

# HARMONIA

**HAR**bour **MO**deling and measurements **I**n support of **A**ir quality

*Francesca Barnaba, Gian Paolo Gobbi, Silvia Trini Castelli (CNR-ISAC)*

*Cristina Pozzi, Paola Radice, Gianni Tinarelli (ARIANET S.r.l.)*



Consiglio Nazionale  
delle Ricerche



# HARMONIA è una collaborazione tra l'AdSP e il CNR-ISAC mirata alla valutazione modellistica degli effetti del porto e di potenziali sue modifiche future sui principali parametri normati di qualità dell'aria nel comprensorio di Civitavecchia.

## Si sono simulati 3 scenari

Lo **scenario di riferimento dello studio (S0)** si riferisce all'anno 2018 ma con navi alimentate con combustibili a basso tenore di zolfo (normativa 2020)

Per simulare **possibili effetti di sviluppi futuri** sono poi stati concordati due differenti **scenari emissivi**:

- **Scenario S1: elettrificazione di alcune banchine e relative navi attraccanti**

- **Scenario S2: alternativo all'elettrificazione con passaggio ad alimentazione GNL di una parte della flotta navale ed interventi sul settore del trasporto a terra**

Scenari	S0	S1	S2
<b>Componenti emissive</b>	Riferimento	Elettrificazione banchine	Interventi alternativi
<b>Emissioni navali in porto e in avvicinamento</b>	Situazione al 2018	Stesso parco navi di S0 ma <b>elettrificazione per il 32% delle navi da crociera e per traghetti Grimaldi 'Roma' e 'Barcellona'</b>	Stesso parco navi di S0 ma <b>conversione a GNL del 50% delle navi da crociera</b>
<b>Emissioni trasporto a terra (land-side) all'interno dell'area portuale</b>	Situazione al 2018	Invariato da S0	Nuova ripartizione modale merci in favore del <b>trasporto su ferro &amp; alimentazione elettrica</b> per mezzi portuali

# FASE I DELLO STUDIO: EMISSIONI DEL PORTO

Per eseguire lo studio sono state calcolate le emissioni degli inquinanti normati rilasciati in ogni ora dell'anno (2018) da ogni sorgente navale e terrestre presente nel porto



Traffico navale suddiviso in

- Fase di stazionamento
- Fase di manovra
- Fase di crociera

Emissioni *land side*:

- Veicoli stradali leggeri e pesanti connessi alle navi crociera ed al cabotaggio
- Mezzi pesanti afferenti alle navi cargo
- Auto private degli operatori portuali e di servizio
- Auto nuove in polizza
- Trasporto pubblico portuale
- Gru
- Trasporto ferroviario

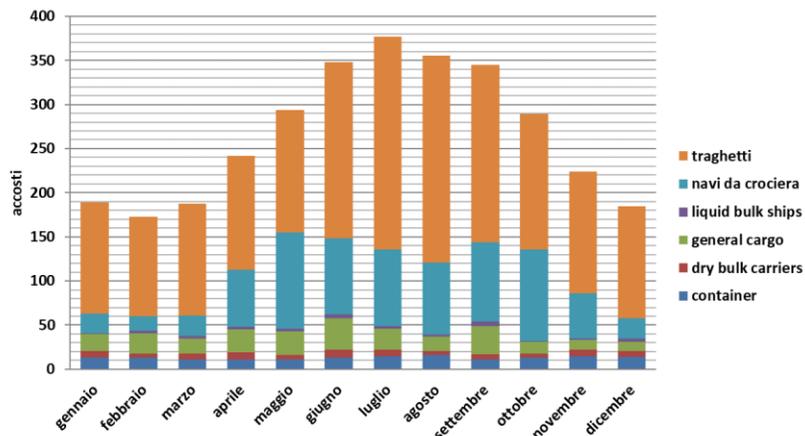
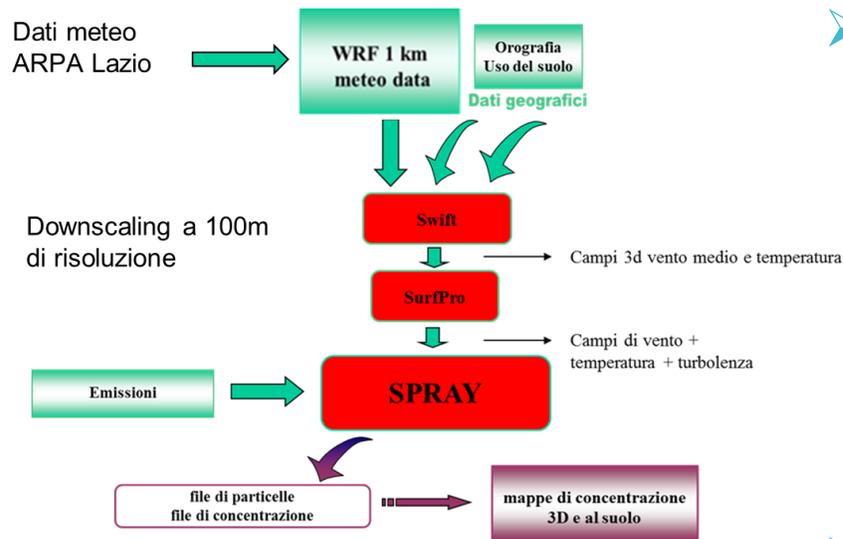


Tabella A2.6. Distribuzione degli arrivi 2018 nelle diverse macro-categorie

container	156
dry bulk carriers	79
general cargo	254
liquid bulk ships	34
navi da crociera	758
traghetti	1928

## FASI II e III DELLO STUDIO: Ricostruzione della meteorologia e Simulazioni

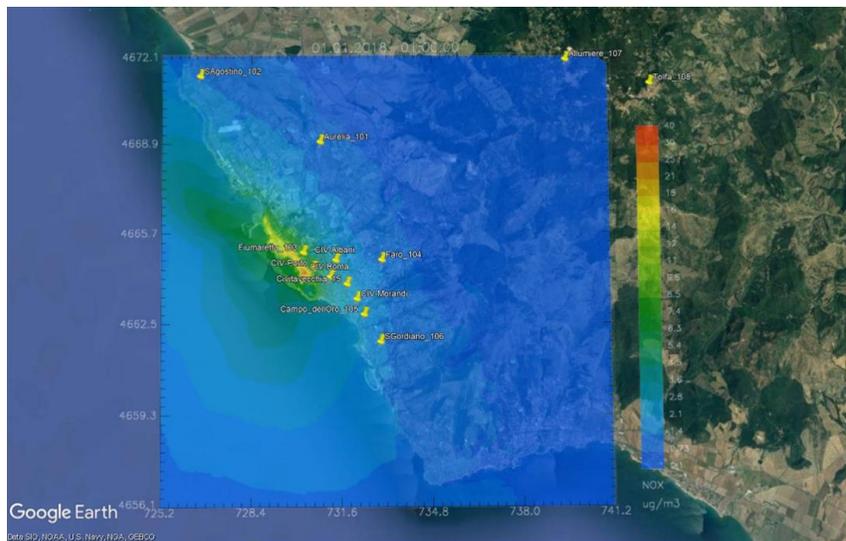


- Tutti i **parametri meteorologici** dell'anno 2018 sono stati ricavati, con procedure di «downscaling», con **risoluzione spaziale di 100m in orizzontale, 10m in verticale e passo temporale di 1h**. Questi dati sono necessari alla simulazione della dispersione degli inquinanti emessi nel porto sul **dominio considerato** (di 16 x 16 km, esteso fino a 5000 m in verticale) comprendente l'area di Civitavecchia (**Figura a sinistra**).

- La **dispersione degli inquinanti** è calcolata mediante un **modello di tipo “lagrangiano a particelle”** che segue gli spostamenti degli inquinanti in atmosfera utilizzando la reale meteorologia di quel momento

- La modellizzazione ha permesso di calcolare le **concentrazioni attese di inquinanti per ogni ora dell'anno e in ogni cella (100 x 100m e 10m di quota) del dominio**, inclusi alcuni punti 'recettore' al suolo, **corrispondenti alle centraline di monitoraggio**, dove confrontare simulazioni e dati osservati nel 2018.





Mappa della concentrazione media annua di NOx riportata sulla cartografia dell'area con indicazione delle stazioni di misura Arpa Lazio.

Lo scenario S0



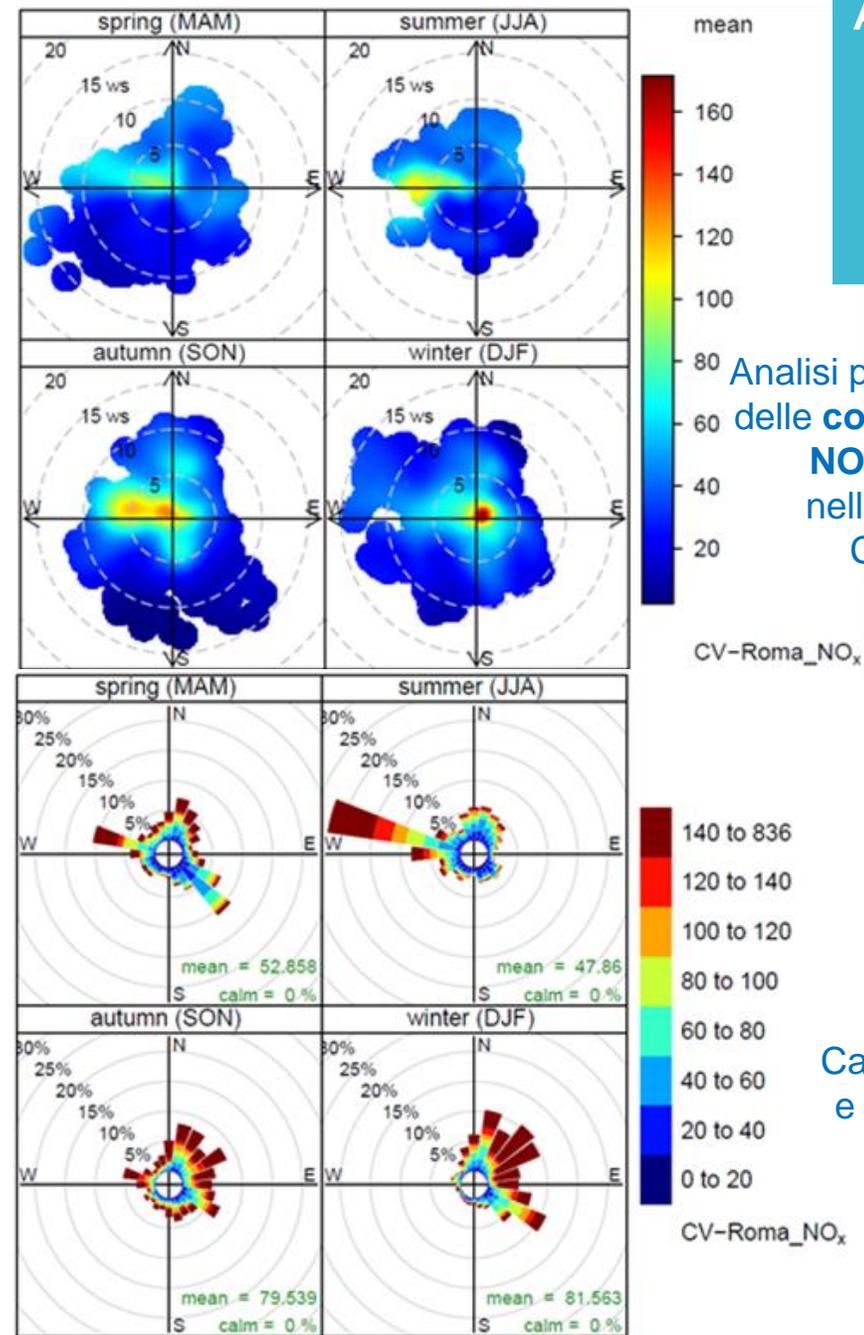
Nei punti del dominio corrispondenti alle centraline di monitoraggio ARPA Lazio sono stati estratti i valori medi orari, giornalieri o annuali simulati per un confronto con i corrispondenti dati misurati e con la normativa di riferimento.

Tabella 8. Valori Limite alle concentrazioni di inquinanti dell'aria. D. Lgs. 13/08/2010 n. 155 in recepimento della Direttiva 2008/50/CE.

Inquinante	Limite	Periodo di mediazione dati	Nota	Margine di tolleranza
CO	10 mg/m <sup>3</sup>	Media massima giornaliera su 8 ore		-
NO <sub>2</sub>	200 µg/m <sup>3</sup>	Media oraria	da non superare più di 18 volte l'anno	-
	40 µg/m <sup>3</sup>	Media annuale		-
SO <sub>2</sub>	350 µg/m <sup>3</sup>	Media oraria	da non superare più di 24 volte l'anno	-
	125 µg/m <sup>3</sup>	Media giornaliera	da non superare più di 3 volte l'anno	-
PM <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>	Media giornaliera	da non superare più di 35 volte l'anno	-
	40 µg/m <sup>3</sup>	Media annuale		-
PM <sub>2.5</sub> (fase 1)	25 µg/m <sup>3</sup>	Media annuale		20%
PM <sub>2.5</sub> (fase 2)	20 µg/m <sup>3</sup>	Media annuale		-

## Confronto con il dato reale delle centraline Arpa Lazio

- Il dato simulato di concentrazione tiene conto esclusivamente delle emissioni del porto (navali e terrestri) e non considera altre sorgenti emissive esterne al porto ma nel dominio (p. es. traffico, riscaldamento, industrie, centrali elettriche) che invece possono incidere notevolmente sul dato osservato. Il confronto è quindi effettuato sia direttamente (dato simulato vs. dato osservato) che mediante una “analisi polare”.
- L’analisi polare eseguita sulle concentrazioni misurate dalle centraline è in grado di ‘disaggregare’ il dato osservato in relazione alla direzione e intensità del vento, dunque stimando la quota parte di concentrazione misurata attribuibile a sorgenti localizzabili nella sola zona del porto.
- Altro aspetto importante dell’analisi è la separazione dei contributi alle concentrazioni derivanti dalle emissioni “navale” e “terrestre”,



Analisi polare dei dati MISURATI dei diversi inquinanti

Analisi polare stagionale delle concentrazioni di NOx misurate nella centralina CV-Roma

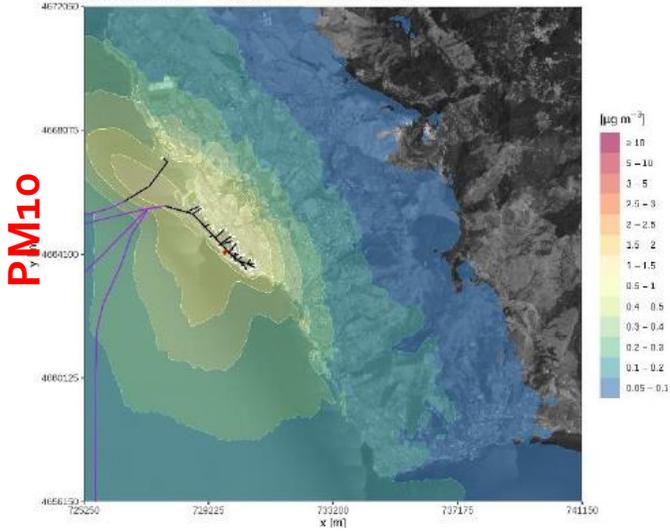
Calcolo della media e del contributo % alla media

Proportion contribution to the mean (%)

# PRINCIPALI RISULTATI

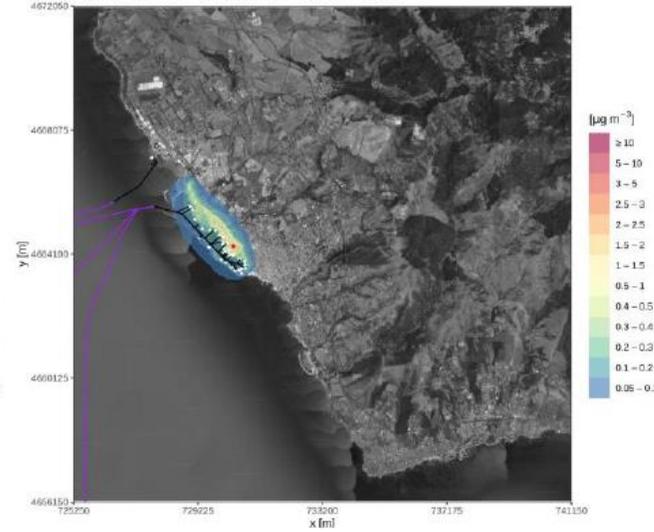
## Navi

Concentrazione media annua di PM10 - Scenario S0 - NAVI  
Massimo nel dominio = 0.94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , X= 729750, Y= 4664150



## Terra

Concentrazione media annua di PM10 - Scenario S0 - LANDSIDE  
Massimo nel dominio = 1.59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , X= 730350, Y= 4664350



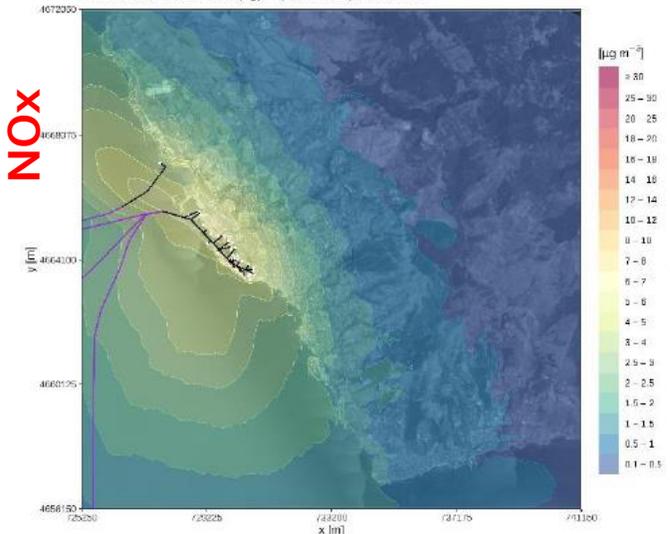
## Valutazione del contributo del porto alle concentrazioni di inquinanti nel comprensorio di Civitavecchia (I)

- Nonostante le emissioni del comparto navale siano da 10 a 30 volte maggiori rispetto quelle *land-side*, si è trovato che le prime, caratterizzate da un rilascio ad altezze maggiori rispetto alle emissioni terrestri, si disperdono su distanze maggiori, generando concentrazioni al suolo minori nell'area limitrofa al porto.

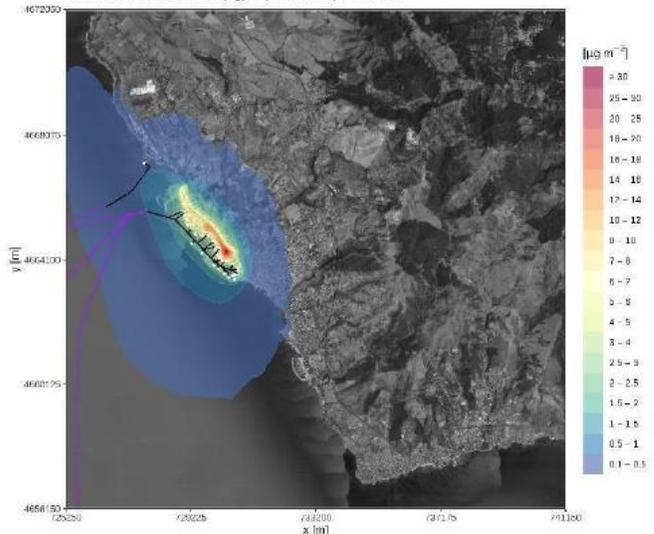
- Di converso, le emissioni terrestri generano concentrazioni più localizzate nell'area portuale e caratterizzate da valori piuttosto elevati.

## NOx

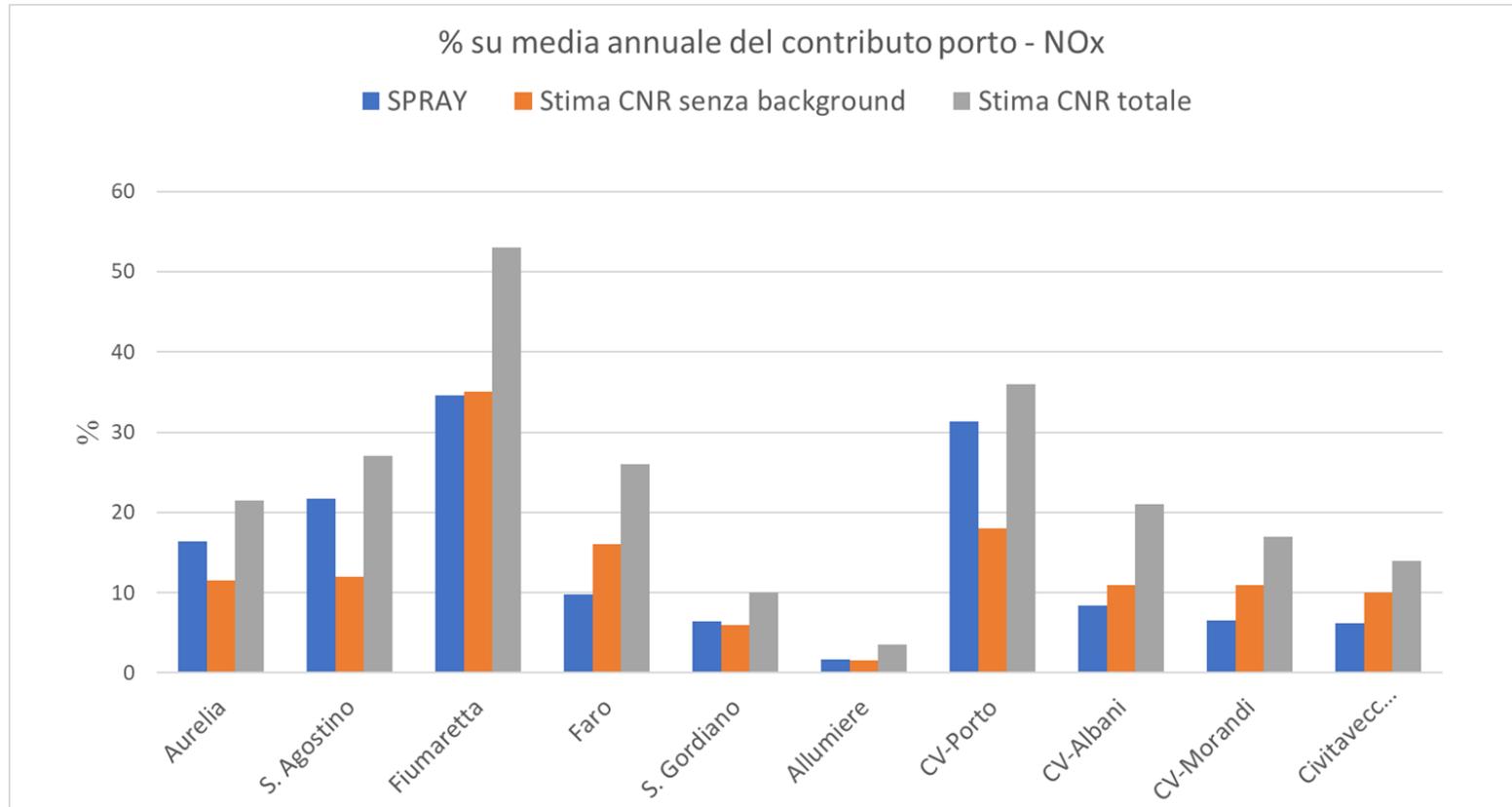
Concentrazione media annua di NOx - Scenario S0 - NAVI  
Massimo nel dominio = 10.91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , X= 730250, Y= 4664050



Concentrazione media annua di NOx - Scenario S0 - LANDSIDE  
Massimo nel dominio = 25.11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , X= 730350, Y= 4664350



## Valutazione del contributo del porto alle concentrazioni di inquinanti nel comprensorio di Civitavecchia (II)



Stima del contributo del porto (%) su medie annuali misurate di NOx, ottenuto dal modello SPRAY per **SO** e dalla analisi polare delle misure ARPA

## Valutazione del contributo del porto alle concentrazioni di inquinanti nel comprensorio di Civitavecchia (III)

Lo studio indica che, nell'area di Civitavecchia, il porto rappresenta un "contribuente di minoranza" per gli inquinanti normati quali PM10, NOx e, in larga parte, l'SO2. Considerando che nel comprensorio di Civitavecchia non si sono verificate nel 2018 condizioni sanzionabili di superamento dei limiti di legge per tali inquinanti, lo studio non rileva criticità attribuibili in tal senso al complesso delle emissioni portuali.

### Valori medi misurati di NOx e SO2 e stima contributo del porto alle concentrazioni **misurate** e **simulate**

Tabella 9. Valori medi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) di NOx e SO<sub>2</sub> misurati nelle centraline Arpa Lazio nel 2018 (Arpa Lazio YrAvg), e contributi percentuali da analisi polare "Polar" (totale (max) e valore minimo, senza background locale (nobkgnd)) stimati provenire dall'arco sotteso dalle direzioni del porto (port angle range) e contributo percentuale previsto dal modello Spray per attività navali (Navi), terrestri (Land) e totale (TOT).

Centralina ArpaLazio Station	Port angle range	Arpa Lazio NOx YrAvg	Polar NOx% max	Polar NOx% nobkgnd	SPRAY Nox% TOT	SPRAY Nox% Navi	SPRAY Nox% Land	Arpa Lazio SO2 YrAvg	Polar SO2% max	Polar SO2% nobkgnd	Spray SO2% TOT	SPRAY SO2% Navi	SPRAY SO2% Land
Civitavecchia	270-315	29.5	14.0	10.0	10.1	9.4	0.6	0.74	18.0	15.0	15.9	15.9	0.0
CV-Porto	180-330	40.4	36.0	26.0	31.4	11.2	20.2	0.82	40.0	22.0	25.4	23.2	2.1
CV-Albani	210-300	39.6	21.0	11.0	8.4	7.7	0.7						
CV-Morandi	285-315	37.6	17.0	11.0	9.8	8.9	0.9						
CV-Roma	240-315	65.2	19.0	9.0	6.5	5.8	0.8						
Aurelia	160-225	6.6	21.5	11.5	16.3	15.5	0.9						
S_Agostino	130-170	6.6	27.0	12.0	21.7	20.9	0.8						
Fiumaretta	165-285	26.5	53.0	35.0	34.5	19.3	15.2	1.41	54.0	40.0	15.7	15.1	0.6
Faro	240-300	14.1	26.0	16.0	9.7	9.3	0.4	0.56	30.0	20.0	9.8	9.8	0.0
S_Gordiano	300-315	27.6	10.0	6.0	6.4	6.2	0.2						
Allumiere	240-260	8.7	3.5	1.5	1.7	1.6	0.1	0.73	4.5	2.5	0.8	0.8	0.0

# Valutazione dei contributi degli scenari alternativi (S1&S2) rispetto a S0 (I)

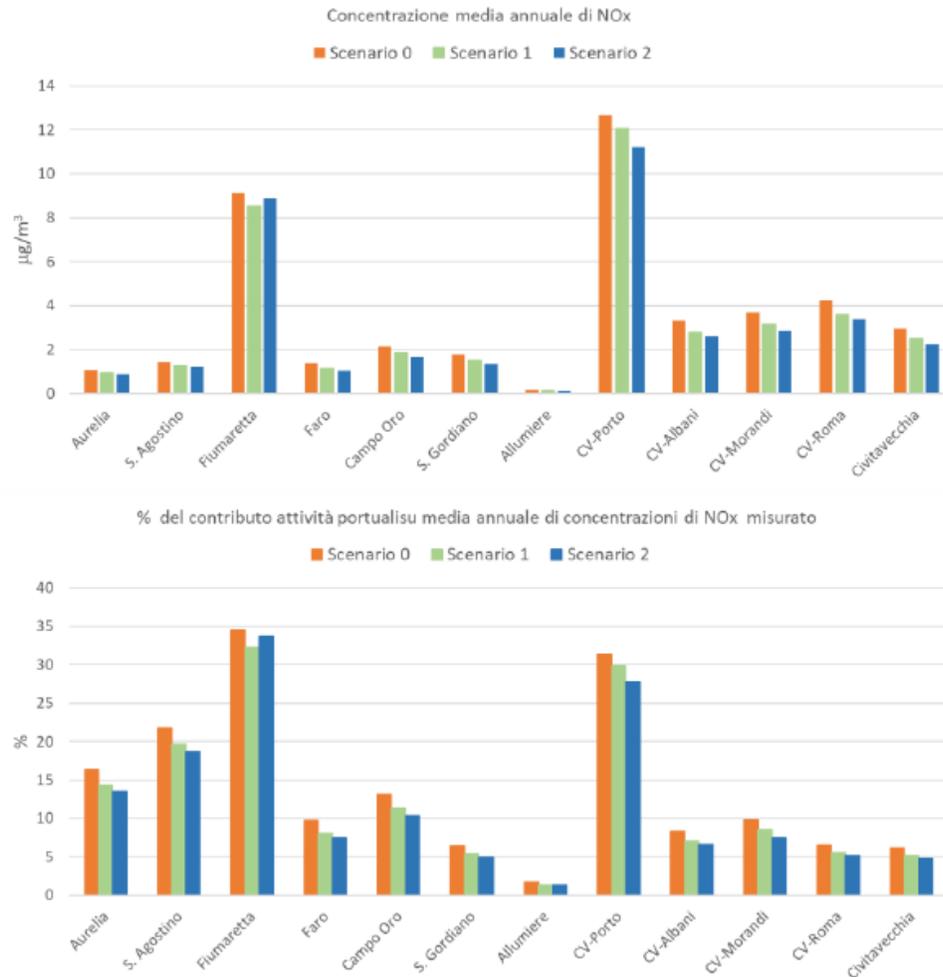


Figura 14. NOx, concentrazione media annua alle stazioni di misura per i tre scenari (sopra) e relativo contributo percentuale sul dato misurato (sotto).

- ✓ In termini assoluti, gli scenari S1 ed S2 portano una riduzione degli inquinanti emessi dal porto.
- ✓ Per lo **scenario S1** si è valutata una **riduzione delle emissioni navali** dell'ordine del **13%** per CO, CO<sub>2</sub>, NOx e SO<sub>2</sub>, del **16%** per PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub>.
- ✓ Nello **scenario S2** le **emissioni navali si riducono tra il 18 e il 28%** per NOx, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub>, e del **12%** per la CO<sub>2</sub>. Sebbene in S2 si intervenga anche sul comparto 'terra', le riduzioni emissive complessive (navi + terra) rispetto ad S0 restano praticamente identiche, vista la dominanza delle prime rispetto alle seconde.
- ✓ Nello scenario S2 lo spostamento su ferrovia di una buona percentuale del trasporto su gomma porterebbe ad un **aumento delle emissioni di NOx, CO e PM**, un risultato inatteso, sostanzialmente dovuto al tipo di alimentazione previsto (diesel) per le motrici ferroviarie.

## Valutazione del contributo del porto (Navi e Terra) alle concentrazioni di inquinanti nei tre scenari

NOx contribuiti alla concentrazione media annua dei comparti navale e *landside* per gli scenari S0, S1 e S2

alle stazioni di misura (sopra) e valore medio annuo dei dati di NO<sub>2</sub> misurati (sotto).



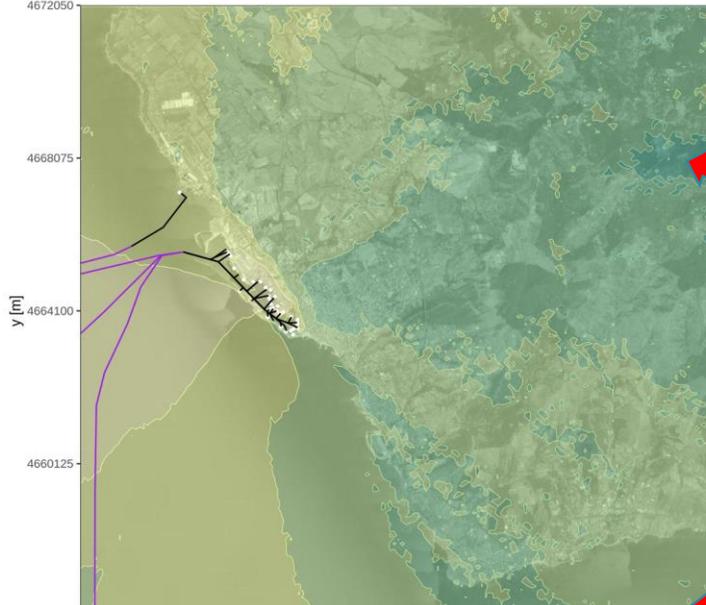
L'analisi ha evidenziato come le centraline Arpa più vicine al porto (Fiumaretta e Porto) siano le più influenzate dalle emissioni portuali (max 35% per NOx) e come queste siano in buona parte di origine *land-side*, mentre nel resto del territorio le centraline riscontrano prevalentemente l'impatto delle emissioni navali (<22% per NOx).

✓ In particolare, la centralina Arpa Porto presenta il massimo contributo annuale *land-side* (20% del totale rispetto a 11% proveniente delle navi), legato verosimilmente al traffico veicolare, privato e non, che attraversa il vicino varco Vespucci.

✓ Per il PM10 si riscontrano risultati analoghi mentre, come atteso, per l'SO<sub>2</sub> il contributo è essenzialmente navale (e.g., Fig. 22-23 della Relazione Finale CNR).

Differenze % concentrazione media annua di NO<sub>x</sub> - S1-S0

Range nel dominio = -24.22 , -1.02 %



## Variazione percentuale delle concentrazioni di NO<sub>x</sub> degli scenari S1 e S2 rispetto S0:

S1-S0

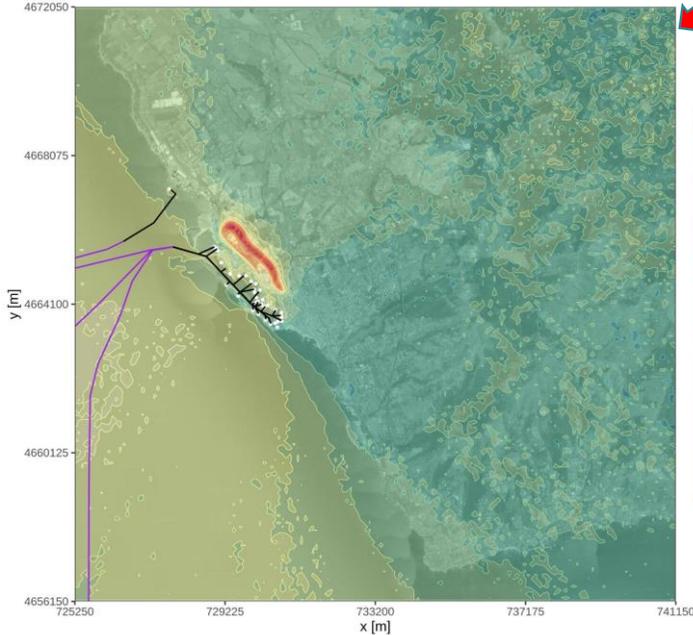
S2-S0

S2-S0 (SHIPS)

S2-S0 (LAND)

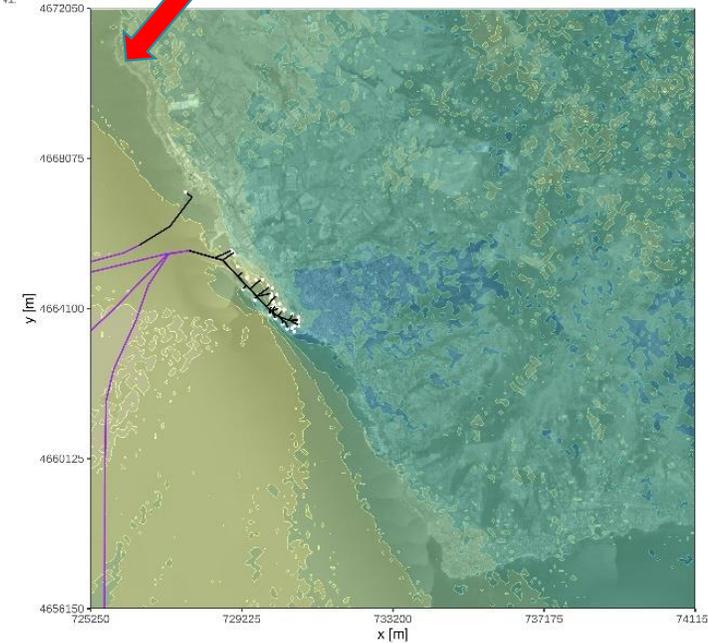
Differenze % concentrazione media annua di NO<sub>x</sub> - S2-S0

Range nel dominio = -30.92 , 26.17 %



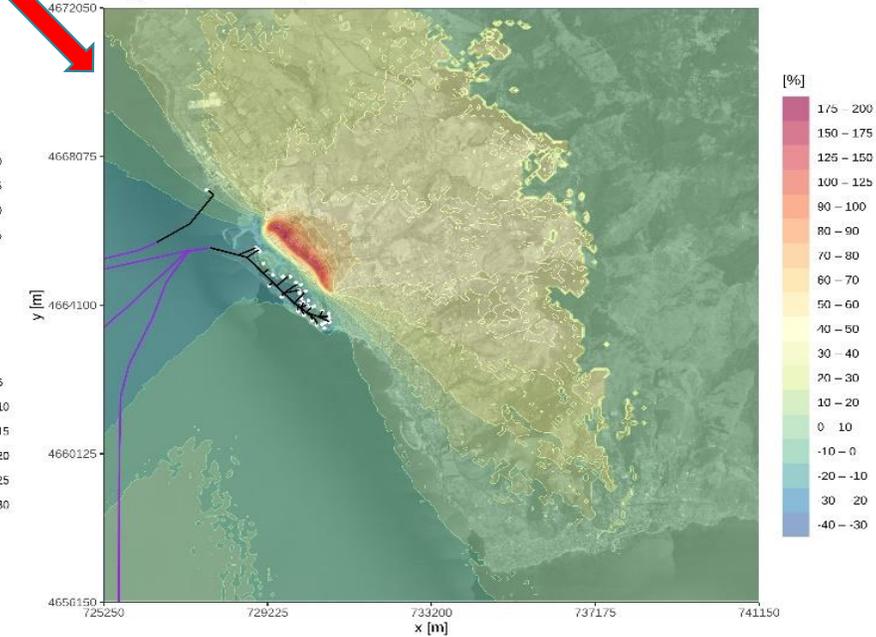
Differenze % concentrazione media annua di NO<sub>x</sub> - S2-S0 - NAVI

Range nel dominio = -32.48 , -2.24 %

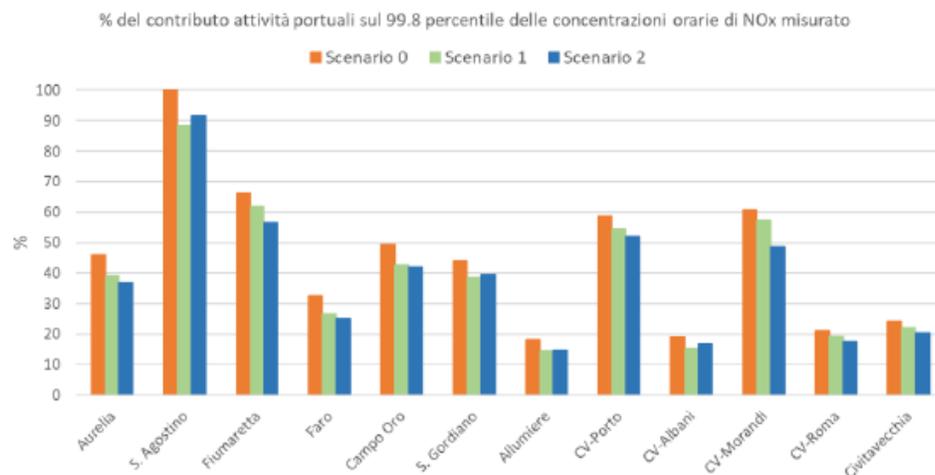
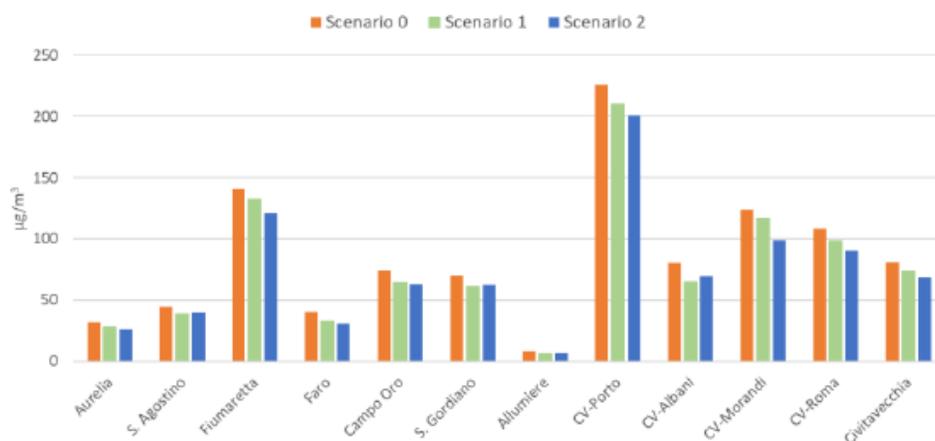


Differenze % concentrazione media annua di NO<sub>x</sub> - S2-S0 - LANDSIDE

Range nel dominio = -19.51 , 166.01 %



## Valutazione dei contributi emissivi dei due scenari alternativi (S1 e S2) rispetto ad S0

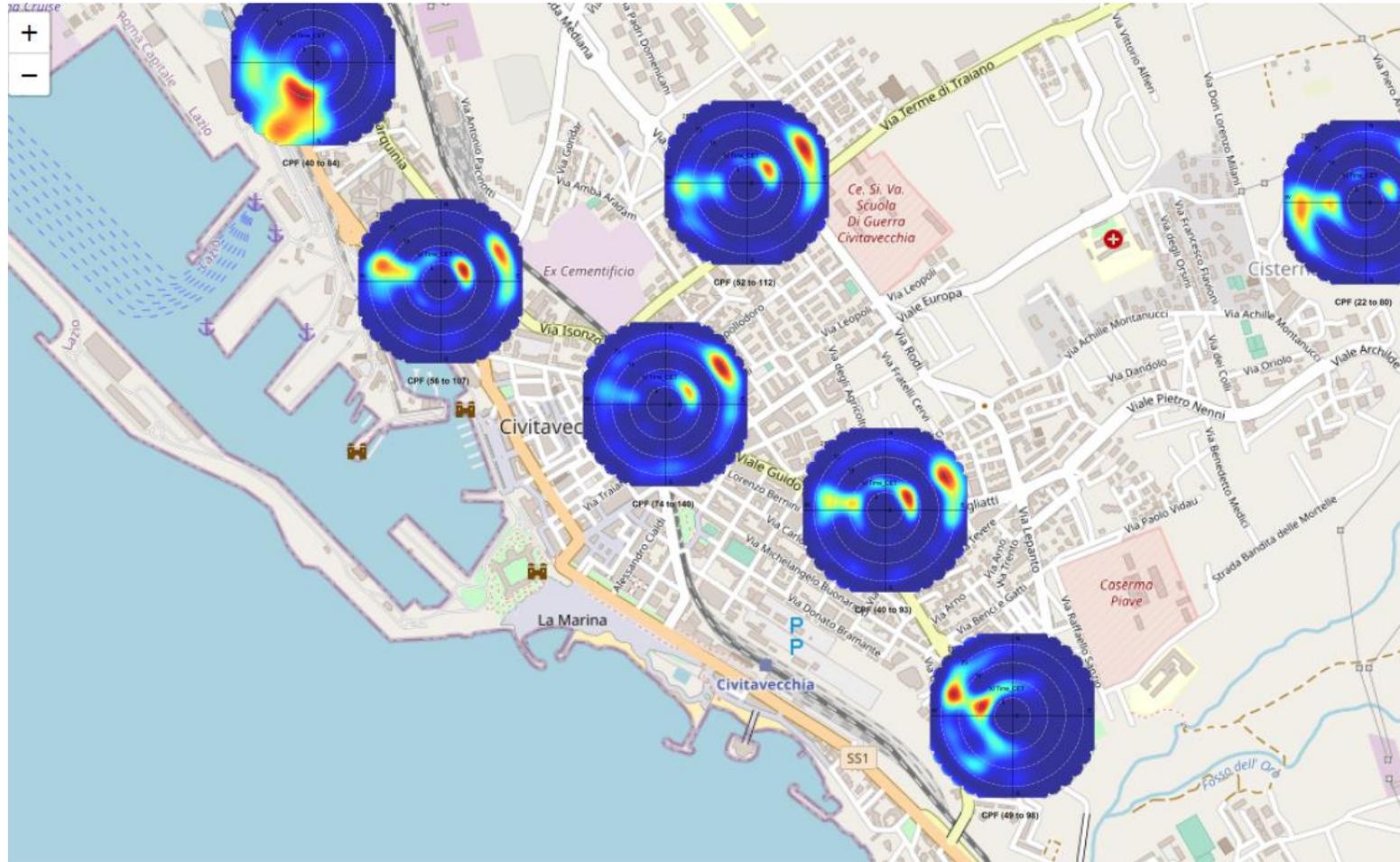


Complessivamente, i miglioramenti emissivi assoluti, associati agli scenari S1 e S2 si traducono in diminuzioni medie annuali sul territorio (ad es. alle stazioni di monitoraggio) molto più basse. Per i NOx le riduzioni al recettore variano ad esempio tra -1% e -4% e per l'SO2 tra il -1% e -6%

In termini di “picchi” di inquinanti, il massimo percentile raggiunto dalle emissioni portuali di NOx ed SO2 rimane contenuto rispetto ai dati registrati nelle varie centraline (eccetto Fiumaretta).

Figura 15. NOx, 99.8 percentile delle concentrazioni alle stazioni di misura per i tre scenari (sopra) e relativo contributo percentuale sul dato misurato (sotto).

## Picchi di inquinanti in S0 (98° percentile di NO2)



La dislocazione polare/24h del 98° percentile (massimi misurati) delle concentrazioni di NO2 mostra in città un impatto dominante del traffico, solo la stazione di Fiumaretta riporta un contributo principale dal porto

# CONCLUSIONI

- ➔ Nel comprensorio di Civitavecchia, non si rilevano criticità attribuibili al complesso (navi+terra) delle emissioni portuali nel causare “sforamenti” dei limiti di legge per gli inquinanti “normati”;
- ➔ La diversa quota di emissione degli inquinanti delle navi rispetto ai mezzi terrestri, fa sì che i secondi possono avere maggior impatto sui livelli di inquinanti misurati nelle centraline più vicine al porto.
- ➔ La natura delle emissioni a terra è poco assoggettabile ad interventi migliorativi da parte della AdSP (sebbene ci si attenda che migliorerà all’aumentare della diffusione dei veicoli elettrici).
- ➔ In relazione alla circolazione atmosferica locale, una delocalizzazione del traffico privato e lo spostamento di alcune banchine nelle zone più a nord dell’area portuale porterebbe a una importante riduzione di inquinanti nella fascia di confine porto-città.
- ➔ L’impiego di mobilità elettrica per i veicoli di servizio all’interno del porto è fortemente raccomandabile.

# CONCLUSIONI

- Il trasferimento da strada a ferrovia di parti sostanziali delle movimentazioni merci destinate al porto, se effettuato mediante treni con motrici diesel, può portare ad un peggioramento locale degli indicatori di qualità dell'aria. In tal senso è fortemente raccomandabile valutare possibili soluzioni alternative all'uso dei treni a gasolio, come l'adozione di motrici elettriche.
- Riducendo le emissioni portuali del 12-28%, il beneficio "medio" per la qualità dell'aria portato al territorio da iniziative quali elettrificazione delle banchine e navi afferenti o impiego di GNL (come da scenari S1 ed S2) è risultato essere piuttosto contenuto.
- Al contempo, i risultati ottenuti dalle simulazioni forniscono indicazioni utili per l'elaborazione di ulteriori strategie di riduzione delle emissioni che possano portare ad un maggior beneficio ed un minore impatto delle attività portuali sulla qualità dell'aria.

**GRAZIE  
PER  
L'ATTENZIONE**

