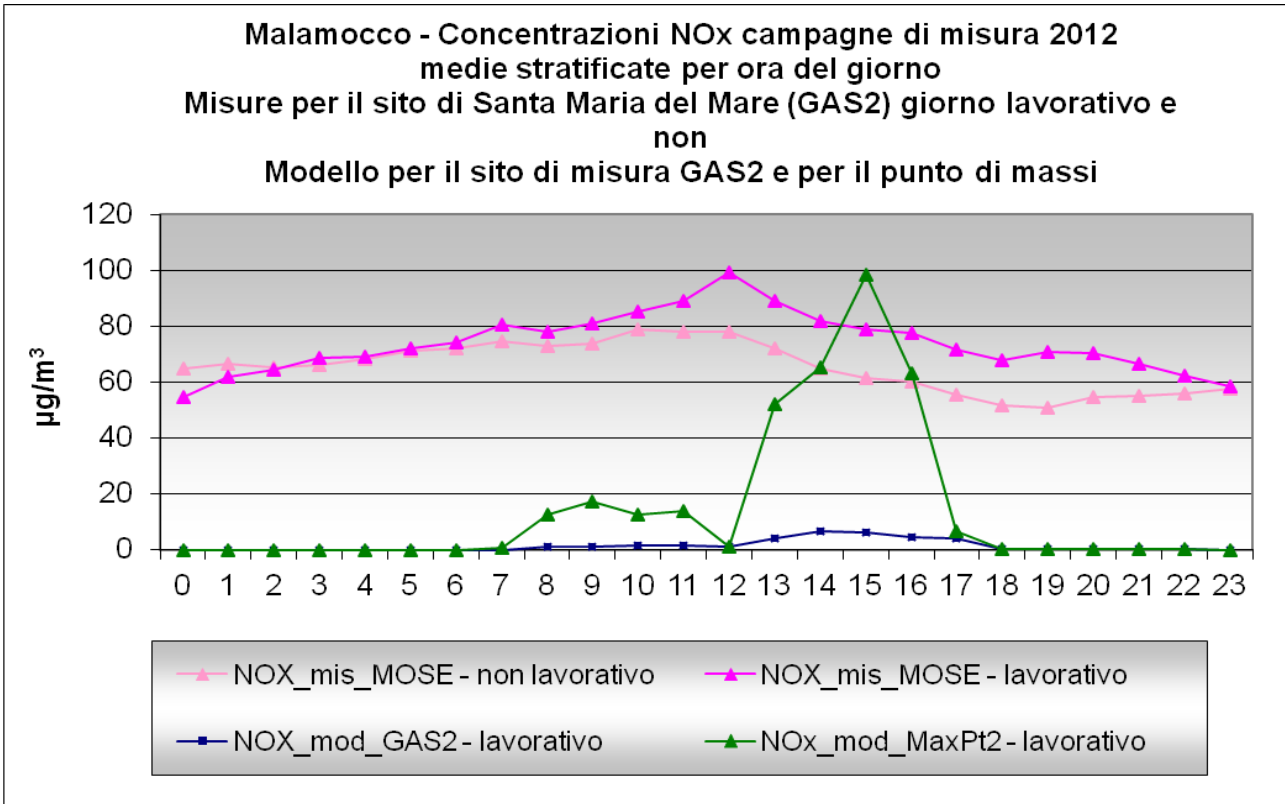


Figura 9 Concentrazioni di NO_x [µg/m³]: giorno-tipo delle 3 campagne di misura 2012 a Malamocco -
 CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 38 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8

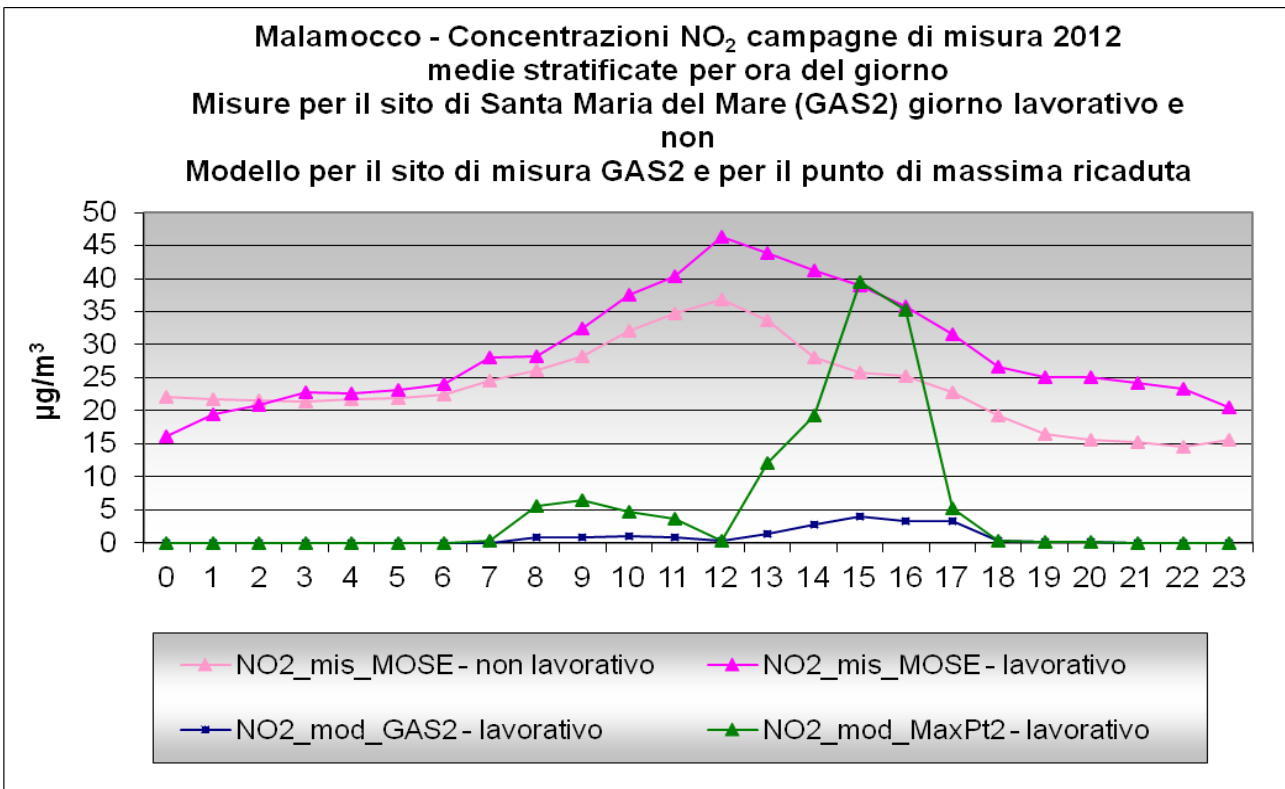


Figura 10 Concentrazioni di NO₂ [µg/m³]: giorno-tipo delle 3 campagne di misura 2012 a Malamocco -
 CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 39 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Focalizzando ulteriormente il confronto modello-misura per il solo periodo giornaliero in cui si è considerato attivo il cantiere e per i soli settori di provenienza del vento che vedono appunto il sito GAS2 di Santa Maria del Mare investito dalle emissioni dei cantiere, il riscontro tra stime modellistiche e misure risulta piuttosto buono, come di seguito descritto.

Il diagramma a radar di Figura 11 ritrae le concentrazioni di NO_x stimate dal modello sul punto di misura GAS2 di Santa Maria del Mare per i soli giorni lavorativi del periodo delle campagne di misura 2012 e per la fascia lavorativa giornaliera 8-17. Le concentrazioni sono mediate sui settori di provenienza del vento ricavati dal modello meteorologico CALMET sui punti in esame, a formare appunto la cosiddetta "rosa delle concentrazioni".

Al di là di una piccolissima componente da ENE che si individua nella rosa delle concentrazioni, i risultati modellistici individuano i settori SE e ESE di provenienza del vento come i settori per cui il sito GAS2 viene investito dai *plume* generati dalle emissioni di cantiere, puntando dunque essenzialmente alla zona di cantiere di spalla SUD.

La massima concentrazione media di NO_x è stimata per il settore ESE pari a 8.6 µg/m³, mentre per il settore di provenienza del vento SE la stima modellistica è poco più di 7 µg/m³. La media pesata secondo le frequenze di accadimento risulta essere di 7.9 µg/m³.

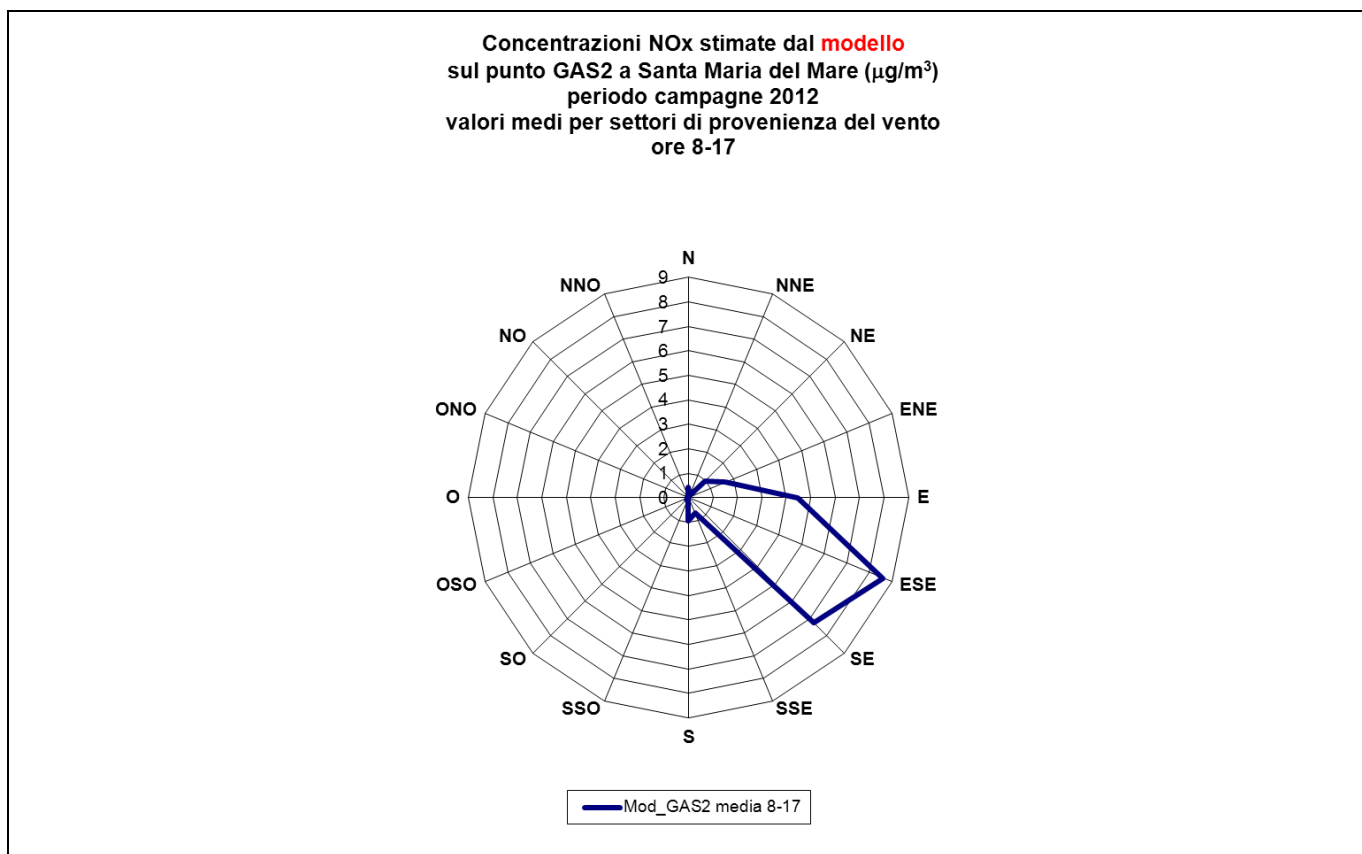


Figura 11 Rosa delle concentrazioni di NO_x [µg/m³] stimata dal modello sul punto di misura GAS2 a Santa Maria del Mare per il periodo delle campagne 2012. Medie sulle sole giornate lavorative, fascia oraria 8-17
Malamocco - CORREGGE E SOSTITUISCE LA FIGURA 40 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8

Estraendo dalle misure sul sito GAS2 le concentrazioni di NO_x misurate nella medesima fascia lavorativa 8-17 e stratificando le concentrazioni medie per settori di provenienza del vento sui giorni lavorativi e non lavorativi, si ottiene la rosa delle concentrazioni di Figura 11.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Sui settori ESE e SE individuati dagli output modellistici come quelli che vedono il punto di misura investito dai *plume* di emissione, la differenza di concentrazione di NO_x per le giornate lavorative e non lavorative è di 19 e 13 µg/m³ rispettivamente, con media pesata secondo la frequenza di accadimento di 16 µg/m³.

Considerando che le concentrazioni misurate, per quanto selezionate sui giorni lavorativi e sulla fascia oraria del cantiere, risentono di tutte le altre sorgenti emissive dell'area non inserite nella modellazione, si ritiene che il confronto tra gli 8 µg/m³ della stima modellistica e i 16 µg/m³ per la differenza lavorativo - non lavorativo delle misure dimostri una buona *performance* della catena modellistica.

6 CONCLUSIONI

Nel presente rapporto sono descritti i risultati delle simulazioni modellistiche relative alla dispersione in atmosfera degli inquinanti rilasciati durante le attività di cantiere del MOSE nell'anno 2012.

Le simulazioni modellistiche, svolte con la catena modellistica CALMET-CALPUFF, hanno riguardato le emissioni dovute all'impiego di macchinari e mezzi sia di terra che di acqua, nonché le emissioni polverulente dovute al risollevarimento eolico e meccanico per il passaggio dei mezzi nelle aree dei cantieri.

Gli inquinanti modellati sono i gas NO_x/NO₂ e le polveri PM₁₀ primarie, per i quali sono state simulate le concentrazioni per l'intero anno 2012, con l'approfondimento per le polveri PM₁₀ delle concentrazioni di quadrimestre.

Il rapporto presenta un'analisi specifica delle situazioni meteorologiche critiche a cui si associano le stime di maggiori concentrazioni orarie e giornaliere al suolo, nonché il confronto con i dati di misura disponibili per l'anno in questione.

Per quanto riguarda i gas NO_x/NO₂ le maggiori concentrazioni sono state stimate per la bocca di Lido, dove nel corso dell'anno 2012 si è avuto un'attività cantieristica più consistente.

La massima concentrazione media annua a Lido, escludendo le aree interne ai cantieri, è di circa 13 µg/m³ per NO₂ e di 35 µg/m³ per NO_x, valori stimati sul tratto di mare in prossimità dell'isola artificiale.

Per Malamocco i valori di concentrazione massima esterni al cantiere sono pari a 19 e 5 µg/m³ per NO_x ed NO₂ rispettivamente, mentre a Chioggia i valori simulati si attestano attorno a 9 e 4 µg/m³. Il punto di massima ricaduta per Chioggia è individuato dal modello subito a nord della tura, mentre per Malamocco a ovest dell'area di costruzione dei cassoni.

Per quanto riguarda l'NO₂, per tutte e tre le bocche di porto si sottolinea comunque che le concentrazioni medie annue stimate scendono rapidamente al di sotto di valori inferiori al 1 µg/m³ non appena ci si allontani dai confini esterni delle aree di cantiere. Per questo motivo, pur considerando un livello di concentrazione di background piuttosto cautelativo come quello misurato dalla stazione ARPAV di Sacca Fisola che va sommato ai valori stimati dal modello, non si segnala alcun rischio di superamento del limite di 40 µg/m³ per la protezione della popolazione.

Anche per gli NO_x, il contributo delle attività cantieristiche stimato dal modello non comporta alcun rischio di superamento del limite di 30 µg/m³ per la protezione della vegetazione. Manca in questo caso però un sito di misura significativo che possa essere utilizzato come valore di background con il quale verificare se il contributo del cantiere più il fondo porti a situazioni critiche.

La concentrazione media annua primaria di PM₁₀ maggiore è stimata per la bocca di Malamocco (21 µg/m³) che risente di un consistente contributo delle emissioni di risollevarimento dovuto all'estensione dell'area di cantiere, seguita da Lido (17 µg/m³) e Chioggia (9 µg/m³).

Prendendo come riferimento per il livello di fondo la concentrazione media annua misurata dalla stazione ARPAV di Sacca Fisola, il rischio di superamento del limite annuo di 40 µg/m³ per la protezione della popolazione verrebbe segnalato in un raggio di 500 metri per il caso di Malamocco, a ridosso del confine nord della tura per Chioggia e alcuni punti in corrispondenza dei confini dei cantieri per il caso del Lido.

In generale dunque in nessuna bocca di porto si evidenziano criticità per quanto riguarda i limiti annuali di protezione della popolazione.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Per quanto riguarda le situazioni meteorologiche a cui si associano le concentrazioni orarie e giornaliere più intense al suolo, le simulazioni modellistiche hanno indicato nelle condizioni stabili diurne una situazione particolarmente critica. Tali condizioni, che il preprocessore meteorologico CALMET individua potendo trattare l'interfaccia terra-mare, se associate ad ore in cui i cantieri sono ancora in esercizio possono determinare concentrazioni orarie di una certa rilevanza.

Nel caso dunque dell'NO₂ è stato segnalato il rischio di superamento del limite orario di protezione della salute di 200 µg/m³ per la zona sud-ovest di Sant'Erasmus.

Per quanto riguarda invece le concentrazioni giornaliere di PM10 la stima modellistica indica che, nonostante l'attività di cantiere possa generare emissioni intense sulle piste di passaggio e nelle zone di lavorazione, le polveri sollevate tendono a ricadere molto velocemente allontanandosi dal luogo di produzione, senza dunque comportare alcun rischio di superamento del limite giornaliero di 50 µg/m³.

Il confronto con i dati di monitoraggio disponibili del 2012 hanno dimostrato tutto sommato una buona corrispondenza tra la stima modellistica e le misure, evidenziando una probabile tendenza alla sovrastima da parte del modello. Le valutazioni fatte sulla criticità delle lavorazioni di cantiere possono dunque essere considerate di tipo cautelativo.

7 APPENDICE

Tabella A1. Bocca di porto di Malamocco - Emissioni mensili mezzi di cantiere [Mg] raggruppati per aree di lavoro - *CORREGGE E SOSTITUISCE LA TABELLA A3 DEL RAPPORTO FINALE STUDIO B/8*

Bocca di porto	Zona	Mese	NOx			NOx uncontrolled			PM			PM uncontrolled		
			Mezzi di terra	Mezzi acquei	Totale	Mezzi di terra	Mezzi acquei	Totale	Mezzi di terra	Mezzi acquei	Totale	Mezzi di terra	Mezzi acquei	Totale
MALAMOCCO	SPALLA NORD	gen	0.351	0.015	0.366	0.665	0.015	0.680	0.025	0.001	0.027	0.062	0.001	0.063
	SPALLA NORD	feb	0.173	0.015	0.189	0.329	0.015	0.344	0.012	0.001	0.013	0.030	0.001	0.031
	SPALLA NORD	mar	0.301	0.015	0.316	0.571	0.015	0.586	0.022	0.001	0.023	0.053	0.001	0.055
	SPALLA NORD	apr	0.270	0.015	0.285	0.512	0.015	0.527	0.020	0.001	0.021	0.048	0.001	0.049
	SPALLA NORD	mag	0.275	0.015	0.290	0.523	0.015	0.538	0.019	0.001	0.021	0.048	0.001	0.049
	SPALLA NORD	giu	0.236	0.015	0.251	0.449	0.015	0.464	0.017	0.001	0.018	0.041	0.001	0.043
	SPALLA NORD	lug	0.210	0.015	0.225	0.398	0.015	0.414	0.015	0.001	0.016	0.037	0.001	0.038
	SPALLA NORD	ago	0.134	0.015	0.149	0.255	0.015	0.270	0.009	0.001	0.011	0.023	0.001	0.024
	SPALLA NORD	set	0.185	0.015	0.200	0.351	0.015	0.366	0.013	0.001	0.014	0.032	0.001	0.033
	SPALLA NORD	ott	0.267	0.015	0.282	0.506	0.015	0.521	0.019	0.001	0.020	0.046	0.001	0.048
	SPALLA NORD	nov	0.205	0.015	0.220	0.390	0.015	0.405	0.015	0.001	0.016	0.036	0.001	0.037
	SPALLA NORD	dic	0.206	0.015	0.221	0.392	0.015	0.407	0.015	0.001	0.016	0.036	0.001	0.037
	SPALLA NORD	2012	2.814	0.181	2.995	5.340	0.181	5.521	0.201	0.016	0.217	0.492	0.016	0.508
	SPALLA SUD + CASSONI	gen	0.830	0.894	1.724	1.571	0.894	2.464	0.058	0.080	0.139	0.145	0.080	0.225
	SPALLA SUD + CASSONI	feb	0.614	1.053	1.667	1.160	1.053	2.213	0.043	0.094	0.137	0.106	0.094	0.201
	SPALLA SUD + CASSONI	mar	0.860	1.256	2.116	1.627	1.256	2.883	0.060	0.113	0.173	0.149	0.113	0.262
	SPALLA SUD + CASSONI	apr	0.704	1.460	2.164	1.331	1.460	2.792	0.049	0.131	0.180	0.122	0.131	0.253
	SPALLA SUD + CASSONI	mag	0.952	1.706	2.658	1.801	1.706	3.507	0.066	0.153	0.219	0.165	0.153	0.318
	SPALLA SUD + CASSONI	giu	0.871	1.788	2.658	1.648	1.788	3.435	0.060	0.160	0.220	0.150	0.160	0.310
	SPALLA SUD + CASSONI	lug	1.006	1.808	2.814	1.904	1.808	3.712	0.069	0.162	0.231	0.173	0.162	0.335
	SPALLA SUD + CASSONI	ago	0.568	0.770	1.338	1.072	0.770	1.842	0.040	0.069	0.109	0.099	0.069	0.168
	SPALLA SUD + CASSONI	set	0.753	1.727	2.480	1.424	1.727	3.151	0.052	0.155	0.206	0.130	0.155	0.285
	SPALLA SUD + CASSONI	ott	0.686	1.796	2.483	1.300	1.796	3.097	0.047	0.161	0.208	0.118	0.161	0.279
	SPALLA SUD + CASSONI	nov	0.774	1.532	2.306	1.465	1.532	2.997	0.054	0.138	0.191	0.134	0.138	0.271
	SPALLA SUD + CASSONI	dic	0.597	0.953	1.550	1.129	0.953	2.082	0.042	0.086	0.127	0.104	0.086	0.189
	SPALLA SUD + CASSONI	2012	9.214	16.744	25.958	17.431	16.744	34.175	0.639	1.501	2.140	1.595	1.501	3.096
	BARRIERA	gen	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	BARRIERA	feb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	BARRIERA	mar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	BARRIERA	apr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	BARRIERA	mag	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	BARRIERA	giu	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BARRIERA	lug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
BARRIERA	ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
BARRIERA	set	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
BARRIERA	ott	0.000	0.014	0.014	0.000	0.014	0.014	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	
BARRIERA	nov	0.000	0.028	0.028	0.000	0.028	0.028	0.000	0.002	0.002	0.000	0.003	0.003	
BARRIERA	dic	0.000	0.015	0.015	0.000	0.015	0.015	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	
BARRIERA	2012	0.000	0.056	0.056	0.000	0.056	0.056	0.000	0.005	0.005	0.000	0.005	0.005	
TOTALE BOCCA DI MALAMOCCO			12.0	17.0	29.0	22.8	17.0	39.8	0.8	1.5	2.4	2.1	1.5	3.6

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Tabella A2. Stima emissioni annuali di NOx dei mezzi di cantiere (*composite*) per bocca di porto relative agli anni dal 2011 al 2013 [Mg]

Bocca di Porto	tipo	NOx 2011	NOx 2012	NOx 2013
Lido	mezzi di terra	48.4	12.1	4.1
	mezzi acquei	49.8	58.5	15.0
	totale	98.2	70.6	19.1
Malamocco	mezzi di terra	12.9	12.0	11.5
	mezzi acquei	5.9	17.0	18.8
	totale	18.8	29.0	30.4
Chioggia	mezzi di terra	12.1	5.1	8.8
	mezzi acquei	20.1	6.0	10.0
	totale	32.2	11.1	18.8

Tabella A3. Stima emissioni annuali di PM dei mezzi di cantiere (*composite*) per bocca di porto relative agli anni dal 2011 al 2013 [Mg]

Bocca di Porto	tipo	PM 2011	PM 2012	PM 2013
Lido	mezzi di terra	3.4	0.9	0.3
	mezzi acquei	4.4	5.1	1.3
	totale	7.8	6.0	1.6
Malamocco	mezzi di terra	0.9	0.8	0.8
	mezzi acquei	0.5	1.5	1.7
	totale	1.4	2.4	2.5
Chioggia	mezzi di terra	0.9	0.4	0.6
	mezzi acquei	1.8	0.6	0.9
	totale	2.7	0.9	1.6

Tabella A4. Stima emissioni annuali di PM10 per risollevario per gli anni dal 2011 al 2013 [Mg]

Bocca di Porto	tipo	PM 2011	PM 2012	PM 2013
Lido	risollevario da cantiere	13.0	8.8	7.4
	risollevario eolico	3.4	0.8	0.6
	totale	16.3	9.6	8.0
Malamocco	risollevario da cantiere	22.8	22.8	22.7
	risollevario eolico	2.0	2.0	1.9
	totale	24.7	24.7	24.7
Chioggia	risollevario da cantiere	9.6	9.7	9.7
	risollevario eolico	2.5	0.8	0.8
	totale	12.1	10.6	10.5

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Tabella A5. Concentrazioni [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] – massimi nel dominio di calcolo (esclusi i punti di cantiere) delle medie annuali di NO_2 per gli anni dal 2011 al 2013

Bocca di Porto	NO_2 2011	NO_2 2012	NO_2 2013
Lido	31.2	12.6	7.6
Malamocco	10.1	4.7	8.2
Chioggia	14.1	4.0	7.1

Tabella A6. Concentrazioni [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] – massimi nel dominio di calcolo (esclusi i punti di cantiere) delle medie annuali di NO_x per gli anni dal 2011 al 2013

Bocca di Porto	NO_x 2011	NO_x 2012	NO_x 2013
Lido	66.3	35.3	22.7
Malamocco	17.8	18.7	27.9
Chioggia	25.1	8.9	15.9

Tabella A7. Concentrazioni [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] – massimi nel dominio di calcolo (esclusi i punti di cantiere) delle medie annuali di PM_{10} per gli anni dal 2011 al 2013

Bocca di Porto	tipo	PM_{10} 2011	PM_{10} 2012	PM_{10} 2013
Lido	emiss.mezzi	5.3	3.1	1.9
	risollevamento	15.8	14.8	17.9
	emiss.mezzi+ risollevamento	21.1	16.6	18.4
Malamocco	emiss.mezzi	1.4	1.5	2.3
	risollevamento	20.2	19.4	22.7
	emiss.mezzi+ risollevamento	20.7	20.9	25.1
Chioggia	emiss.mezzi	2.1	0.7	1.3
	risollevamento	10.9	8.3	10.5
	emiss.mezzi+ risollevamento	12.7	9.0	11.6