

ATTIVITÀ T.3.3

Scenari di mitigazione

Prodotto T.3.3.1

Report sugli scenari locali

Partner Responsabile: AtmoSud

Contenuti

1. PORTI DI TOLONE E DI NIZZA (ATMOSUD)	3
1.1. Metodologia	3
1.1.1. Presentazione degli scenari	3
1.1.2. Descrizione delle emissioni.....	6
1.2. Risultati degli scenari	9
1.2.1. Mappe delle concentrazioni medie	10
1.2.2. Box-plot delle concentrazioni nell'area territoriale	21
1.2.3. Revisione statistica	24
1.3. Conclusione	26
2. PORTI DI AJACCIO E BASTIA (QUALITAIR CORSE)	28
2.1. Metodologia Qualitair Corse	28
2.1.1. Presentazione degli scenari base dei porti di Ajaccio e Bastia	28
2.1.2. Emissioni di scenario	34
2.2. Risultati degli scenari - Modellazione	47
2.2.1. Mappe di modellazione dell'inquinamento per i diversi scenari.....	50
2.2.2. Box-plot delle concentrazioni terrestre	66
2.2.3. Analisi statistica	70
Conclusione	71
3. PORTO DI GENOVA (UNIGE)	74
3.1. Presentazione degli scenari	74
3.1.1. Fattori di emissione	76
3.2. Risultati ottenuti	78
3.2.1. Mappe delle concentrazioni medie	78
3.2.2. Statistiche descrittive.....	85
3.3. Conclusioni	94
4. PORTO DI LIVORNO (ARPA TOSCANA)	96
4.1. Scenari di calcolo	96
4.1.1. Scenari ipotizzati	98
4.1.2. Scenari calcolati	101
4.2. Calcolo	102
4.2.1. Scenario Base	105
4.2.2. Scenario 1- Cold Ironing	112
4.2.3. Scenario 2- GNL	117
4.2.4. Scenario 3- Idrogeno	121
4.2.5. Scenario 4- SECA	125
4.3. Conclusioni	129

1. PORTI DI TOLONE E DI NIZZA (ATMOSUD)

Per ridurre i livelli di inquinamento nelle città portuali di Tolone, La Seyne-Brégaillon e Nizza, sono state individuate soluzioni per ridurre le emissioni marittime in collaborazione con le autorità locali. L'obiettivo di questo documento è stimare l'efficacia di queste misure di riduzione delle emissioni, attraverso la modellazione. Le simulazioni vengono effettuate variando le emissioni, in modo da riprodurre l'effetto dei diversi scenari. Il modello utilizzato per questo lavoro è il modello PMSS (Parallel Micro-SWIFT-SPRAY) sviluppato da Aria Technologies. Il funzionamento di questo modello, le sue prestazioni nell'ambito di questa applicazione e gli scenari di base che fungono da riferimento in relazione agli scenari di mitigazione esaminati in questo rapporto sono stati presentati nel deliverable T2.3.1 – *Report relativo ai risultati delle simulazioni della modellistica di progetto*.

In primo luogo, vengono presentati i diversi scenari esaminati. Poiché gli scenari sono implementati variando le emissioni marittime fornite al modello come dati di input, tali emissioni sono descritte per i diversi scenari. I risultati degli scenari di riduzione vengono poi analizzati per confronto con gli scenari di riferimento, utilizzando mappe, ma anche l'analisi delle concentrazioni nell'area territoriale, dove sono localizzate le popolazioni locali.

1.1. Metodologia

1.1.1. Presentazione degli scenari

Le soluzioni per la riduzione delle emissioni indagate in questo rapporto sono principalmente lo scenario CENAB (Collegamento Elettrico delle Navi Ai Bacini) e le misure per ridurre il contenuto di zolfo dei combustibili utilizzati dalle navi. Nessuno scenario operativo GNL è stato implementato, in quanto nessuna compagnia di navigazione che è cliente dei porti di Tolone e Nizza è pronta a passare al GNL. Le concentrazioni modellate sono le concentrazioni di NO_x, SO_x e PM_{2.5}. Le simulazioni sono simulazioni mensili, le cui date sono riportate nella Tabella 1. I risultati degli scenari sono confrontati con le simulazioni di riferimento, presentate nel deliverable T2.3.1 – *Report relativo ai risultati delle simulazioni della modellistica di progetto*.

Tabella 1 : Periodi di simulazione per i porti di Nizza e Toulon-la Seyne.

Porto	Periodi modellati
<u>Nizza</u>	- Estate : dal 02/08/2019 al 02/09/2019 - Inverno : dal 01/12/2019 al 31/12/2019
<u>Tolone – la Seyne</u>	- Inverno : dal 15/02/2021 al 15/03/2021 - Estate : dal 02/08/2021 al 02/09/2021

1.1.1.1. Scenario CENAB

1.1.1.1.1. Contesto di implementazione

Le navi collegate non producono emissioni durante il periodo in cui sono collegate. Nel porto di Tolone-la Seyne, questa soluzione è in corso di realizzazione per i traghetti sulle tre banchine del terminal crociere, ovvero Quai de la Corse, Quai Fournel e Quai Minerve. Il collegamento elettrico di un traghetto che richiede un'ora per l'inizio della connessione e un'ora per la disconnessione, sono ammissibili solo gli scali di durata superiore a 2h30. Ad oggi, la

compagnia di navigazione che serve il porto di Tolone ha attrezzato quattro delle sue otto navi per il CENAB. In questo studio, l'efficacia del CENAB viene valutata ipotizzando che tutti i traghetti possano collegarsi alla banchina. È interessato solo il porto di Tolone, in quanto attualmente non è prevista l'elettrificazione delle banchine del porto di La Seyne-Brégailon.

A Nizza non è prevista la realizzazione di un collegamento elettrico per i traghetti, poiché il 99% degli scali dura meno di 2h30. Dal 2018, le autorità portuali di Nizza hanno optato per un'implementazione graduale del CENAB per tutte le navi, ad eccezione dei traghetti. Le navi interessate sono essenzialmente navi da carico, piccole navi da crociera e grandi yacht (>25 m).

Nell'attuale metodologia di calcolo dell'inventario, le emissioni delle imbarcazioni da diporto sono considerate trascurabili e non è possibile calcolare tali emissioni senza formulare forti ipotesi. In particolare, non essendo gli orari di partenza e di arrivo degli yacht inclusi nei dati forniti dalle autorità portuali, non è possibile determinare la durata dell'effettiva presenza degli yacht. Anche se questa durata fosse nota, sarebbe comunque necessario conoscere la velocità di funzionamento dei motori ausiliari in banchina, che varia molto a seconda dell'utilizzo dello yacht. In inverno uno yacht in letargo spegnerà i motori per quasi tutta la sosta, mentre in estate può lasciarli accesi se si ferma solo per un breve periodo. La scelta fatta in questo studio è quella di mantenere il solito presupposto, che consiste nel considerare le emissioni degli yacht come trascurabili rispetto al resto delle emissioni marittime. Lo scenario CENAB si applica quindi alle emissioni di tutte le navi, ad eccezione di traghetti e yacht. Come per i traghetti di Tolone, si ipotizzano tempi di connessione e disconnessione di un'ora per ogni tipo di nave.

1.1.1.1.2. Analisi dei porti di scalo ammissibili per CENAB

I tempi di scalo calcolati a partire dai dati forniti dalle capitanerie di porto di Nizza e Tolone-la Seyne sono presentati nella Figura 1 sotto forma di istogrammi, distinguendo tra traghetti e altri tipi di imbarcazioni, senza tenere conto delle imbarcazioni da diporto per le quali non sono disponibili dati sufficientemente precisi. Ogni colonna di questi istogrammi rappresenta una fascia oraria di 2h30. A Tolone, si può notare che in estate l'81% degli scali ha una durata inferiore alle 2h30, e la maggior parte di questi sono traghetti. In totale, l'81% delle chiamate ai traghetti in estate è inferiore alle 2h30, il che significa che solo il 15% di tutte le chiamate è ammissibile al CENAB a Tolone in estate.

In inverno, invece, gli scali dei traghetti sono meno numerosi e più lunghi. Il tempo medio di sosta dei traghetti nel periodo considerato è di 14 ore. La somma di questi scali ammonta a 758 ore, rispetto alle 388 ore dell'estate. Ad eccezione di un'unica chiamata, la cui durata è inferiore a 2h30, tutte le chiamate dei traghetti in inverno sono ammissibili al CENAB.

A Nizza, dove, a differenza di Tolone, si prevede di passare all'elettrificazione di tutte le navi diverse dai traghetti, si può notare che nessuna di queste navi fa scalo per meno di 2h30. Tutti gli scali delle navi diverse dai traghetti e dalle imbarcazioni da diporto sono più lunghi di 2h30, e quindi ammissibili al CENAB. Tuttavia, la quota di traffico rappresentata da questi scali varia notevolmente a seconda della stagione considerata. In estate, l'88% degli scali è costituito da traghetti, contro il 42% in inverno. La durata media delle chiamate ai traghetti è di 1h30 in estate e 7 ore in inverno, rispetto alle 22 ore in estate e 142 ore in inverno per gli altri tipi di imbarcazioni. In estate, la somma dei tempi di chiamata dei traghetti rappresenta il 33% della somma di tutti i tempi di chiamata, rispetto a solo il 3% in inverno.

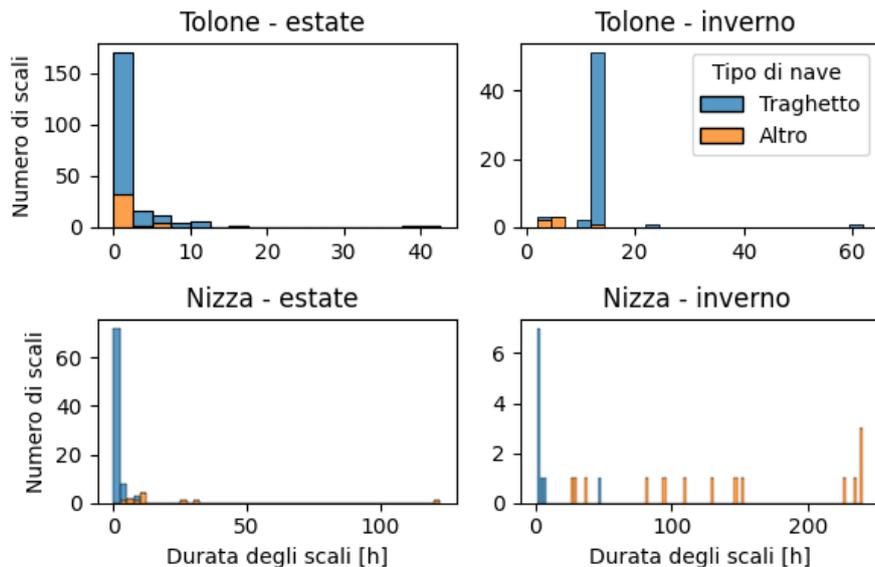


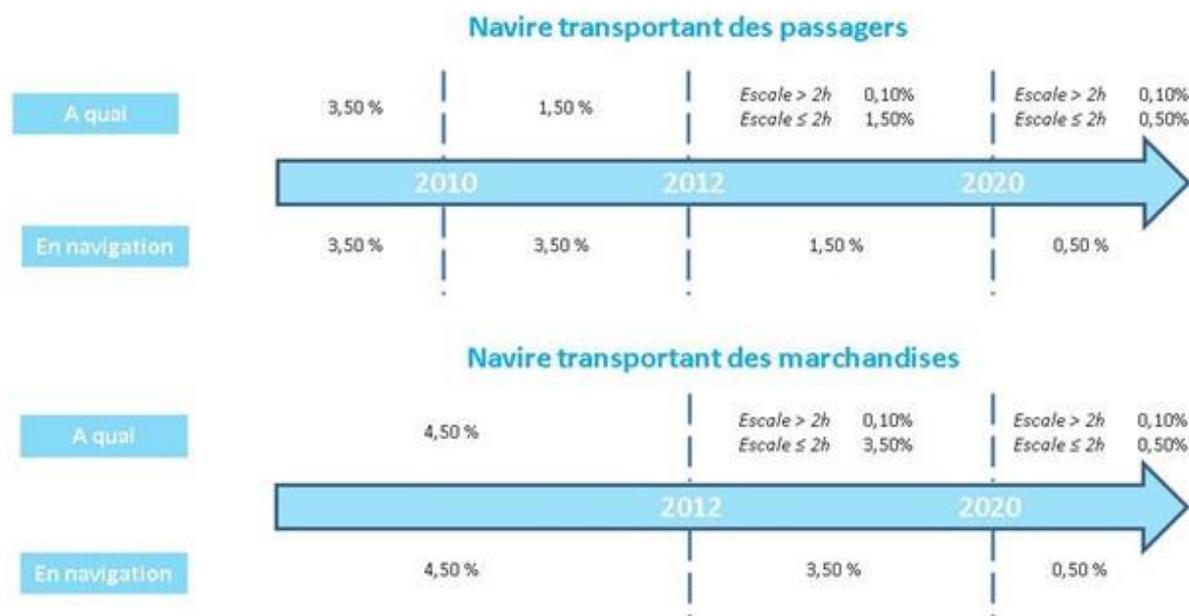
Figura 1 : Istogrammi delle durate degli scali nei porti di Tolone e Nizza per intervalli di 2h30, per le due stagioni modellate

1.1.1.2. Scenari « legislativi »

La legislazione sul contenuto di zolfo dei carburanti si è evoluta negli ultimi anni. Come si evince dallo schema di Figura 2, tali norme si differenziano a seconda dell'assegnazione della nave (trasporto merci o passeggeri) e della durata della sosta. Nella fase di ormeggio, dal 2012, tutte le navi che fanno scalo per più di due ore devono utilizzare carburante il cui tenore di zolfo non superi lo 0.1%. Fino al 2020 le navi che fanno scalo per meno di due ore potranno utilizzare carburante con un contenuto di zolfo fino all'1.5% per le navi che trasportano passeggeri e al 3.5% per le navi che trasportano merci. Dopo il 2020, questo contenuto massimo di zolfo autorizzato per le navi che fanno scalo per meno di due ore è stato abbassato allo 0.5%, indipendentemente dal tipo di nave.

Nell'ambito della convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento provocato dalle navi (convenzione MARPOL), tali norme evolveranno nuovamente con l'istituzione di una zona SECA (Sulphur Emission Control Area) nel Mediterraneo. In quest'area, le navi dovranno utilizzare carburante con un contenuto di zolfo non superiore allo 0.1%, indipendentemente dalla loro ubicazione. Questa zona SECA entrerà in vigore dal 2024, per un'effettiva attuazione nel 2025, secondo un termine legale incompressibile previsto dall'accordo.

Le simulazioni effettuate in questo studio mirano a valutare l'impatto di queste diverse modifiche legislative. Dai dati sulla durata degli scali portuali presentati nella Figura 1, si può notare che questi cambiamenti riguardano principalmente la stagione estiva. A Tolone, c'è solo uno scalo inferiore o uguale a due ore nel periodo invernale, quindi solo uno scalo è interessato. A Nizza, la somma delle durate degli scali inferiori alle due ore ammonta a 7 ore nel periodo invernale, ovvero appena lo 0.34% della somma delle durate di tutti gli scali nel suddetto periodo. Gli scenari relativi al contenuto di zolfo dei carburanti sono quindi studiati esclusivamente per la stagione estiva nei porti di Tolone e Nizza. Allo stesso modo, non è stato modellato alcuno scenario di questo tipo nel porto di La Seyne-Brégaillon, dove quasi tutti gli scali hanno una durata superiore alle due ore.



Exception pour les bassins Est du GPMM:

Depuis 2010, les navires à passagers ont l'obligation d'utiliser un carburant à la teneur en soufre inférieure à 0,1% à quai, et inférieure à 1,5% en navigation.

Figura 2 : Regolamento sul contenuto di zolfo dei combustibili.

1.1.2. Descrizione delle emissioni

1.1.2.1. Fattori di emissione

Le emissioni delle navi sono calcolate secondo le raccomandazioni della guida metodologica del LCSQA¹ per l'elaborazione degli inventari (guida PCIT2²). Queste emissioni dipendono dal consumo energetico delle navi, secondo la formula :

$$E_i = C F_i$$

dove E_i è l'emissione [kg] dell'inquinante i , C è il consumo energetico [J] e F_i è il fattore di emissione dell'inquinante i [kg/J]. Il consumo energetico è dato dalla relazione :

$$C = G p$$

dove G è il consumo di carburante [g di olio combustibile] e p è il potere calorifico netto del carburante utilizzato [J/g di olio combustibile]. Il consumo di carburante dipende da diversi fattori, in particolare dalla stazza lorda, che caratterizza le dimensioni della nave. Varia in base al carico del motore e quindi in base alla fase di traffico considerata, che può essere una fase di "viaggio" (nave lontana dal porto), una fase di "manovra" (nave in porto) o una fase di "attracco" (nave in porto). La fase di attracco è quella che consuma meno carburante per unità di tempo, ma rappresenta un tempo di emissione molto più elevato rispetto alla fase di manovra, motivo per cui in questa modellizzazione si tiene conto solo delle emissioni della fase di attracco. Le emissioni delle fasi di manovra sono più intense, ma concentrate su periodi di tempo molto

¹ Laboratorio centrale di monitoraggio della qualità dell'aria (FR)

² Guida metodologica per l'elaborazione degli inventari territoriali delle emissioni in atmosfera (inquinanti atmosferici e gas a effetto serra), Ministero della Transizione Ecologica e della Solidarietà (FR), Direzione Generale per l'Energia e il Clima, Ufficio Qualità dell'Aria, versione n°2, giugno 2018

brevi, dell'ordine di pochi minuti. Possono quindi causare occasionali disagi ai residenti locali, ma su scala mensile il loro impatto sulla qualità dell'aria rimane basso rispetto alle emissioni della fase di banchina, che durano diverse ore.

I fattori di emissione di NO_x, SO_x e PM_{2.5} per i vari combustibili utilizzati in questo lavoro sono riassunti nella Tabella 2. I combustibili pesanti, con contenuto di zolfo del 3.5%, 1.5% e 0.5% sono raggruppati nella categoria Bunker Fuel Oil (BFO) . Per un carburante con un contenuto di zolfo dello 0.1% si parlerà piuttosto di diesel marino, o Marine Diesel Oil (MDO). BFO e MDO sono carburanti con diversa viscosità e composizione, motivo per cui differiscono non solo per le emissioni di SO_x, ma anche per NO_x e PM.

Tabella 2: Fattori di emissione (FE) in NO_x, SO_x e PM_{2.5} [g/GJ] estratti dal database OMINEA del CITEPA³.

FE	NO _x	SO _x	PM _{2.5}
BFO 3.5%	1982.50	1360.0	147.25
BFO 1.5%		470.0	
BFO 0.5%		265.0	
MDO	1842.72	47.0	33.45

1.1.2.2. Emissioni di scenari

I diversi scenari esaminati in questo lavoro sono raggruppati nella Tabella 3. Come indicato nella sezione precedente, nessuno scenario è modellato per il porto di La Seyne-Brégailon, che non rientra nell'ambito di nessuna delle misure di riduzione. Gli scenari sono definiti come segue :

- BFO 1.5% : scenario corrispondente alla normativa ante 2020, con per soste di durata inferiore alle due ore, un tenore di zolfo pari all'1.5% per le navi adibite al trasporto di passeggeri, al 3,5% per le navi adibite al trasporto di merci.
- BFO 0.5% : scenario corrispondente alla normativa dopo il 2020, con per gli scali di durata inferiore alle due ore, un tenore di zolfo dello 0.5%, per tutte le navi.
- MDO : scenario corrispondente all'attuazione della zona SECA, ovvero l'uso generalizzato di un combustibile il cui tenore di zolfo è ridotto allo 0.1%.

Tabella 3 : Elenco degli scenari modellati. Lo scenario di riferimento è lo scenario "MDO" per il porto di Tolone, lo scenario "BFO 1.5%" per il porto di Nizza, (riquadri in arancio chiaro)

	BFO 1.5%	BFO 0.5%	MDO	CENAB	MDO + CENAB
Tolone estate	X	X	X		X
Tolone inverno			X		X
Nizza estate	X	X	X	X	X
Nizza inverno	X			X	

³ Centro interprofessionale tecnico di studi sull'inquinamento atmosferico (FR) : <https://www.citepa.org/fr/>

Gli scenari sono confrontati con le simulazioni di riferimento, in arancione nella Tabella 3. Queste simulazioni sono state valutate confrontando i dati misurati nel deliverable T2.3.1 – *Rapporto sui risultati delle simulazioni di modellazione del progetto*. Poiché le simulazioni di riferimento per il porto di Nizza si svolgono nel 2019, lo scenario di riferimento per Nizza è lo scenario BFO 1.5%. Le simulazioni di riferimento per il porto di Tolone sono in corso nel 2021, ma il porto di Tolone è in anticipo rispetto al programma regolamentare, poiché una Carta specifico per il porto di Tolone richiede alle navi di utilizzare carburante il cui contenuto di zolfo non superi lo 0.1% poiché la stagione estiva 2020⁴. Non è quindi lo scenario BFO 0.5% ma lo scenario MDO lo scenario di riferimento per il porto di Tolone. Gli scenari BFO 1.5% e BFO 0.5% consentono di quantificare quanto l'attuazione di questa Carta ha consentito di guadagnare.

1.1.2.3. Emissioni per porto

Gli scenari BFO 1.5%, BFO 0.5% e MDO sono implementati calcolando le emissioni utilizzando i fattori di emissione elencati nella Tabella 2. Lo scenario CENAB è implementato calcolando le emissioni utilizzando i fattori di emissione dello scenario di riferimento, quindi neutralizzando totalmente le emissioni delle navi che collegano un'ora dopo il loro arrivo, fino a un'ora prima della loro partenza.

Le emissioni annue calcolate per i diversi scenari nei porti di Tolone e Nizza sono presentate rispettivamente nella Figura 3 e nella Figura 4. Gli scenari relativi alla natura del carburante utilizzato per soste di durata inferiore alle 2 ore, ovvero gli scenari BFO 1.5%, BFO 0.5% e MDO, hanno un impatto da zero a basso sulle emissioni di NO_x, quindi effetto nullo o scarso sulle emissioni totali, costituiti principalmente da NO_x. L'impatto di questi scenari può essere osservato sulle emissioni di SO_x, ma anche sulle emissioni di PM, nel caso di transizione da BFO a MDO. Lo scenario CENAB riduce drasticamente le emissioni annuali nel porto di Tolone. A Nizza, si può notare che lo scenario CENAB ha lo stesso impatto sulle emissioni di

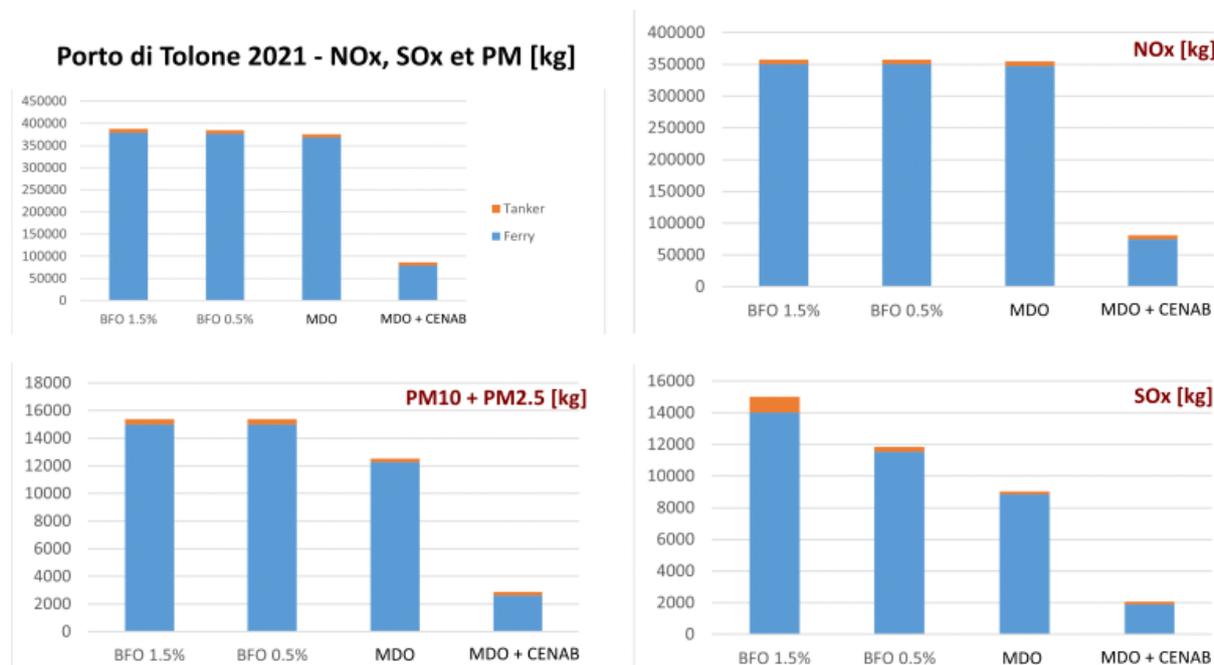


Figura 3 : Somma delle emissioni di NO_x, SO_x e PM e delle emissioni per specie calcolate per il porto di Tolone per i diversi scenari nel 2021.

⁴ <https://metropolepm.fr/actualites/toulon-nouvelle-escale-zero-fumee>

PM e meno impatto sulle emissioni di SOx rispetto allo scenario MDO, a causa delle emissioni dei traghetti che rappresentano una parte importante delle emissioni totali, ma non sono interessate dal CENAB . Anche i rimorchiatori contribuiscono in modo significativo al bilancio delle emissioni, a causa di un aumento dell'attività nel 2019 per lavori.

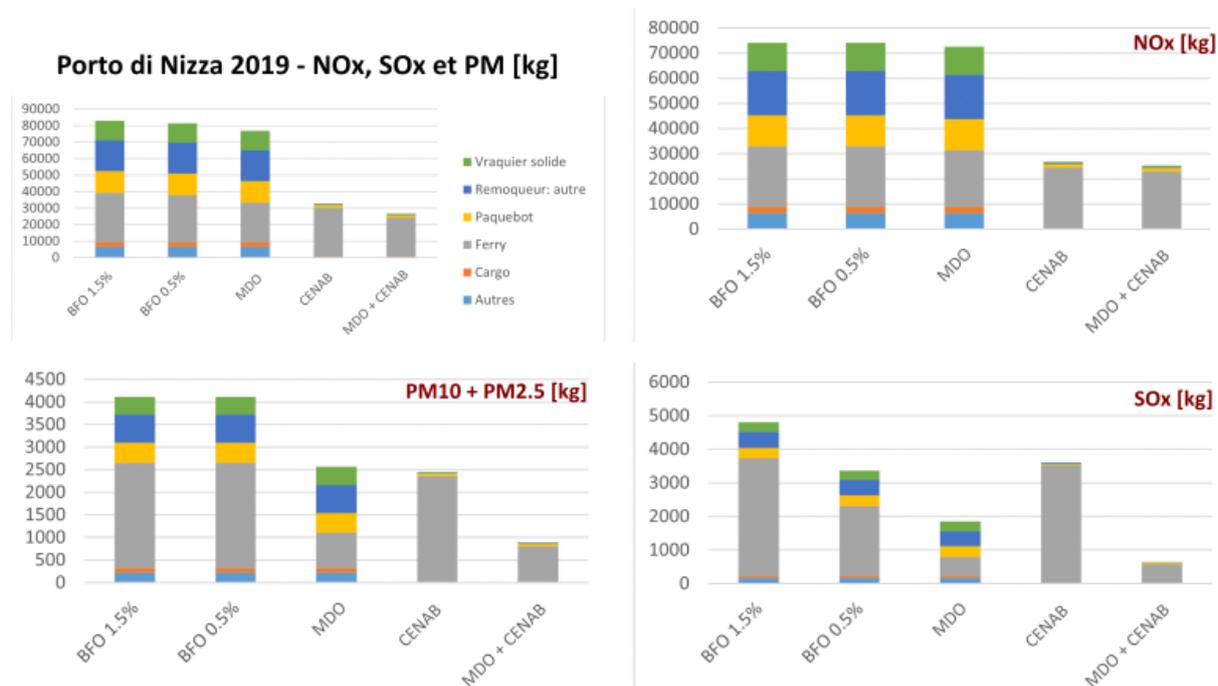


Figura 4 : Somma delle emissioni di NOx, SOx e PM e delle emissioni per specie calcolate per il porto di Nizza per i diversi scenari nel 2019

1.2. Risultati degli scenari

Il modello utilizzato per queste simulazioni mensili è il modello PMSS sviluppato da Aria Technologies, descritto nel deliverable T2.3.1 – *Rapporto sui risultati delle simulazioni di modellazione del progetto*. Questo modello permette di simulare l'evoluzione temporale del campo di concentrazione dovuto ai pennacchi delle navi. Per NOx e PM2.5 è inoltre necessario stimare una concentrazione di fondo. Tale stima viene effettuata tramite la stazione di misura più vicina presente nel dominio di simulazione. La concentrazione di fondo, C_i^{fondo} , è qui definita come:

$$C_i^{\text{fondo}}(t) = C_i^{\text{stazione}}(t) - C_i^{\text{sim}}(t)$$

dove t è il tempo, dove C_i^{stazione} è la concentrazione della specie i misurata dalla stazione di misurazione, e dove C_i^{sim} è la concentrazione del pennacchio simulato della specie i estratta nella posizione della stazione. Quando la modellazione dà $C_i^{\text{sim}} > C_i^{\text{stazione}}$, si fissa $C_i^{\text{fondo}} = 0$.

Le simulazioni vengono effettuate con un passo temporale di un'ora. Le concentrazioni di fondo sono state stimate nel deliverable T2.3.1 utilizzando le misurazioni delle stazioni Toulon Claret per l'area di Tolone, e Nice Arson per l'area di Nizza. Tali concentrazioni corrispondono al background stimato per gli scenari di riferimento, che riproducono la situazione nei porti di

Tolone e Nizza rispettivamente nel 2021 e nel 2019. In questo lavoro, trascurando la reattività chimica, non si quantifica l'impatto delle variazioni delle concentrazioni dei pennacchi delle navi nei diversi scenari sulla concentrazione di fondo. Sarà quindi considerata per tutti gli scenari la stessa concentrazione di fondo, quella dello scenario di riferimento. Le concentrazioni medie di fondo stimate per le due stagioni simulate nei porti di Tolone e Nizza sono riassunte nella **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

La media dei campi di concentrazione orari esportati su tutta la durata delle simulazioni permette di ottenere un campo di concentrazione medio mensile. Questi valori medi vengono analizzati sotto forma di mappe e sotto forma di box-plot (o "box plot") delle concentrazioni al di sopra della terraferma, dove si trovano le popolazioni esposte. Le specie modellate sono NO_x, SO_x e PM_{2.5}, ma le specie analizzate, rispetto alle normative nazionali e internazionali (linee guida OMS) sono NO₂, SO₂ e PM_{2.5}. Come nel deliverable T2.3.1, si assume che il rapporto SO₃/SO₂ sia sufficientemente basso da approssimare SO₂ ≈ SO_x. Le concentrazioni di NO₂ sono dedotte dalle concentrazioni di NO_x applicando un fattore correttivo, corrispondente al rapporto tra le concentrazioni di NO₂ e NO_x. Il valore medio di questo rapporto, stimato nelle stazioni di Toulon Claret e Nice Arson su più mesi, è di 0.8.

Tabella 4 : Concentrazioni di fondo medie in µg.m⁻³ stimate nelle stazioni di Toulon Claret e Nizza Arson per i periodi di simulazione indicati nella Tabella 1.

	Tolone		Nizza	
	Estate	Inverno	Estate	Inverno
PM_{2.5}	6.9	11.6	11.0	10.6
NO₂	18.6	18.9	21.4	31.3

1.2.1. Mappe delle concentrazioni medie

1.2.1.1. Stagione estiva

Le mappe delle concentrazioni medie modellate a Tolone per i diversi scenari della stagione estiva sono presentate in Figura 5, Figura 6 e Figura 7 rispettivamente per SO₂, NO₂ e PM_{2.5}. Le mappe di concentrazione di NO₂ e PM_{2.5} presentate per gli scenari BFO 1.5% e BFO 0.5% sono comuni (scenario BFO) in quanto sono gli stessi fattori di emissione in entrambi i casi (cfr. Tabella 2). Le mappe delle differenze di concentrazione rispetto allo scenario di riferimento consentono di visualizzare i progressi realizzati rispetto a situazioni precedenti, ovvero i guadagni che sarebbero possibili grazie agli scenari di riduzione delle emissioni. La situazione di riferimento corrisponde allo scenario MDO, per effetto della Carta in vigore nel porto di Tolone dal 2020. Si può notare che le modifiche alla normativa sul tenore di zolfo dei carburanti hanno già consentito di ridurre sensibilmente le concentrazioni di SO₂, che già oggi sono a un livello basso in estate. Il CENAB consente di ridurre ulteriormente queste concentrazioni di SO₂. Il passaggio da BFO a MDO e CENAB ha entrambi un impatto moderato sulle concentrazioni di PM_{2.5}, il contributo delle navi a queste concentrazioni è stato stimato solo all'8% nel deliverable T2.3.1, a livello della cabina situata vicino al terminal dei traghetti (vedi Tabella 5). L'impatto di questi scenari è più visibile sulle concentrazioni di NO₂, per le quali il contributo delle navi è stato stimato al 77% a livello di cabina. Il passaggio da BFO a MDO ha scarso impatto sulle concentrazioni di NO₂, i fattori di emissione di NO₂ sono molto

simili per i due tipi di carburante, ma CENAB consente di ridurre le concentrazioni di NO₂ di quasi 10 µg.m⁻³ nelle aree più colpite, vicino il terminal dei traghetti attracca.

Gli scenari modellati per il porto di Nizza durante la stagione estiva sono presentati in Figura 8, Figura 9 e Figura 10. La situazione di riferimento è lo scenario BFO 1.5%. Come nel porto di Tolone, il passaggio a carburanti a minor tenore di zolfo dovrebbe consentire di ridurre le concentrazioni di SO₂ a livelli molto bassi. L'impatto dello scenario CENAB è basso in confronto. Le differenze di concentrazione di NO₂ e PM2.5 stimate per questi scenari sono rispettivamente al massimo di 3 µg.m⁻³ e 1 µg.m⁻³, che è bassa rispetto alle concentrazioni massime modellate, circa il 7% di questi valori.

Tabella 5 : Medie in µg.m⁻³ delle concentrazioni misurate dalle cabine situate nei porti di Tolone e Nizza e delle concentrazioni simulate nelle simulazioni di base, estratte nei punti in cui si trovano le cabine, a orari tali che C_i^{sim} ≠ 0.

I rapporti delle due medie, espressi in percentuale, indicano il contributo delle navi. I rapporti con sfondo arancione sono quelli per i quali la correlazione misura/modello è soddisfacente (si veda il deliverable T2.3.1 - Rapporto sui risultati delle simulazioni di modellazione del progetto, per maggiori dettagli).

	Tolone		Nizza	
	Estate	Inverno	Estate	Inverno
PM2.5				
Misure	9.44	10.18	-	-
Simulazione	1.66	1.95	1.75	0.31
% Sim/Mes	8.0 %	19.1 %	-	-
NO₂	Eté	Hiver	Eté	Hiver
Misure	45.29	32.19	32.92	24.11
Simulazione	35.37	95.95	41.43	14.67
% Sim/Mes	77.1 %	298.1 %	125.9 %	60.9 %
SO₂	Eté	Hiver	Eté	Hiver
Misure	2.84	1.78	4.53	0.31
Simulazione	1.10	3.05	5.26	0.47
% Sim/Mes	38.6 %	171.6 %	116.0 %	150.9 %

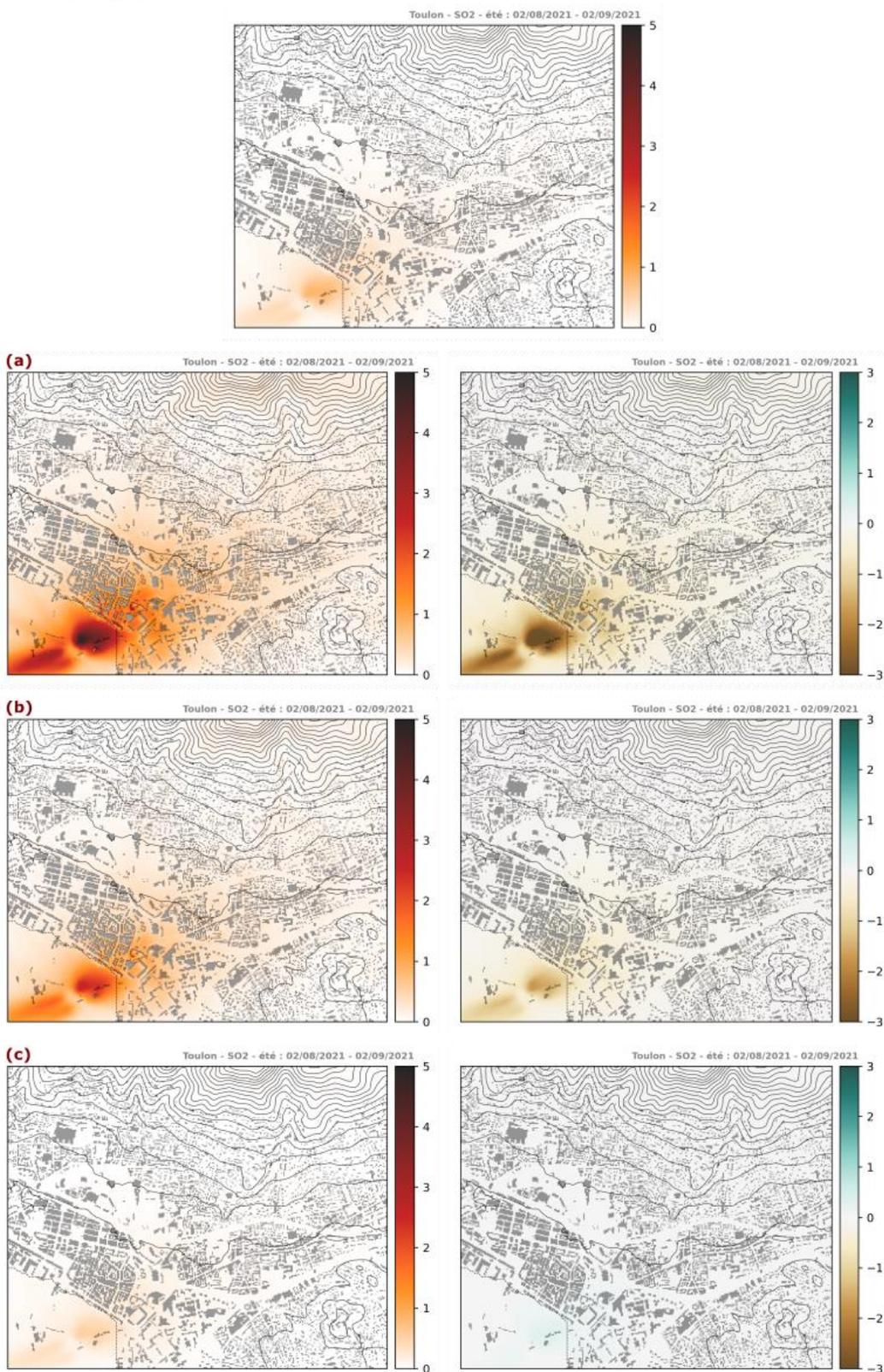


Figura 5 : Mappe delle concentrazioni medie di SO₂ a Tolone in estate per lo scenario di riferimento (prima riga) e per gli scenari (a) BFO 1.5%, (b) BFO 0.5%, (c) MDO + CENAB. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g.m}^{-3}$.

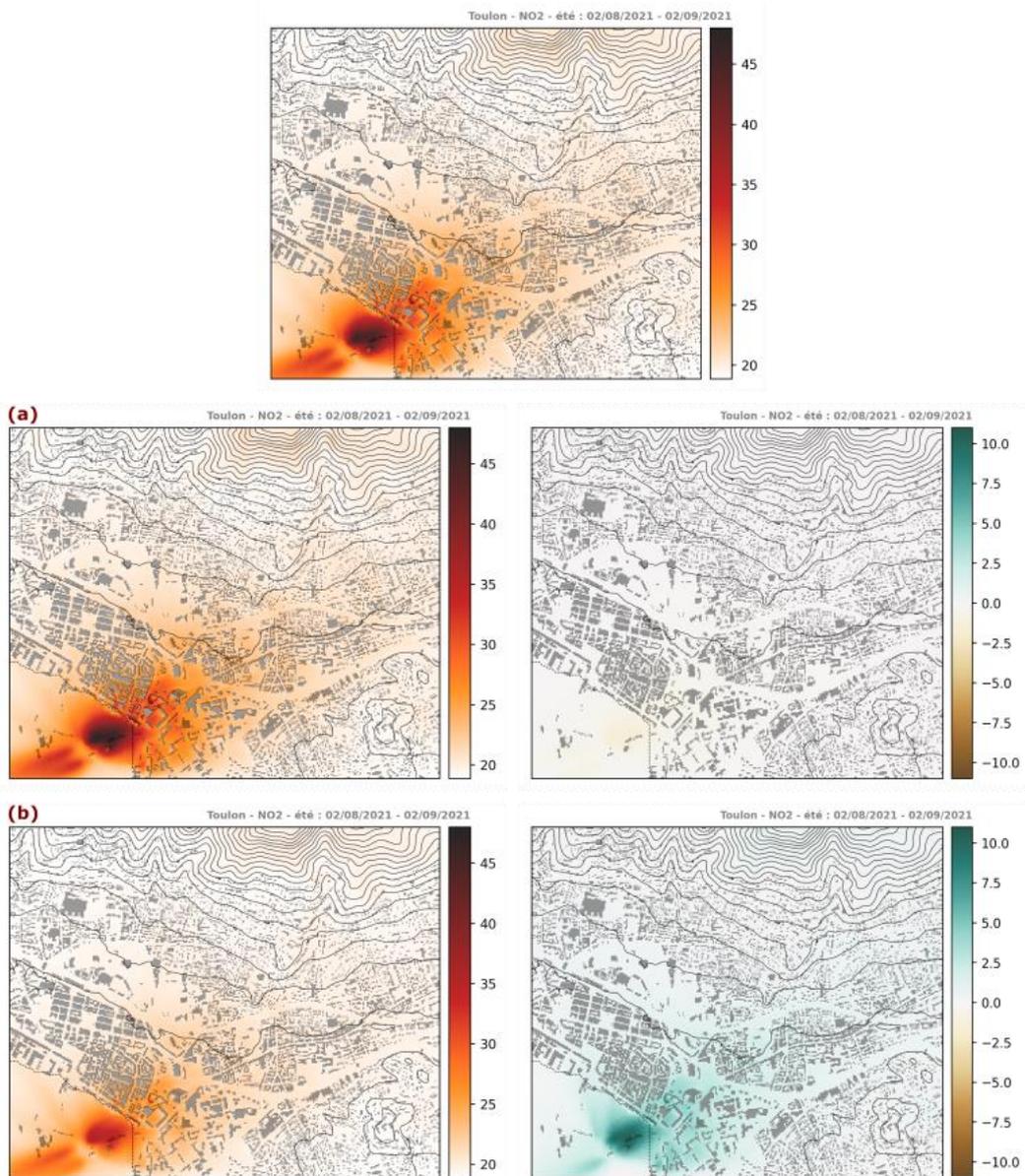


Figura 6 : Mappe delle concentrazioni medie di NO₂ a Tolone in estate per lo scenario di riferimento (prima riga) e per gli scenari (a) BFO, (b) MDO + CENAB. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g.m}^{-3}$.

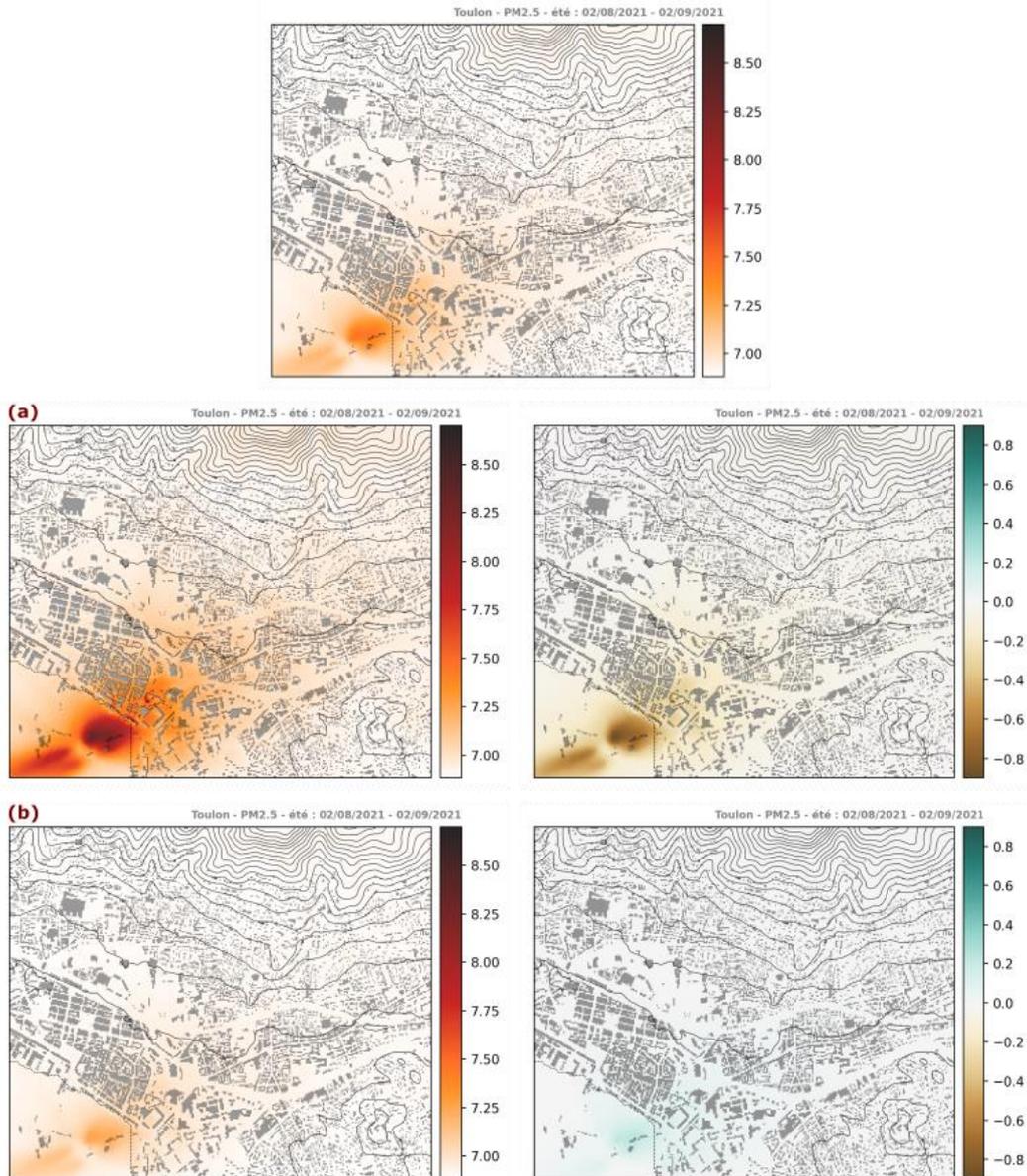


Figura 7 : Mappe delle concentrazioni medie di PM2.5 a Tolone in estate per lo scenario di riferimento (prima riga) e per gli scenari (a) BFO, (b) MDO + CENAB. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g.m}^{-3}$.

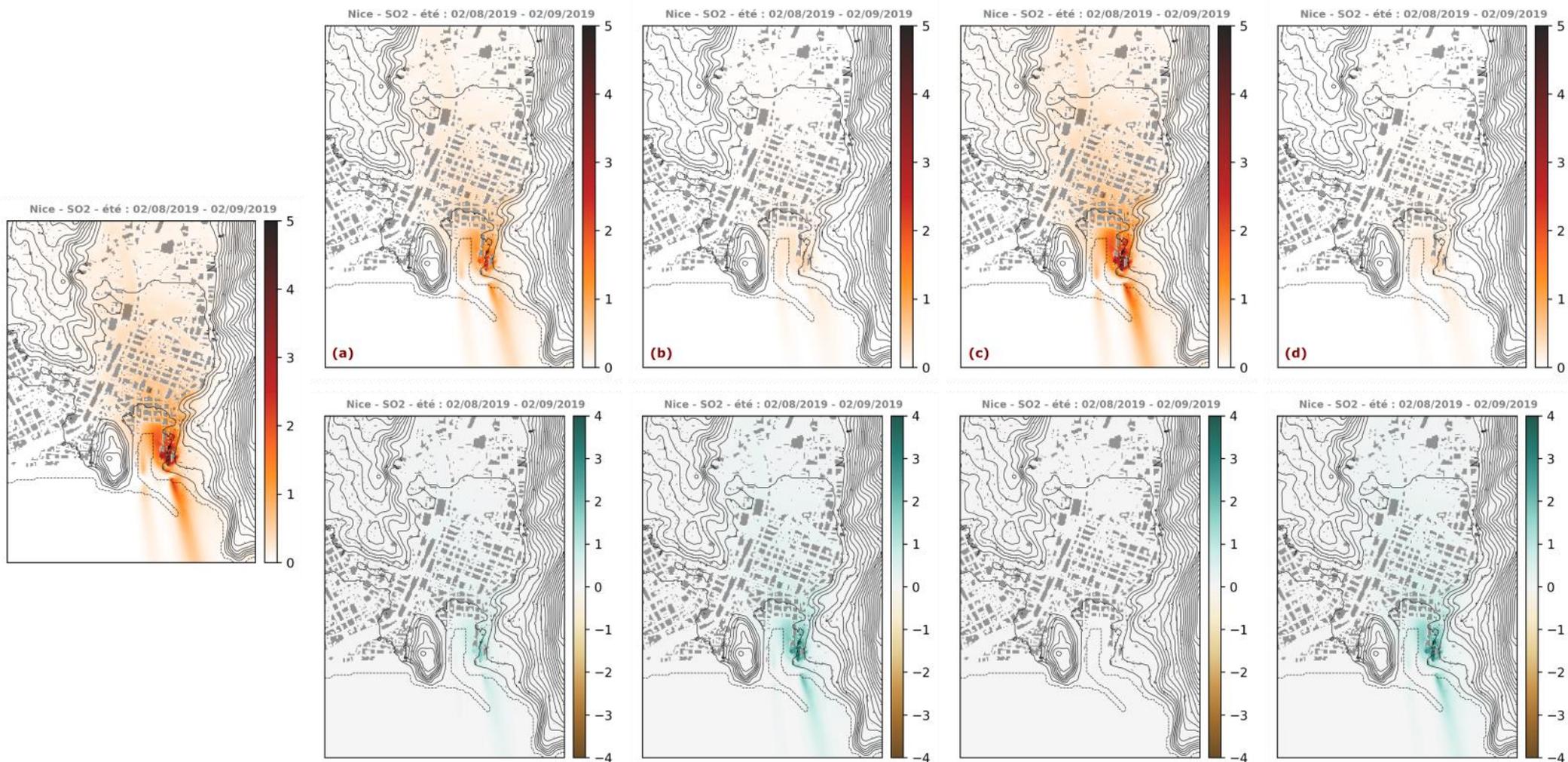


Figura 8 : Mappe delle concentrazioni medie di SO_2 a Nizza in estate per lo scenario di riferimento (prima colonna) e per gli scenari (a) BFO 0.5%, (b) MDO, (c) CENAB, (d) MDO + CENAB. Le mappe poste sulla seconda riga mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in $\mu g \cdot m^{-3}$.

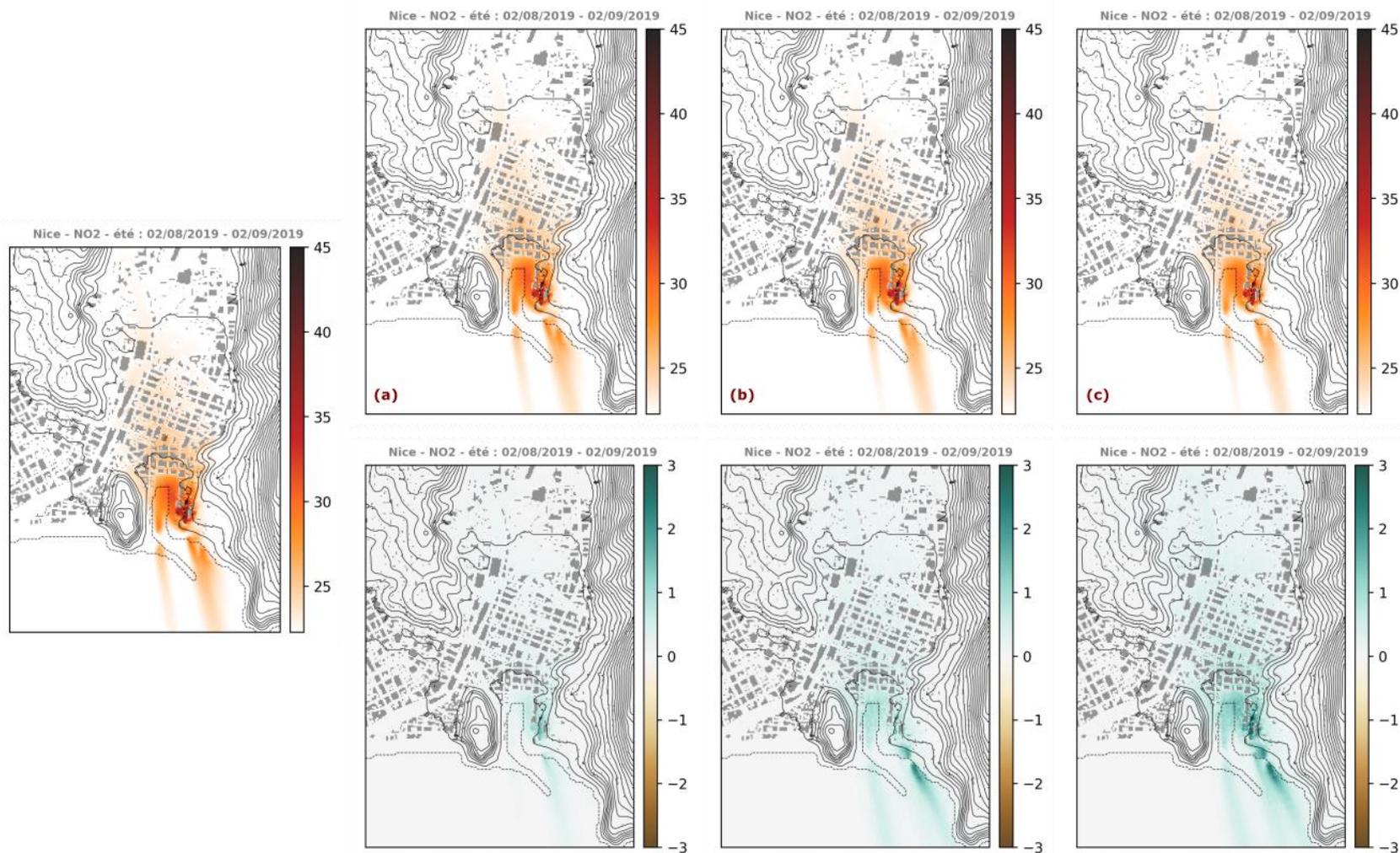


Figura 9 : Mappe delle concentrazioni medie di NO₂ a Nizza in estate per lo scenario di riferimento (prima colonna) e per gli scenari (a) MDO, (b) CENAB, (c) MDO + CENAB. Le mappe poste sulla seconda riga mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g.m}^{-3}$.

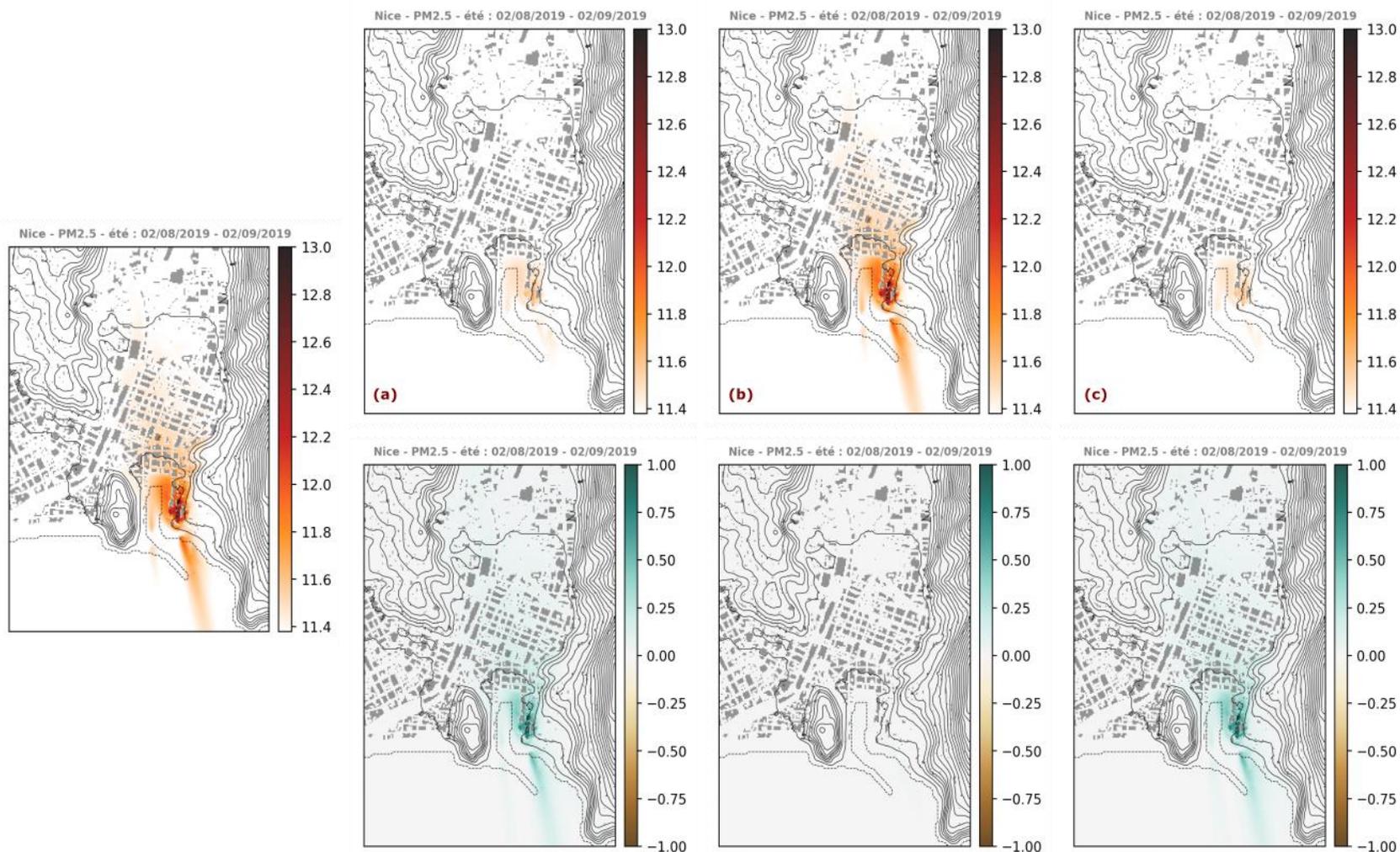


Figura 10 : Mappe delle concentrazioni medie di PM2.5 a Nizza in estate per lo scenario di riferimento (prima colonna) e per gli scenari (a) MDO, (b) CENAB, (c) MDO + CENAB. Le mappe poste sulla seconda riga mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

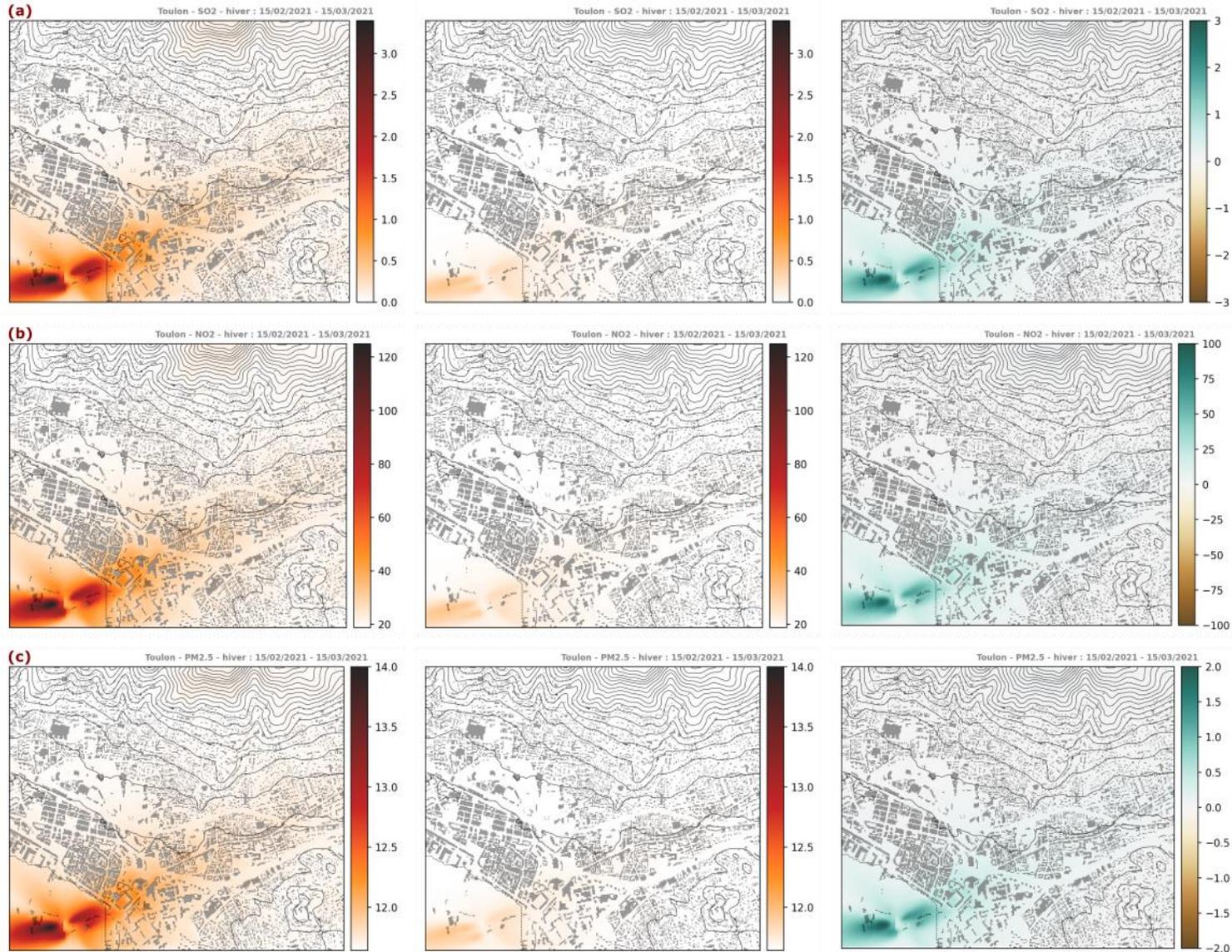


Figura 11 : Mappe delle concentrazioni medie (a) SO_2 , (b) NO_2 , (c) $\text{PM}_{2.5}$ a Tolone in inverno per lo scenario di riferimento (prima colonna) e per lo scenario MDO + CENAB (seconda colonna). Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra lo scenario e il riferimento. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

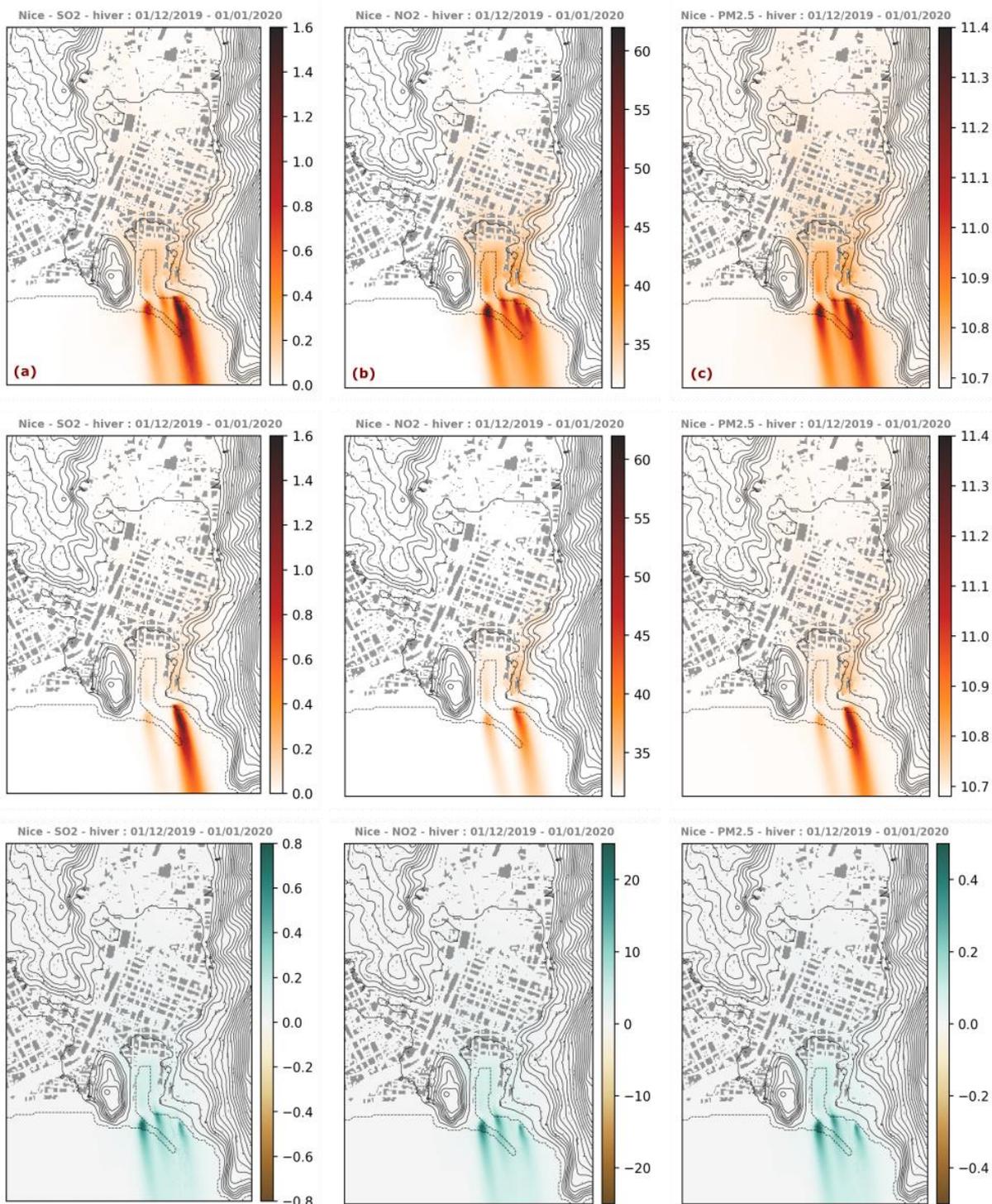


Figura 12 : Mappe delle concentrazioni medie di (a) SO₂, (b) NO₂, (c) PM_{2.5} a Nizza in inverno per lo scenario di riferimento (prima riga) e per lo scenario CENAB (seconda colonna). Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra lo scenario e il riferimento. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

1.2.1.2. Stagione invernale

Le concentrazioni di SO₂, NO₂ e PM_{2.5} modellate a Tolone durante il periodo invernale sono presentate nella Figura 11. Poiché in questo periodo nessuno scalo è inferiore alle 2 ore, è stato modellato solo lo scenario CENAB. Si può notare che questa volta il CENAB ha un impatto molto significativo sulle concentrazioni di SO₂ e NO₂. Anche le differenze nella concentrazione di PM_{2.5} sono maggiori rispetto all'estate, ma rimangono moderate rispetto alla concentrazione di fondo. Il contributo delle navi alla concentrazione di fondo di PM_{2.5} a livello di cabina in inverno è stato stimato nel deliverable T2.3.1 pari solo al 19%, mentre le navi sono le uniche responsabili della concentrazione di SO₂ in quest'area in cui non vi sono attività industriali. Sempre secondo il lavoro svolto nel deliverable T2.3.1, le navi sembrano essere il principale contributore alle concentrazioni di NO_x intorno al terminal dei traghetti, mentre il contributore secondario è il traffico automobilistico.

La differenza di impatto sulle concentrazioni di SO_x e NO_x tra estate e inverno è spiegata dalla stagionalità del traffico marittimo. In estate, gli scali portuali sono più numerosi, ma solo il 19% di essi ha una durata superiore alle 2h30 ed è quindi ammissibile al CENAB. In inverno, invece, gli scali durano di più e quindi quasi tutti gli scali di traghetti sono ammissibili al CENAB. Inoltre, la somma degli scali dei traghetti è più alta in inverno. Va ricordato, tuttavia, che il contributo delle navi modellate nello scenario di riferimento in inverno supera di gran lunga le concentrazioni di NO₂ e SO₂ misurate dalla cabina situata nel porto (cfr. Tabella 5 e deliverable T2.3.1). Questa sovrastima del contributo delle navi alle concentrazioni totali porta a una sovrastima del guadagno di concentrazione consentito dal CENAB in inverno. Questo guadagno è maggiore rispetto all'estate, ma non così grande come mostrato in queste mappe.

A Nizza, in inverno, la somma delle durate degli scali inferiori alle due ore è trascurabile rispetto alla somma delle durate di tutti gli scali. Come nel caso di Tolone, viene analizzato solo lo scenario CENAB. Le mappe delle concentrazioni medie di SO₂, NO₂ e PM_{2.5} e le differenze di concentrazione rispetto allo scenario di riferimento sono presentate nella Figura 12. Come per Tolone, l'impatto di questo scenario è trascurabile rispetto alla somma di tutte le durate degli scali. Come per Tolone, l'impatto del CENAB è più forte in inverno che in estate. A Nizza, il CENAB è destinato a tutte le navi diverse dai traghetti, la cui somma dei tempi di scalo rappresenta un terzo della somma delle durate di tutti gli scali in estate, contro solo il 3% in inverno. Il 97% del tempo di permanenza della nave all'ormeggio è quindi ammissibile al CENAB a Nizza in inverno. L'impatto della CENAB è tuttavia meno spettacolare rispetto al caso di Tolone, in quanto il contributo delle navi alla concentrazione totale in inverno è meno importante rispetto a quanto stimato per Tolone: sempre secondo il deliverable T2.3.1, le concentrazioni modellate di SO₂ sono sovrastimate allo stesso modo a Nizza e a Tolone in inverno (vedi Tabella 5), ma mentre il contributo delle navi alla concentrazione di NO₂ supera ampiamente la concentrazione misurata sulle banchine a Tolone, ammonta al 61% della concentrazione misurata a Nizza a livello di cabina. L'azione del CENAB su questo contributo delle navi porta a una diminuzione fino a 25 µg.m⁻³.

In termini di localizzazione della riduzione delle concentrazioni, si può notare che i pennacchi provenienti dal molo Commercio sembrano essere poco o per nulla modificati dal CENAB, essendo questo molo quello in cui attraccano i traghetti nel periodo considerato.

1.2.2. Box-plot delle concentrazioni nell'area territoriale

Dopo aver osservato l'impatto degli scenari sul campo di concentrazione nel suo complesso, l'analisi di tale campo è ora ristretta all'area terrestre. Questa è l'area delimitata dalla linea tratteggiata sulle mappe. Queste concentrazioni sono presentate sotto forma di box-plot delle concentrazioni con lo sfondo e box-plot dei rapporti delle concentrazioni dello scenario e del riferimento, senza lo sfondo. I rapporti degli scenari di riduzione sono inferiori a 1, i rapporti degli scenari corrispondenti a situazioni precedenti al riferimento (caso di Tolone) sono maggiori di 1. In questa Figura vengono filtrati i valori posti al di sopra della linea orizzontale superiore. Il valore di questa linea, denotata v_{ceil} , è dato dalla formula :

$$v_{\text{ceil}} = Q3 + 1.5 (Q3 - Q1)$$

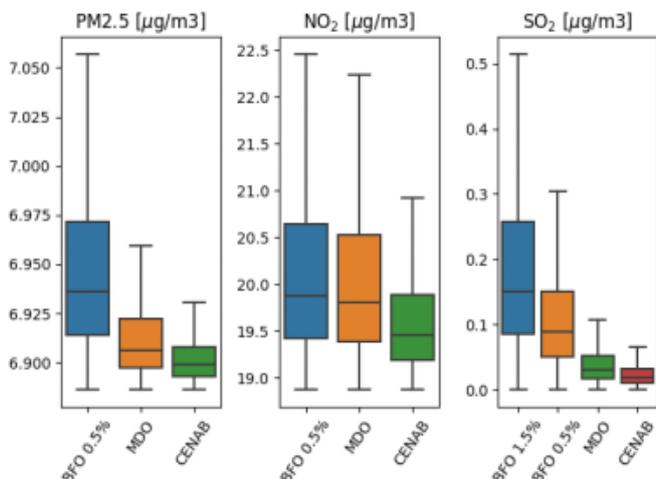
dove $Q1$ e $Q3$ corrispondono rispettivamente al primo e al terzo quartile del set di dati. A seconda dello scenario modellato, i valori superiori a v_{ceil} rappresentano circa l'8%-10% del set di dati per le concentrazioni, l'1%-10% del set di dati per i rapporti di concentrazione.

I box-plot realizzati con le simulazioni dei porti di Tolone e Nizza sono presentati rispettivamente nella Figura 13 e nella Figura 14. Essi evidenziano le differenze relative tra gli scenari. Essi evidenziano le differenze relative tra gli scenari. Come nelle mappe, si può notare che l'impatto delle diverse misure è ridotto rispetto al $PM_{2.5}$, essendo il contributo stimato delle navi minore nel caso di Tolone. La stessa conclusione sembra valere per Nizza, dove non è stato possibile stimare il contributo delle navi alle concentrazioni di $PM_{2.5}$ a causa della mancanza di misurazioni nel 2019. Le concentrazioni di zolfo sono fortemente influenzate dagli scenari legislativi. Nel caso di Nizza, è possibile confrontare l'impatto di questi scenari con quello dello scenario CENAB, la cui situazione di riferimento è precedente all'implementazione delle diverse soluzioni di mitigazione. Si può notare che lo scenario CENAB ha un impatto minore sulle concentrazioni di SO_2 rispetto a qualsiasi altro scenario di legislazione sullo zolfo. Ciò è dovuto al fatto che i traghetti rappresentano una parte significativa delle emissioni in estate, che non sono interessate da questa misura nel caso di Nizza. Più in generale, si può notare che in estate il CENAB non ha lo stesso impatto sulle tre specie NO_2 , SO_2 e $PM_{2.5}$, mentre in inverno il fattore di abbattimento per queste specie è equivalente. Anche in questo caso, ciò è dovuto al fatto che in inverno la quantità di scali non ammissibili al CENAB è trascurabile. Le emissioni sono quindi tutte ridotte dallo stesso fattore di proporzionalità. In estate le chiamate ai traghetti sono più numerose e più brevi, il che aumenta la quota di emissioni che non possono essere annullate dalla CENAB. Questa quota fissa di emissioni da traghetti di breve durata, nota come E^C , interrompe la relazione lineare tra le emissioni totali E^{Tot} e le emissioni da traghetti di lunga durata E^L :

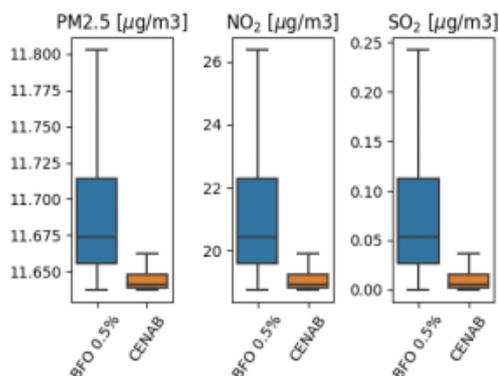
$$E^{\text{Tot}} = E^C + \alpha E^L$$

dove α è il fattore di abbattimento delle emissioni degli lunghi scali dovute alla CENAB, a seconda della durata delle lunghe soste. A seconda dell'importanza del termine E^C , che non è lo stesso a seconda delle specie considerate, le emissioni totali saranno più o meno influenzate da CENAB, come si può vedere in questi grafici.

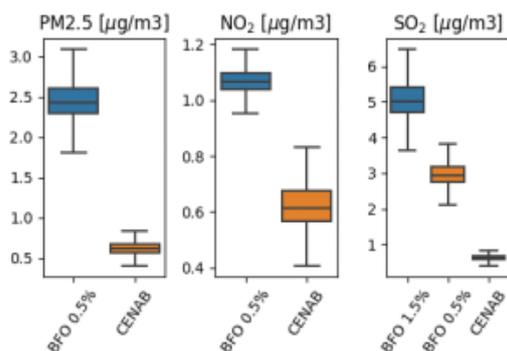
Concentrazioni sulla terraferma a Tolone in estate



Concentrazioni sulla terraferma a Tolone in inverno



Rapporti di concentrazione scenario/riferimento sulla terraferma a Tolone in estate



Rapporti di concentrazione scenario/riferimento sulla terraferma a Tolone in inverno

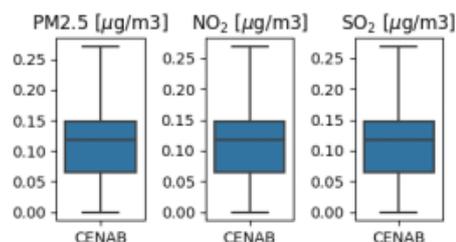


Figura 13 : Box-plot delle concentrazioni al suolo (prima riga) e box-plot dei rapporti di concentrazione scenario/riferimento (seconda riga) a Tolone per il periodo estivo (sinistra) e invernale (destra). Lo scenario di riferimento è lo scenario MDO.

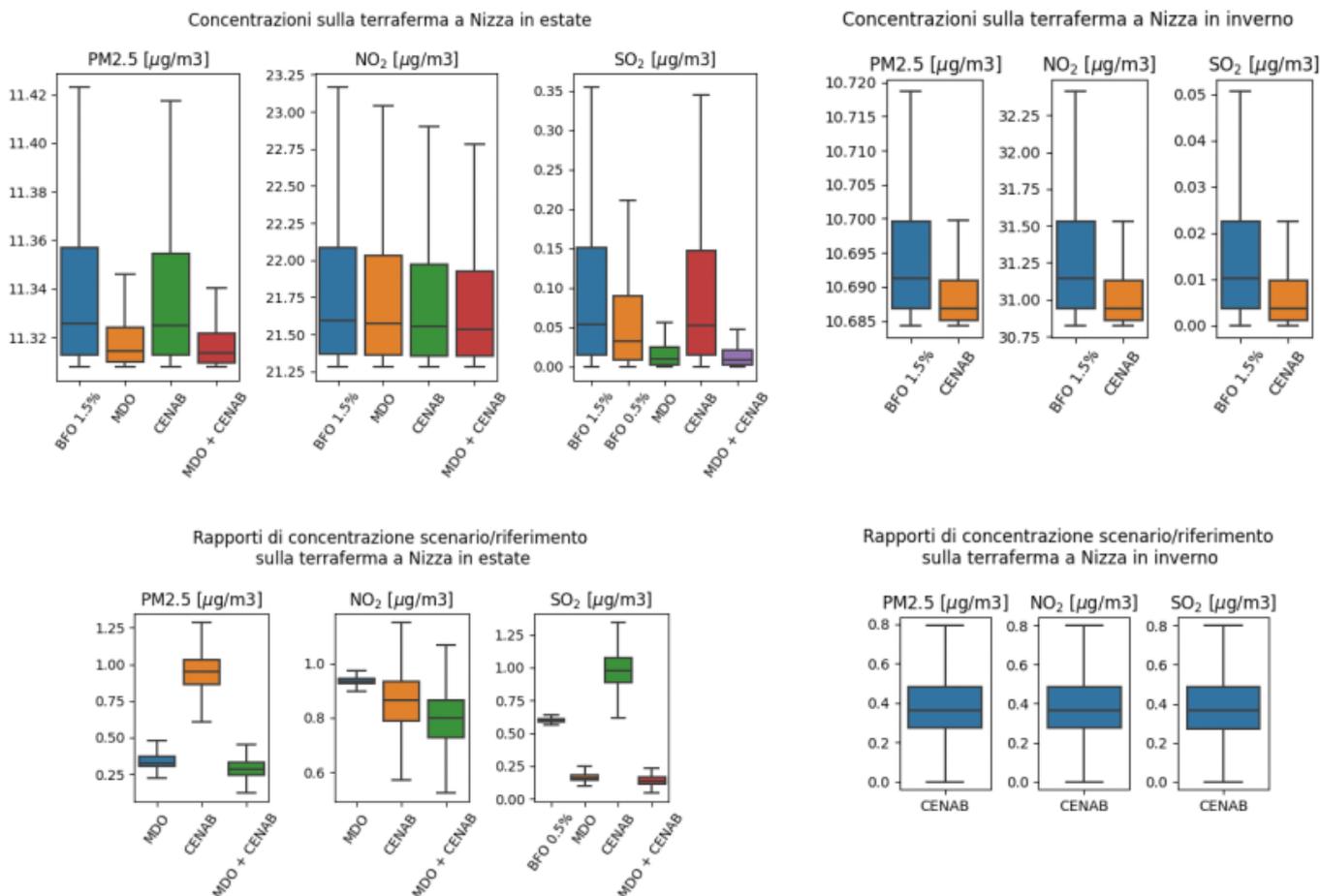


Figura 14 : Box-plot delle concentrazioni in superficie (prima riga) e box-plot dei rapporti di concentrazione scenario/riferimento (seconda riga) a Nizza per il periodo estivo (sinistra) e invernale (destra). Lo scenario di riferimento è lo scenario BFO 1.5%.

In generale, le concentrazioni medie modellate sulla terraferma sono poco influenzate dai diversi scenari di riduzione delle emissioni. La diminuzione più importante si osserva per le concentrazioni di NO₂ a Tolone in inverno, dell'ordine di soli 1.5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ciò contrasta con le diminuzioni stimate delle concentrazioni massime, che ammontano a 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a Tolone in estate intorno alle banchine e a 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a Nizza in inverno, vicino alla banchina Infernet Sud. Le misure di mitigazione hanno un forte impatto a livello locale, nelle aree in cui i pennacchi contribuiscono in modo significativo ai livelli di concentrazione, ma hanno un'influenza limitata sulle concentrazioni di fondo.

1.2.3. Revisione statistica

Per quantificare la riduzione delle concentrazioni indotta in ogni scenario, la riduzione percentuale R è definita come :

$$R = \frac{p_{ref} - p_{scn}}{p_{ref}} \cdot 100 \%$$

dove p_{ref} è il 90° percentile delle concentrazioni medie dello scenario di base senza sfondo e p_{scn} è il 90° percentile delle concentrazioni medie dello scenario di variazione delle emissioni senza sfondo. Con questa statistica si è scelto di quantificare solo le variazioni delle concentrazioni del pennacchio, per due motivi : (i) perché non è stato stimato l'impatto di queste variazioni sulle concentrazioni di fondo dovuto alla reattività chimica ; (ii) per evitare che questa valutazione sia falsata da una sovrastima o sottostima delle concentrazioni del pennacchio, rispetto alla concentrazione di fondo, come avviene in alcune simulazioni (si veda il deliverable T2.3.1 e la Tabella 5). Il set di dati utilizzato comprende le concentrazioni dell'intero dominio, sia a terra che in mare, che interessano le popolazioni costiere ma anche le persone a bordo delle navi.

Le statistiche corrispondenti ai risultati presentati sopra per i porti di Tolone e Nizza sono presentate rispettivamente nella **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** e nella Tabella 8. La Tabella 7 presenta le riduzioni calcolate per il porto di Tolone prendendo come riferimento lo scenario BFO 0.5%, che corrisponde alla situazione nel 2021 se non ci fosse stato la Carta.

Tabella 6 : Evoluzione delle concentrazioni del pennacchio a Tolone per i diversi scenari, con lo scenario MDO come riferimento (situazione nel 2021)

TOLONE MDO	Estate			Inverno CENAB
	BFO 1.5%	BFO 0.5%	CENAB	
PM2.5	-142 %		39 %	85 %
NO2	-7 %		39 %	85 %
SO2	-393 %	-192 %	39 %	85 %

Tabella 7 : Evoluzione delle concentrazioni del pennacchio a Tolone per i diversi scenari, con lo scenario BFO 0.5% come riferimento (situazione se non ci fosse stato la Carta).

TOLONE BFO 0.5%	Estate			Inverno CENAB
	BFO 1.5%	MDO 0.1%	CENAB	
PM2.5	0 %	59 %	16 %	85 %
NO2	0 %	6 %	37 %	85 %
SO2	-69 %	66 %	14 %	85 %

Tabella 8 : Evoluzione delle concentrazioni del pennacchio a Nizza per diversi scenari, con lo scenario BFO 1.5% come riferimento (situazione nel 2019).

NIZZA BFO 1.5%	Estate				Inverno CENAB
	BFO 1.5%	BFO 0.5%	CENAB	SECA + CENAB	
PM2.5	0 %	67 %	5 %	72 %	57 %
NO2	0 %	7 %	14 %	21 %	57 %
SO2	40 %	84 %	3 %	86 %	57 %

Da queste tabelle si evince che il contenuto di zolfo degli scenari dei combustibili ha un impatto non solo sulle concentrazioni di zolfo, ma anche su quelle di PM2.5. Tuttavia, è emerso che in entrambe le aree il contributo delle navi alle concentrazioni totali di PM2.5 è ridotto. Le misure di cambio di combustibile influiscono quindi principalmente sui livelli di concentrazione di SO₂.

Per quanto riguarda il CENAB, i dati mostrano chiaramente la stagionalità dell'efficienza di questa misura. Le variazioni quantificate a Tolone, prendendo come riferimento lo scenario MDO (situazione nel 2021), mostrano che il CENAB consente una riduzione delle concentrazioni di pennacchio dell'85% in inverno, contro il 39% in estate, a causa dello scalo troppo breve dei traghetti per essere collegati alla banchina. Se il riferimento scelto è lo scenario BFO 0.5%, che corrisponde alla situazione che si sarebbe creata se non ci fosse stata la carta che obbliga le navi a usare l'MDO, questa riduzione è ancora minore per SO₂ e PM2.5, poiché il combustibile BFO 0.5% usato per gli scali brevi è più emissivo per queste due specie. A Nizza, in estate, come a Tolone, si può notare che il CENAB ha solo un piccolo impatto, poiché la maggior parte degli scali sono scali di traghetti, per i quali non è previsto il collegamento elettrico a Nizza. In inverno, il tempo di sosta dei traghetti rappresenta solo una frazione minore del tempo di sosta totale, per cui l'efficienza di riduzione del CENAB sale al 57%. In estate, l'azione combinata del CENAB e dell'uso di carburante a basso tenore di zolfo massimizza la riduzione.

1.3. Conclusione

In questo rapporto, gli scenari di riduzione delle emissioni sono stati modellati nei porti di Tolone e Nizza. Questi due porti hanno attività e strategie di riduzione delle emissioni molto diverse. Il porto di Tolone riceve principalmente navi passeggeri, traghetti, per i quali è in corso di realizzazione l'allacciamento elettrico alla banchina. Il porto di Nizza riceve navi mercantili, imbarcazioni da diporto e traghetti. Dato che gli scali dei traghetti nel porto di Nizza sono brevi, il CENAB è stato implementato lì per tutte le navi diverse dai traghetti.

Gli scenari di riduzione delle emissioni sono stati valutati sulle concentrazioni di tre specie, SO₂, NO₂ e PM_{2.5}. Essendo stato valutato basso il contributo delle navi alle concentrazioni di PM_{2.5}, le misure di riduzione, per quanto efficaci possano essere su queste emissioni, hanno un basso impatto sulle concentrazioni totali di PM_{2.5}, che sono dominate dalla concentrazione di fondo. In inverno a Tolone le concentrazioni di PM_{2.5} si riducono al massimo di 2 µg.m⁻³, per una concentrazione di fondo stimata in 11.6 µg.m⁻³. Al contrario, le concentrazioni di SO₂, per le quali si considera una concentrazione di fondo trascurabile, vengono ridotte sia dall'utilizzo di carburanti a ridotto tenore di zolfo sia dal CENAB, essendo la prima misura efficace per soste brevi, di durata inferiore alle due ore, la seconda essendo efficace per soste sufficientemente lunghe da consentire il collegamento elettrico alla banchina. Infine, le concentrazioni di NO₂ sono leggermente influenzate dalle misure relative alla natura del carburante, ma possono essere fortemente influenzate dal CENAB. Per le due simulazioni in cui le concentrazioni modellate di NO₂ sono coerenti in media con i livelli misurati, vale a dire per le due simulazioni per le quali si trova una correlazione soddisfacente tra le concentrazioni modellate di NO₂ dei pennacchi aumentati rispetto allo sfondo e le concentrazioni misurate, vale a dire l'estate simulazione di Tolone e la simulazione invernale di Nizza, il CENAB consente un guadagno di NO₂ fino a 10 µg.m⁻³ nel primo caso, e 25 µg.m⁻³ nel secondo. Questi guadagni sono significativi rispetto al livello complessivo di inquinamento, il contributo delle navi a livello della cabina portuale è stimato in questi due casi rispettivamente al 77% e al 61% della concentrazione totale. L'efficacia del CENAB è molto maggiore in inverno, con meno fermate dei traghetti a Nizza, meno e più a lungo a Tolone, il che li rende quasi tutti ammissibili al CENAB. La riduzione delle concentrazioni di pennacchio ha poi raggiunto l'85% a Tolone, il che costituisce un impatto importante per la concentrazione totale di NO₂, data l'importanza del contributo delle navi a questa concentrazione in prossimità del porto. Va ricordato, tuttavia, che il CENAB è implementato in questo scenario assumendo che tutti i traghetti possano essere collegati alla banchina.

I risultati mostrano che queste misure di abbattimento riducono significativamente le emissioni locali di SO_x e NO_x, e in misura minore le emissioni di particolato, per le quali sembrano prevalere altre fonti. Queste misure sono complementari: l'efficacia delle misure sul contenuto di zolfo del carburante si applica agli scali brevi e quella del CENAB agli scali lunghi. Il CENAB è particolarmente efficace come misura di riduzione dell'inquinamento nei periodi in cui le navi rimangono ormeggiate per lunghi periodi, mentre l'uso di carburante a basso tenore di zolfo è l'opzione preferita per il resto del tempo. Questi risultati confermano l'utilità e l'importanza di continuare ed estendere lo sviluppo e l'applicazione di queste misure.

2. PORTI DI AJACCIO E BASTIA (QUALITAIR CORSE)

2.1. Metodologia Qualitair Corse

2.1.1. Presentazione degli scenari base dei porti di Ajaccio e Bastia

Al fine di definire gli scenari previsti nell'ambito del progetto AER NOSTRUM per i porti di Ajaccio e Bastia, sono stati organizzati due comitati tecnici il 18 e 20 gennaio 2022. In totale, sono stati riuniti una decina di partner locali; la Camera di Commercio e Industria (CCI2A & CCI2B), le compagnie marittime Corsica Linea e Corsica Ferries, il fornitore di energia elettrica EDF, la comunità dell'agglomerato del paese di Ajaccien CAPA e le comunità dell'agglomerato di Bastia CAB, l'Ufficio dei Trasporti della Corsica OTC, la Comunità della Corsica CDC, l'Agenzia per l'Ambiente e la Gestione dell'Energia ADEME, il Segretariato Generale per gli Affari della Corsica SGAC, l'Agenzia per lo Sviluppo Economico della Corsica ADEC e le associazioni locali del Gruppo di Ajaccio e della Regione Corsica per la Difesa dell'Ambiente GARDE, e U Levante.

A seconda delle specificità di ciascun porto, sono stati considerati diversi scenari per Ajaccio e Bastia. In ogni caso verrà effettuata una modellizzazione della situazione attuale utilizzando le letture della campagna di misura e le emissioni del 2021 per lavorare con una base rilevante. Dopo il completamento di questo "scenario di base", l'intera flotta sarà testata secondo i diversi scenari definiti dalle officine.

Dati i vincoli tecnici della modellizzazione, un primo risultato riguarderà la quantità di inquinanti stimata su un anno di riferimento (calcolo e confronto delle emissioni dirette dovute agli scenari), quindi l'impatto locale attraverso la modellizzazione di alcuni di questi scenari ritenuti più rilevante/probabile in giorni specifici.

Al fine di definire gli scenari da testare per il 2021, è stato realizzato un report delle emissioni per il 2019 per tipologia di nave.

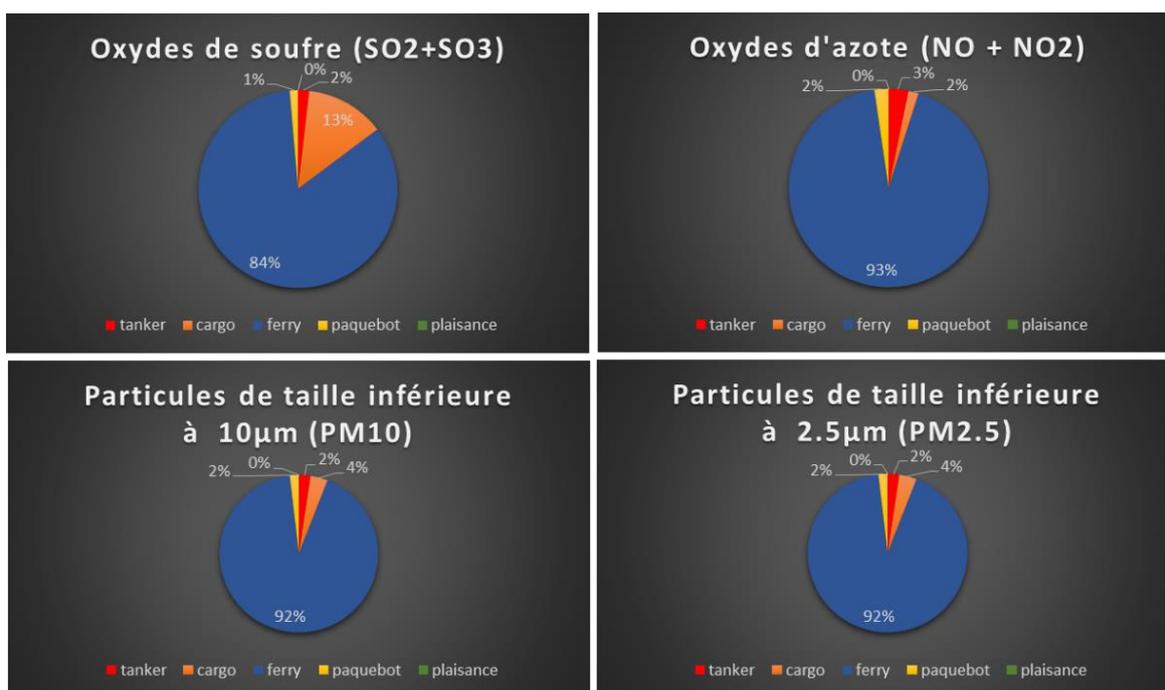


Figura 1 : Ripartizione delle emissioni per tipo di nave ad Ajaccio (2019)

I traghetti rappresentano la maggior parte delle emissioni inquinanti e quindi sono state principalmente le soluzioni relative alla riduzione delle emissioni delle navi da trasporto passeggeri che sono state valutate nell'ambito del programma AER NOSTRUM (si noti che le emissioni totali delle crociere in un anno intero rappresentano da 2 a 4 % di emissioni marittime per Ajaccio per la maggior parte degli inquinanti particolato e gassoso (13% per SOX). Controllando la quantità di emissioni secondo le diverse fasi della chiamata, ci rendiamo conto che è durante la sosta in banchina che la maggior parte delle inquinamento, dovuto principalmente al fatto che la durata della fase di attracco è mediamente molto più lunga della fase di manovra, in particolare per i traghetti che stazionano tutto il giorno in porto. banchina sarebbe di reale interesse per eliminare/ridurre la maggior parte di queste emissioni.

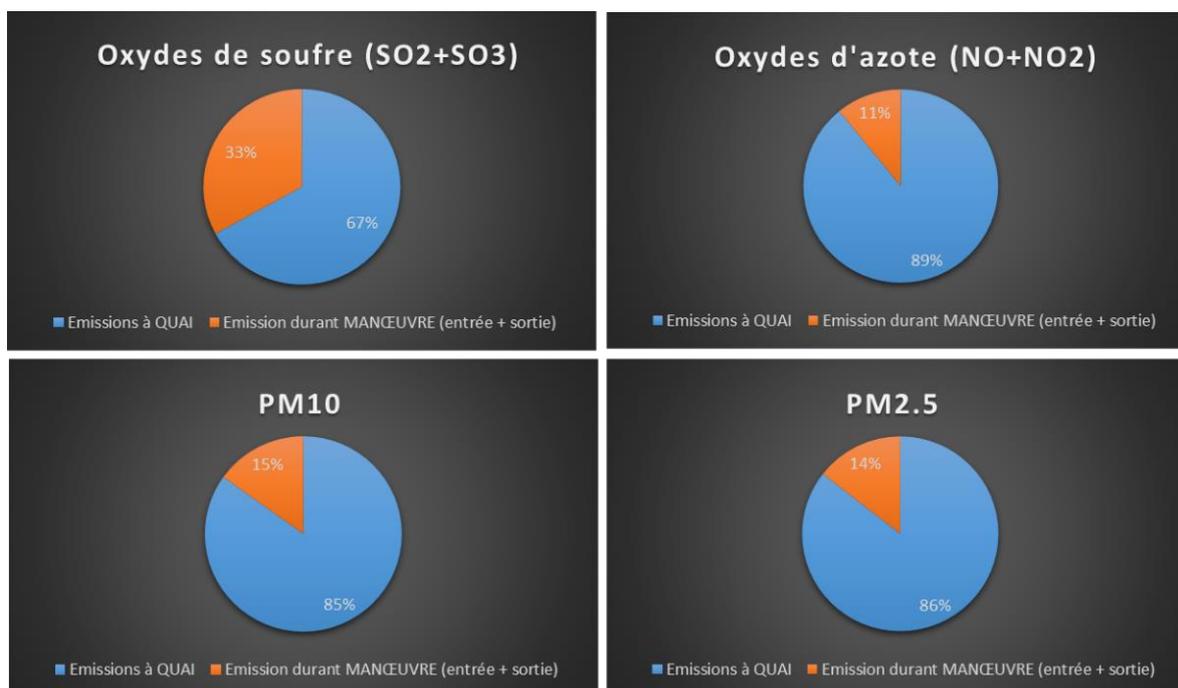


Figura 2 : Ripartizione delle emissioni secondo la fase dello scalo ad Ajaccio (2019)

Quando invece si tratta di scali più brevi, la proporzione tende a cambiare drasticamente. Confrontando le emissioni totali del grafico precedente per unità di tempo (e considerando che le fasi di manovra durano complessivamente 40 min), si vede che la fase di manovra è la più emettente. È questa fase che viene spesso criticata quando si ricevono lamentele sui pennacchi delle navi.

In questi casi, le soluzioni orientate al disinquinamento sembrano più rilevanti per arginare questi picchi di emissioni legati all'aumento del carico del motore per le manovre.

Non c'è quindi una sola soluzione da implementare per migliorare la qualità dell'aria, e alcune dipendono anche dai vincoli logistici specifici di ogni scalo (impossibilità di collegare la nave alla rete per scali inferiori alle 2 ore ad esempio).

2.1.1.1. Scenari studiati per il porto di Ajaccio

A seguito di discussioni con i partner locali ad Ajaccio, è emerso che la maggior parte delle soluzioni previste ruotano attorno al collegamento elettrico delle navi in banchina e al prossimo arrivo dei traghetti LNG. Devi sapere che Ajaccio ha la particolarità di avere una centrale termica vicino alla città (Vazzio ~3.5km dal porto) e la cui produzione di elettricità fa parte del mix energetico dell'isola. Collegare elettricamente le navi non significa necessariamente aumentare la produzione dell'impianto (e quindi le emissioni) perché l'elettricità che arriva ad Ajaccio proviene da una distribuzione controllata dei diversi metodi di produzione disponibili in Corsica :

Potenza totale installata (*energia idraulica*):

199 MW

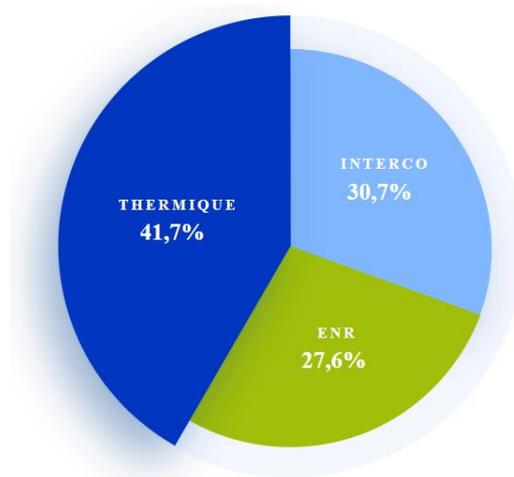
Potenza totale installata (*energia termica*) :

369 MW

Potenza totale (*EDF Corse + importazioni di link*) :

718 MW

di cui il 28% Energia Rinnovabile (*Idraulica / Solare / Eolica...*)



Il diagramma sottostante mostra il mix energetico :

Figura 3 : Mix Energetico in Corsica

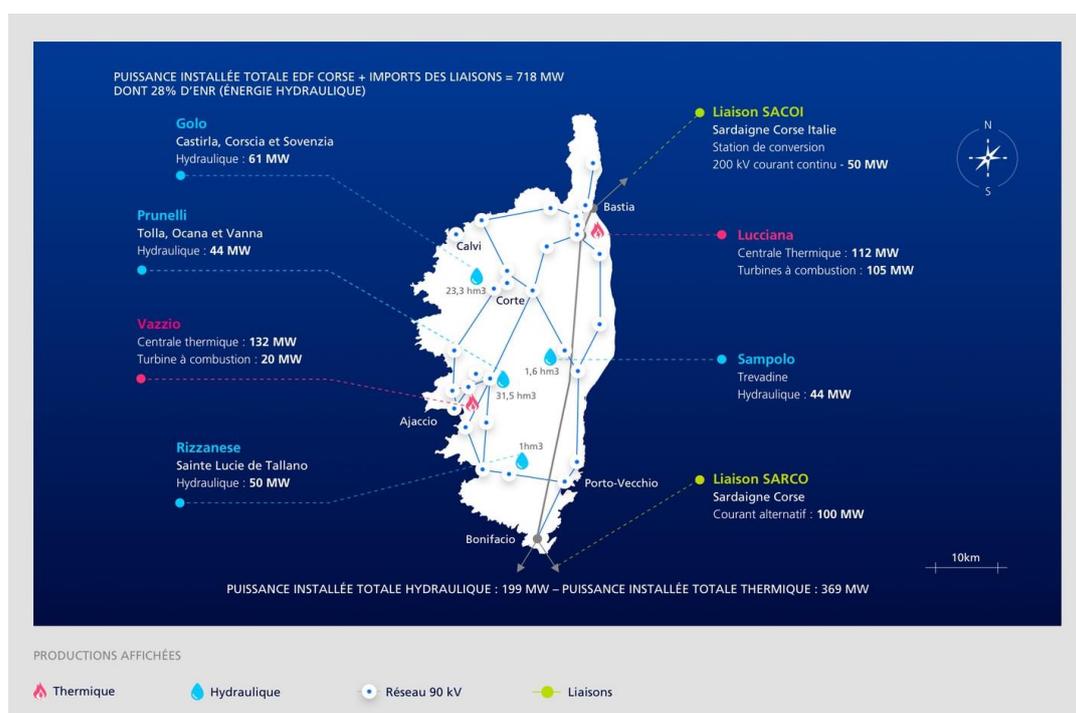


Figura 4 : Impianti di produzione di energia EDF in Corsica – EDF

Per quantificare il reale guadagno di una soluzione di tipo COLD IRON è necessario stimare con EDF il potenziale aumento delle emissioni della centrale termoelettrica di Ajaccio per far fronte alle richieste dei traghetti (il collegamento delle navi da crociera non è stato integrato nel lo scenario perché ritenuto tecnicamente impraticabile nel breve termine data la potenza richiesta per questo tipo di nave), e includerli come inquinamento di fondo nel modello nell'area di studio di 2,5 km x 2,5 km. Associato a progetti di energia rinnovabile (parco fotovoltaico, centrale a idrogeno, ecc.) sostenuti dal porto, l'impatto potrebbe essere ridotto; il caso ideale sarebbe che tutta la domanda energetica dei traghetti potesse essere fornita da un parco fotovoltaico dedicato, consentendo in questo caso una soluzione completamente neutra nelle emissioni.

Secondo gli studi di EDF, la produzione aggiuntiva di energia elettrica della centrale termoelettrica di Ajaccio per il COLD IRON des ferries è dell'ordine di pochi MW (tra 0,6 e 3 MW in media).

Considerata la quantità di ulteriori inquinanti generati e la precisione del modello informatico, questi dati non sembrano fornire valore aggiunto nel calcolo delle emissioni complessive della microregione e la differenza di concentrazioni rimane inferiore all'incertezza della modello. Di conseguenza, gli scenari COLD IRON non includono un aumento significativo delle emissioni nelle seguenti rappresentazioni e statistiche relative alla produzione di elettricità termica.

Una nuova nave Corsica Linea alimentata a LNG è arrivata in flotta nel 2023, la sua inclusione negli scenari potrebbe anche essere interessante da quantificare, in sostituzione di una vecchia nave. Si è deciso che la loro vecchia nave "A Nepita" e presente in molti scali sarebbe stata "sostituita" nei calcoli per lo scenario LNG dalla nuova nave, sempre sulla base degli scali del 2021.

L'arrivo della zona SECA nel Mediterraneo prevede fin dall'inizio uno scenario di zolfo dello 0,1%, a priori già rispettato in fase di attracco (qualunque sia la durata) dalla maggior parte delle compagnie di traghetti quotate, attraverso filtri o meglio carburante, (soprattutto a seguito la normativa che impone questo carburante per soste superiori alle 2 ore). Le soluzioni del tipo filtro antiparticolato/scrubber sono già incluse nell'inventario delle emissioni, quindi dipende dal fatto che le navi attrezzate facciano o meno scalo al porto.

Gli scenari intermedi includeranno un insieme delle diverse opzioni.

L'elenco degli scenari per i quali sarà effettuato un **calcolo delle emissioni** per l'anno 2021 per Ajaccio è il seguente:

Scenario 0 : Situazione attuale (dati 2021)

Scenario 1 : Flotta attuale con legislazione SECA (2025)

Scenario 2.1 : 100% delle navi con scali > 2h30 sono collegate al Cold Ironing senza emissioni (produzione di elettricità neutra) e la flotta attuale

Scenario 2.2 : 100% delle navi con scali > 2h30 sono collegate al Cold Ironing senza emissioni (produzione di elettricità neutra) e legislazione SECA

→ Declinazione in scenari intermedi con emissioni più o meno significative

Scenario 4 : Aggiunta di una o più navi LNG alla flotta attuale senza Cold Ironing

Scenario 5 : Aggiunta di una o più navi LNG alla flotta attuale con Cold Ironing

Scenario 6 : Aggiunta di una o più navi LNG alla flotta SECA senza Cold Ironing

Scenario 7 : Aggiunta di una o più navi LNG alla flotta SECA con Cold Ironing

A noter qu'il existait un scénario 3 initialement prévu, correspondant à la prise en compte des émissions de la centrale dans un scénario COLD IRON, jugées non pertinentes pour l'outil de modélisation suite aux estimations de puissance électrique requise pour les ferries.

Fiches Scenarii	0 Base	1 CENAQ	2.1 GNL	2.2 NH3	2.3 ELEC/H2	3.1 Scrubber	3.2 Filtre Amont	3.3 MDE	3.4 Gestion Port	4 Normes SECA
Scenario 0	X									
Scenario 1										X
Scenario 2.1	X	X								
Scenario 2.2		X								X
Scenario 4	X		X							
Scenario 5	X	X	X							
Scenario 6			X							X
Scenario 7		X	X							X

Figura 5 : Fogli utilizzati per gli scenari su Ajaccio

Gli scenari selezionati per la **parte modellistica** sono **0 (scenario base)**, **1 (SECA)** e **7 (SECA + COLD IRON + 1 LNG)**. In effetti, la modellazione dell'impatto attuale è essenziale. La normativa SECA è considerata certa per il 2025. Lo scenario 7, infine, tiene conto dell'arrivo in flotta di navi LNG con la possibilità di allacciare elettricamente le navi alla banchina dopo il 2025.

Modellazione: Scenario 0; Scenario 1; Scenario 7

2.1.1.2. Scenari studiati per il porto di Bastia

Il porto di Bastia ospita principalmente scali traghetti, alcuni dei quali molto lunghi e particolarmente adatti alla soluzione COLD IRON. Per quanto riguarda Ajaccio, una centrale termica si trova intorno a Bastia, ma questa volta a una distanza molto maggiore. L'ipotesi principale formulata nell'ambito dello studio AER NOSTRUM è che il collegamento elettrico delle navi all'ormeggio sarà considerato neutro rispetto alle emissioni locali (ovvero dall'area di studio e dalle immediate vicinanze), poiché il potenziale aumento del carico sulla La centrale di Lucciana a 20 km è considerata trascurabile perché la centrale è troppo lontana per avere un impatto diretto significativo sulla città. Per il resto si prospettano gli stessi scenari dell' Ajaccio.

L'elenco degli scenari con i calcoli delle emissioni è stato quindi stabilito per Bastia:

Scenario 0 : Situazione attuale (dati 2021)

Scenario 1 : Flotta attuale con legislazione SECA (2025)

Scenario 2.1 : 100% delle navi con scali > 2h30 sono collegate al Cold Ironing senza emissioni (produzione di elettricità neutra) e la flotta attuale

Scenario 2.2 : 100% delle navi con scali > 2h30 sono collegate al Cold Ironing con emissioni parzialmente decarbonizzate (guadagni stimati con EDF) e legislazione SECA

Scenario 4 : Aggiunta di una o più navi LNG alla flotta attuale senza Cold Ironing

Scenario 5 : Aggiunta di una o più navi LNG alla flotta attuale con Cold Ironing

Scenario 6 : Aggiunta di una o più navi LNG alla flotta SECA senza Cold Ironing

Scenario 7 : Aggiunta di una o più navi LNG alla flotta SECA con Cold Ironing

Fiches / Scenarii	0 Base	1 CENAQ	2.1 GNL	2.2 NH3	2.3 ELEC/H2	3.1 Scrubber	3.2 Filtre Amont	3.3 MDE	3.4 Gestion Port	4 Normes SECA
Scenario 0	X									
Scenario 1										X
Scenario 2.1	X	X								
Scenario 2.2		X								X
Scenario 4	X		X							
Scenario 5	X	X	X							
Scenario 6			X							X
Scenario 7		X	X							X

Figura 6 : Fogli utilizzati per gli scenari su Bastia

Come ad Ajaccio, gli scenari selezionati a Bastia per la **parte di modellazione** sono **0 (scenario di base), 1 (SECA) e 7 (SECA + COLD IRON + 1 LNG)** che corrispondono agli stessi criteri.

Modellazione: Scenario 0; Scenario 1; Scenario 7

2.1.2. Emissioni di scenario

2.1.2.1. Fattori di emissione

Le emissioni delle navi sono calcolate secondo le raccomandazioni della guida metodologica per la redazione degli inventari LCSQA⁵ (guida PCIT2⁶). Queste emissioni dipendono dal consumo energetico delle navi, secondo la formula:

$$E_i = C F_i$$

dove E_i è l'emissione [kg] dell'inquinante i , C è il consumo energetico [J] e F_i è il fattore di emissione specifico dell'inquinante i [kg/J]. Il consumo di energia è dato dalla relazione

$$C = G p$$

dove G è il consumo di combustibile [g di combustibile] e p è il potere calorifico inferiore del combustibile utilizzato [J/g di combustibile]. Il consumo di carburante dipende da diversi fattori, ed in particolare dalla stazza lorda, che caratterizza le dimensioni della nave. Varia in funzione del carico motore e quindi in base alla fase di circolazione considerata, che può essere una fase di “viaggio” (nave lontana dal porto), una fase di “manovra” (nave in porto) o una fase di ormeggio (nave in sosta).

I fattori di emissione di NO_x , SO_x e $PM_{2.5}$ per i diversi combustibili utilizzati in questo lavoro sono riassunti nella tabella seguente. Gli oli combustibili pesanti, con un contenuto di zolfo del 3,5%, 1,5% e 0,5%, sono raggruppati nella categoria *Bunker Fuel Oil* (BFO). Per un carburante con un contenuto di zolfo dello 0,1% si parlerà piuttosto di diesel marino, o *Marine Diesel Oil* (MDO). BFO e MDO sono carburanti con diversa viscosità e composizione, motivo per cui differiscono non solo per le emissioni di SO_x , ma anche per NO_x e PM.

<i>FE</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO_x</i>	<i>PM_{2.5}</i>
<i>BFO</i> 3.5%		1360,0	147,25
<i>BFO</i> 1.5%		470,0	
<i>BFO</i> 0.5%		265,0	
<i>MDO</i>	1842,72	47,0	33,45

Tabella 1 : Fattori di emissione di NO_x , SO_x e $PM_{2.5}$ estratti dal database OMINEA del CITEPA⁷.

⁵ Laboratorio centrale di monitoraggio della qualità dell'aria

⁶ Guida metodologica per lo sviluppo degli inventari territoriali delle emissioni in atmosfera (inquinanti atmosferici e gas serra), Ministero della Transizione ecologica e inclusiva, Direzione generale Energia e clima, Ufficio Qualità dell'aria, versione n°2, giugno 2018

⁷ Centro tecnico interprofessionale per lo studio dell'inquinamento atmosferico: <https://www.citepa.org/fr/>

2.1.2.2. Situazione attuale (2021)

Al fine di stabilire le migliori stime di riduzione delle emissioni sulle soluzioni future, è innanzitutto importante conoscere le prestazioni dell'attuale flotta. 25 navi sono segnalate come traghetti in scalo a Bastia e Ajaccio, le cui informazioni sono state ottenute tramite le compagnie di navigazione e la Camera dell'Industria e del Commercio.

In totale, per l'anno 2021, ci sono stati 947 scali ad Ajaccio e 1320 a Bastia relativi ai traghetti elencati dai partner del progetto.

I combustibili utilizzati ad oggi sono principalmente Heavy Fuel Oil (HFO) detto anche Bunker Fuel Oil (BFO) per le fasi di manovra (con 0,5% di zolfo), e Marine Diesel Oil (MDO) per le fasi di attracco (con 0,1% di zolfo).

La maggior parte delle navi effettua soste superiori alle 2 ore, imponendo così un carburante allo 0,1% di zolfo allo sbocco delle emissioni per l'intera durata in sito, favorendo così l'MDO come carburante principale per l'arrivo e l'attracco. Tuttavia, alcune navi beneficiano di un sistema di trattamento dei fumi che consente loro di continuare a utilizzare più combustibile a base di zolfo poiché è ridotto alle concentrazioni regolamentari all'uscita di scarico.

Il metodo per il calcolo delle emissioni si basa quindi sull'equivalente di carburante che si ottiene con questo sistema, ovvero una nave che utilizza lo 0,5% di HFO filtrato per ottenere lo 0,1% all'uscita del camino sarà considerata come utilizzando MDO.

Per il calcolo delle emissioni marittime è stato scelto l'anno 2021, tenendo conto solo dei traghetti stessi (il porto e le attività correlate non sono inclusi in questo studio). La fase di manovra e la fase di attracco sono calcolate separatamente per meglio identificare l'azione di ciascuna soluzione simulata :

Inquinante	Emissioni dei traghetti – Ajaccio, 2021 (t)	
	Fase di manovra	Fase portuale
Diossido di carbonio (CO ₂)	1600,29	12964,59
Metano (CH ₄)	0,15	1,23
Monossido di carbonio (CO)	3,80	30,22
Ossido d'azoto (NO + NO ₂)	40,67	320,59
Ossidi di zolfo (SO ₂ + SO ₃)	5,44	8,18
Particelle inferiori a 10 µm (PM ₁₀)	3,02	5,82
Particelle inferiori a 2.5 µm (PM _{2.5})	2,86	5,51

Tabella 2 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, caso base - Ajaccio, 2021

Inquinante	Emissioni dei traghetti – Bastia , 2021 (t)	
	Fase di manovra	Fase portuale
Diossido di carbonio (CO ₂)	2024,19	9501,12
Metano (CH ₄)	0,19	0,90
Monossido di carbonio (CO)	4,80	22,15
Ossido d'azoto (NO + NO ₂)	51,45	234,94
Ossidi di zolfo (SO ₂ + SO ₃)	6,88	5,99
Particelle inferiori a 10 µm (PM ₁₀)	3,82	4,26
Particelle inferiori a 2.5 µm (PM _{2.5})	3,62	4,04

Tabella 3 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, caso base - Bastia, 2021

La prima osservazione da fare riguarda la differenza tra la fase di smistamento e quella di attracco per i due porti. In tutti i casi, la fase di ormeggio emette molto di più della fase di manovra. Ciò è dovuto principalmente al fatto che dura molto di più (a volte fino a 12 ore in banchina contro 1 ora di manovra in totale), nonostante un maggiore afflusso di inquinanti in arrivo e in partenza, essendo i motori molto più stressati rispetto a quando sono fermi .

Una seconda osservazione che ne deriva è che la fase banchina di Ajaccio è più emissiva di quella di Bastia, mentre per la manovra vale il contrario. Ciò si spiega in particolare con un maggior numero di scali a Bastia per un tempo totale inferiore al molo rispetto ad Ajaccio..

Infatti, la durata totale degli scali per i traghetti elencati ammonta a:

6979 ore ad Ajaccio

5607 ore a Bastia

Nell'ordine, notiamo che i principali inquinanti, tutte le fasi combinate, sono gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo, il monossido di carbonio, poi le polveri sottili e infine il metano. Il resto del rapporto mirerà a studiare l'efficacia delle possibili soluzioni sulla riduzione dei principali inquinanti, sia in fase di manovra che di stazionamento.

Nel 2021 a Bastia si sono fermati più traghetti, ma per un tempo totale inferiore in banchina rispetto ad Ajaccio. Le emissioni totali dei traghetti sono quindi più elevate ad Ajaccio.

2.1.2.3. Collegamento Elettrico delle Navi Ai Bacini (CENAB / Cold Ironing)

Corso d'azione: *7 fasi distinte possono essere identificate durante uno scalo di 2021.*

- 1 - Fase di crociera d'arrivo (PROP ON, GEN OFF, Fuori dall'Area di Studio)
- 2 - Fase di manovra d'arrivo (PROP ON, GEN OFF, Nell'Area di Studio)
- 3.1 - Fase di attracco senza Cold Ironing 1 (PROP OFF, GEN ON, Nell'Area di Studio)
- 3.2 - Fase di attracco con Cold Ironing (PROP OFF, GEN OFF, Nell'Area di Studio)
- ➔ **Durata utile con Cold Ironing**
- 3.3 - Fase di attracco senza Cold Ironing 2 (PROP OFF, GEN ON, Nell'Area di Studio)
- 4 - Fase di manovra di partenza (PROP ON, GEN OFF, Nell'Area di Studio)
- 5 - Fase di crociera di partenza (PROP ON, GEN OFF, Fuori dall'Area di Studio)

Glossario :

T_{APP}: Tempo di approdo con GEN ON

T_{COLDIRONING} : Durata della fase Cold Iron con GEN OFF

T_{IMB} : Tempo di imbarco con GEN ON

T_{MOLO}: Tempo di attracco totale con PROP OFF (= **T_{APP}** + **T_{COLDIRONING}** + **T_{IMB}**)

T_{MAN1} : Durata totale della manovra di arrivo con PROP ON

T_{MAN2}: Durata totale della manovra di partenza con PROP ON

T_{PROP} : Tempo totale di spedizione con PROP ON (= **T_{MAN1}** + **T_{MAN2}**)

T_{PORTO} : Durata totale della nave nell'area di studio

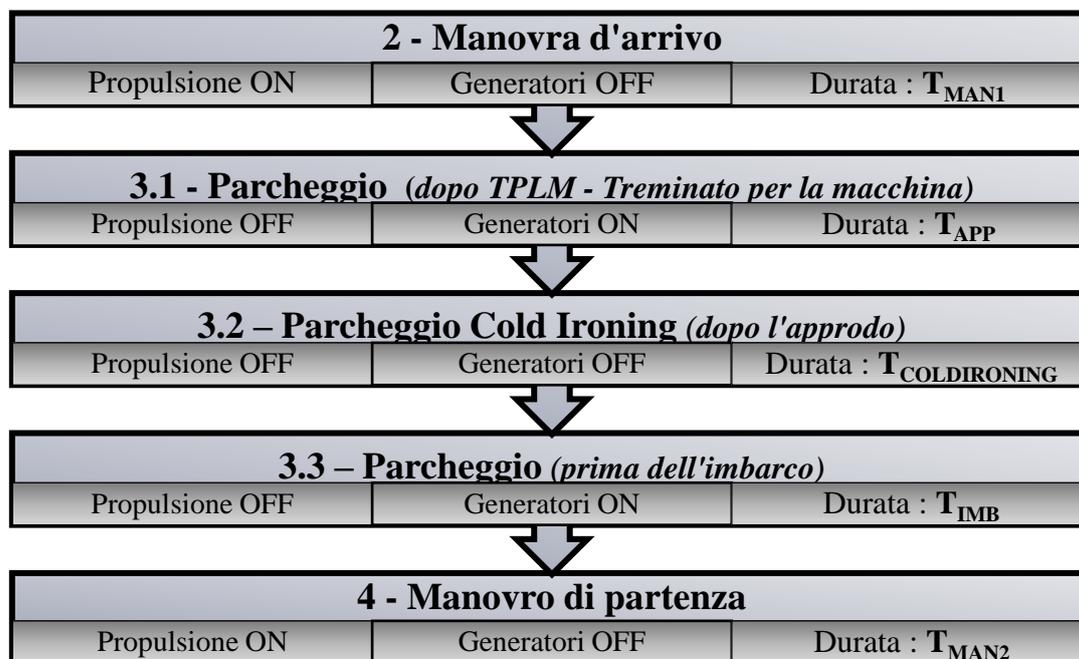


Tabella 4 : Cronologia parziale di uno scalo con Cold Ironing

La procedura completa di collegamento a terra è descritta nel prodotto T3.2.1.

Ai fini del calcolo, sono state fatte le seguenti ipotesi :

- $T_{APP} = 45 \text{ min}$
- $T_{IMB} = 1 \text{ h } 30$
- **Emissioni Cold Iron = 0**
- **Scali scelti per il Cold Iron > 2h30**

Inquinante	Emissioni dei traghetti – Ajaccio, 2021 (t)	
	Fase di manovra	Fase portuale
Diossido di carbonio (CO ₂)	1600,29	3347,69
Metano (CH ₄)	0,15	0,32
Monossido di carbonio (CO)	3,80	7,80
Ossido d'azoto (NO + NO ₂)	40,67	82,78
Ossidi di zolfo (SO ₂ + SO ₃)	5,44	2,11
Particelle inferiori a 10 µm (PM ₁₀)	3,02	1,50
Particelle inferiori a 2.5 µm (PM _{2.5})	2,86	1,42

Tabella 5 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, Cold Iron - Ajaccio, 2021

Inquinante	Emissioni dei traghetti – Bastia , 2021 (t)	
	Fase di manovra	Fase portuale
Diossido di carbonio (CO ₂)	2024,19	3459,17
Metano (CH ₄)	0,19	0,33
Monossido di carbonio (CO)	4,80	8,06
Ossido d'azoto (NO + NO ₂)	51,45	85,54
Ossidi di zolfo (SO ₂ + SO ₃)	6,88	2,18
Particelle inferiori a 10 µm (PM ₁₀)	3,82	1,55
Particelle inferiori a 2.5 µm (PM _{2.5})	3,62	1,47

Tabella 6 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, Cold Iron - Bastia, 2021

Prendendo le emissioni del caso base, possiamo così estrarre i vari guadagni ottenuti grazie all'utilizzo del Cold Iron.

Inquinante	Differenze Cold Iron / Base (%)					
	Fase di manovra		Fase portuale		TOTAL	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO ₂	0%	0%	-74%	-64%	-66%	-52%
CH ₄	0%	0%	-74%	-64%	-66%	-52%
CO	0%	0%	-74%	-64%	-66%	-52%
NO + NO ₂	0%	0%	-74%	-64%	-66%	-52%
SO ₂ + SO ₃	0%	0%	-74%	-64%	-45%	-30%
PM ₁₀	0%	0%	-74%	-64%	-49%	-34%
PM _{2.5}	0%	0%	-74%	-64%	-49%	-34%

Tabella 7 : Différences entre le scénario de base et l'utilisation de COLD IRON (%)

Ovviamente la riduzione delle emissioni riguarda solo la fase di attracco. Essendo questo il più emissivo su uno scalo completo, ciò si riflette anche in una significativa riduzione percentuale del totale. Tutti gli inquinanti sono interessati, i motori sono per definizione spenti durante il periodo di allacciamento alla banchina.

La differenza tra i due porti può essere spiegata dal maggior numero di lunghi scali ad Ajaccio, per i quali la tecnologia COLD IRON sembra particolarmente adatta (considerando però trascurabile l'impatto sulla rete elettrica e sull'inquinamento locale, come accennato in alto in questo rapporto).

In sintesi, una soluzione tipo COLD IRON potrebbe portare ai principali porti della Corsica **una riduzione che va dal 30 al 66% per tutti gli inquinanti messi insieme**. Questa soluzione riguarda solo i traghetti che sostano per almeno 2,5 ore, in quanto la procedura di collegamento in banchina non consente attualmente di collegare soste più brevi (in particolare, gli scali nel periodo estivo della durata di un'ora appena).

2.1.2.4. Area SECA

Nell'ambito dell'attuazione della zona SECA nel Mediterraneo, tutti gli armatori che trasportano passeggeri dovranno rispettare uno standard che impone allo sbocco dei camini emissioni equivalenti a un carburante con lo 0,1% di zolfo. Questo può essere fatto direttamente cambiando il carburante o attraverso l'uso di filtri/depuratori di particolato.

La maggior parte dei traghetti che attraccano nei porti corsi rispettano già questa normativa in fase di stazionamento (perché l'obbligo di passaggio allo 0,1% per gli scali superiori alle 2 ore, ma esteso dalle compagnie di navigazione a quasi tutti gli scali). La differenza in termini di emissioni riguarda quindi principalmente la fase di manovra come evidenziato nella tabella seguente:

Inquinante	Emissioni dei traghetti – Ajaccio, 2021 (t)	
	Fase di manovra	Fase portuale
Diossido di carbonio (CO ₂)	1505,48	12964,59
Metano (CH ₄)	0,14	1,23
Monossido di carbonio (CO)	3,51	30,22
Ossido d'azoto (NO + NO ₂)	37,23	320,59
Ossidi di zolfo (SO ₂ + SO ₃)	0,95	8,18
Particelle inferiori a 10 µm (PM ₁₀)	0,68	5,82
Particelle inferiori a 2.5 µm (PM _{2.5})	0,64	5,51

Tabella 8 : Quantité de polluants émis par les ferries, SECA - Ajaccio, 2021

Inquinante	Emissioni dei traghetti – Bastia , 2021 (t)	
	Fase di manovra	Fase portuale
Diossido di carbonio (CO ₂)	1936,95	9501,12
Metano (CH ₄)	0,18	0,90
Monossido di carbonio (CO)	4,52	22,15
Ossido d'azoto (NO + NO ₂)	47,90	234,94
Ossidi di zolfo (SO ₂ + SO ₃)	1,22	5,99
Particelle inferiori a 10 µm (PM ₁₀)	0,87	4,26
Particelle inferiori a 2.5 µm (PM _{2.5})	0,82	4,04

Tabella 9 : Quantité de polluants émis par les ferries, SECA - Bastia, 2021

Inquinante	Differenze SECA / Base (%)					
	Fase di manovra		Fase portuale		TOTALE	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO ₂	-6%	-4%	0%	0%	-1%	-1%
CH ₄	-8%	-6%	0%	0%	-1%	-1%
CO	-8%	-6%	0%	0%	-1%	-1%
NO + NO ₂	-8%	-7%	0%	0%	-1%	-1%
SO ₂ + SO ₃	-83%	-82%	0%	0%	-33%	-44%
PM ₁₀	-78%	-77%	0%	0%	-27%	-37%
PM _{2.5}	-78%	-77%	0%	0%	-27%	-37%

Tabella 10 : Le differenze tra lo scenario di base e l'uso del SECA (%)

Nella fase di manovra si registrano i maggiori cambiamenti per quanto riguarda le particelle fini e l'anidride solforosa, grazie all'uso di carburante di migliore qualità / migliore filtrazione. I cambiamenti nel biossido di carbonio e nel biossido di azoto sono scarsi e, poiché non vi sono differenze nella fase di banchina (a causa dell'uso già esistente dell'MDO come combustibile di banchina), i guadagni finali sono disparati.

Complessivamente, la soluzione della zona SECA ridurrà le emissioni di particelle fini e di ossido di zolfo di **circa il 30%, senza ridurre in modo significativo altri inquinanti.**

2.1.2.5. Navi LNG

Uno scenario interessante da considerare è l'arrivo sul mercato di navi passeggeri a LNG (già in atto per alcune navi da crociera e da carico). Lo studio ha calcolato l'impatto della completa sostituzione dell'attuale flotta con navi alimentate a LNG. Va notato che in questi scenari, una nave alimentata a LNG non sarà collegata a COLD IRON perché considerata più pulita dagli armatori.

Inquinante	Emissioni dei traghetti – Ajaccio, 2021 (t)	
	Fase di manovra	Fase portuale
Diossido di carbonio (CO ₂)	991,64	7950,79
Metano (CH ₄)	18,46	148,04
Monossido di carbonio (CO)	2,82	22,64
Ossido d'azoto (NO + NO ₂)	2,82	22,64
Ossidi di zolfo (SO ₂ + SO ₃)	0,01	0,06
Particelle inferiori a 10 µm (PM ₁₀)	0,06	0,52
Particelle inferiori a 2.5 µm (PM _{2.5})	0,00	0,00

Tabella 11 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, LNG - Ajaccio, 2021

Inquinante	Emissioni dei traghetti – Bastia , 2021 (t)	
	Fase di manovra	Fase portuale
Diossido di carbonio (CO ₂)	1251,25	5838,18
Metano (CH ₄)	23,30	108,70
Monossido di carbonio (CO)	3,56	16,62
Ossido d'azoto (NO + NO ₂)	3,56	16,62
Ossidi di zolfo (SO ₂ + SO ₃)	0,01	0,04
Particelle inferiori a 10 µm (PM ₁₀)	0,08	0,38
Particelle inferiori a 2.5 µm (PM _{2.5})	0,00	0,00

Tabella 12 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, LNG - Bastia, 2021

I risultati ottenuti sono particolarmente interessanti in quanto la maggior parte degli inquinanti mostra una riduzione significativa, in alcuni casi fino al 100%. Ciò è particolarmente vero per gli ossidi di zolfo, che non sono presenti nel combustibile di base (LNG).

Anche le emissioni di CO₂ e gli ossidi di azoto sono stati ridotti in modo significativo.

Inquinante	Differenze LNG / Base (%)					
	Fase di manovra		Fase portuale		TOTALE	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO ₂	-38%	-38%	-39%	-39%	-39%	-38%
CH ₄	11899%	11870%	11983%	12007%	11974%	11982%
CO	-26%	-26%	-25%	-25%	-25%	-25%
NO + NO ₂	-93%	-93%	-93%	-93%	-93%	-93%
SO ₂ + SO ₃	-100%	-100%	-99%	-99%	-100%	-100%
PM ₁₀	-98%	-98%	-91%	-91%	-93%	-94%
PM _{2.5}	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%

Tabella 13 : Differenze tra lo scenario di base e una flotta al 100% di LNG (%)

Poiché il LNG è un gas naturale liquido, composto principalmente da metano, vi è un forte aumento delle emissioni di metano allo scarico. È quindi importante quantificare la riduzione delle emissioni di CO₂ rispetto all'aumento delle emissioni di CH₄. Poiché il potere riscaldante del metano è 28 volte superiore a quello dell'anidride carbonica, è necessario calcolare le emissioni di CO_{2eq} per quantificare questa riduzione totale (o meno) nel modo più accurato possibile, utilizzando la formula seguente:

$$F_{CO_{2eq}} = \alpha_{CO_2} F_{CO_2} + \alpha_{CH_4} F_{CH_4} + \alpha_{N_2O} F_{N_2O}$$

dove α_i è il potere di riscaldamento globale del gas i , rispetto al potere di riscaldamento della stessa massa di CO₂ su un periodo di 100 anni. Per definizione, $\alpha_{CO_2} = 1$; i valori utilizzati per gli altri gas, $\alpha_{CH_4} = 28$ $\alpha_{N_2O} = 265$, sono tratti dal quinto rapporto IPCC.

Va notato che nessun N₂O è stato calcolato in questo studio.

Inquinante	Differenze LNG / Base (%)					
	Fase di manovra		Fase portuale		TOTALE	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO _{2eq}	1508,62 t	1903,58 t	12095,88 t	8881,88 t	13604,51 t	10785,46 t
	-6%	-7%	-7%	-6%	-7%	-7%
CO ₂	-38%	-38%	-39%	-39%	-39%	-38%
CH ₄	11899%	11870%	11983%	12007%	11974%	11982%

Tabella 14 : Emissioni in CO_{2eq} di uno scenario 100% LNG

I risultati mostrano che lo scenario LNG, pur prevedendo un forte calo delle emissioni di CO₂, registra un aumento molto forte delle emissioni di metano, che hanno un effetto di riscaldamento molto maggiore, riducendo così le prestazioni complessive di questo combustibile. L'aggiunta delle emissioni di N₂O al calcolo potrebbe peggiorare ulteriormente il bilancio finale. In sintesi, uno scenario al 100% di LNG consentirebbe di ridurre completamente le emissioni di polveri sottili e di ossidi di zolfo e di ridurre drasticamente le emissioni di ossidi di azoto, ma avrebbe uno scarso impatto sulla riduzione dei gas serra.

2.1.2.6. Scenari combinati

Non esiste un'unica soluzione per ridurre le emissioni inquinanti. Gli scenari sopra descritti possono essere combinati per sfruttare il miglior fattore di riduzione per ogni tecnologia, per tutte le fasi dello scalo.

I diversi scenari calcolati in termini di emissioni sono i seguenti :

- Sostituzione di una nave esistente con una nave alimentata a LNG
- COLD IRON + SECA
- COLD IRON + Sostituzione di una nave esistente con una nave alimentata a LNG
- SECA + Sostituzione di una nave esistente con una nave alimentata a LNG
- COLD IRON + Sostituzione di una nave esistente con una nave alimentata a LNG + SECA

Si noti che la nave alimentata a LNG non sarà collegata al COLD IRON.

Inquinante	Differenze Scenari combinati / Base (%) TOTALE (Manovra + Portuale)									
	Sostituzione 1 LNG		SECA + 1 LNG		COLD IRON + 1 LNG		COLD IRON + SECA		COLD IRON + SECA + 1 LNG	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO ₂	-10%	-2%	-10%	-3%	-68%	-53%	-67%	-53%	-57%	-45%
CH ₄	2980%	708%	2979%	707%	687%	62%	-67%	-54%	2932%	74%
CO	-6%	-1%	-7%	-3%	-67%	-53%	-67%	-54%	-54%	-45%
NO + NO ₂	-23%	-5%	-24%	-7%	-72%	-53%	-67%	-54%	-71%	-46%
SO ₂ + SO ₃	-22%	-4%	-50%	-47%	-54%	-31%	-78%	-74%	-82%	-69%
PM ₁₀	-21%	-4%	-43%	-40%	-58%	-35%	-75%	-70%	-78%	-65%
PM _{2.5}	-23%	-4%	-45%	-40%	-58%	-35%	-75%	-70%	-80%	-65%
CO _{2eq}	-2%	0%	-2%	-1%	-66%	-52%	-67%	-53%	-50%	-45%

Tabella 15 : Differenze tra scenario di base e scenari combinati (%) - Manovra + Banchina

Combinando i risultati di tutti gli scenari, alcune soluzioni sembrano essere più adatte di altre.

La sostituzione di una nave obsoleta della flotta con una nuova nave alimentata a LNG ridurrà in modo significativo le emissioni dei principali inquinanti (ipotizzando che la nave sostituita sia quella con le emissioni individuali attuali più elevate, pari a quasi il 20% delle emissioni di SO_x).

L'aggiunta dello standard SECA a questo scenario ridurrà ulteriormente le particelle fini e gli ossidi di zolfo, come visto in precedenza.

Lo scenario che offre la maggiore riduzione in termini di emissioni complessive è quello che prevede il rispetto dello standard SECA abbinato all'uso del Cold Iron. In particolare per quanto riguarda le emissioni di gas serra.

D'altra parte, la sostituzione di una delle navi esistenti con una nave alimentata a LNG aumenterebbe la riduzione degli inquinanti atmosferici a scapito delle emissioni di gas a effetto serra, in quanto non è previsto l'allacciamento a COLD IRON di navi alimentate a LNG, considerate dagli armatori più "pulite" rispetto al mix energetico corso (navi recenti / motori recenti).

Sarebbe stato interessante verificare se una flotta al 100% a LNG collegata a COLD IRON avrebbe consentito una maggiore riduzione delle emissioni complessive, ma non è stato possibile studiare questo aspetto in seguito alle discussioni con i partner locali (per i motivi sopra indicati).

Lo studio ha dimostrato che le diverse tecnologie possono ridurre in modo più o meno drastico alcune categorie di inquinanti. La scelta della soluzione da utilizzare dipenderà quindi dalla volontà di ridurre una determinata categoria (gas serra / inquinanti locali).

Riduzione degli inquinanti locali (SO_x, PM_x, NO_x) = SECA + LNG (// COLD IRON)

Principali riduzioni di GHG (CO₂ CH₄) = SECA + COLD IRON

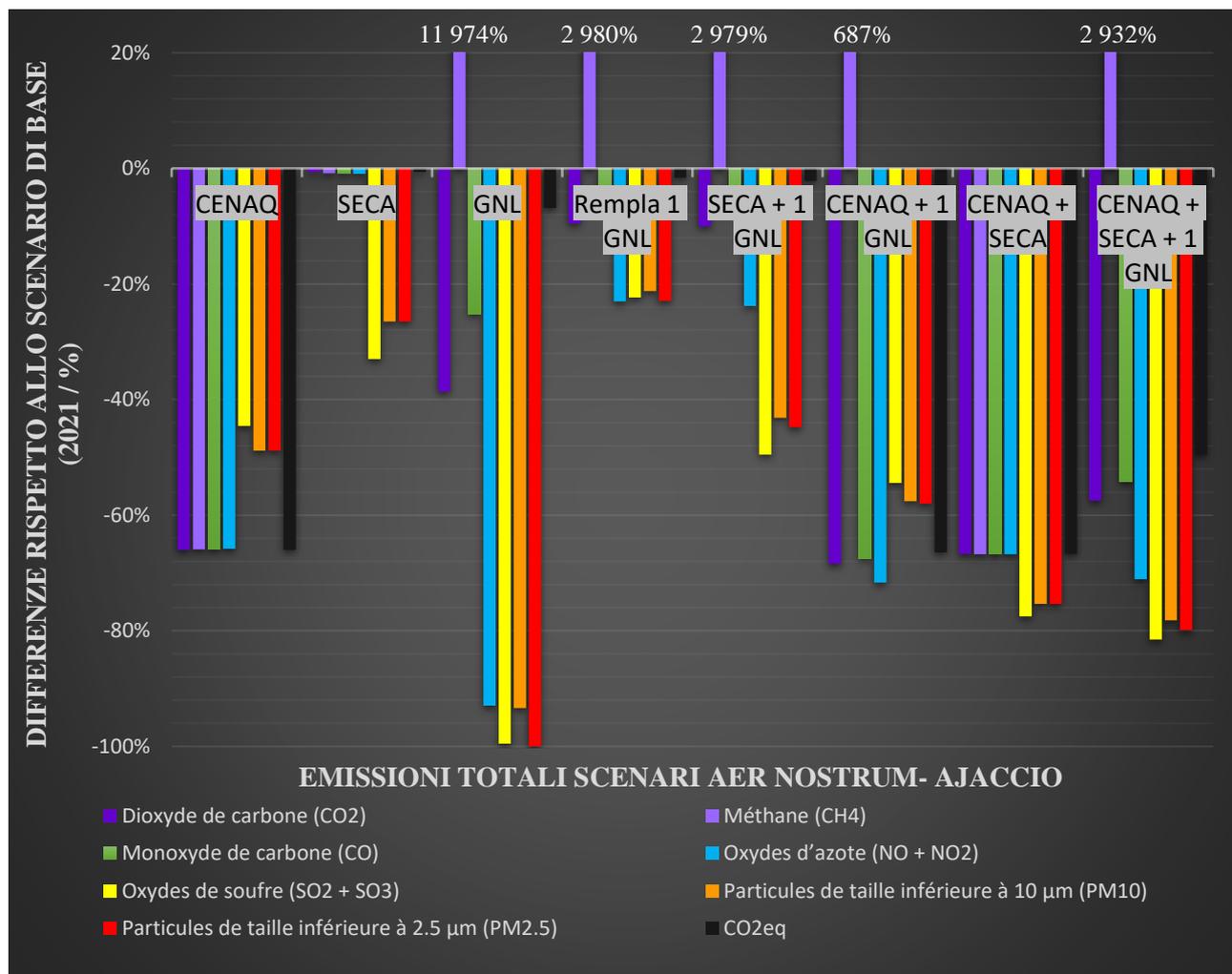


Figura 7 : Differenza percentuale delle emissioni tra gli scenari e la situazione al 2021 ad Ajaccio

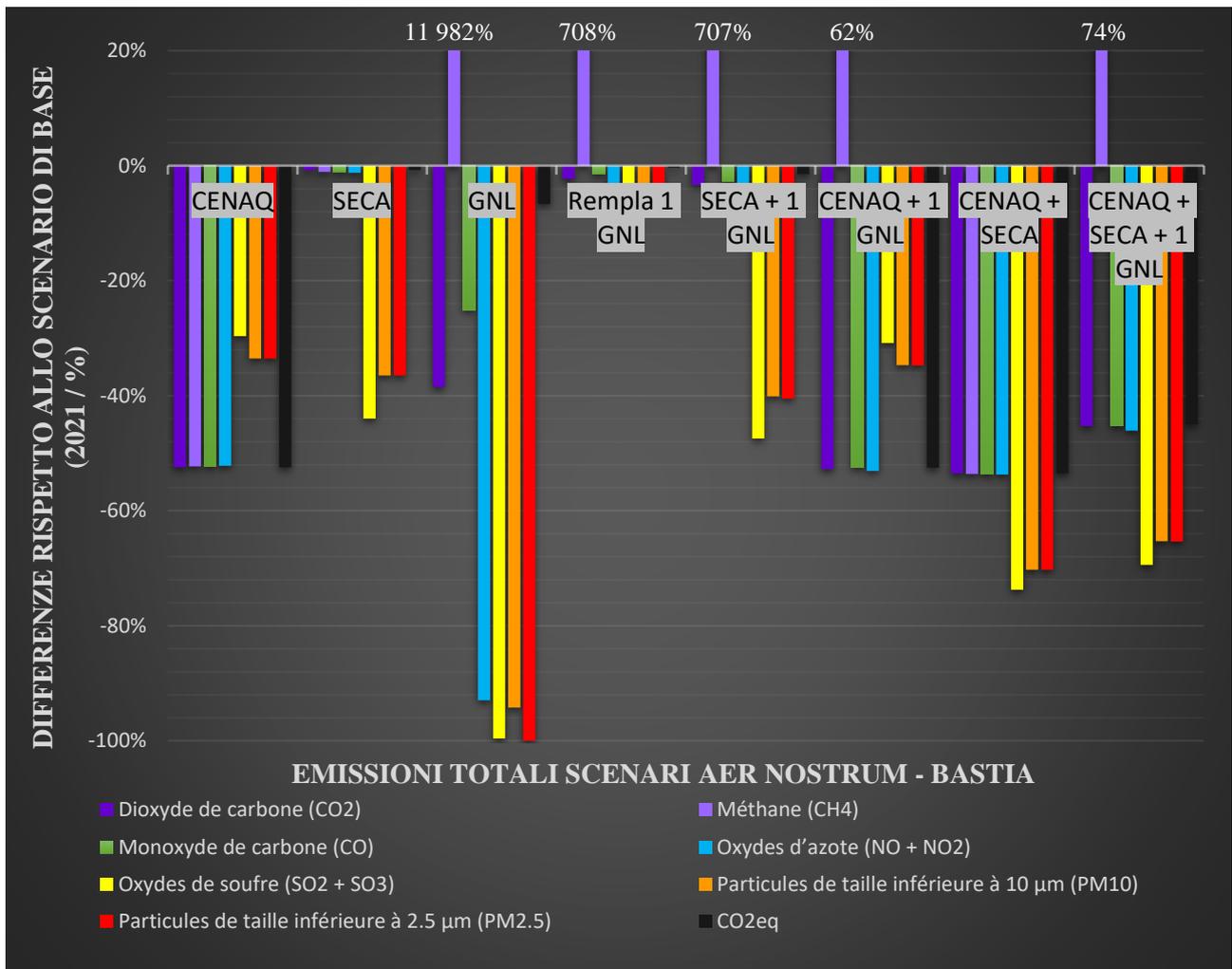


Figura 8 : Differenza percentuale delle emissioni tra gli scenari e la situazione al 2021 a Bastia

2.2. Risultati degli scenari - Modellazione

Al fine di qualificare l'inquinamento di Ajaccio e Bastia e i possibili guadagni apportati dagli scenari, sono stati scelti quattro giorni per eseguire i modelli 3D.

Questi giorni particolari erano caratterizzati da condizioni di vento, traffico marittimo e livelli di inquinamento registrati che erano interessanti da studiare. In base ai risultati ottenuti durante le campagne di misura e descritti nel rapporto T1.3.1, i giorni **15/09/2021** ad Ajaccio e **27/08/2021** a Bastia sono risultati i più favorevoli per identificare un impatto del traffico marittimo. Questi giorni saranno quindi modellati.

Nell'ambito degli scenari sul LNG, è stato modellato l'impatto di una nuova nave alimentata a LNG che sostituisce una nave obsoleta. Come nave da sostituire è stata scelta la "A Nepita", con scali interessati il **12/09/2021** ad Ajaccio e il **14/07/2021** a Bastia.

	<i>Ajaccio</i>		<i>Bastia</i>	
	12/09/2021	15/09/2021	14/07/2021	27/08/2021
<i>Scenario</i>	COLD IRON + SECA + 1 LNG	COLD IRON + SECA	COLD IRON + SECA + 1 LNG	COLD IRON + SECA

Tabella 16 : Date e modelli per i porti di Ajaccio e Bastia

Il modello utilizzato per queste simulazioni mensili è il modello PMSS sviluppato da Aria Technologies, descritto nel deliverable T2.3.1 - Rapporto sui risultati delle simulazioni modellistiche del progetto. Questo modello simula l'evoluzione temporale del campo di concentrazione dovuto ai pennacchi delle navi. Per NO_x e PM_{2,5} è necessario stimare anche una concentrazione di fondo. Questa viene stimata utilizzando la stazione di misurazione più vicina nel dominio di simulazione. La concentrazione di fondo, C_i^{fond} , è qui definita come :

$$C_i^{fond}(t) = C_i^{station}(t) - C_i^{sim}(t)$$

dove t è il tempo, dove $C_i^{station}$ è la concentrazione della specie i misurata dalla stazione di misurazione, e dove C_i^{sim} è la concentrazione del pennacchio simulato della specie i estratto nel punto di stazione. Quando la modellazione risulta in $C_i^{sim} > C_i^{station}$, impostiamo $C_i^{fond} = 0$.

Le simulazioni vengono effettuate con un passo temporale di un'ora. Le concentrazioni di fondo sono state stimate nel deliverable T2.3.1 utilizzando le misurazioni delle stazioni urbane fisse della rete Qualitair Corse. Queste concentrazioni corrispondono al fondo stimato per gli scenari di riferimento, che riproducono la situazione nei porti di Ajaccio e Bastia nel 2021. In questo lavoro, poiché la reattività chimica è trascurata, non viene quantificato l'impatto delle variazioni delle concentrazioni dei pennacchi delle navi nei diversi scenari sulla concentrazione di fondo. Per tutti gli scenari verrà quindi considerata la stessa concentrazione di fondo, quella dello scenario di riferimento. Le concentrazioni medie di fondo stimate per le due stagioni simulate nei porti di Ajaccio e Bastia sono riassunte nella tabella seguente:

	<i>Ajaccio</i>		<i>Bastia</i>	
	12/09/2021	15/09/2021	14/07/2021	27/08/2021
<i>PM2.5</i>	9.1	10.35	4.6	8.5
<i>PM10</i>	14.3	28.85	11.0	16.5
<i>NO₂</i>	8.7	33	2.7	6.9
<i>SO₂</i>	0.2	1.32	-	-
<i>NO₂/NO_x</i>	0.9	0.9	0.5	0.7

Tabella 17 : Concentrazioni medie di fondo in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ stimate nelle stazioni di Ajaccio "Canetto" e Bastia "Giraud" per i giorni di simulazione indicati

La media dei campi di concentrazione orari esportati per tutta la durata delle simulazioni viene utilizzata per ottenere un campo di concentrazione medio giornaliero. Questi valori medi vengono analizzati sotto forma di mappe e box-plot (o "scatole di baffi") delle concentrazioni sul territorio, dove si trovano le popolazioni esposte. Le specie modellate sono NO_x , SO_x e $\text{PM}_{2,5}$, ma le specie analizzate in relazione alle normative nazionali e internazionali (linee guida dell'OMS) sono NO_2 , SO_2 e $\text{PM}_{2,5}$. Come nel deliverable T2.3.1, si assume che il rapporto SO_3/SO_2 sia sufficientemente basso da approssimare $\text{SO}_2 \approx \text{SO}_x$. Le concentrazioni di NO_2 sono dedotte dalle concentrazioni di NO_x applicando un fattore di correzione, corrispondente al rapporto tra le concentrazioni di NO_2 e NO_x . Il valore medio di questo rapporto, stimato nelle stazioni di Ajaccio Canetto e Bastia Giraud nel corso di diversi mesi, è pari a 0.8.

La tabella seguente riporta i risultati delle concentrazioni medie in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ misurate dalle cabine situate nei pressi dei porti di Ajaccio e Bastia per lo studio, estratte nelle posizioni delle cabine, in momenti tali da $C_i^{\text{sim}} \neq 0$.

Gli scenari testati sono lo scenario base, lo scenario SECA e lo scenario combinato COLD IRON / SECA / 1 LNG.

Il rapporto tra le due medie fornisce **quindi il contributo per i recipienti di riferimento.**

È importante notare che questi risultati devono essere qualificati in base alle incertezze delle emissioni (che non sono completamente note a Qualitair Corse, in particolare per quanto riguarda le navi da crociera). I giorni di Ajaccio e Bastia sono stati scelti per includere solo navi conosciute, al fine di ottenere risultati sulle emissioni il più possibile vicini alla realtà.

La calibrazione del modello e le incertezze della modellizzazione sono descritte nel deliverable T2.3.1.

		Ajaccio - Canetto		Bastia - Giraud	
		12/09/2021	15/09/2021	14/07/2021	27/08/2021
PM_{2.5} (µg.m⁻³)					
BASE	Misure	9.33	12.0	5.5	8.6
	Simulazione	3.81	0.78	1.8	0.20
	% Sim/Mis	40.8%	6.5%	32.7%	2.3%
SECA	Simulazione	2.55	0.73	1.3	0.15
	% Sim/Mis	27.3%	6.1%	23.6%	1.7%
COLD IRON / SECA / LNG	Simulazione	1.01	0.30	0.5	0.10
	% Sim/Mis	10.8%	2.5%	9.1%	1.2%
PM₁₀ (µg.m⁻³)					
BASE	Misure	15.90	31.4	13.9	14.6
	Simulazione	5.15	0.94	1.8	0.21
	% Sim/Mis	32.4%	3.0%	12.9%	1.4%
SECA	Simulazione	3.98	0.88	1.4	0.17
	% Sim/Mis	25.0%	2.8%	10.1%	1.2%
COLD IRON / SECA / LNG	Simulazione	1.52	0.25	0.9	0.14
	% Sim/Mis	9.6%	0.8%	6.5%	0.1%
NO₂ (µg.m⁻³)					
BASE	Misure	-	-	-	-
	Simulazione	91.64	37.35	41.2	6.49
	% Sim/Mis	-	-	-	-
SECA	Simulazione	89.88	37.25	40.9	8.80
	% Sim/Mis	-	-	-	-
COLD IRON / SECA / LNG	Simulazione	53.19	17.13	19.5	6.23
	% Sim/Mis	-	-	-	-
SO₂ (µg.m⁻³)					
BASE	Misure	-	-	-	1.2
	Simulazione	8.18	1.15	3.0	0.26
	% Sim/Mis	-	-	-	21.7%
SECA	Simulazione	6.37	1.02	2.1	0.31
	% Sim/Mis	-	-	-	25.8%
COLD IRON / SECA / LNG	Simulazione	1.41	0.46	0.8	0.21
	% Sim/Mis	-	-	-	17.5%

Tabella 18 : Quota di inquinamento marino in relazione alle misurazioni da stazioni fisse ad Ajaccio e Bastia secondo gli scenari (valori mediati sul giorno)

2.2.1. Mappe di modellazione dell'inquinamento per i diversi scenari

2.2.1.1. Porto di Ajaccio

Mappe di concentrazione simulate con sfondo per il giorno 15/09/2021 ad Ajaccio. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento.

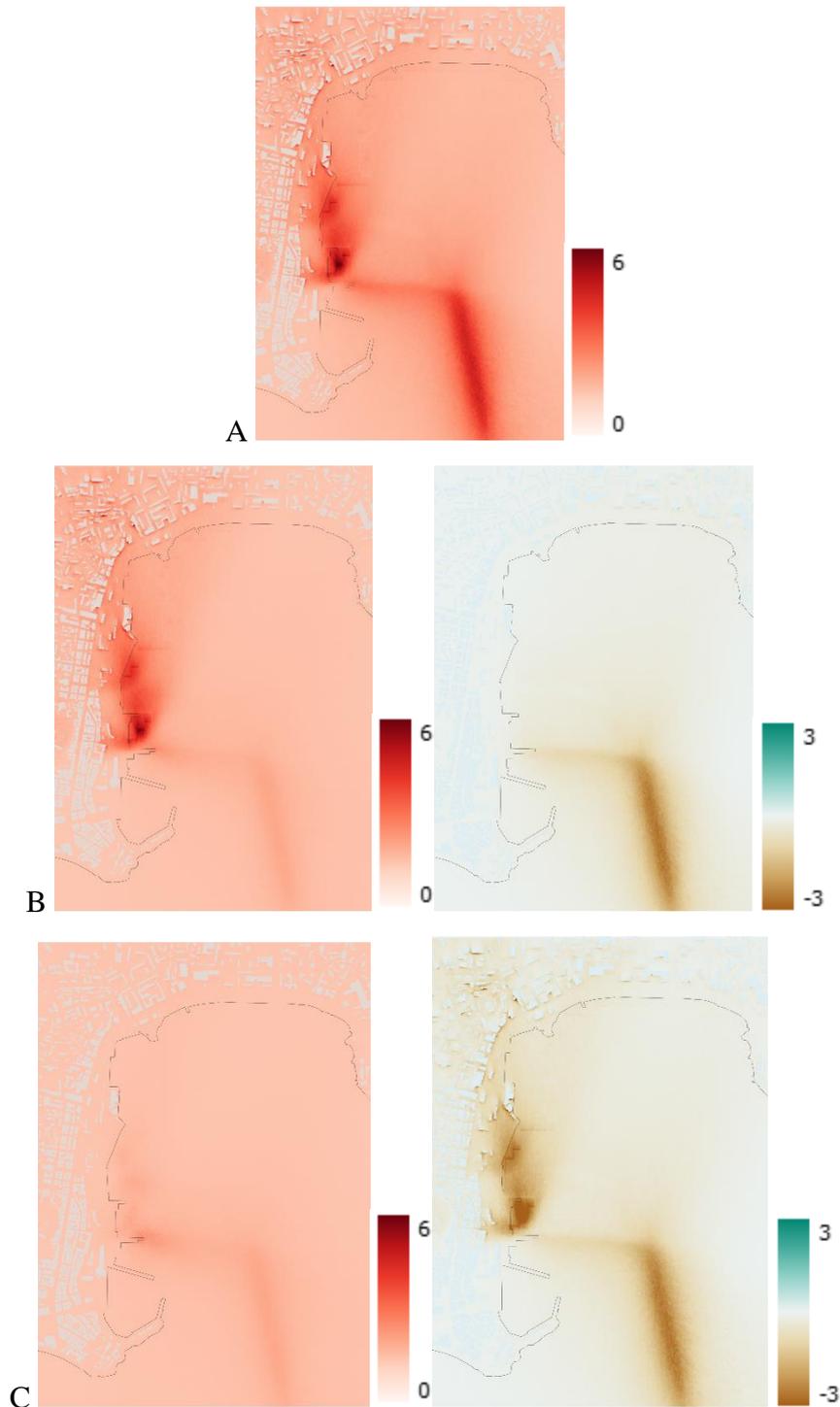


Figura 9 : Mappe delle concentrazioni medie di SO₂ in μg.m⁻³ ad Ajaccio il 15/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).

Il calo di SO₂ è chiaramente visibile rispettivamente nella fase di manovra (B) e in banchina (C) e riguarda soprattutto la costa vicina.

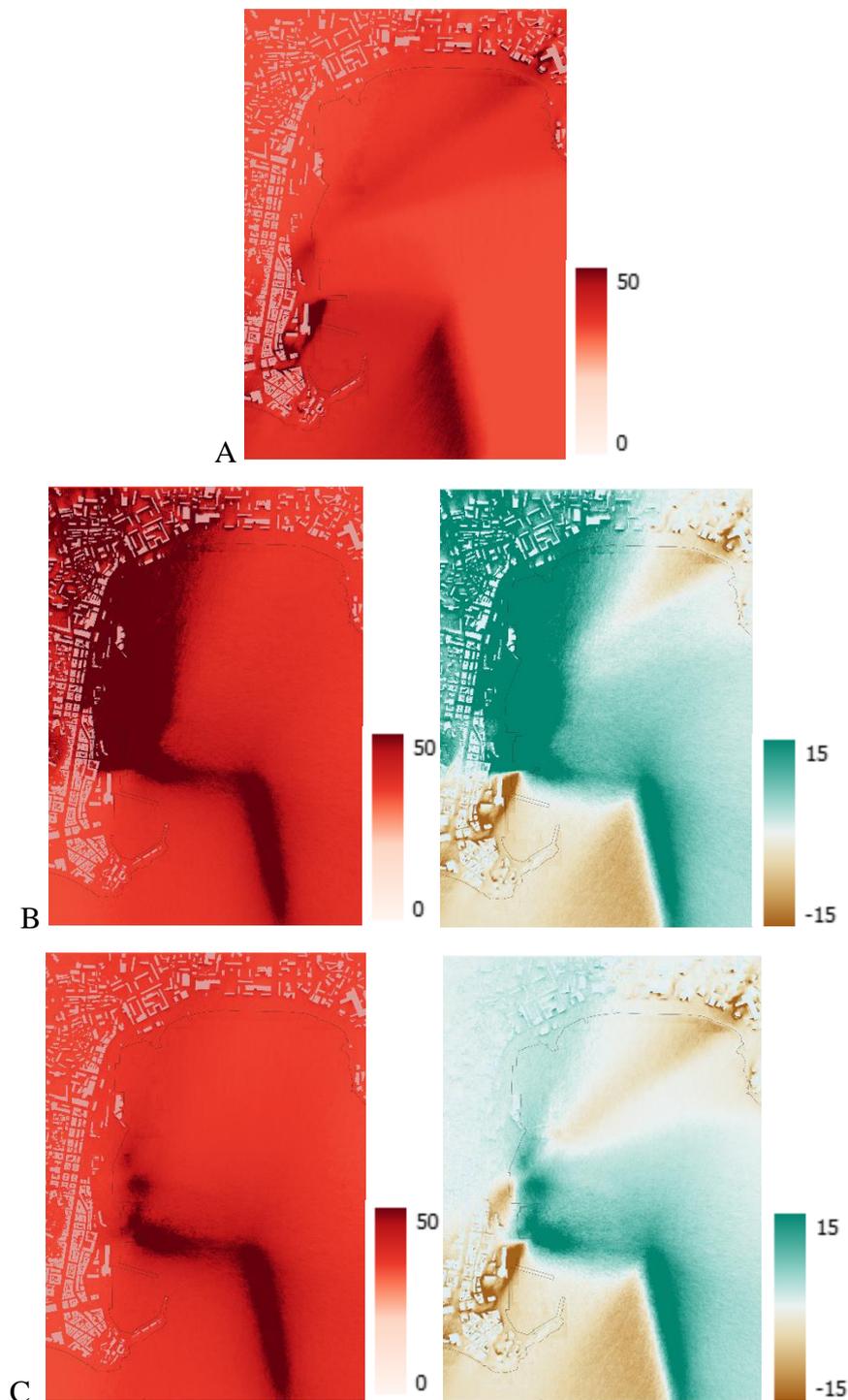


Figura 10 : Mappe delle concentrazioni medie di NO₂ in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ad Ajaccio il 15/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).

Le simulazioni di NO₂ sembrano divergere dalle aspettative, mostrando valori molto più alti con l'uso di SECA rispetto allo scenario di base. Sembra che gli effetti di margine numerico siano la causa dei valori osservati. Lo studio non consente ancora di confermare queste osservazioni

sulla base dei dati disponibili. I risultati ottenuti per questo inquinante devono quindi essere qualificati.

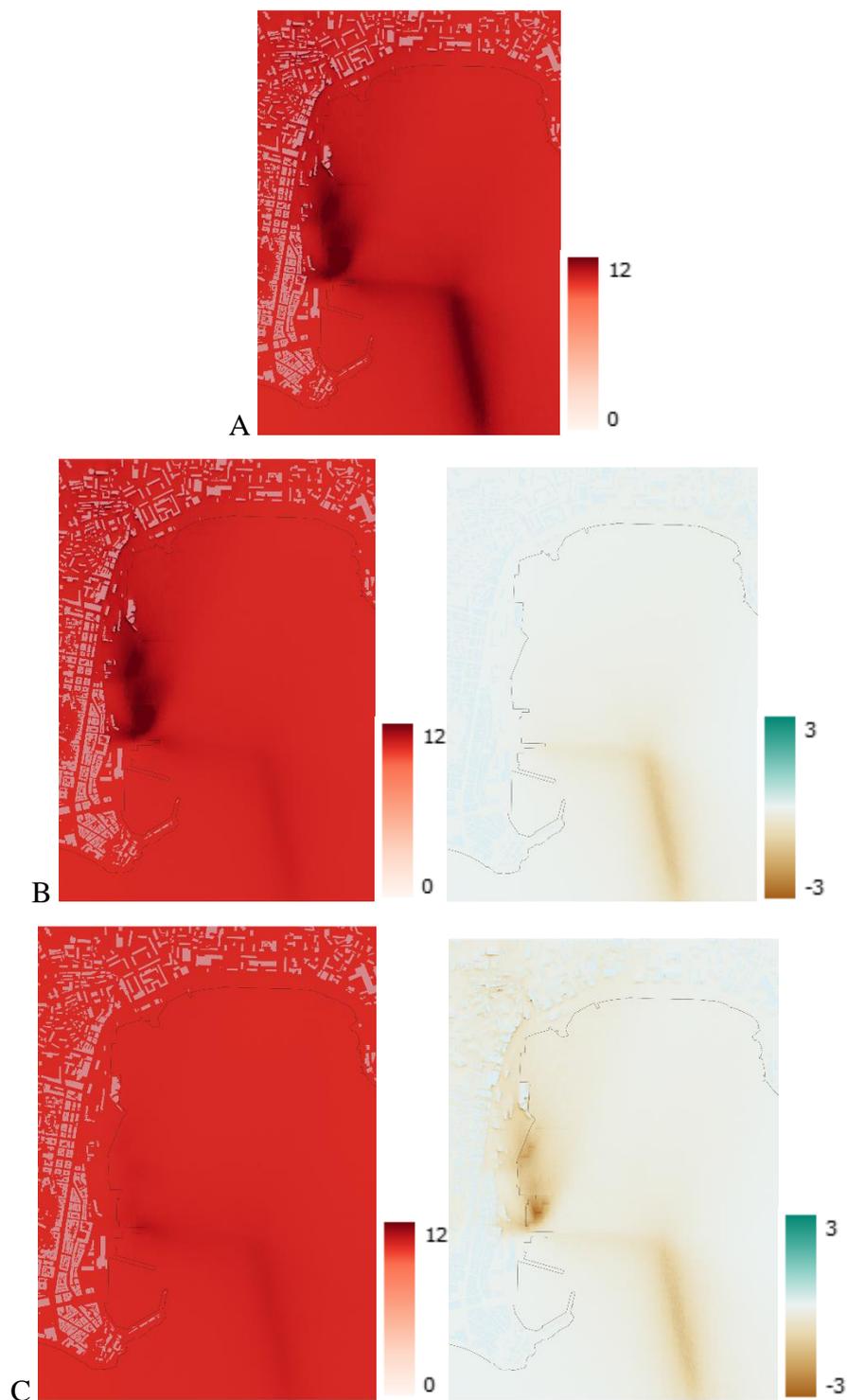


Figura 11 : Mappe delle concentrazioni medie di PM_{2.5} in µg.m⁻³ ad Ajaccio il 15/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).

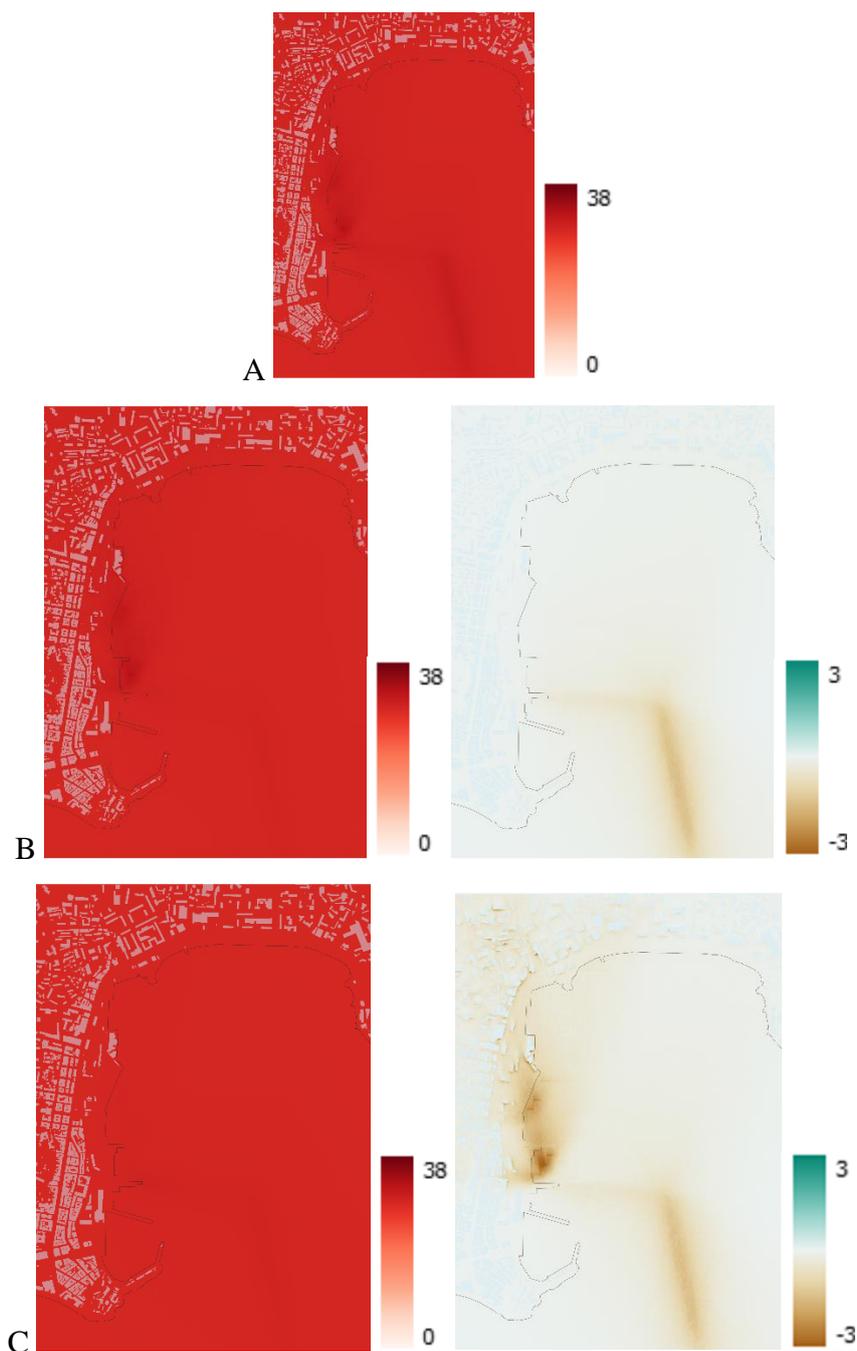


Figura 12 : Mappe delle concentrazioni medie di PM_{10} in $\mu g.m^{-3}$ ad Ajaccio il 15/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).

È stata osservata una diminuzione delle particelle fini, anche se minima. Questo dato va considerato nel contesto del contributo relativamente ridotto delle emissioni del traffico marittimo (si veda il capitolo sui risultati delle emissioni).

Mappe di concentrazione simulate con sfondo per il giorno 12/09/2021 ad Ajaccio. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento.

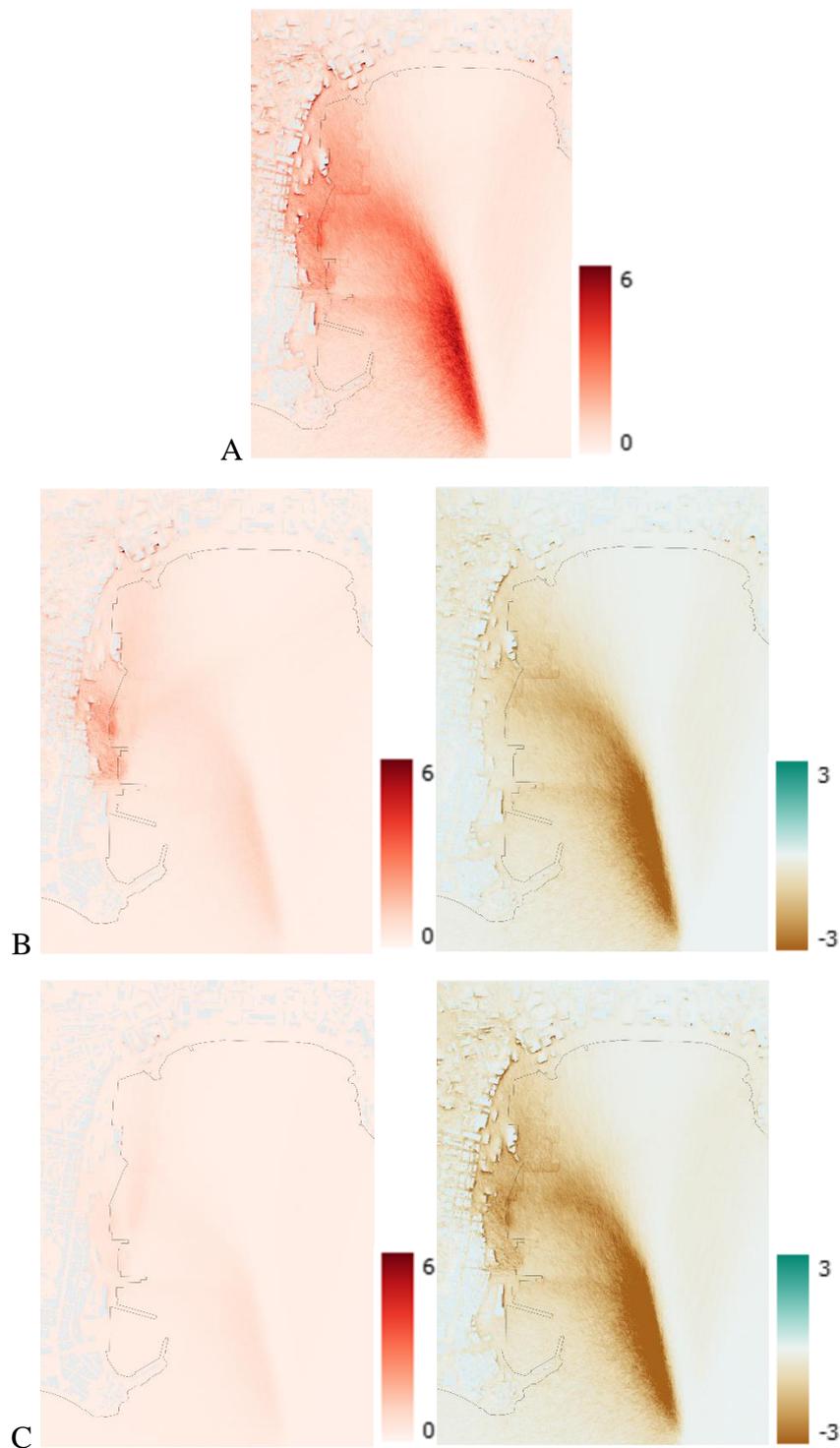


Figura 13 : Mappe delle concentrazioni medie di SO₂ in µg.m⁻³ ad Ajaccio il 12/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1 LNG (C).

Un calo di SO₂ è chiaramente visibile rispettivamente nella fase di manovra (B) e sulla banchina (C). Questa diminuzione è più globale in questo caso, il che è legato alle diverse condizioni meteorologiche.

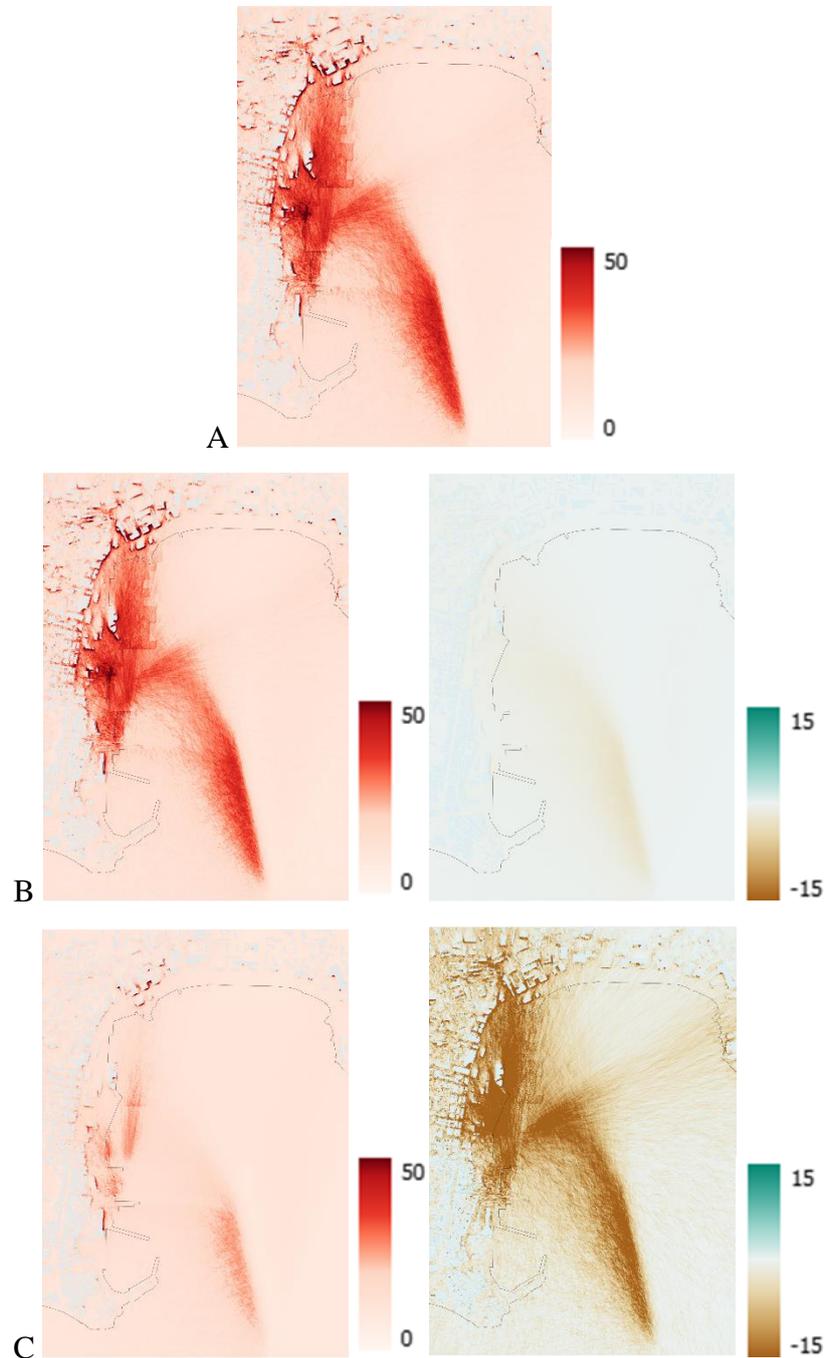


Figura 14 : Mappe delle concentrazioni medie di NO₂ in $\mu\text{g.m}^{-3}$ ad Ajaccio il 12/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1 LNG(C).

La situazione si inverte per quanto riguarda l'NO₂, con una riduzione più o meno significativa osservata con il rispetto dello standard SECA, poi con l'aggiunta del COLD IRON e la sostituzione della nave "A Nepita" con la "A Galleota", la nuova nave LNG di Corsica Linea.

Tuttavia, poiché le ipotesi di base sono simili al caso precedente, lo studio non sarà in grado di esprimere un giudizio più definitivo sui risultati della modellazione, in quanto i calcoli sugli effetti di bordo devono ancora essere confermati.

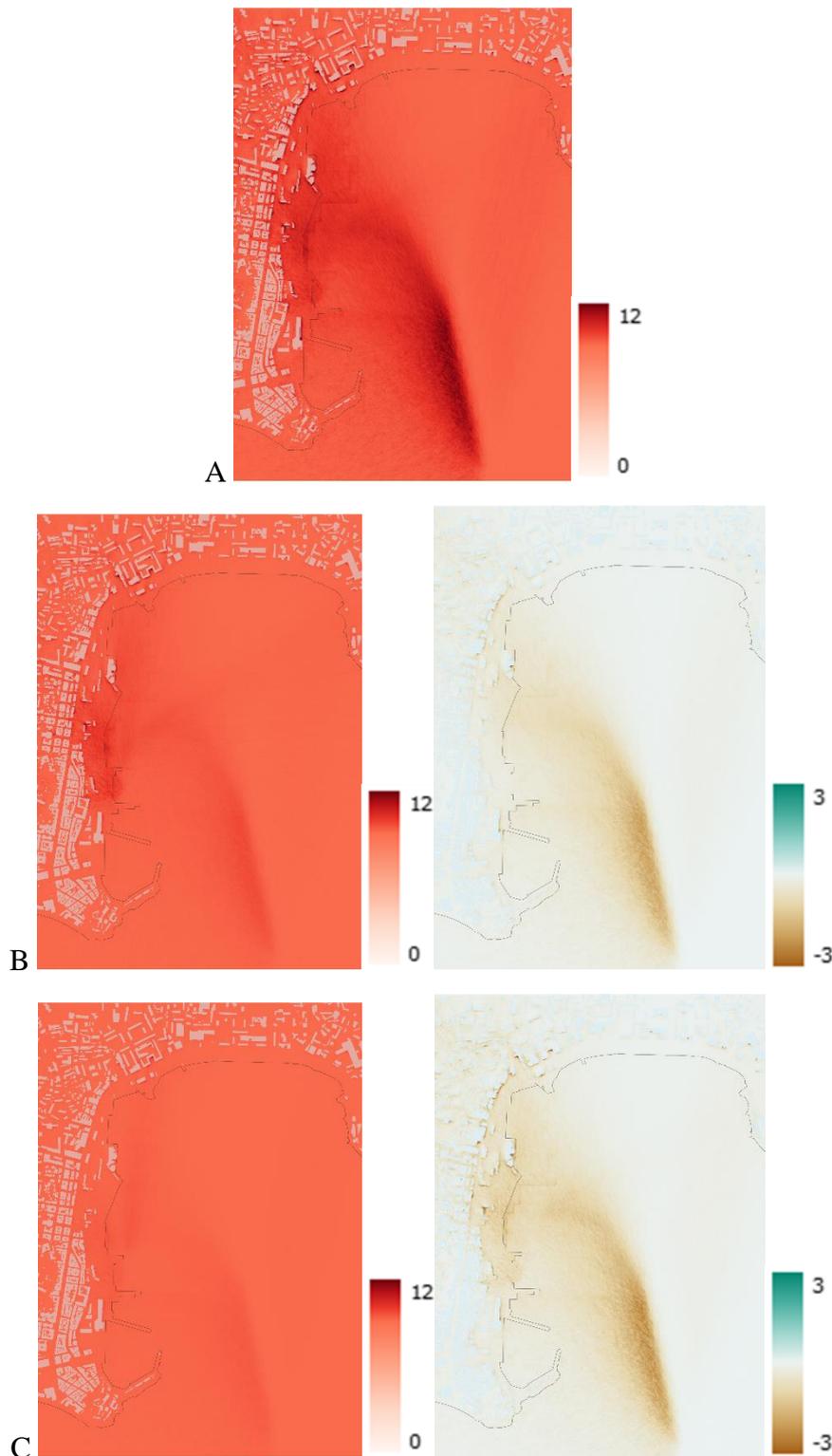


Figura 15 : Mappe delle concentrazioni medie di $PM_{2.5}$ in $\mu g.m^{-3}$ ad Ajaccio il 12/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON +1 LNG (C).

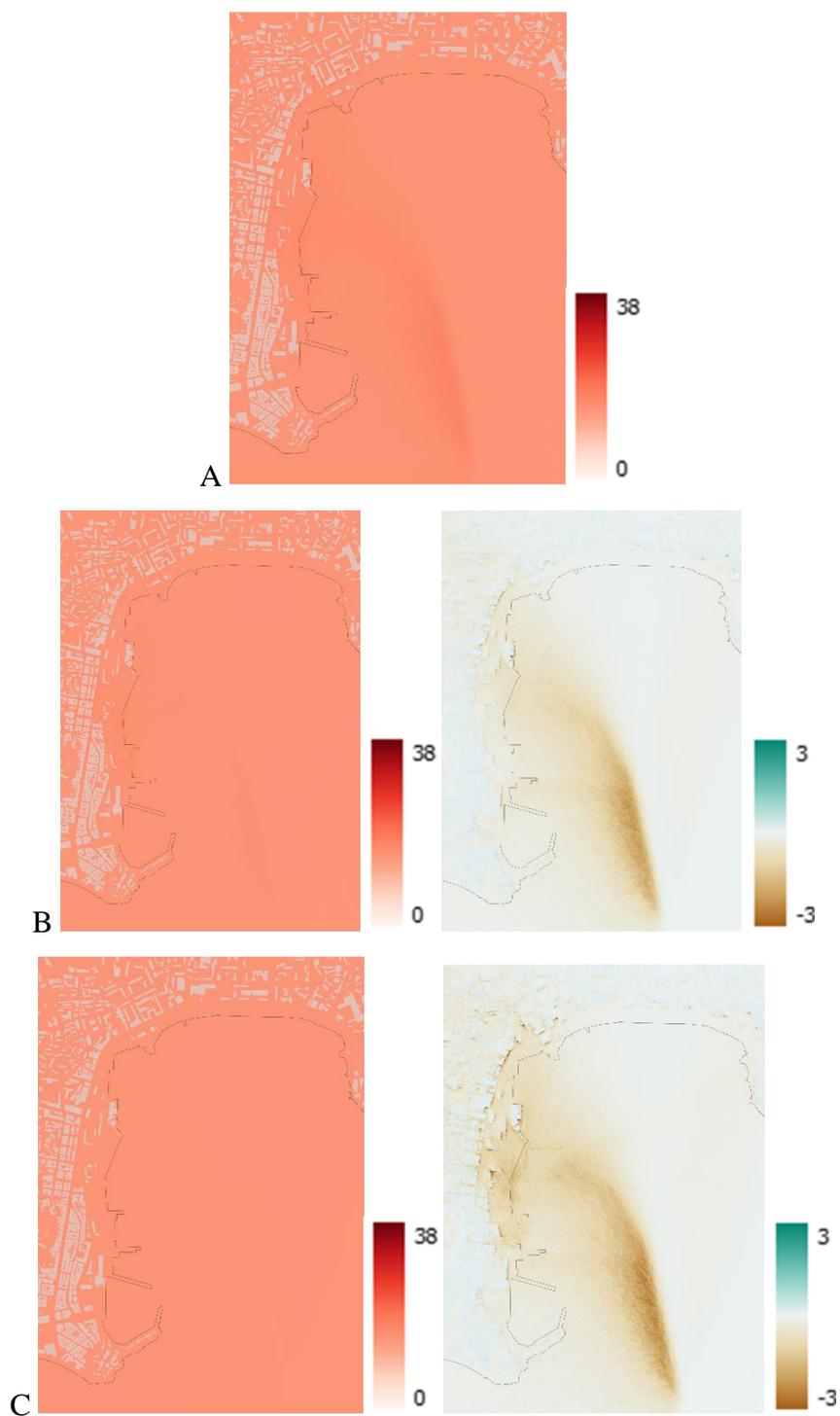


Figura 16 : Mappe delle concentrazioni medie di PM₁₀ in µg.m⁻³ ad Ajaccio il 12/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON +1 LNG (C).

2.2.1.2. Porto di Bastia

Mappe di concentrazione simulate con lo sfondo per il giorno 27/08/2021 a Bastia. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento.

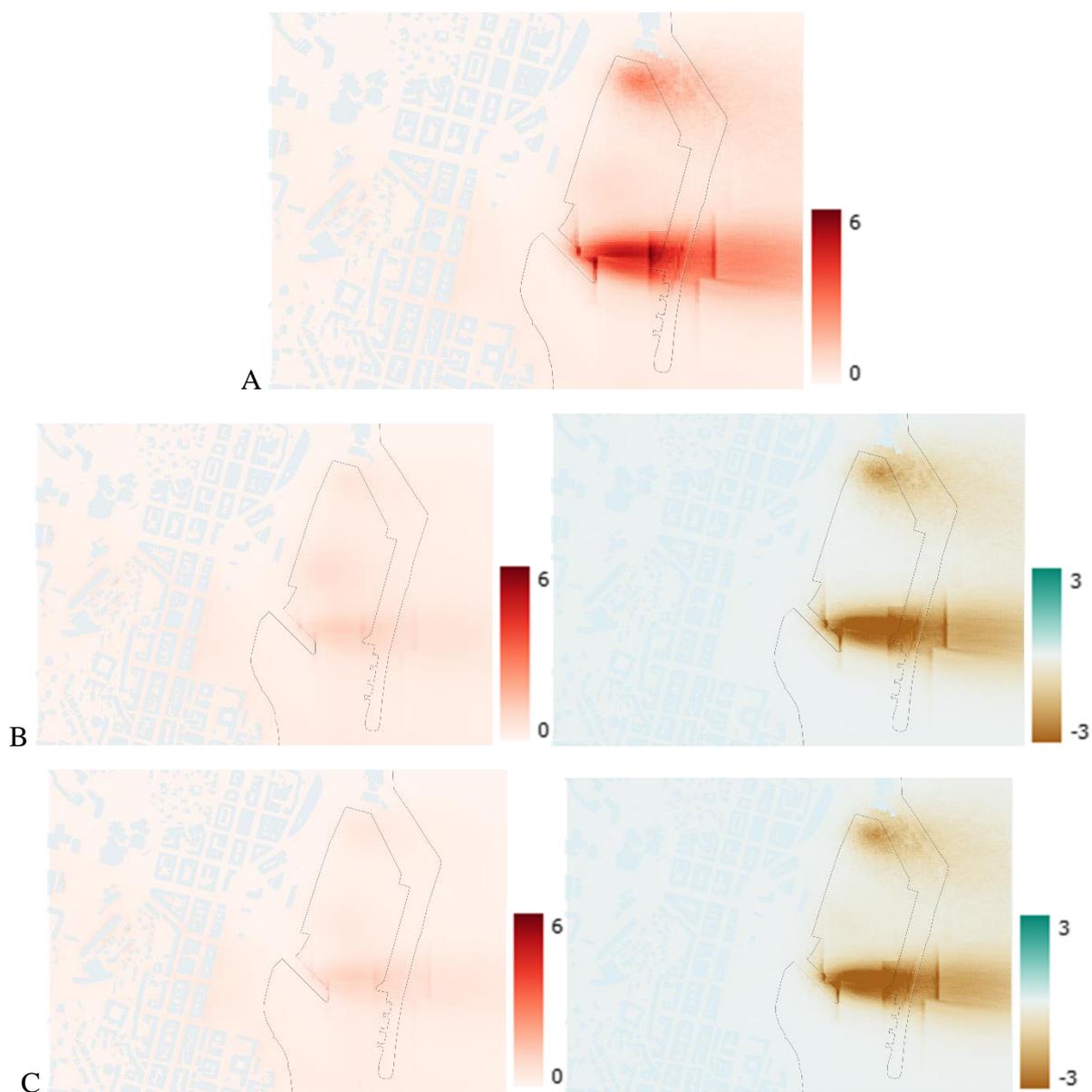


Figura 17 : Mappe delle concentrazioni medie di SO_2 in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ad Bastia il 27/08/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).

Il calo di SO_2 è chiaramente visibile durante la fase di manovra (B), ma non altrettanto all'ormeggio (C). Ciò è dovuto al fatto che in questo caso particolare il COLD IRON non è applicabile a tutte le navi, poiché gli scali sono troppo brevi e la quantità di SO_2 non è significativa.

Va inoltre notato che il vento trasporta i pennacchi verso il mare, riducendo così l'impatto sulla città. Le riduzioni delle concentrazioni di inquinanti non incideranno quindi sulla città, che avrà

lo stesso livello di inquinamento di fondo, in quanto non causato principalmente dal trasporto marittimo in quel giorno.

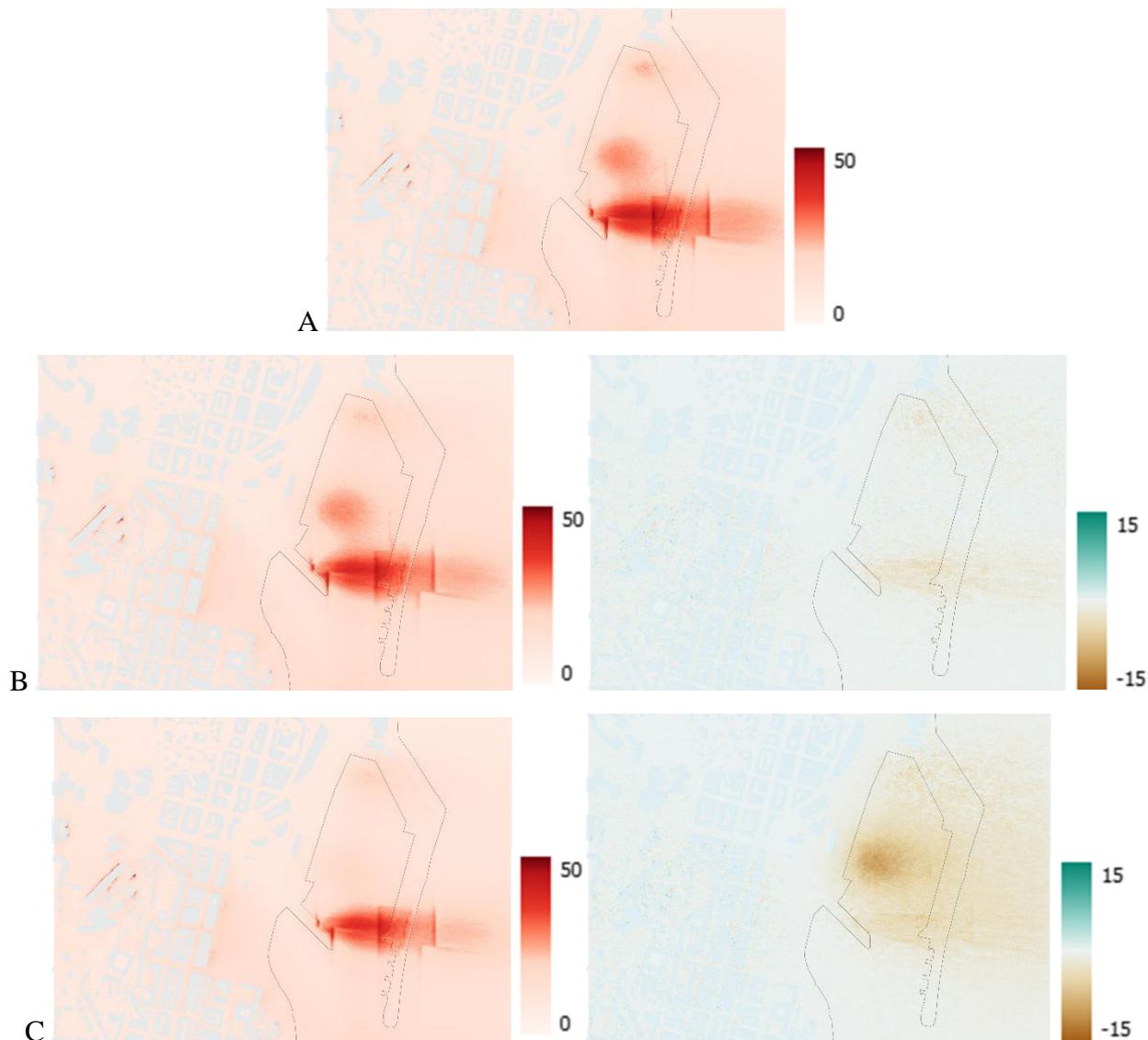


Figura 18 : Mappe delle concentrazioni medie di NO₂ in µg.m⁻³ ad Bastia il 27/08/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).

Lo stesso vale per l'NO₂, anche se il guadagno è maggiore sul tratto di Cold Iron. L'inquinamento sembra ristagnare nell'area portuale, ma tende anche a raggiungere il mare.

L'impatto positivo sulla città è trascurabile perché il fattore vento è ancora una volta determinante.

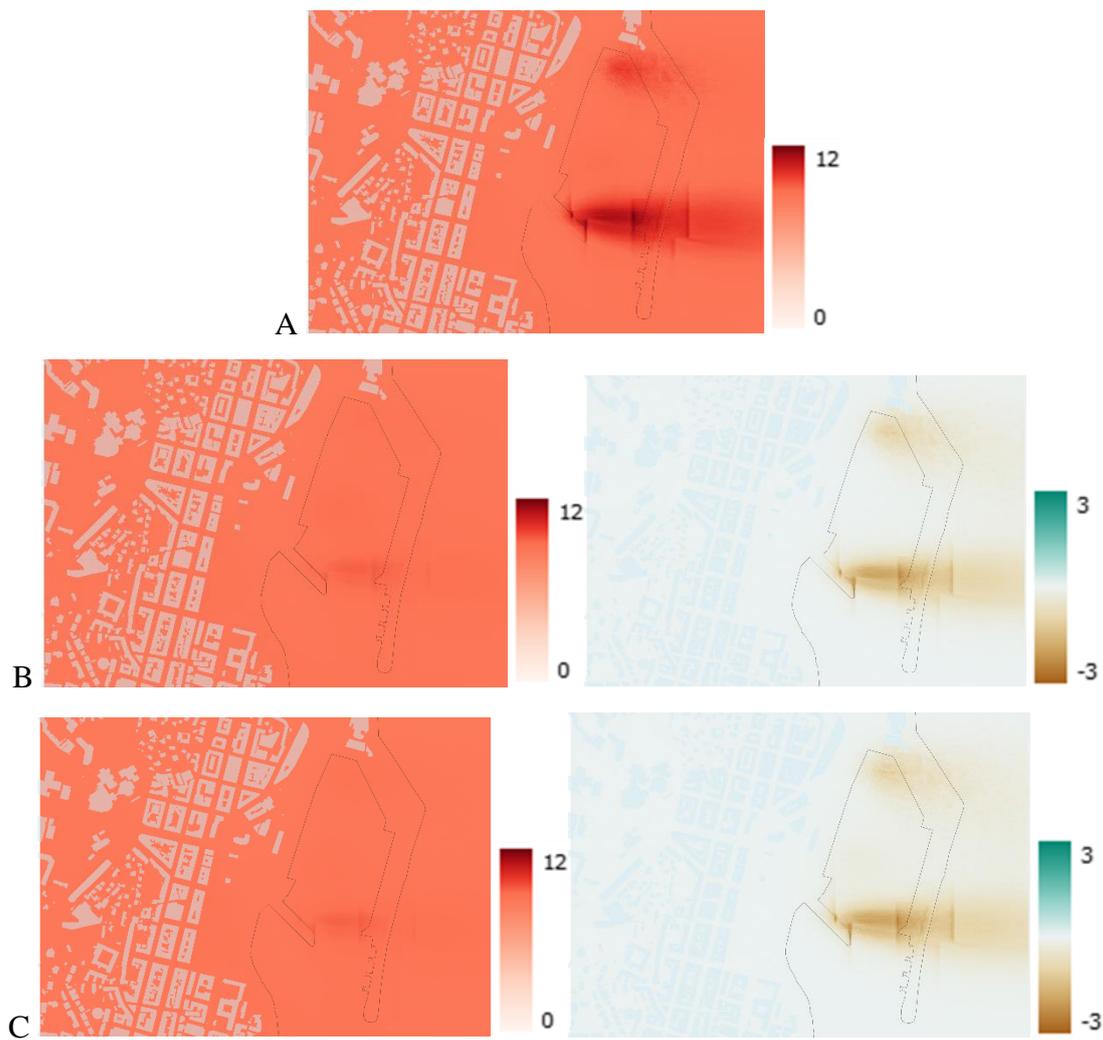


Figura 19 : Mappe delle concentrazioni medie di PM_{2,5} in µg.m⁻³ ad Bastia il 27/08/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).

Ancora una volta, si tratta di inquinamento di fondo piuttosto che di inquinamento esclusivamente marittimo. Il livello del porto si abbassa, ma non ha alcun effetto sulla città, poiché il vento trasporta le particelle fini verso il mare.

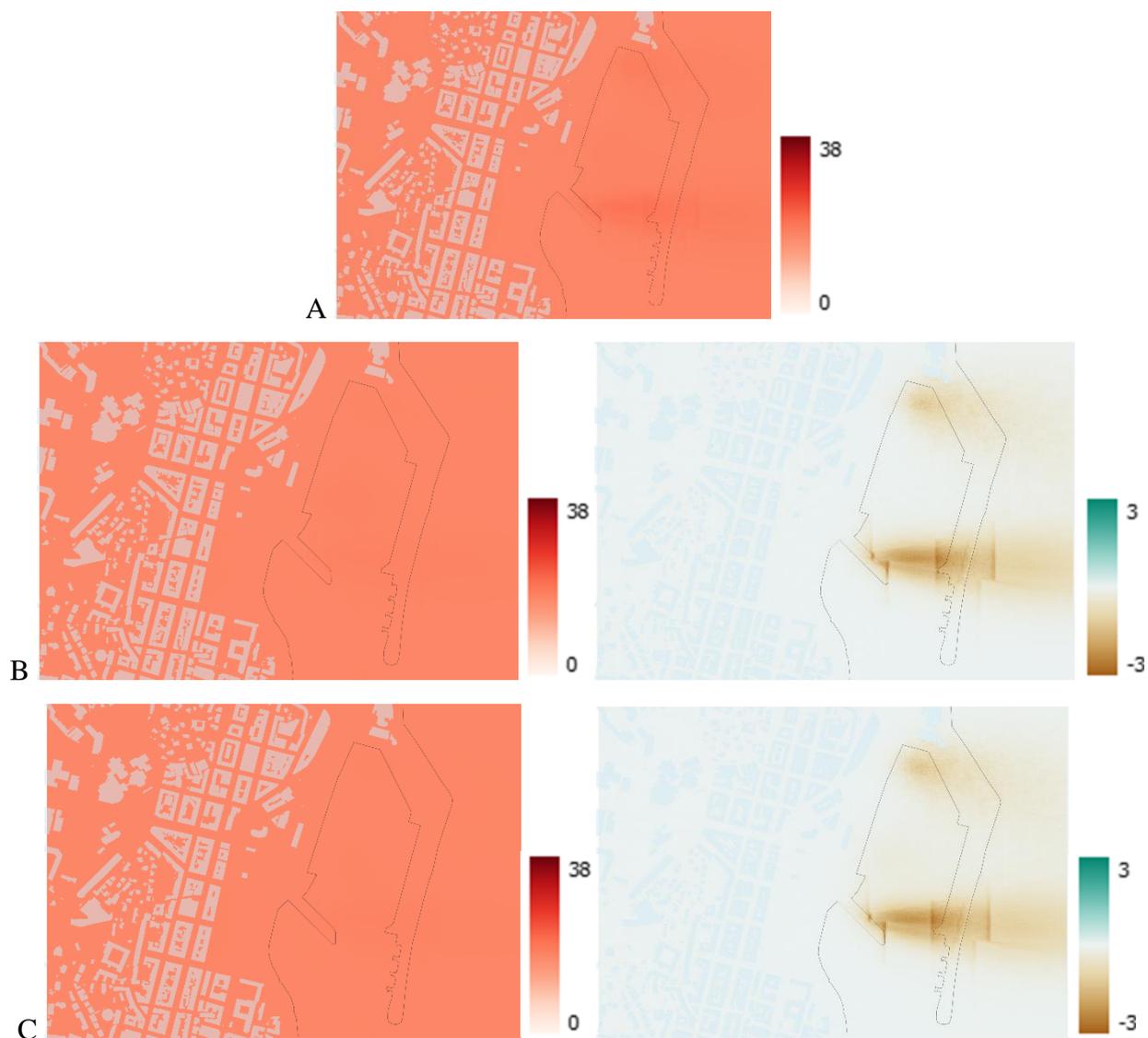


Figura 20 : Mappe delle concentrazioni medie di PM₁₀ in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ad Bastia il 27/08/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C)..

Mappe di concentrazione di fondo simulate per Bastia il 14/07/2021. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento.

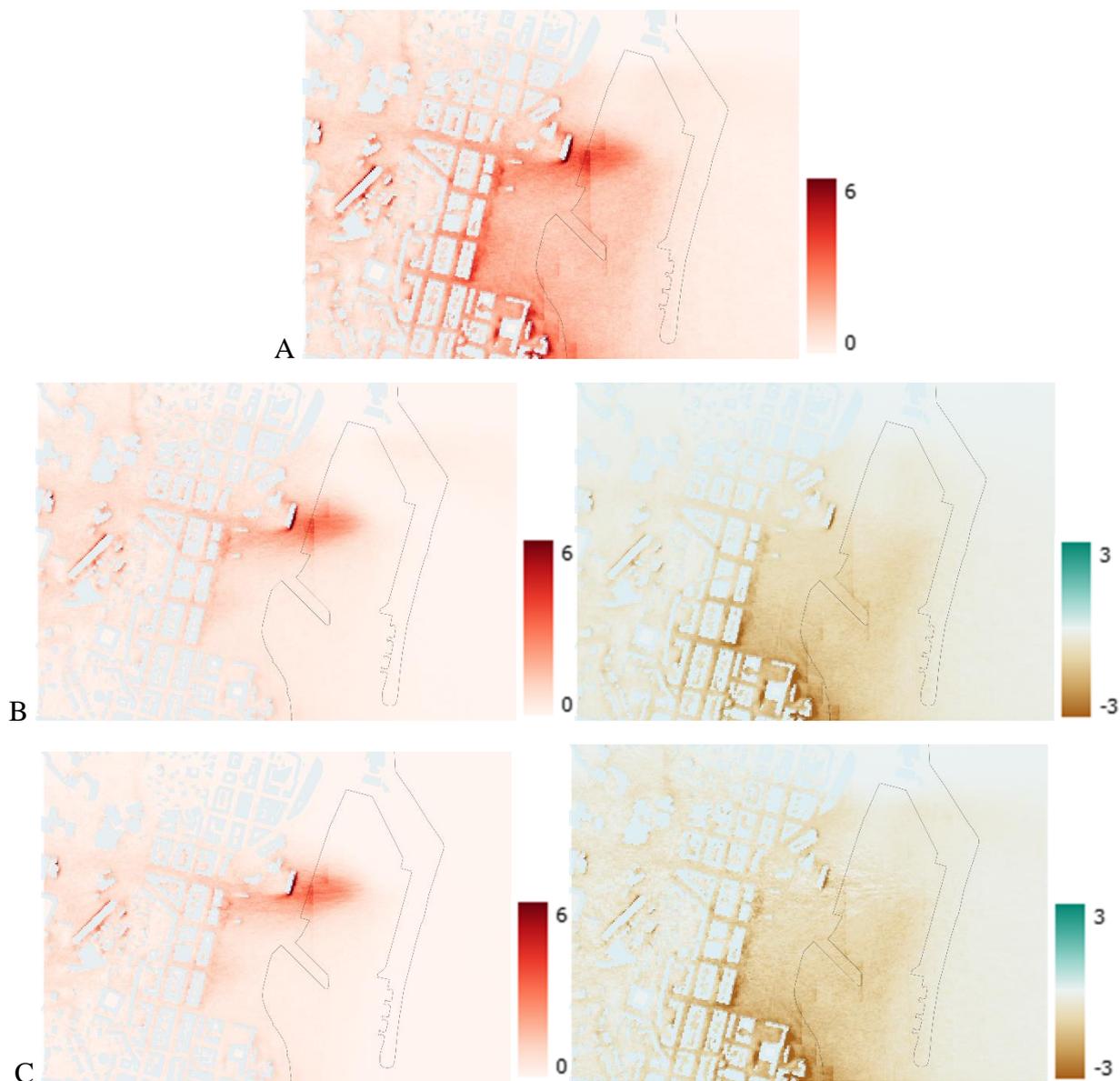


Figura 21 : Mappe delle concentrazioni medie di SO_2 in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a Bastia il 14/07/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA (B) e SECA + COLD IRON + 1LNG (C).

Questo giorno è molto più interessante da studiare perché il vento dirige l'inquinamento verso la città. Lo studio ha rivelato una zona di alta concentrazione vicino al porto e ai primi edifici che interferiscono con il vento. La riduzione è abbastanza significativa per l' SO_2 e nelle immediate vicinanze del porto.

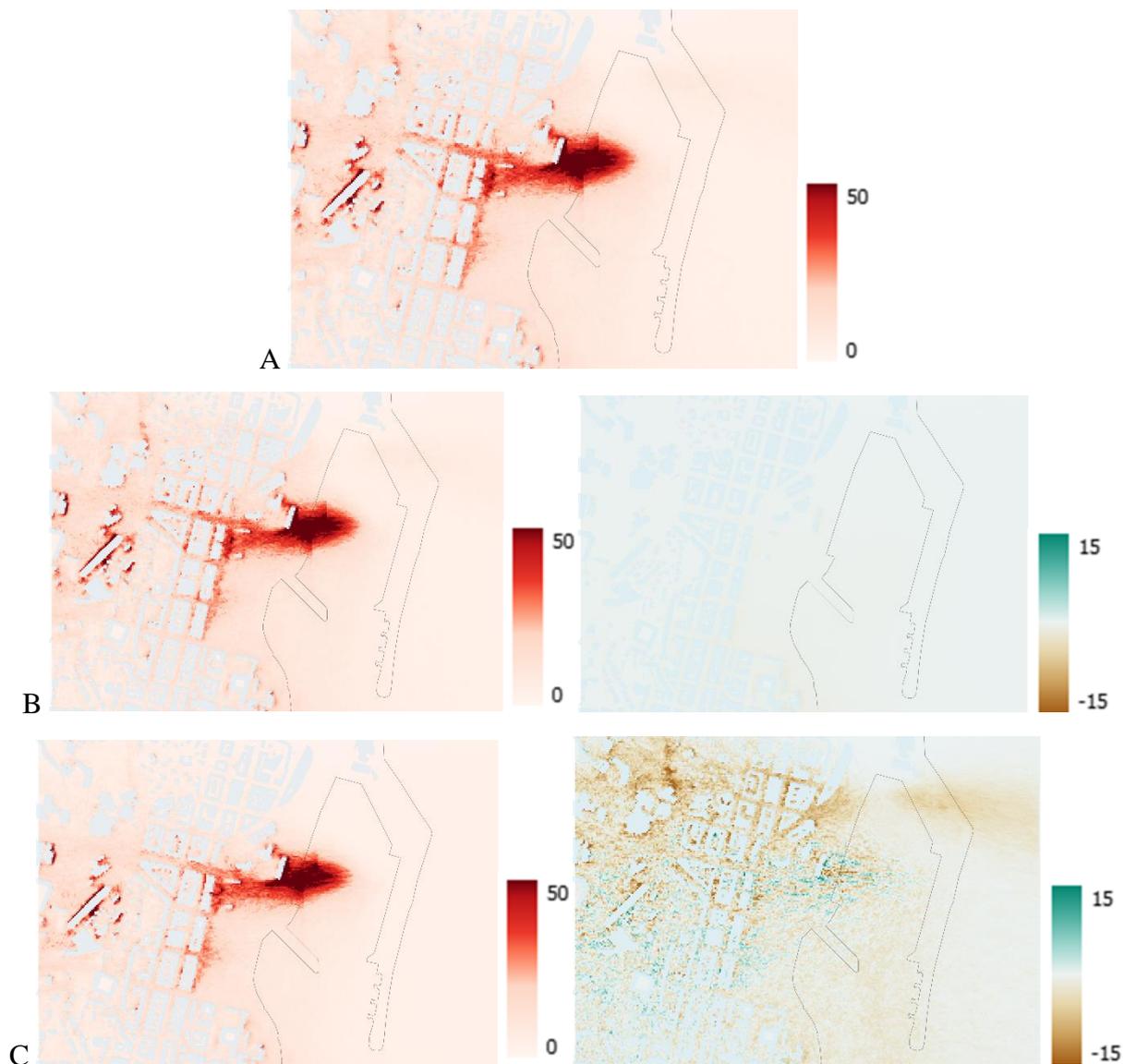


Figura 22 : Mappe delle concentrazioni medie di NO₂ in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a Bastia il 14/07/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA (B) e SECA + COLD IRON + 1LNG (C).

Il vento svolge lo stesso ruolo di diffusore dell'inquinamento su queste mappe, con una chiara diminuzione nella parte settentrionale della città nella fase di parcheggio del Cold Iron, ma un aumento nella parte meridionale. Ancora una volta, sembra che gli effetti collaterali digitali siano la causa, con il software che tratta l'inquinante NO₂ in modo diverso.

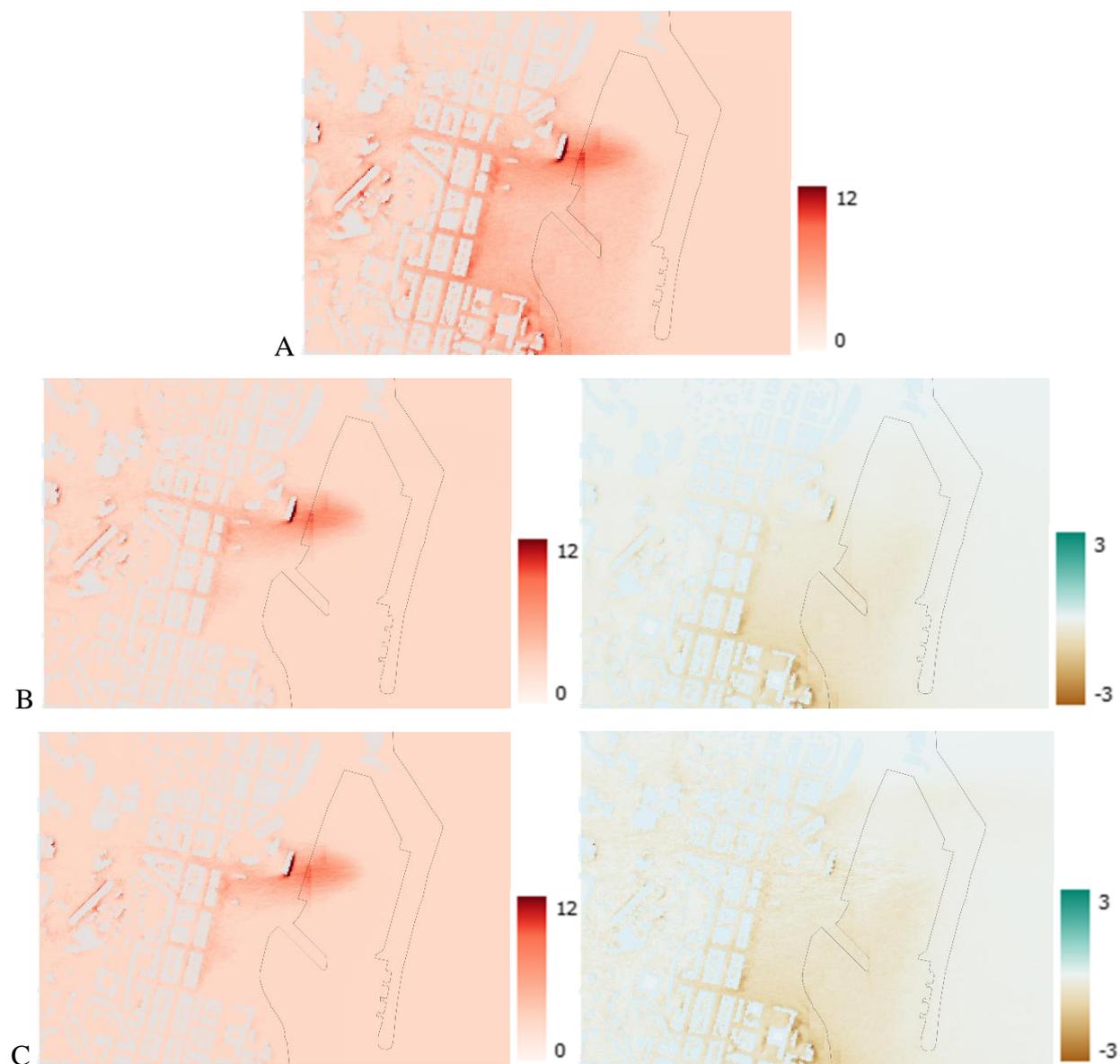


Figura 23 : Mappe delle concentrazioni medie di PM_{2.5} in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a Bastia il 14/07/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1LNG (C).

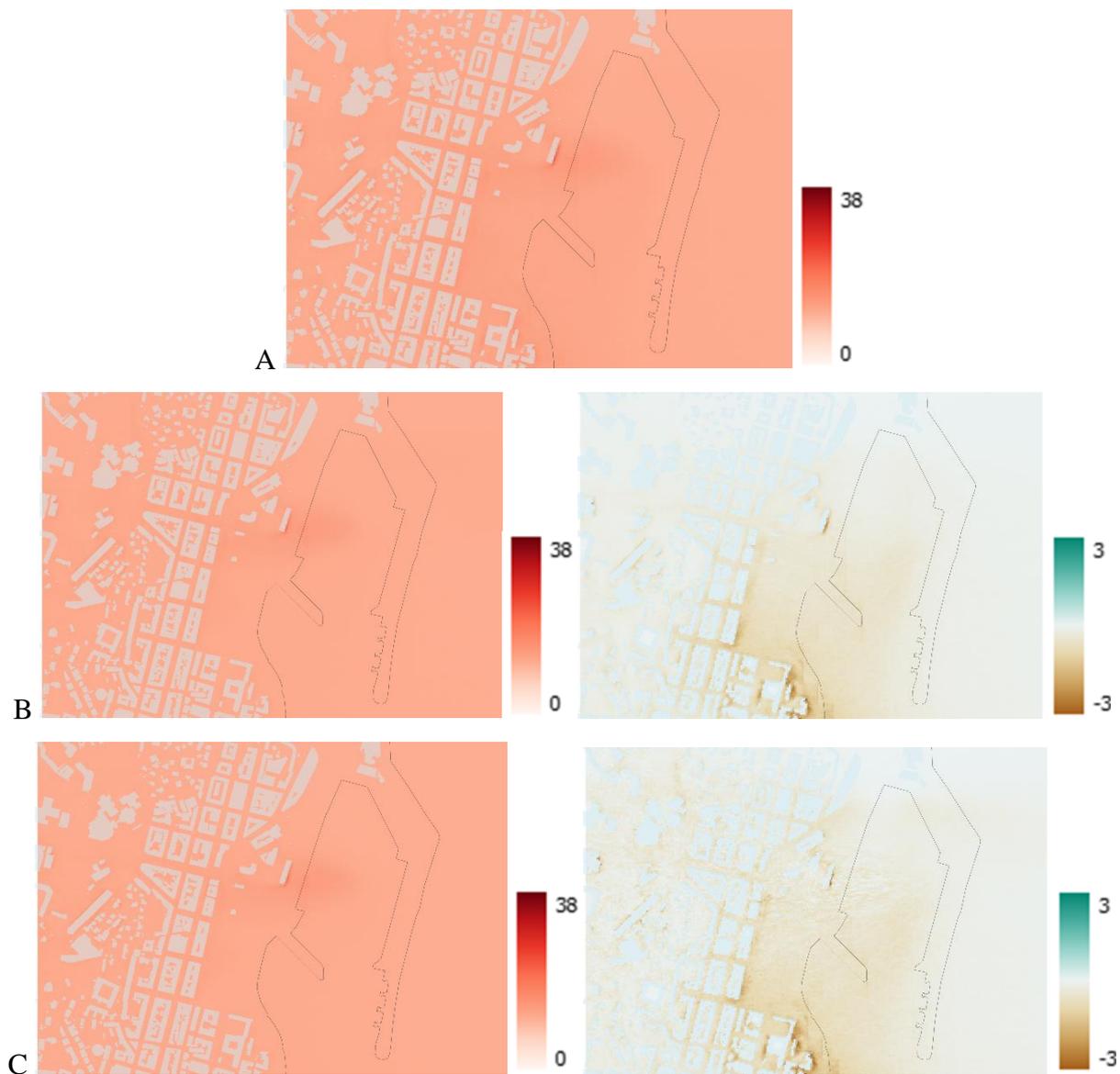


Figura 24 : Mappe delle concentrazioni medie di PM₁₀ in µg.m⁻³ a Bastia il 14/07/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1LNG (C).

La differenza è trascurabile quando si tratta di ridurre le polveri sottili, poiché il contributo della marineria a questo inquinante è minore alla base.

2.2.2. Box-plot delle concentrazioni terrestre

Ajaccio 15/09/2021

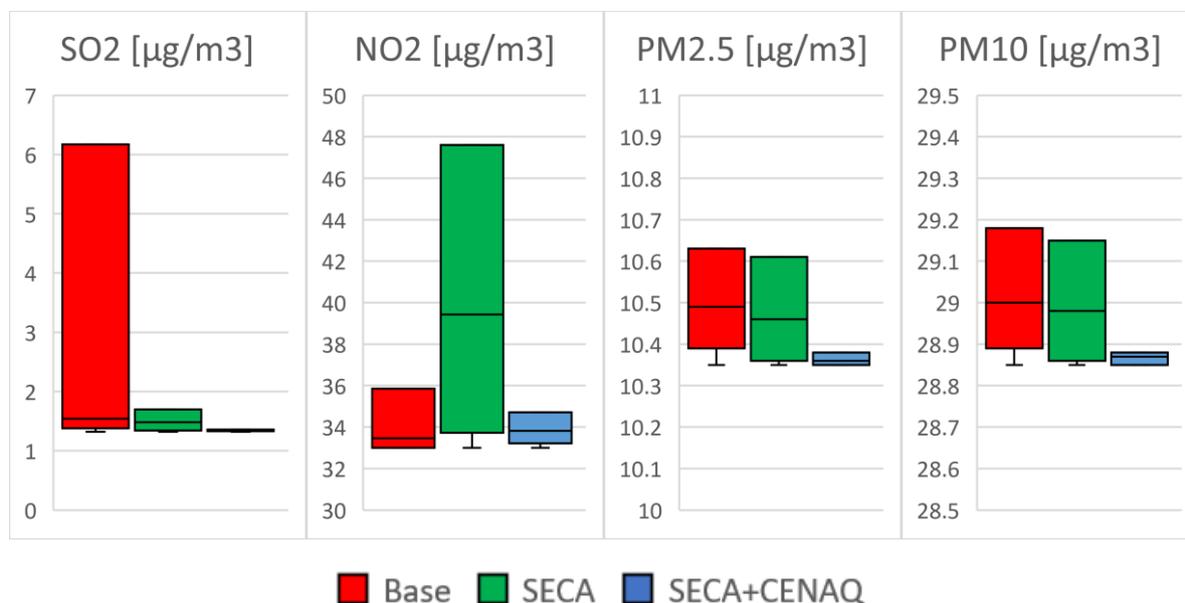


Figura 25 : Boxplot delle concentrazioni con il fondo solo a terra (Ajaccio)

I risultati della modellazione precedentemente osservati si ritrovano nel calcolo dei boxplot, in particolare per l' NO_2 , i cui valori non sono accettabili dal punto di vista scientifico, mostrando un forte aumento negli scenari SECA le cui emissioni di NO_2 sono state calcolate al ribasso nel capitolo 1. D'altra parte, la tendenza alla diminuzione degli altri inquinanti è ben confermata, anche se trascurabile per il PM, ma particolarmente interessante per l' SO_2 .

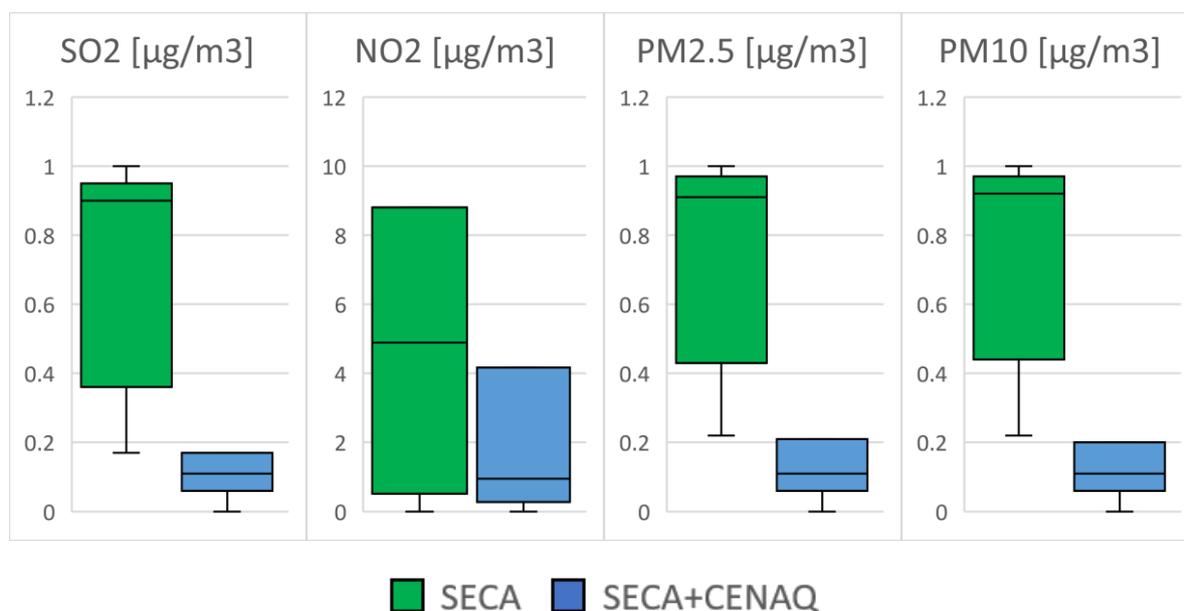


Figura 26 : Boxplot delle concentrazioni di scenario/ref senza fondo solo sulla terra (Ajaccio)

Un ratio supérieur à 1 indique une augmentation des polluants, et inversement.

Ajaccio 12/09/2021

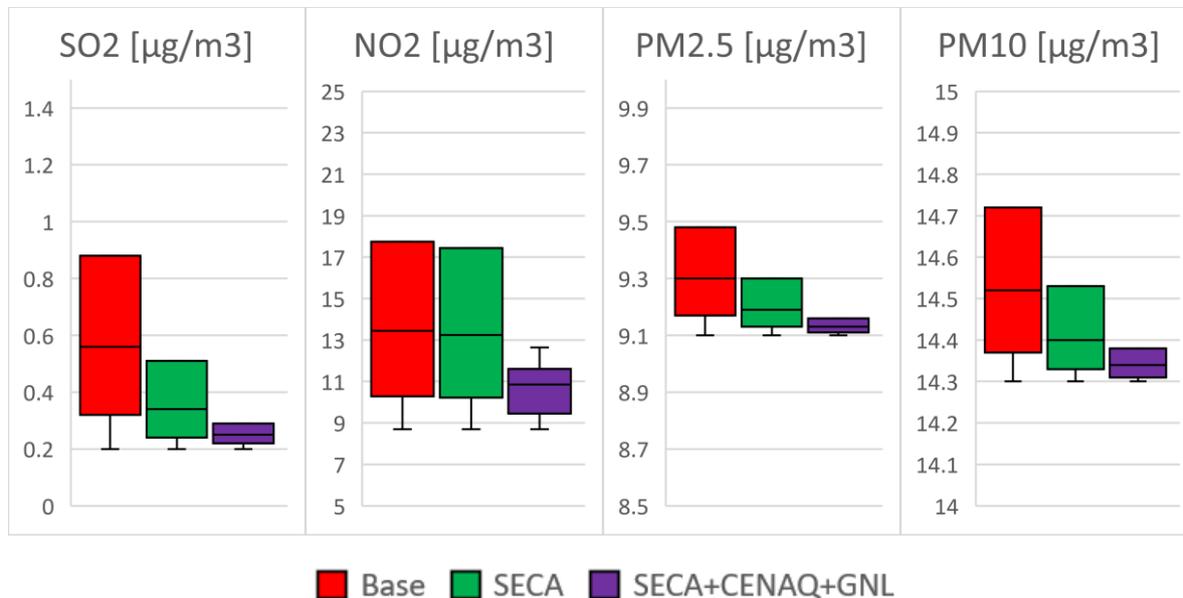


Figura 27 : Boxplot delle concentrazioni con il fondo solo a terra (Ajaccio)

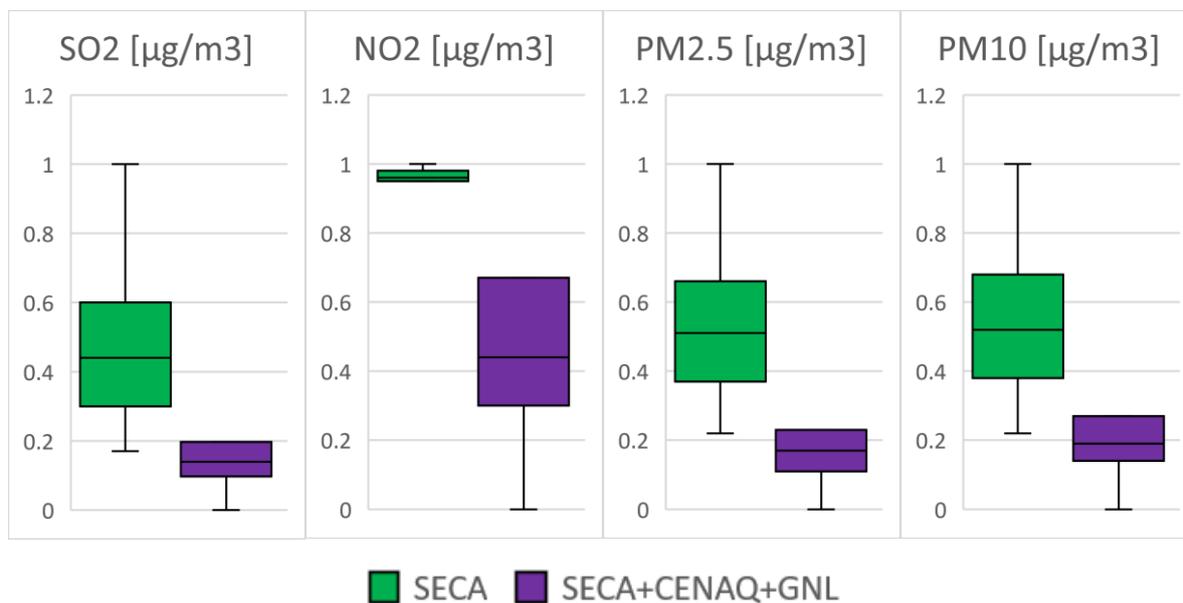


Figura 28 : Boxplot delle concentrazioni di scenario/ref senza fondo solo sulla terra (Ajaccio)

Bastia 27/08/2021

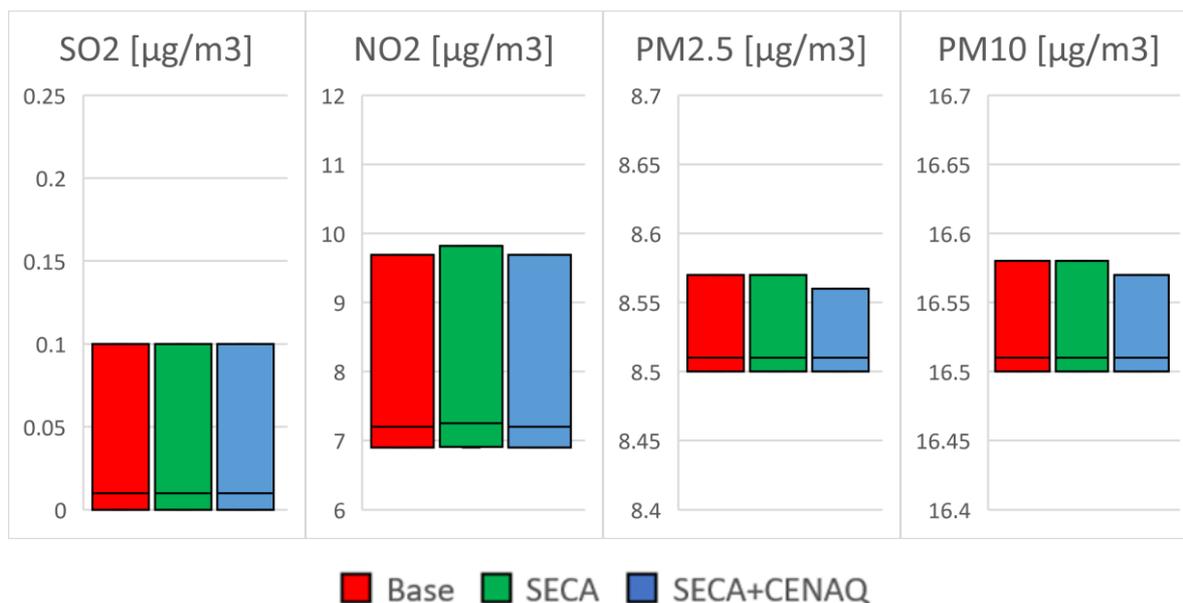


Figura 29 : Boxplot delle concentrazioni con il fondo solo a terra (Bastia)

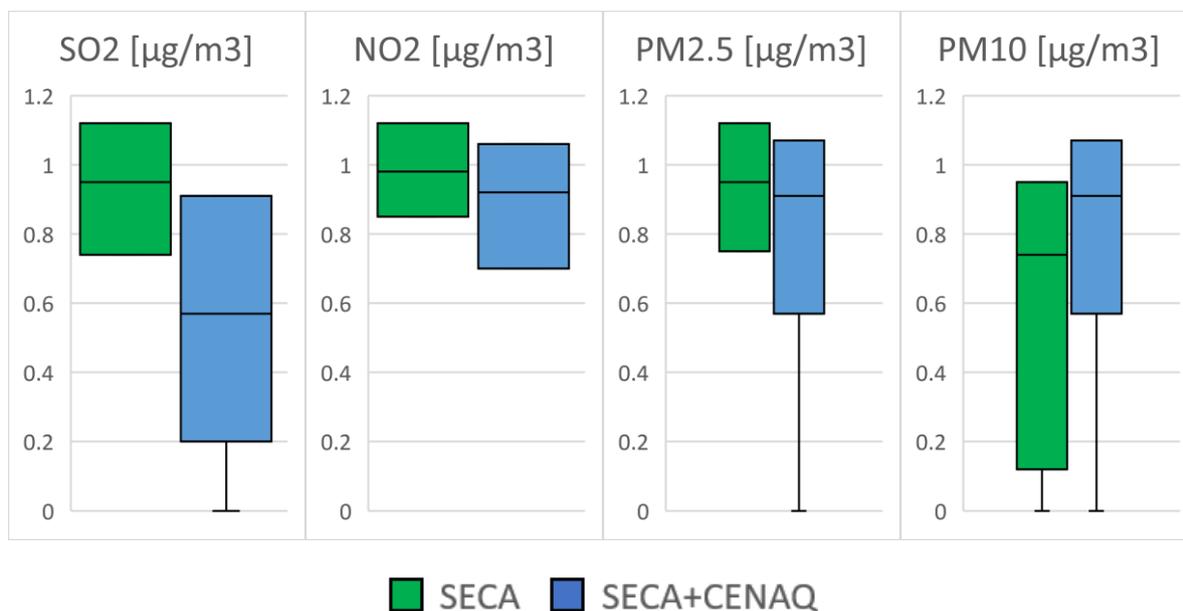


Figura 30 : Boxplot delle concentrazioni di scenario/ref senza fondo solo sulla terra (Bastia)

Bastia 14/07/2021

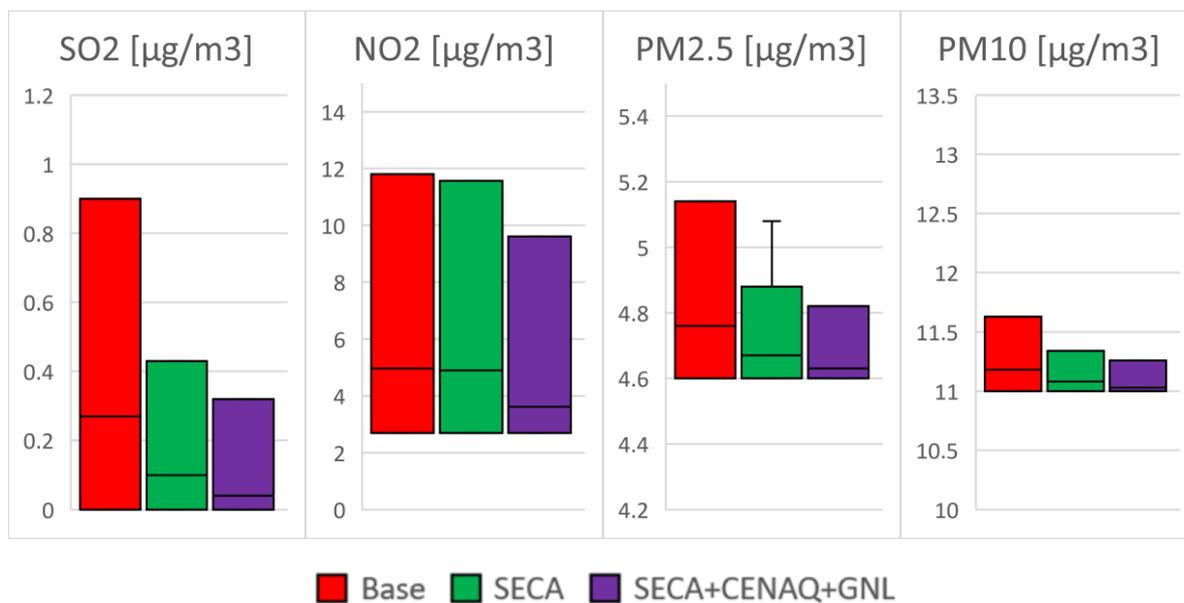


Figura 31 : Boxplot delle concentrazioni con il fondo solo a terra (Bastia)

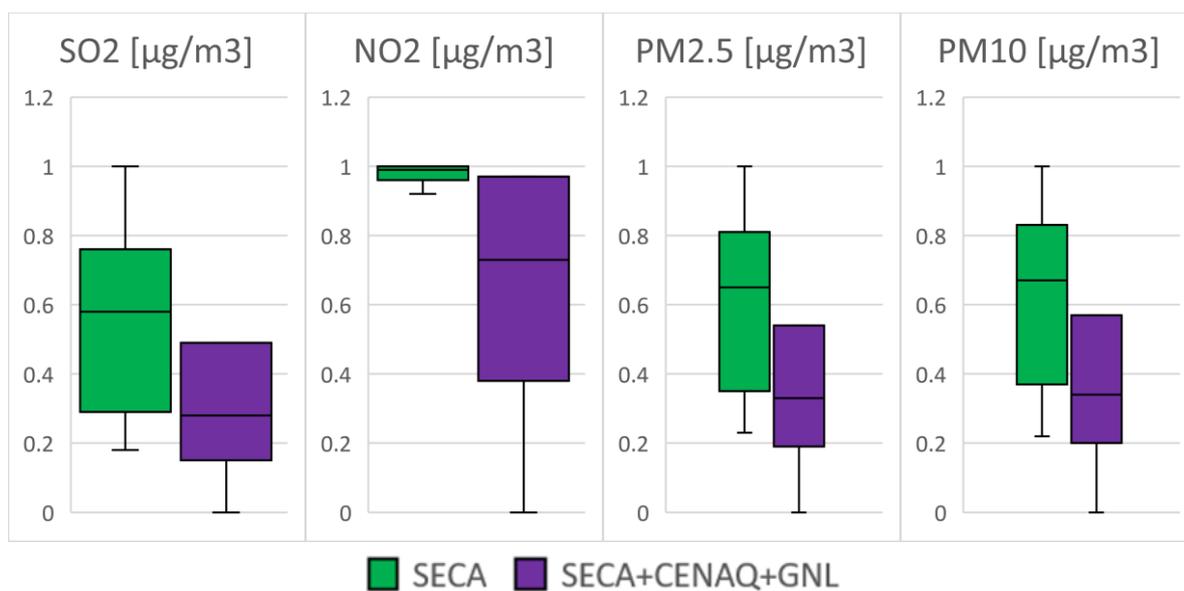


Figura 32 : Boxplot delle concentrazioni di scenario/ref senza fondo solo sulla terra (Bastia)

La tendenza generale è al ribasso per tutti gli inquinanti.

2.2.3. Analisi statistica

Per quantificare la riduzione delle concentrazioni indotta da ogni scenario, definiamo la riduzione percentuale R come :

$$R = \frac{p_{ref} - p_{scn}}{p_{ref}} \cdot 100 \%$$

dove p_{ref} è il 90° percentile delle concentrazioni medie dello scenario di riferimento senza sfondo e p_{scn} è il 90° percentile delle concentrazioni medie dello scenario di variazione delle emissioni senza sfondo. Con questa statistica, abbiamo scelto di quantificare solo le variazioni delle concentrazioni del pennacchio, per due motivi: (i) perché non viene valutato l'impatto dovuto alla reattività chimica di queste variazioni sulle concentrazioni di fondo; (ii) per evitare che questa valutazione sia falsata da una sovrastima o sottostima delle concentrazioni del pennacchio, rispetto alla concentrazione di fondo, come avviene in alcune simulazioni. Il set di dati utilizzato comprende le concentrazioni dell'intero dominio, a terra e in mare, che interessano le popolazioni locali e le persone a bordo delle navi.

AJACCIO	15/09/2021		12/09/2021	
	SECA	SECA + COLD IRON	SECA	SECA + COLD IRON + LNG
SO2	8%	89%	51%	86%
NO2	-271%	57%	3%	59%
PM2.5	6%	90%	45%	84%
PM10	5%	89%	43%	81%

Tabella 19 : Riduzione delle concentrazioni del pennacchio ad Ajaccio per i diversi scenari, con lo scenario di base come riferimento

Bastia	27/08/2021		14/07/2021	
	SECA	SECA + COLD IRON	SECA	SECA + COLD IRON + LNG
SO2	12%	20%	58%	64%
NO2	3%	58%	1%	89%
PM2.5	12%	24%	51%	57%
PM10	12%	21%	48%	54%

Tabella 20 : Riduzione delle concentrazioni del pennacchio a Bastia per i diversi scenari, con lo scenario di base come riferimento

Conclusione

Va sottolineato che i calcoli effettuati per le emissioni delle navi si sono basati esclusivamente sui dati disponibili per le navi note nei porti di Bastia e Ajaccio. Di conseguenza, i risultati e gli scenari proposti devono essere interpretati tenendo conto di questa limitazione.

Tuttavia, essi forniscono una solida stima dell'impatto delle emissioni delle navi sulla qualità dell'aria in queste aree, nonché la potenziale efficacia delle misure di mitigazione proposte in termini di emissioni.

La modellazione della qualità dell'aria nei porti di Bastia e Ajaccio evidenzia l'impatto significativo delle emissioni navali sulla qualità dell'aria locale. I risultati mostrano che le misure di riduzione delle emissioni, in particolare l'implementazione della Connection Electrique des Navires à Quai (Cold Iron), hanno un impatto significativo sulla riduzione delle emissioni di SO₂ e NO₂, ma meno sul PM_{2.5}. Tuttavia, i risultati possono variare a seconda della stagione e della durata degli scali delle navi, in particolare in estate, quando gli scali sono più numerosi e più brevi.

Questo studio evidenzia l'importanza di prendere in considerazione le emissioni delle navi nelle politiche di gestione della qualità dell'aria urbana, in particolare nelle aree insulari dove l'impatto può essere maggiore. I risultati di questo studio potrebbero essere utili alle autorità portuali e ai decisori locali per adottare misure appropriate ed efficaci per ridurre le emissioni delle navi e migliorare la qualità dell'aria nelle vicinanze dei porti di Bastia e Ajaccio.

Tuttavia, questo studio presenta anche alcune incertezze di misurazione. Infatti, i modelli sono stati calibrati utilizzando stazioni di misura urbane multi-influenzate, che spesso sono situate a una distanza dall'asse del vento dei pennacchi delle navi (si vedano le relazioni T1.3.1 e T2.3.1). Di conseguenza, i risultati possono avere un certo margine di errore dovuto all'impatto della dispersione delle emissioni navali sulla qualità dell'aria.

Nonostante queste incertezze, questo studio ha prodotto una valida stima dell'impatto delle emissioni navali sulla qualità dell'aria nei porti di Bastia e Ajaccio, nonché dell'efficacia delle misure di mitigazione proposte. Questi risultati potrebbero essere utilizzati per guidare future campagne di misurazione e osservazione per affinare e migliorare l'accuratezza dei modelli utilizzati, come è già previsto con l'installazione di nuove stazioni di misurazione vicino ai porti e lungo l'asse principale del vento.

Polluant	Ville	Phase	BASE	CENAO	Diff	SECA	Diff	GNL	Diff	CENAO + SECA	Diff	CENAO + 1 GNL	Diff	CENAO + SECA + 1 GNL	Diff	Rempla 1 GNL	Diff	SECA + 1 GNL	Diff		
																				SECA	Diff
Dioxyde de carbone (CO2) Méthane (CH4) Monoxyde de carbone (CO) Oxydes d'azote (NO + NO2) Oxydes de soufre (SO2 + SO3) Particules de taille inférieure à 10 µm (PM10) Particules de taille inférieure à 2,5 µm (PM2.5)	AJA	MANOEUVRE	1600,29	1600,29	0%	1505,48	-6%	991,64	-38%	1505,48	-6%	1495,43	-7%	1416,54	-11%	1495,43	-7%	1416,54	-11%	1416,54	-11%
			0,15	0,15	0%	0,14	-8%	18,46	-11899%	0,14	-8%	3,39	-2104%	3,38	2097%	3,39	2104%	3,38	2097%	3,38	2097%
			3,80	3,80	0%	3,51	-8%	2,82	-26%	3,56	-26%	3,51	-8%	3,63	-4%	3,39	-11%	3,63	-4%	3,39	-11%
			40,67	40,67	0%	37,23	-8%	2,82	-93%	37,23	-8%	37,23	-8%	34,05	-16%	31,19	-23%	34,05	-16%	31,19	-23%
			5,44	5,44	0%	0,95	-83%	0,01	-100%	0,95	-83%	0,95	-83%	0,49	-17%	0,78	-86%	0,49	-17%	0,78	-86%
			3,02	3,02	0%	0,68	-78%	0,06	-98%	0,68	-78%	0,68	-78%	2,50	-17%	0,57	-81%	2,50	-17%	0,57	-81%
			2,86	2,86	0%	0,64	-78%	0,00	-100%	0,64	-78%	0,64	-78%	2,36	-18%	0,53	-82%	2,36	-18%	0,53	-82%
			2024,19	2024,19	0%	1936,95	-4%	1251,25	-38%	1902,57	-6%	1902,57	-6%	2011,70	-1%	1892,00	-7%	2011,70	-1%	1892,00	-7%
			0,19	0,19	0%	0,18	-6%	23,30	-1670%	0,18	-6%	0,18	-6%	0,58	196%	0,56	189%	0,58	196%	0,56	189%
			4,80	4,80	0%	4,52	-6%	3,56	-26%	4,43	-8%	4,43	-8%	4,78	4%	4,42	-8%	4,78	4%	4,42	-8%
51,45	51,45	0%	47,90	-7%	3,56	-93%	47,05	-9%	47,05	-9%	50,66	-2%	46,33	-10%	50,66	-2%	46,33	-10%			
6,88	6,88	0%	1,72	-82%	0,01	-100%	1,70	-83%	1,70	-83%	6,76	-2%	1,18	-83%	6,76	-2%	1,18	-83%			
3,82	3,82	0%	0,87	-77%	0,08	-98%	0,85	-78%	0,85	-78%	3,76	-2%	0,84	-78%	3,76	-2%	0,84	-78%			
3,62	3,62	0%	0,82	-77%	0,00	-100%	0,81	-78%	0,81	-78%	3,56	-2%	0,80	-78%	3,56	-2%	0,80	-78%			
12964,59	12964,59	0%	12964,59	0%	7950,79	-39%	3347,69	-74%	3347,69	-74%	3105,59	-76%	4775,33	-63%	11681,82	-10%	11681,82	-10%			
1,23	1,23	0%	1,23	0%	148,04	11933%	0,32	74%	0,32	74%	7,46	503%	38,43	3037%	39,09	3090%	39,09	3090%			
30,22	30,22	0%	22,64	-25%	22,64	-25%	7,80	-74%	7,80	-74%	7,44	-75%	12,19	-60%	28,29	-6%	28,29	-6%			
320,59	320,59	0%	320,59	0%	22,64	-93%	82,78	-74%	82,78	-74%	68,33	-79%	73,22	-77%	244,01	-24%	244,01	-24%			
8,18	8,18	0%	8,18	0%	0,06	-99%	2,11	-74%	2,11	-74%	1,72	-79%	1,73	-79%	6,09	-26%	6,09	-26%			
5,82	5,82	0%	5,82	0%	0,52	-91%	1,50	-74%	1,50	-74%	1,25	-79%	1,36	-77%	4,46	-23%	4,46	-23%			
5,51	5,51	0%	5,51	0%	0,00	-100%	1,42	-74%	1,42	-74%	1,16	-79%	1,16	-79%	4,10	-26%	4,10	-26%			
9501,12	9501,12	0%	9501,12	0%	5838,18	-39%	3459,17	-64%	3459,17	-64%	3429,77	-64%	4416,46	-54%	9250,90	-3%	9250,90	-3%			
0,90	0,90	0%	0,90	0%	108,70	12007%	0,33	-64%	0,33	-64%	1,19	33%	1,34	49%	8,25	819%	8,25	819%			
22,15	22,15	0%	22,15	0%	16,62	-25%	8,06	-64%	8,06	-64%	8,02	-64%	10,32	-53%	21,77	-2%	21,77	-2%			
234,94	234,94	0%	234,94	0%	16,62	-93%	85,54	-64%	85,54	-64%	83,79	-64%	108,12	-54%	220,04	-6%	220,04	-6%			
5,99	5,99	0%	5,99	0%	0,04	-99%	2,18	-64%	2,18	-64%	2,13	-64%	2,75	-54%	5,59	-7%	5,59	-7%			
4,26	4,26	0%	4,26	0%	0,38	-91%	1,55	-64%	1,55	-64%	1,52	-64%	1,96	-54%	4,00	-6%	4,00	-6%			
4,04	4,04	0%	4,04	0%	0,00	-100%	1,47	-64%	1,47	-64%	1,44	-64%	1,86	-54%	3,76	-7%	3,76	-7%			
14564,88	14564,88	0%	14470,07	-1%	8942,43	-39%	4853,17	-67%	4853,17	-67%	4601,02	-68%	6191,87	-57%	13177,25	-10%	13098,35	-10%			
1,38	1,38	0%	1,37	-1%	166,50	11978%	0,46	-67%	0,46	-67%	10,85	697%	41,81	2932%	42,48	2990%	42,47	2979%			
34,02	34,02	0%	33,73	-1%	25,46	-25%	11,31	-67%	11,31	-67%	11,07	-67%	15,58	-54%	31,92	-6%	31,68	-7%			
361,26	361,26	0%	357,81	-1%	25,46	-93%	120,01	-67%	120,01	-67%	102,38	-72%	104,42	-71%	278,06	-23%	275,20	-24%			
13,61	13,61	0%	9,13	-33%	0,06	-100%	3,06	-78%	3,06	-78%	6,20	-54%	2,52	-82%	10,58	-22%	6,87	-50%			
8,84	8,84	0%	6,50	-27%	0,59	-93%	2,18	-75%	2,18	-75%	3,75	-58%	6,96	-21%	5,03	-43%	5,03	-43%			
8,38	8,38	0%	6,15	-27%	0,00	-100%	2,06	-75%	2,06	-75%	3,52	-58%	1,69	-80%	6,46	-23%	4,62	-45%			
11525,31	11525,31	0%	11438,07	-1%	7089,43	-38%	5361,74	-53%	5361,74	-53%	5441,47	-53%	6088,46	-45%	11262,60	-2%	11142,90	-3%			
1,09	1,09	0%	1,08	-1%	132,00	11987%	0,51	-54%	0,51	-54%	1,77	62%	1,90	74%	8,83	708%	8,81	707%			
26,95	26,95	0%	26,66	-1%	20,19	-25%	12,50	-54%	12,50	-54%	12,80	-53%	14,74	-45%	26,55	-1%	26,19	-3%			
286,39	286,39	0%	282,84	-1%	20,19	-93%	132,58	-54%	132,58	-54%	134,45	-53%	154,46	-46%	270,71	-5%	266,38	-7%			
12,87	12,87	0%	7,21	-44%	0,05	-100%	3,38	-74%	3,38	-74%	8,90	-31%	3,93	-69%	12,35	-4%	6,77	-47%			
8,09	8,09	0%	5,13	-37%	0,46	-94%	2,41	-70%	2,41	-70%	5,28	-35%	2,80	-65%	7,76	-4%	4,84	-40%			
7,66	7,66	0%	4,86	-37%	0,00	-100%	2,28	-70%	2,28	-70%	5,00	-35%	2,65	-65%	7,33	-4%	4,56	-40%			
1604,60	1604,60	0%	1509,46	-6%	1508,62	-6%	1509,46	-6%	1509,46	-6%	1590,37	-1%	1511,21	-6%	1590,37	-1%	1511,21	-6%			
12998,90	12998,90	0%	12998,90	0%	12095,88	-7%	3356,55	-74%	3356,55	-74%	3314,52	-75%	5851,44	-55%	12776,20	-2%	12776,20	-2%			
14603,50	14603,50	0%	14508,36	-1%	13604,51	-7%	4866,01	-67%	4866,01	-67%	4904,89	-66%	7362,65	-50%	14366,58	-2%	14287,41	-2%			
2029,64	2029,64	0%	1942,07	-4%	1903,58	-6%	1907,72	-6%	1907,72	-6%	2027,83	0%	1907,72	-6%	2027,83	0%	1907,72	-6%			
9526,26	9526,26	0%	9526,26	0%	8881,88	-7%	3468,32	-64%	3468,32	-64%	3463,11	-64%	4453,90	-53%	9481,89	0%	9481,89	0%			
11555,90	11555,90	0%	11468,34	-1%	10785,46	-7%	5375,93	-53%	5375,93	-53%	5490,94	-52%	6561,63	-45%	11509,72	0%	11389,61	-1%			
CO2eq																					
Dioxyde de carbone (CO2) Méthane (CH4) Monoxyde de carbone (CO) Oxydes d'azote (NO + NO2) Oxydes de soufre (SO2 + SO3) Particules de taille inférieure à 10 µm (PM10) Particules de taille inférieure à 2,5 µm (PM2.5)	AJA	MANOEUVRE	1604,60	1604,60	0%	1509,46	-6%	1508,62	-6%	1509,46	-6%	1590,37	-1%	1511,21	-6%	1590,37	-1%	1511,21	-6%		
			12998,90	12998,90	0%	12998,90	0%	12095,88	-7%	3356,55	-74%	3356,55	-74%	3314,52	-75%	5851,44	-55%	12776,20	-2%	12776,20	-2%
Dioxyde de carbone (CO2) Méthane (CH4) Monoxyde de carbone (CO) Oxydes d'azote (NO + NO2) Oxydes de soufre (SO2 + SO3) Particules de taille inférieure à 10 µm (PM10) Particules de taille inférieure à 2,5 µm (PM2.5)	BIA	MANOEUVRE	2029,64	2029,64	0%	1942,07	-4%	1903,58	-6%	1907,72	-6%	2027,83	0%	1907,72	-6%	2027,83	0%	1907,72	-6%		
			9526,26	9526,26	0%	9526,26	0%	8881,88	-7%	3468,32	-64%	3463,11	-64%	4453,90	-53%	9481,89	0%	9481,89	0%		
TOTAL			11555,90	11555,90	0%	11468,34	-1%	10785,46	-7%	10785,46	-7%	11509,72	0%	11389,61	-1%	11509,72	0%	11389,61	-1%		

Emissioni in tonnellate per diversi scenari AER NOSTRUM per i porti di Ajaccio e Bastia in funzione delle fasi di manovra e del scenario di base (2021)

Tabella riassuntiva delle emissioni per gli scenari AERNOSTRUM scenari per i porti di Ajaccio e Bastia

3. PORTO DI GENOVA (UNIGE)

3.1. Presentazione degli scenari

Prima introdurre gli scenari formulati per la mitigazione dell'impatto navale sulla qualità dell'aria, è utile ricapitolare la configurazione delle emissioni usate per alimentare le simulazioni modellistiche. La Figura 33 mostra un'immagine satellitare dell'area portuale considerata nel progetto, con la geolocalizzazione delle sorgenti emissive puntuali identificate come input per il modello di dispersione.



Figura 33: Immagine satellitare dell'area portuale di Genova. I segnaposto i punti di stazionamento nelle varie banchine considerati nella preparazione dell'input emissivo delle sorgenti puntuali

Si ricordi, infatti, che per le navi sono state utilizzate due diverse tipologie di sorgenti, puntuali per la fase di stazionamento in banchina e areali per la fase di manovra precedente o successiva all'attracco. In questo secondo caso (fase di manovra), si è assunto che l'emissione si distribuisse omogeneamente lungo il percorso areale seguito dalle navi fra l'imboccatura del porto e il punto di attracco nei vari terminal, applicando opportuni fattori peso calcolati sulla base di considerazioni puramente geometriche (Figura 34).

Tra le 13 considerate, la banchina denominata SECH è la sola in cui le navi ormeggiate appartengono alla categoria "Container" nella classificazione EMEP, mentre le altre appartengono alle categorie "Ro_Ro_cargo" e "passengers". Di seguito, le sorgenti puntuali che rappresentano le navi in stazionamento presso il molo SECH non vengono incluse negli scenari di mitigazione ipotizzati, ma i relativi ratei emissivi sono mantenuti uguale allo scenario di riferimento. Qui per scenario di riferimento (Scenario 0) si intende quanto presentato nel report T2.3.1, ossia i risultati forniti dal

modello di dispersione con emissioni navali quanto più possibile aderenti alla reale situazione portuale genovese.

Per gli scenari di mitigazione, sono stati selezionati due dei quattro mesi considerati per le simulazioni di riferimento, agosto 2021 e aprile 2022; è stato quindi possibile impiegare le stesse simulazioni meteorologiche, (ottenute dal sistema WRF-CALMET) e la medesima configurazione del modello di dispersione CALPUFF dello scenario di riferimento (per i dettagli si rimanda al prodotto T2.3.1). In tal modo, tutte le simulazioni numeriche risultano equivalenti sotto ogni aspetto, ad eccezioni delle emissioni: ciò permette una omogenea valutazione comparativa degli scenari.

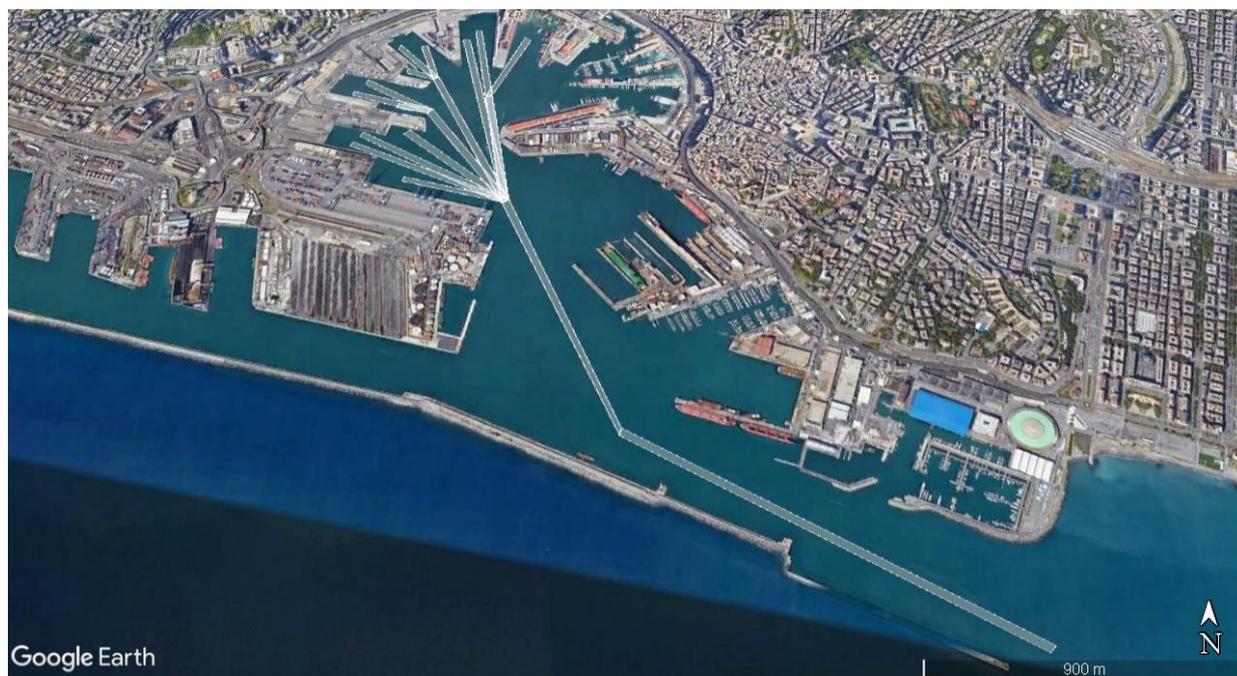


Figura 34 : Immagine satellitare dell'area portuale di Genova. In bianco sono riportate le sorgenti areali introdotte nell'input per descrivere le fasi di manovra delle navi in ingresso e in uscita dal porto

Rispetto agli scenari formulati nel report T3.2.1, per quanto emerso nella campagna di monitoraggio T1 e discusso nel prodotto T2.3.1, sono state escluse le ipotesi relative all'area SECA a causa dei livelli molto bassi di concentrazione di SO₂ misurati a Genova, vicini alla sensibilità degli strumenti e al di sotto dell'intrinseca incertezza associata ai modelli. Ne consegue che gli scenari di mitigazione considerati sono due: l'impiego di banchine elettrificate (Scenario 1) e di gas naturale liquefatto (GNL) come carburante (Scenario 2). Per quanto riguarda lo Scenario 1, non è stata considerata alcuna emissione in fase di stazionamento per tutti i moli con navi passeggeri/crociere (categorie EMEP "Ro_Ro_cargo" e "passengers"), ossia sono state considerate emissioni in hotelling soltanto per le navi container del Terminal SECH; in fase di manovra, invece, sono state utilizzate le stesse emissioni dello scenario di riferimento per tutte le tipologie navali. Nello Scenario 2 sono stati modificati i parametri di emissione dei motori di tutte le categorie di navi passeggeri/crociere, sia in fase di manovra che di stazionamento, utilizzando i valori EMEP per la categoria GNL. Di nuovo, per le navi container sono stati considerati i parametri dello scenario di riferimento.

3.1.1. Fattori di emissione

In particolare, le emissioni da traffico marittimo sono state calcolate seguendo la metodologia di riferimento EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), riportata nella guida EIG 2019 (Emission Inventory Guidebook 2019). Le emissioni da carburante GNL, invece, sono incluse nell'aggiornamento 2021 della suddetta guida EIG versione 2019. I fattori di emissione per NO_x e PM₁₀ per i tre scenari sono raggruppati nella seguente tabella.

Tabella 21 : Fattori di emissioni per i tre scenari.

Scenario 0: Reference											
Main Engine						AUX Engine					
Stage	Engine	Fuel	Fuel Consumption (gfuel/KWh)	NOx (g/KWh)	PM10 (g/KWh)	Stage	Engine	Fuel	Fuel Consumption (gfuel/KWh)	NOx (g/KWh)	PM10 (g/KWh)
Hotelling	SSD	MDGO	204	12	0,9	Hotelling	SSD	MDGO	0	0	0
		BFO	215	12,7	2,4			BFO	0	0	0
	MSD	MDGO	223	9,3	0,9		MSD	MDGO	217	12,3	0,4
		BFO	234	9,8	2,4			BFO	227	12,9	0,4
	HSD	MDGO	223	8,4	0,9		HSD	MDGO	217	9,6	0,4
		BFO	234	9	2,4			BFO	227	10,2	0,4
Manoeuvring	SSD	MDGO	204	12	0,9	Manoeuvring	SSD	MDGO	0	0	0
		BFO	215	12,7	2,4			BFO	0	0	0
	MSD	MDGO	223	9,3	0,9		MSD	MDGO	217	12,3	0,4
		BFO	234	9,8	2,4			BFO	227	12,9	0,4
	HSD	MDGO	223	8,4	0,9		HSD	MDGO	217	9,6	0,4
		BFO	234	9	2,4			BFO	227	10,2	0,4
Scenario 1: Cold Ironing											
Main Engine						AUX Engine					
Stage	Engine	Fuel	Fuel Consumption (gfuel/KWh)	NOx (g/KWh)	PM10 (g/KWh)	Stage	Engine	Fuel	Fuel Consumption (gfuel/KWh)	NOx (g/KWh)	PM10 (g/KWh)
Hotelling	The same as Scenario 0 for terminal SECH					Hotelling	The same as Scenario 0 for terminal SECH				
	0 for all the other terminals						0 for all the other terminals				
Manoeuvring	The same as Scenario 0 for all the terminals					Manoeuvring	The same as Scenario 0 for all the terminals				
Scenario 2: Liquefied Natural Gas											
Main Engine						AUX Engine					
Stage	Engine	Fuel	Fuel Consumption (gfuel/KWh)	NOx	PM	Stage	Engine	Fuel	Fuel Consumption (gfuel/KWh)	NOx	PM
Hotelling	SSD	GNL	231	1,25	5,41E-04	Hotelling	SSD	GNL	0	0	0
	MSD	GNL	229	1,25	5,41E-04		MSD	GNL	169	0,566	1,80E-04
	HSD	GNL	265	1,25	5,41E-04		HSD	GNL	196	0,566	1,80E-04
Manoeuvring	SSD	GNL	231	1,25	5,41E-04	Manoeuvring	SSD	GNL	0	0	0
	MSD	GNL	229	1,25	5,41E-04		MSD	GNL	169	0,566	1,80E-04
	HSD	GNL	265	1,25	5,41E-04		HSD	GNL	196	0,566	1,80E-04

I parametri delle sorgenti associate alla categoria EMEP "Ro_Ro_cargo" sono stati calcolati elaborando le informazioni fornite dalla compagnia GNV. In assenza di informazioni maggiormente dettagliate, i parametri da associare alle altre due categorie sono stati calcolati introducendo opportuni

fattori di scala, stimati sulla base di valutazioni complessive relative alla dimensione e all'impiego delle navi per riprodurre uno scenario il più vicino possibile a una descrizione realistica.

La Figura 35 mostra un istogramma di confronto tra le emissioni relative ai vari tipi di motore (SSD, MSD e HSD, i.e. motori diesel rispettivamente a bassa, media ed alta velocità) e carburante (olio residuale pesante BFO, distillati MDGO, i.e. marine diesel/gas oil, e gas naturale liquefatto GNL), sia in fase di hotelling che di manovra.

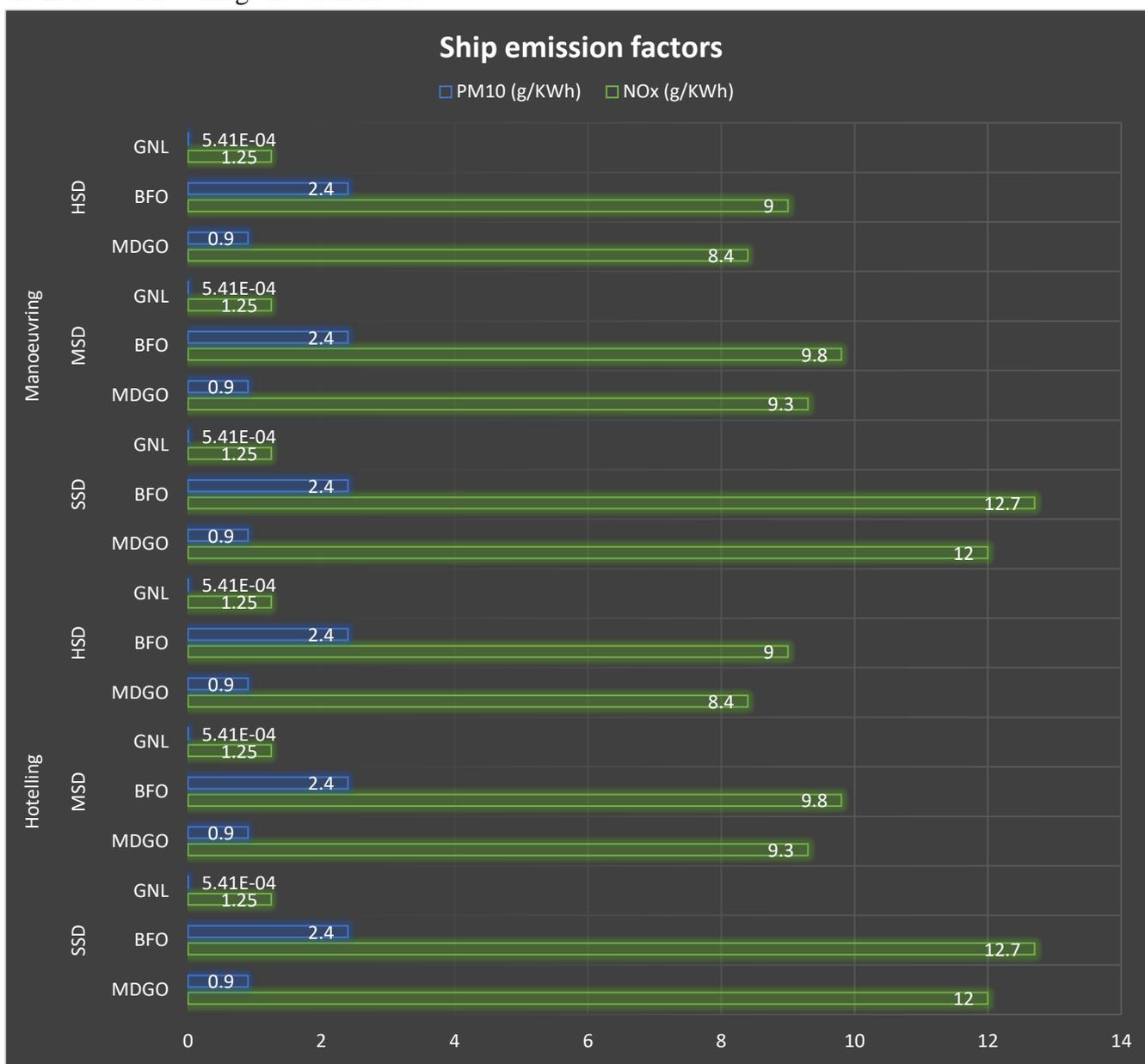


Figura 35 : Fattori di emissione per le varie tipologie di motore e carburante navale

Si noti che i ratei emissivi di ossidi di azoto derivanti da carburanti BFO e MDGO sono paragonabili (con questi ultimi leggermente inferiori), mentre l'utilizzo di GNL implica una diminuzione di un fattore 10 circa. Anche per il PM₁₀ le emissioni da MDGO sono inferiori alle BFO, ma di un fattore 3, mentre l'introduzione del GNL porta ad una diminuzione notevole, pari a circa 4 ordini di grandezza.

3.2. Risultati ottenuti

3.2.1. Mappe delle concentrazioni medie

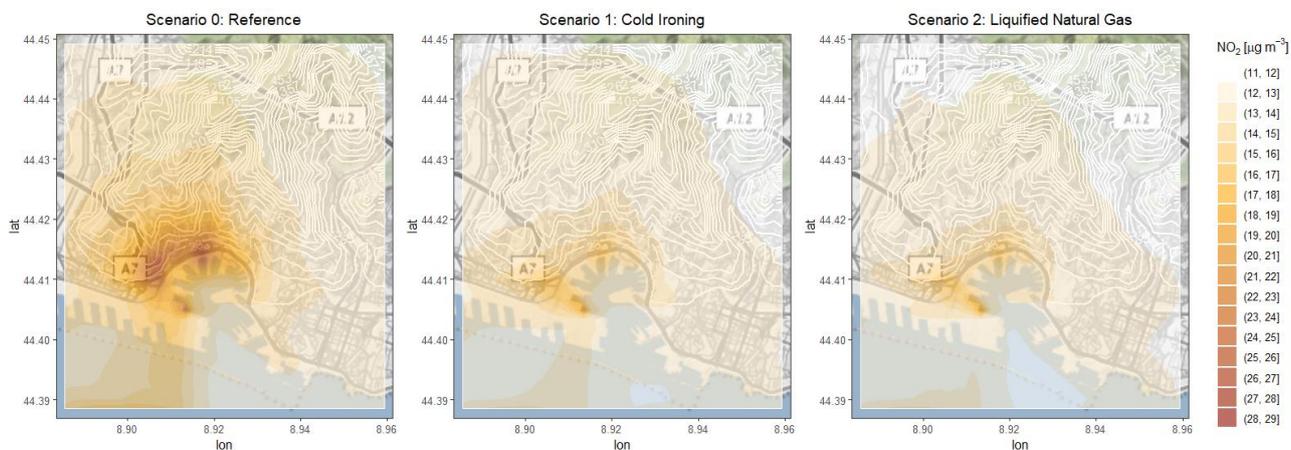
Vengono ora analizzate e confrontate le uscite modellistiche prodotte dal sistema WRF-CALMET-CALPUFF per le concentrazioni di NO₂, PM₁₀ e PM₂₅ per i tre scenari. Il modello atmosferico WRF, con cui è stato inizializzato preprocessore meteorologico CALMET, è stato impostato con una risoluzione pari a 3.3 km, mentre le simulazioni CALMET-CALPUFF sono state eseguite con un passo griglia di 90 m su di un dominio orizzontale caratterizzato da 70 per 80 celle di calcolo. Come nel prodotto T2.3.1, le concentrazioni di fondo (ossia non direttamente influenzate dalle emissioni navali) sono state invece stimate a partire da misure sperimentali. Infatti, le simulazioni effettuate sono alimentate dalle sole emissioni navali ed è necessario aggiungere i livelli di concentrazione dovuti alle altre sorgenti. Nel prodotto T2.3.1, la validazione riguardava tre siti recettori specifici, per ognuno dei quali è stata selezionata una stazione di fondo con caratteristiche simili (tipologia, flussi di traffico, ecc...), ma distante dal porto. Qui viene valutato l'intero dominio e si è ritenuto opportuno scegliere un'unica stazione di background, quella più rappresentativa dell'area considerata, per ogni inquinante. In particolare, la stazione di Parco Acquasola è stata selezionata per il biossido di azoto e quella di Quarto per il particolato (per la posizione si rimanda al report T2.3.1). I valori mediati per i due periodi di simulazione sono riportati in Tabella 22. Si noti che il valore medio di fondo per l'NO₂ è maggiore nel periodo primaverile, al contrario di quelli per PM₁₀ e PM₂₅ che risultano lievemente superiori in estate.

Tabella 22 : Valori delle concentrazioni di fondo stimate per i due periodi di simulazione considerati.

Inquinante ↓ / Periodo →	Fondo medio Agosto 2021 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fondo medio Aprile 2022 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO ₂ (Parco Acquasola)	11.66	17.62
PM ₁₀ (Quarto)	17.00	14.71
PM ₂₅ (Quarto)	9.50	8.37

La Figura 36 mostra le mappe del campo concentrazione di NO₂ con background, ottenute per i tre scenari sull'intero dominio di calcolo; si noti che, non avendo incluso reazioni chimiche, le variazioni delle concentrazioni dovute ai pennacchi emessi dalle navi non influiscono sui livelli di fondo, che saranno quindi gli stessi per i tre scenari. Nella Figura 36 e seguenti, i pannelli in alto si riferiscono alla media del mese di agosto 2021, quelle in basso ad aprile 2022. L'area di studio prescelta è principalmente interessata dal traffico passeggeri, essendo il fulcro dei settori delle crociere e dei traghetti. I terminal portuali considerati costituiscono un elemento di criticità rispetto alla città in termini di emissioni in atmosfera dovute sia allo stazionamento delle navi che al traffico veicolare indotto. Infatti, dalle mappe del dominio è evidente come l'area portuale si sviluppi in un'insenatura semicircolare che penetra nel cuore del centro storico della città di Genova.

First campaign: August 2021



Second campaign: April 2022

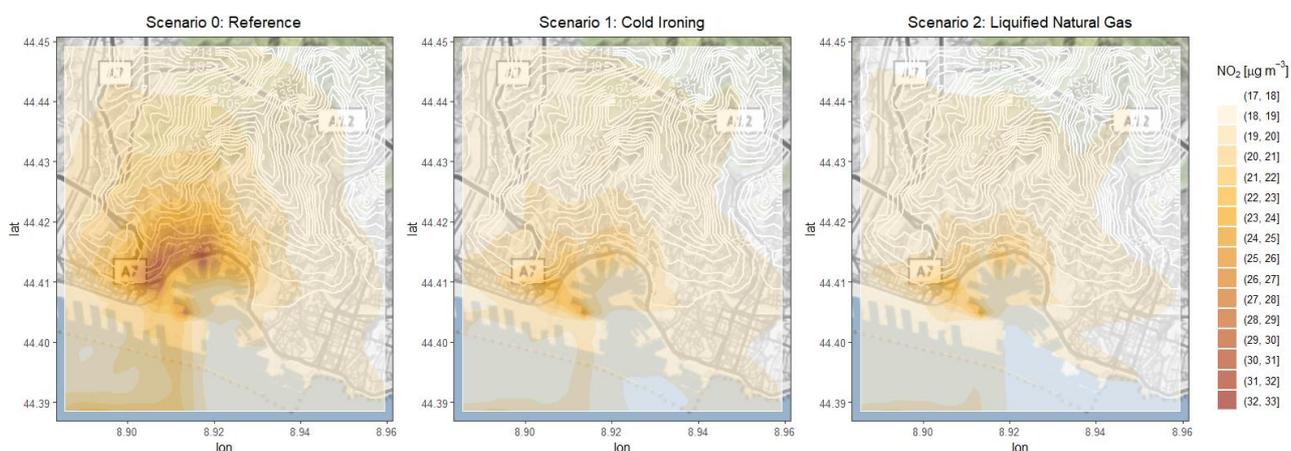


Figura 36 : Mappe dei campi di concentrazione di NO₂ ottenute per i tre scenari (riferimento a sinistra, banchine elettrificate al centro e GNL a destra) relative a Agosto 2021 (sopra) e Aprile 2022 (sotto).

Rispetto allo scenario di riferimento (pannello sinistro), si nota chiaramente una diminuzione dei livelli di NO₂, sia introducendo banchine elettrificate per le navi in stazionamento (pannello centrale) che impiegando il GNL quale combustibile (pannello destro). Le decrescite più evidenti si registrano nell'area immediatamente circostante il porto, e specialmente nelle zone a Nord ed Ovest dell'insenatura, sede dei moli in cui stazionano rispettivamente navi da crociera (moli 1003 e 1012 in Figura 33) e RoRo cargo (moli da T1 a T9 in Figura 33). In entrambi gli Scenari 1 e 2, nella zona a Sud-Ovest dell'insenatura portuale si nota invece una piccola area a concentrazione maggiore, verosimilmente dovuta al terminal SECH per le navi container, non interessato dalle azioni di mitigazione. I valori di concentrazione di NO₂ risultano comparabili per gli Scenari 1 e 2, così come lo schema spaziale della dispersione; lievi differenze tra le due azioni di mitigazione si notano soprattutto nella parte di dominio sul mare, a causa del fatto che il GNL impatta sulle emissioni anche durante la fase di avvicinamento e manovra in porto, al contrario dell'elettrificazione delle banchine. Le precedenti considerazioni valgono per entrambi i periodi di simulazione, seppur con valori lievemente più alti per il mese primaverile: ad esempio, i massimi assoluti mensili sull'intero dominio dei tre scenari risultano pari a 28.4, 21.6 e 20.9 $\mu\text{g/m}^3$ per agosto 2021, mentre valgono 32.7, 26.5 e 25.7 $\mu\text{g/m}^3$ per aprile 2022.

Le Figura 37 e Figura 38 rappresentano le stesse mappe della Figura 36, ma rispettivamente per il PM₁₀ e il PM₂₅. Le considerazioni elencate per l'NO₂ valgono anche per il particolato, ma con una sostanziale differenza: mentre per il biossido di azoto i valori di concentrazione variano in un intervallo di ampiezza pari a 15-18 µg/m³, per il PM₁₀ e i PM₂₅ la variazione è inferiore a 1 µg/m³; ad esempio, ad agosto 2021, il PM₁₀ e il PM₂₅ variano rispettivamente da 17.0 a 17.9 µg/m³ e da 9.3 a 9.8 µg/m³ per lo Scenario 0, da 17.0 a 17.6 µg/m³ e da 9.3 a 9.7 µg/m³ per lo Scenario 1, da 17.0 a 17.4 µg/m³ e da 9.3 a 9.6 µg/m³ per lo Scenario 2; questo risultato è in linea con quanto presentato nel prodotto T2.3.1. in cui è stata evidenziata una distribuzione molto omogenea del particolato nel dominio di calcolo, con un contributo esiguo da emissioni navali. Al contrario di quanto simulato per l'NO₂, per il particolato i livelli di concentrazione risultano superiori ad agosto 2021 rispetto ad aprile 2022, in particolare di circa 3 µg/m³ per il PM₁₀ e di circa 1 µg/m³ per il PM₂₅.

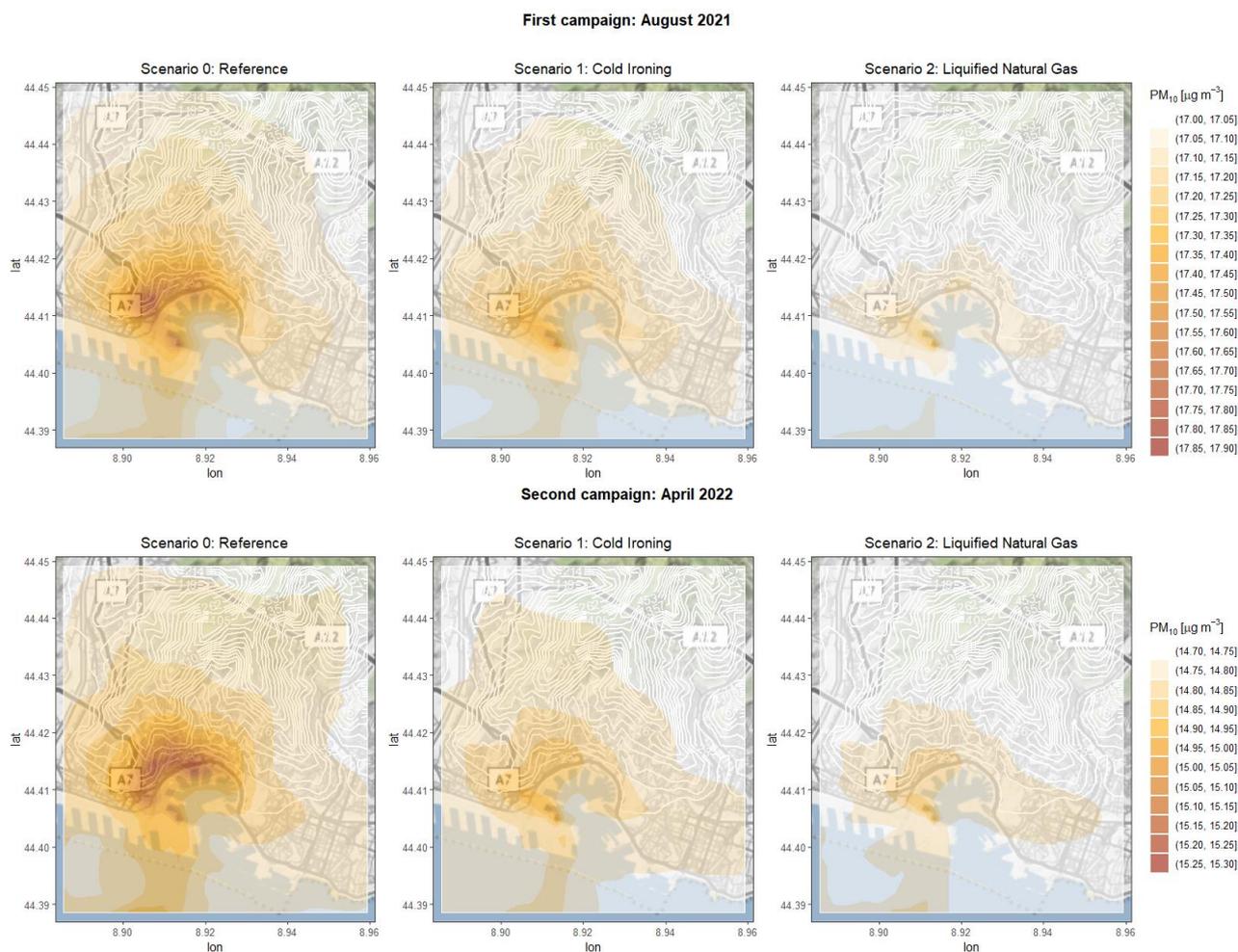
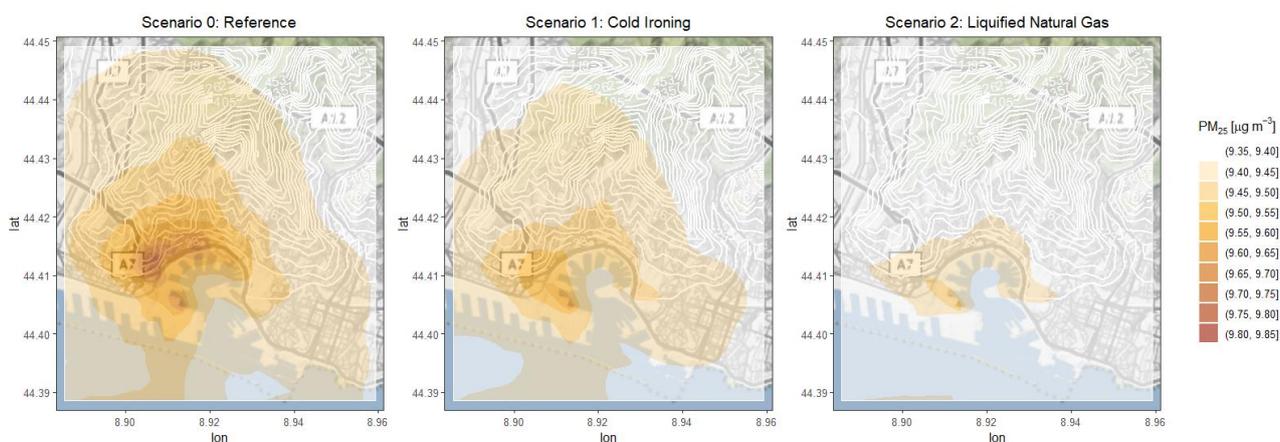


Figura 37 : Mappe dei campi di concentrazione di PM₁₀ ottenute per i tre scenari (riferimento a sinistra, banchine elettrificate al centro e GNL a destra) relative a Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).

First campaign: August 2021



Second campaign: April 2022

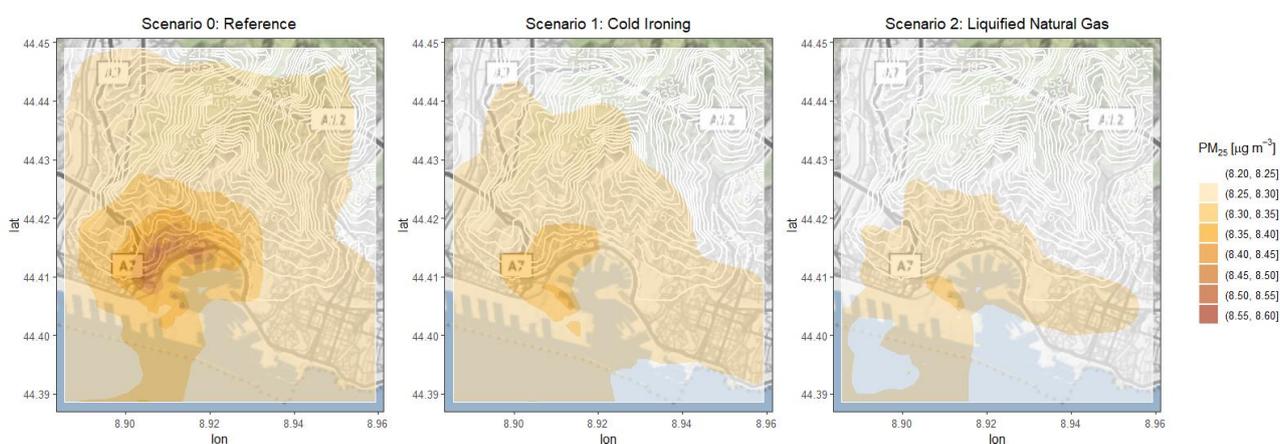


Figura 38 : Mappe dei campi di concentrazione di PM₂₅ ottenute per i tre scenari (riferimento a sinistra, banchine elettrificate al centro e GNL a destra) relative al Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).

Per una migliore visualizzazione delle zone di impatto delle azioni ipotizzate, la Figura 39 mostra le mappe delle differenze di concentrazione di NO₂ tra scenari di mitigazione e scenario di riferimento (elettrificazione delle banchine a sinistra e impiego del carburante GNL a destra) per i due periodi di simulati (agosto 2021 in alto e aprile 2022 in basso). Si sottolinea che in questa tipologia di Figura l'effetto del background viene neutralizzato, dal momento che, come anticipato, le concentrazioni addizionali dovute ad altre sorgenti sono le medesime per i tre scenari. Complessivamente, le osservazioni evidenziate per le concentrazioni assolute vengono confermate dalle mappe differenze tra scenari di mitigazione e riferimento. Infatti, le zone di massimo impatto sono localizzate a Nord e a Ovest dell'insenatura portuale, nelle immediate vicinanze dei moli che ospitano navi da crociera e traghetti. Si noti che, invece, la parte Est ospita imbarcazioni da diporto, molto meno impattanti dal punto di vista emissivo e non incluse nelle simulazioni. Risulta d'interesse osservare che, sia per lo Scenario 1 sia per lo Scenario 2, le differenze e quindi gli impatti lievemente maggiori si registrano per il mese di agosto 2021, periodo culminante della stagione crocieristica e dei traghetti diretti verso le isole meta di vacanza. Al contrario, i valori più alti delle concentrazioni assolute sono rilevati ad aprile 2022, risultato dovuto quindi ai livelli di background.

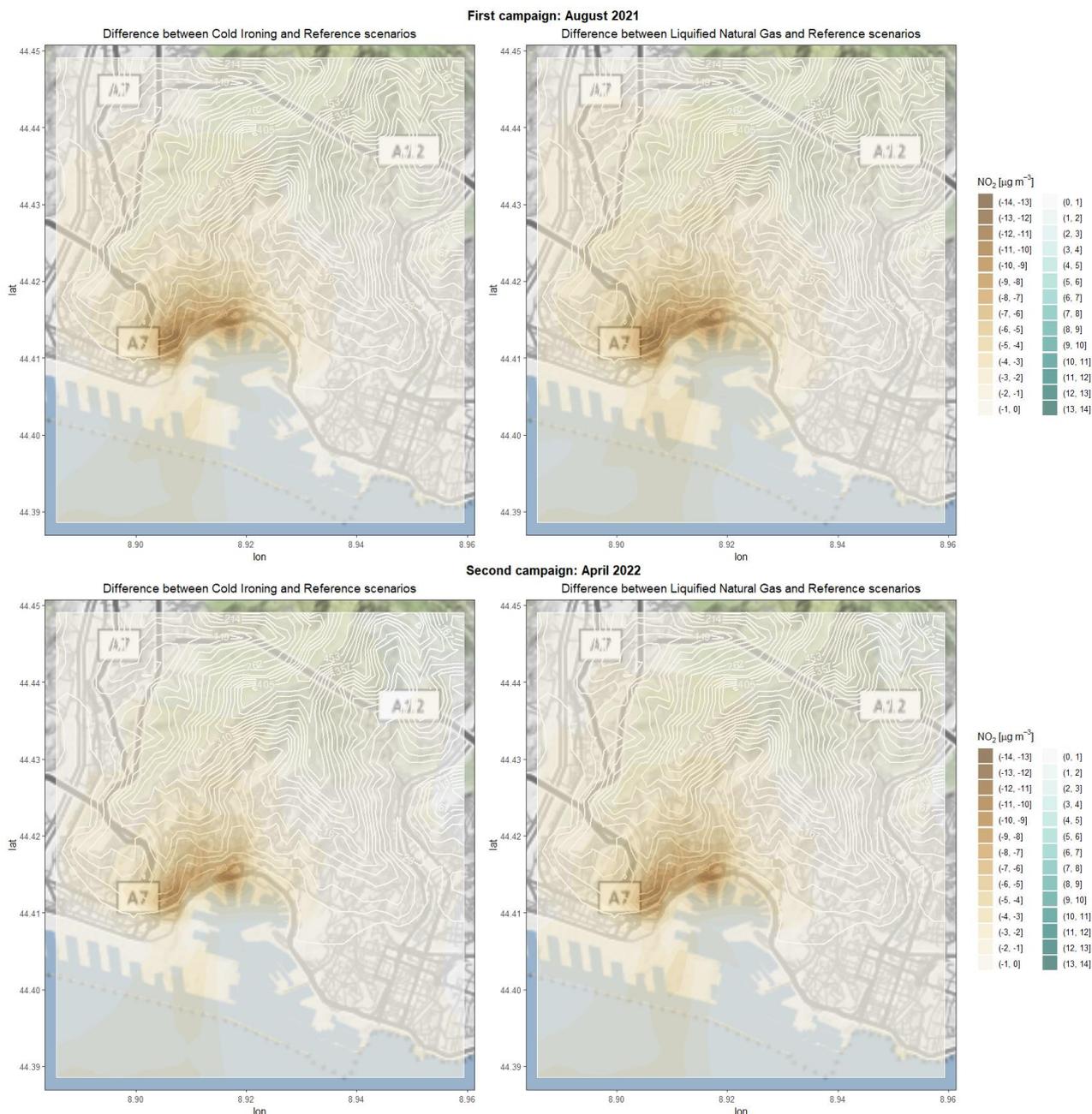


Figura 39 : Mappe delle differenze di concentrazione di NO₂ tra Scenario 1 e Scenario 0 (a sinistra) e tra Scenario 2 e Scenario 0 (a destra) relative al periodo Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).

Le Figura 40 e Figura 41 rappresentano le stesse differenze, ma relative rispettivamente a PM₁₀ e PM₂₅. Per entrambi gli scenari di mitigazione, la differenza maggiore dei due inquinanti si verifica durante il primo mese di simulazione, agosto 2021; tuttavia, occorre sottolineare che i livelli di diminuzione di concentrazione dovuti alle due azioni ipotizzate sono di ampiezza limitata: meno di 1 µg/m³ per il PM₁₀ e meno di 0.5 µg/m³ per il PM₂₅. Questo risultato è in linea con quanto ottenuto nel prodotto T2.3.1, dove il contributo percentuale delle emissioni portuali ai livelli di polveri è stato stimato essere inferiore al 3%, evidenziando che le navi non sono una sorgente predominante per il particolato.

In generale, per tutti gli inquinanti considerati, l'effetto di attenuazione dovuto agli scenari ipotizzati, risulta lievemente più marcato nel caso del GNL rispetto all'elettrificazione delle banchine. Questo risultato è probabilmente dovuto al fatto che, nelle ipotesi dello Scenario 1, le navi in fase di manovra impiegano carburanti BFO e MDGO, mentre il GNL può essere utilizzato sia in fase di manovra che di stazionamento.

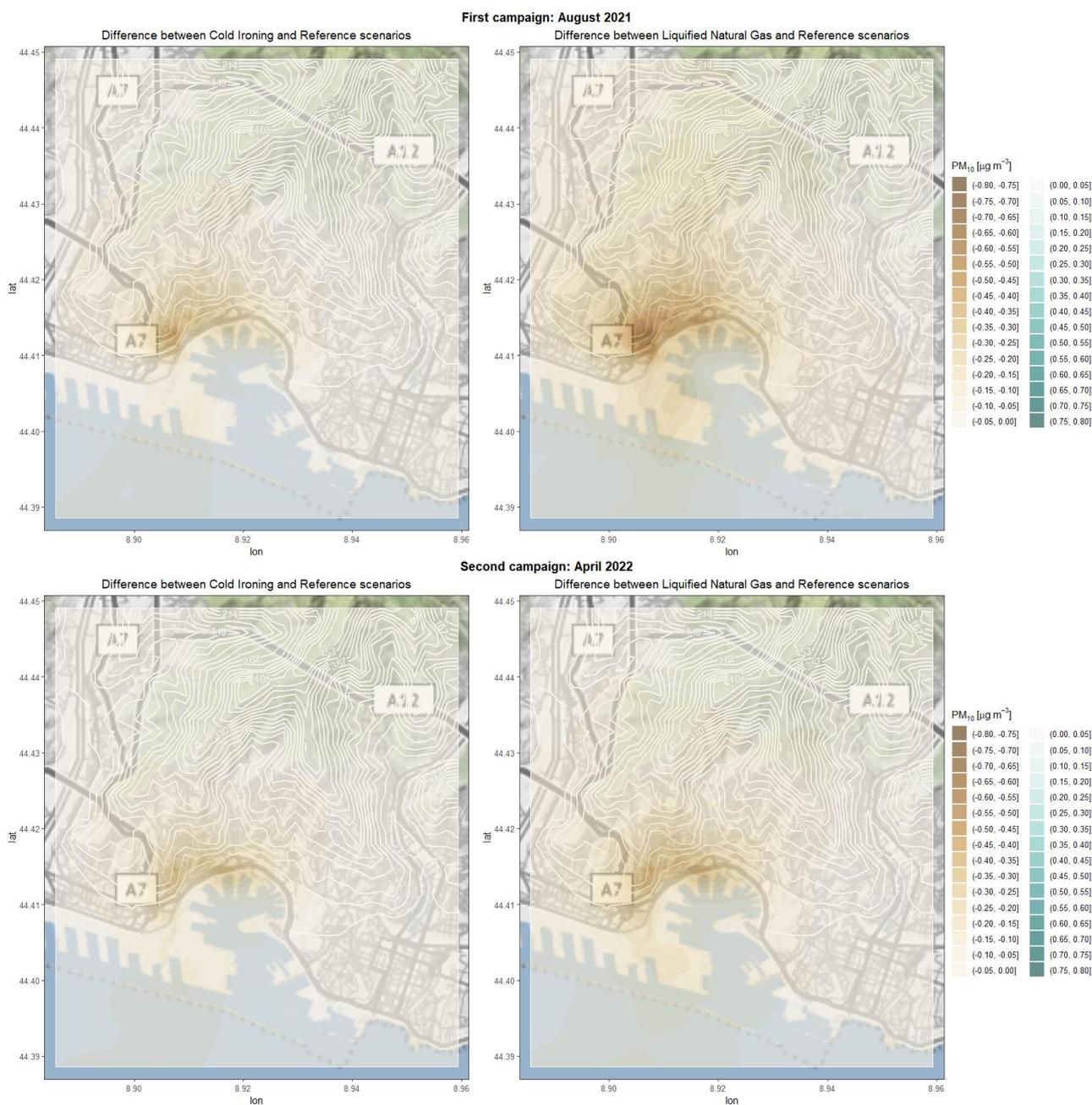


Figura 40 : Mappe delle differenze di concentrazione di PM₁₀ tra Scenario 1 e Scenario 0 (a sinistra) e tra Scenario 2 e Scenario 0 (a destra) relative al periodo Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).

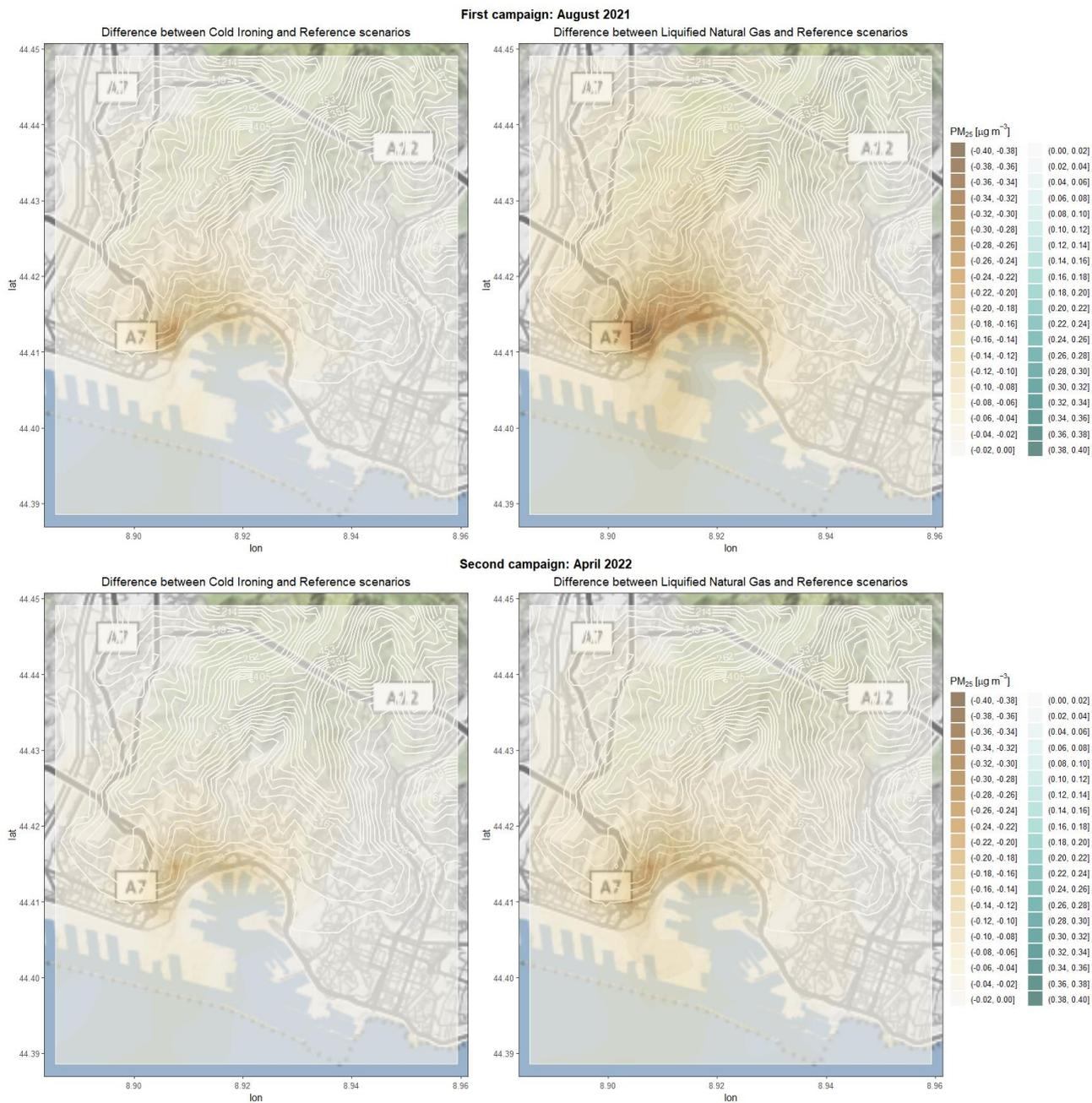


Figura 41 : Mappe delle differenze di concentrazione di PM_{25} tra Scenario 1 e Scenario 0 (a sinistra) e tra Scenario 2 e Scenario 0 (a destra) relative al periodo Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).

3.2.2. Statistiche descrittive

Per sintetizzare le statistiche descrittive dei tre scenari, vengono ora rappresentati i boxplot dei valori ottenuti. I grafici sono realizzati utilizzando i valori di concentrazione addizionati con i relativi background e selezionando le sole celle posizionate sulla terraferma, così da considerare statistiche calcolate esclusivamente in aree dove è presente una popolazione potenzialmente esposta. Oltre ai cinque indici statistici standard (primo e terzo quartile, mediana ed estremi), nel boxplot viene mostrata la media con un cerchio giallo; inoltre, per semplificare la lettura delle statistiche, all'apice di ogni boxplot vengono trascritti i valori numerici degli indici. La Figura 42 mostra il boxplot delle concentrazioni di NO₂. La diminuzione dovuta alle azioni di mitigazione è evidente dai valori medi, mediani e dei quartili dei tre scenari. Come già evidenziato in Figura 36, tenendo conto del background, i valori di NO₂ e quindi i relativi indici descrittivi sono generalmente superiori per il secondo periodo di simulazione, aprile 2022. Tra i due scenari di mitigazione, quello relativo all'impiego del GNL mostra indici statistici lievemente inferiori rispetto all'introduzione di banchine elettrificate, per entrambi i periodi di simulazione; a titolo di esempio, i massimi (i.e. gli estremi superiori dei "baffi" del boxplot) stimati per il mese di agosto 2021, sulle sole celle di terraferma ed escludendo gli outliers, sono pari a 16.9, 13.8 e 13.2 µg/m³ rispettivamente per lo Scenario 0, lo Scenario 1 e lo Scenario 2; i corrispondenti valori per il secondo periodo di simulazione valgono 22.7, 20.0 e 19.3 µg/m³. Inoltre, osservando lo scarto interquartile, è evidente come l'introduzione di azioni di mitigazione conduca ad una diminuzione della variabilità della distribuzione dei valori di concentrazione.

I boxplot per PM₁₀ e PM₂₅ (rispettivamente Figura 43 e Figura 44) confermano la decrescita dei valori di concentrazione grazie all'introduzione delle due azioni di mitigazione e che l'effetto di attenuazione ottenuto risulta leggermente maggiore nel caso di uso di GNL rispetto all'elettrificazione delle banchine. Inoltre, i valori medi e mediani confermano la tendenza dei livelli di concentrazione (con background) di particolato ad essere superiori durante il mese agosto 2021 rispetto ad aprile 2022, al contrario del biossido di azoto. Gli indici dei boxplot mostrano però come le azioni di mitigazione ipotizzate abbiano un impatto molto minore sul particolato; ad esempio, per il mese di agosto 2021, i valori medi valgono 17.13, 17.08 e 17.03 µg/m³, rispettivamente per lo Scenario 0, 1 e 2 e i corrispondenti valori mediani sono 17.09, 17.06 e 17.02 µg/m³. Occorre sottolineare nuovamente che ciò è probabilmente dovuto al basso contributo delle emissioni navali alla concentrazione totale di polveri; si ricordi infatti che, come calcolato nel prodotto T2.3.1, il contributo percentuale delle navi alla qualità dell'aria complessiva è stimato essere circa del 20% per il biossido di azoto e 2-3% per le polveri. Infine, gli scarti interquartili molto bassi (dell'ordine del decimo di µg/m³ o inferiore anche per lo Scenario 0 di riferimento) testimoniano l'alto grado di omogeneità della distribuzione del particolato nel territorio, certificato anche dalle numerose stazioni di misura sparse sul territorio.

Per valutare l'efficacia delle azioni di riduzione dell'inquinamento esclusivamente sulla frazione di concentrazione dovuta alle emissioni navali, vengono ora presentati i boxplot dei quozienti tra le concentrazioni (senza background) dei due scenari di mitigazione e dello scenario di riferimento. In questo modo i valori variano tra 0 (aria pura) a 1 (nessun effetto dell'azione di mitigazione). Di nuovo, vengono considerate solo le celle del dominio situate sulla terraferma, così da considerare solo valori che possono essere effettivamente fonte di rischio per la popolazione. Per quanto riguarda l'NO₂ (Figura 45), la mediana del quoziente tra lo scenario con banchine elettrificate e lo scenario di riferimento vale 0.41 per entrambi i periodi di simulazione; la mediana del quoziente tra lo scenario

GNL e lo scenario di riferimento vale invece 0.31 per il mese estivo e 0.29 per quello primaverile; si conferma dunque la tendenza del GNL ad una mitigazione delle emissioni navali più efficace rispetto all'elettrificazione dei moli. Per quanto riguarda il particolato, questa tendenza appare molto più marcata; infatti, la mediana del quoziente $S1/S0$ vale 0.67 per agosto 2021 e 0.58 per aprile 2021 per quanto per il PM_{10} e 0.66 e 0.58 per quanto riguarda il PM_{25} ; la mediana del quoziente $S2/S0$ per il PM_{10} vale 0.25 per il primo periodo di simulazione e 0.27 per il secondo, mentre per il PM_{25} vale rispettivamente 0.21 e 0.27. Ciò significa che, sia per gli ossidi di azoto sia per le polveri, l'impiego del GNL impatta fortemente sulle concentrazioni dovute alle sole emissioni navali, diminuendo significativamente i valori simulati; tuttavia, occorre sempre considerare la qualità dell'aria complessiva: l'effetto degli scenari di mitigazione sui livelli di particolato dovuti alle sole emissioni navali è in realtà largamente coperto dai valori preponderanti delle concentrazioni di fondo dovute ad altre sorgenti. Si vuole ribadire che le concentrazioni di fondo non sono state calcolate in modo rigoroso visto che non si è tenuto conto delle possibili interazioni chimiche tra gli inquinanti in esse contenuti e i diversi pennacchi navali emessi negli scenari. Nonostante questa approssimazione, si ritiene che la precedente considerazione sul particolato rimanga valida data la differenza di quasi due ordini di grandezza tra i valori delle concentrazioni di fondo e i valori simulati da CALPUFF per i pennacchi navali (si veda ad esempio tabella nel paragrafo 1.2.1 del prodotto T2.3.1).

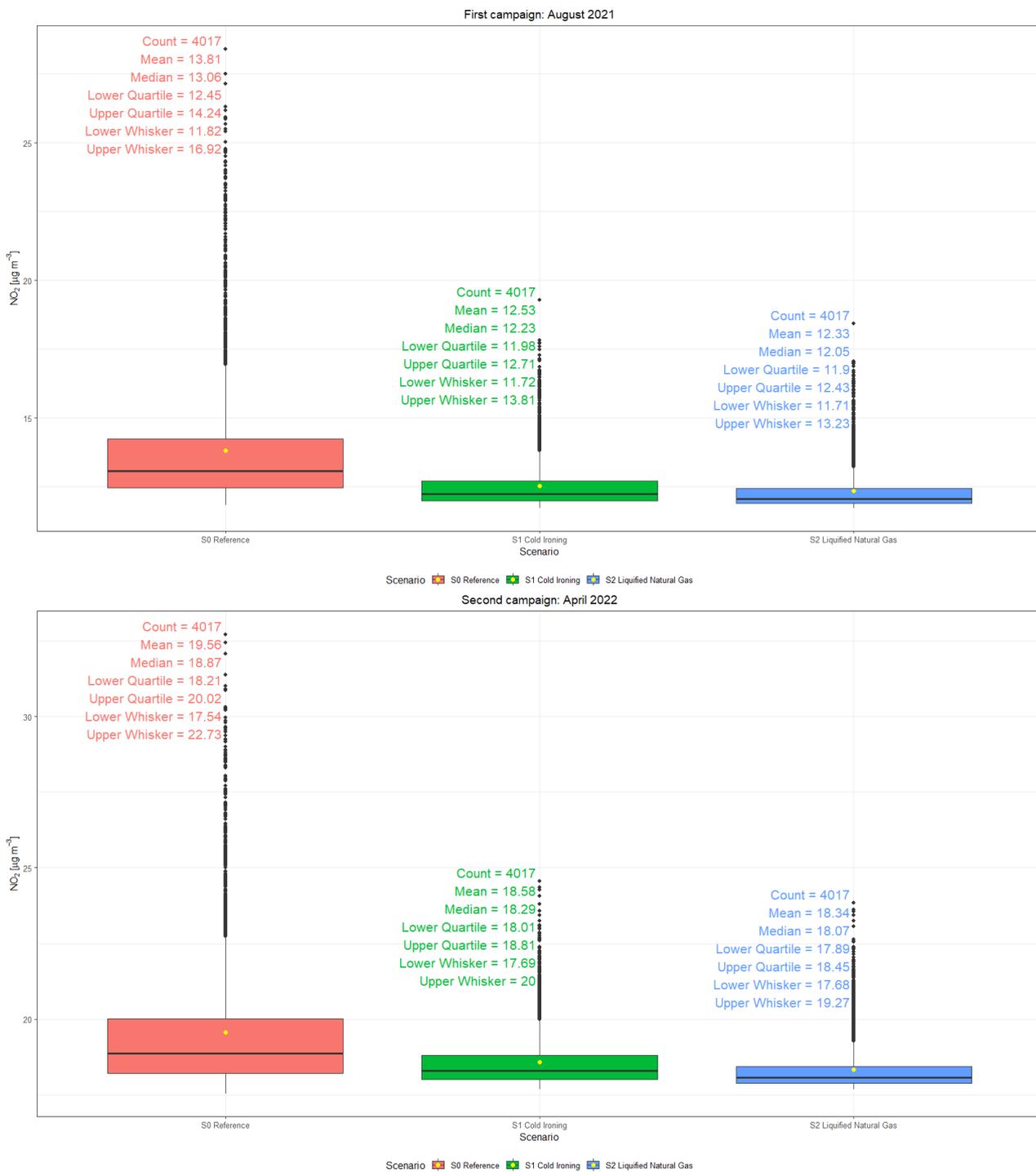


Figura 42 : Boxplot delle concentrazioni di NO₂ (con background) simulate per i tre scenari, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate su agosto 2021 (in alto) e aprile 2022 (in basso).

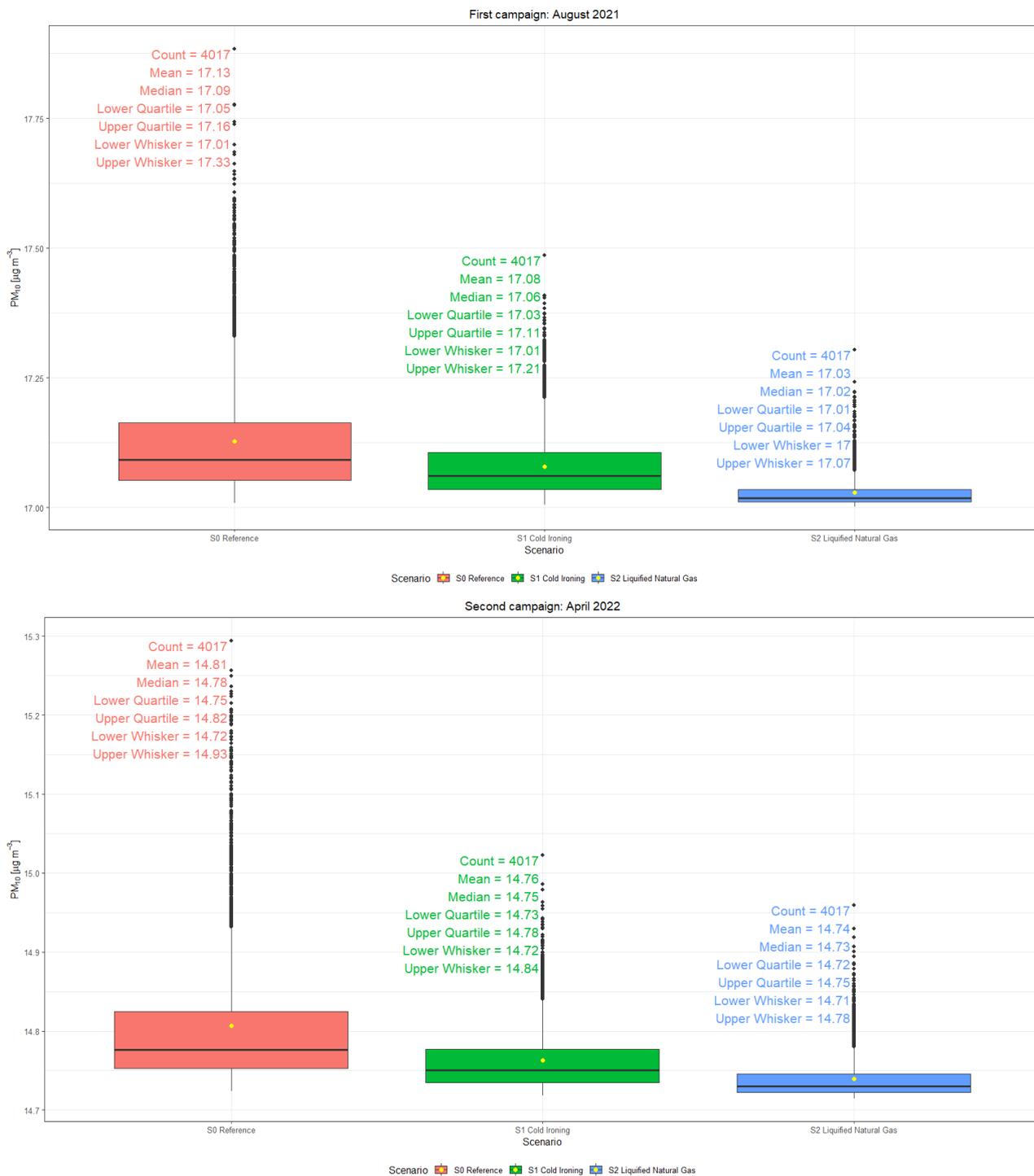


Figura 43 : Boxplot delle concentrazioni di PM_{10} (con background) simulate per i tre scenari, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate su agosto 2021 (in alto) e aprile 2022 (in basso).

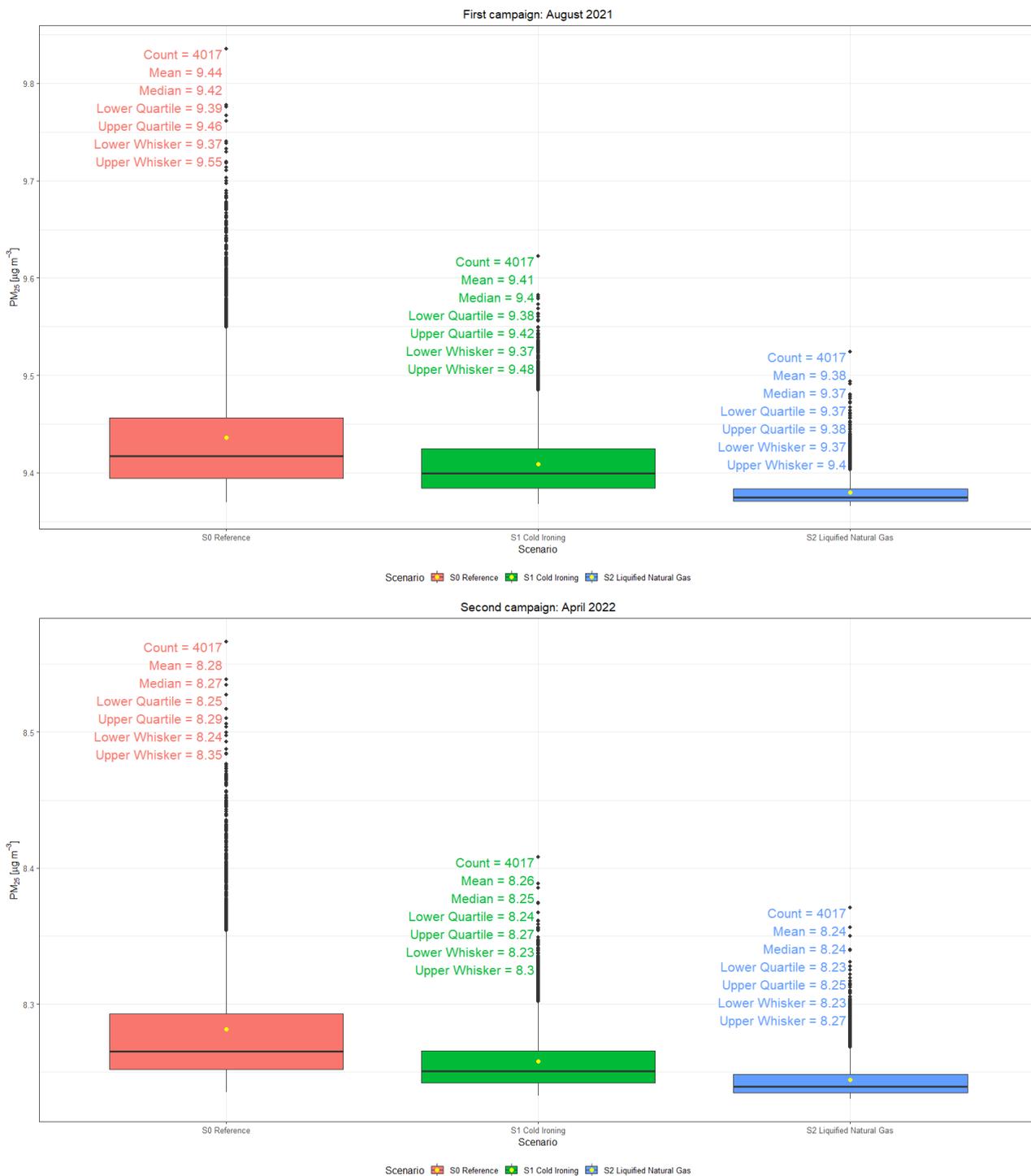


Figura 44 : Boxplot delle concentrazioni di PM_{25} (con background) simulate per i tre scenari, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate su agosto 2021 (in alto) e aprile 2022 (in basso).

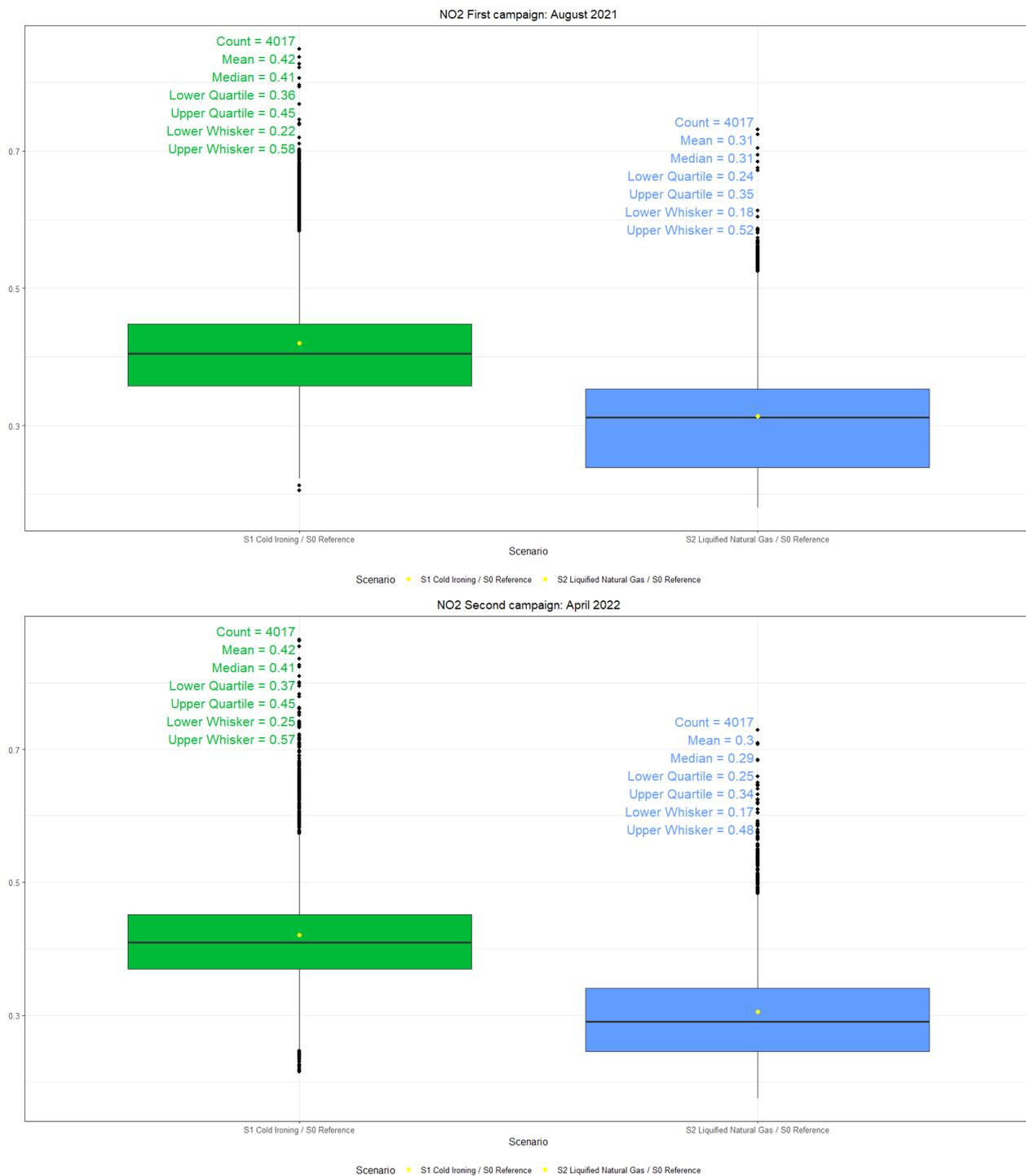


Figura 45 : Boxplot del rapporto tra le concentrazioni di NO₂ (senza background) degli scenari di mitigazione e di riferimento, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate sul periodo simulato (agosto 2021 in alto e aprile 2002 in basso).



Figura 46: Boxplot del rapporto tra le concentrazioni di PM₁₀ (senza background) degli scenari di mitigazione e di riferimento, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate sul periodo simulato (agosto 2021 in alto e aprile 2022 in basso).

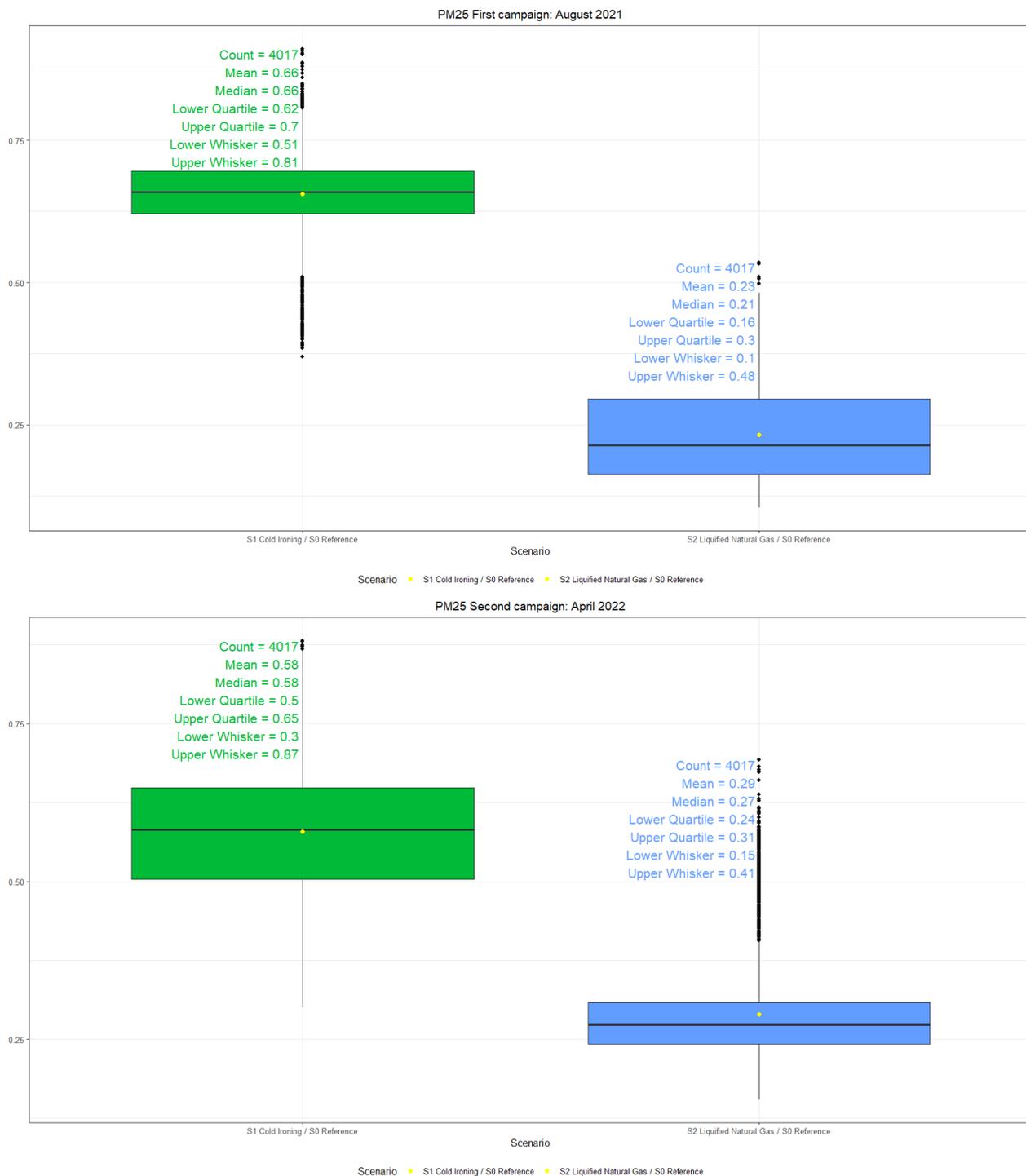


Figura 47 : Boxplot del rapporto tra le concentrazioni di NO_2 (senza background) degli scenari di mitigazione e di riferimento, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma, mediate sul periodo simulato (agosto 2021 in alto ed aprile 2002 in basso).

Per una quantificazione numerica dell'efficienza di abbattimento dei livelli di inquinanti, viene introdotto l'indice percentuale di riduzione R , definito come:

$$R = \frac{p_{ref} - p_{scen}}{p_{ref}} 100$$

dove p_{ref} e p_{scen} rappresentano il 90esimo percentile delle concentrazioni medie di riferimento e degli scenari formulati. Per quanto anticipato circa l'assenza di interazioni chimiche tra i pennacchi navali e inquinanti derivanti da altre sorgenti, l'indice R viene calcolato dapprima calcolato senza includere il fondo; questo approccio permette di stimare l'efficacia di abbattimento di ogni scenari esclusivamente sul contributo navale, senza introdurre ulteriori gradi di incertezza dovuti alla stima del fondo; tuttavia, per avere una panoramica completa dell'impatto effettivo delle azioni formulate sulla qualità dell'aria, la Tabella 23 mostra lo stesso indice calcolato includendo il background e nominato R_{bg} .

Tabella 23 : Tabella riassuntiva dell'indice percentuale di riduzione per i due scenari di mitigazione e per i due periodi considerati.

Inquinante	Scenario	Periodo	R (%)	R _{bg} (%)
NO ₂	S1: Banchine elettrificate	ago-21	59.22	17.37
		apr-22	60.96	11.2
	S2: Gas Naturale Liquefatto	ago-21	67.07	19.68
		apr-22	68.62	13.05
PM ₂₅	S1: Banchine elettrificate	ago-21	40.53	0.66
		apr-22	47.96	0.65
	S2: Gas Naturale Liquefatto	ago-21	76.42	1.24
		apr-22	70.31	0.95
PM ₁₀	S1: Banchine elettrificate	ago-21	38.78	0.66
		apr-22	48.26	0.66
	S2: Gas Naturale Liquefatto	ago-21	72.99	1.21
		apr-22	70.33	0.96

L'indice percentuale di riduzione di l'NO₂ giace nell'intervallo 59.2-61% per quanto riguarda lo Scenario 1 e nell'intervallo 67.1-68.6% per lo Scenario 2, confermando la maggior efficacia dell'introduzione del carburante GNL rispetto all'elettrificazione delle banchine; per entrambi gli scenari, le riduzioni prodotte nei due periodi di simulazione sono tra loro comparabili, con valori superiore di circa 1.5% durante il mese di mese di aprile, rispetto a agosto 2021. Per quanto riguarda le polveri, la differenza tra Scenario 1 e Scenario 2 è molto più accentuata, sia per il PM₁₀ sia per il PM₂₅ che mostrano comportamenti simili. La percentuale di riduzione prodotta dal GNL è infatti sempre superiore al 70%, mentre l'elettrificazione delle banchine giace nell'intervallo 38.8-48.2%; l'analisi dei periodi di simulazione mostra che l'elettrificazione delle banchine ha una maggior efficacia nel mese primaverile (7-10% in più rispetto al mese estivo), mentre per il GNL, seppure con una differenza meno marcata, il risultato è opposto (le riduzioni di agosto 2021 sono superiore del 2-6% rispetto quelle di aprile 2022). Questo aspetto risulta di notevole interesse e in futuro potrebbe

essere sviluppato in modo approfondito, introducendo ulteriori periodi di simulazione in stagioni più fredde.

Allargando l'analisi ai valori di R_{bg} , ossia considerando l'effetto sulla qualità dell'aria complessiva, entrambi gli scenari mostrano percentuali di riduzione di NO_2 maggiori ad agosto 2021 rispetto ad aprile 2022, contrariamente a quanto ottenuto per R , rivelando livelli di fondo più alti in primavera. Tuttavia, il risultato più evidente riguarda la differenza dei valori di R_{bg} tra biossido di azoto e particolato; per il gas le riduzioni percentuali estive valgono 11-13%, quelle primaverili 17-20%, mentre per le polveri sono sempre inferiori a 1.3%, testimoniando ancora una volta come le navi non siano sorgenti predominanti di particolato.

3.3. Conclusioni

In questo rapporto sono stati analizzati i risultati forniti dalla modellizzazione dagli scenari di riduzione delle emissioni ipotizzati per il porto di Genova. Le simulazioni sono state effettuate su due periodi, uno estivo (agosto 2021) ed un primaverile (aprile 2022) e per tre specie inquinanti, NO_2 , PM_{10} e PM_{25} . Gli scenari di mitigazione considerati sono due: l'elettrificazione delle banchine (scenario 1) e l'impiego del gas naturale liquefatto come carburante (scenario 2). Il primo scenario si ripercuote sulla fase di stazionamento, annullando le emissioni delle navi ormeggiate presso le banchine, mentre il secondo impatta sia in fase di stazionamento che di manovra, con fattori emissivi minori rispetto ad altri tipi di carburante. Il dominio considerato include 13 banchine principali, 12 delle quali dedicate alle navi da crociera e ai traghetti. Il tredicesimo molo, il terminal SECH, è interessato da navi portacontainer e non viene integrato negli scenari di mitigazione: le emissioni sono state mantenute uguali allo scenario di riferimento.

Per il biossido di azoto, i risultati mostrano che entrambi gli scenari di mitigazione producono una considerevole riduzione della concentrazione dovuta solo al contributo navale. L'indice percentuale di riduzione di NO_2 , qui definito per quantificare sinteticamente i risultati ottenuti, è pari circa al 60% per il mese estivo e poco inferiore al 70% per quello primaverile.

Per il particolato invece, l'impiego di carburante GNL produce una riduzione molto più significativa della concentrazione dovuta solo al contributo navale, rispetto all'elettrificazione delle banchine. Lo scenario 2, infatti, produce una riduzione superiore al 70%, mentre per lo scenario 1 vale circa il 40-50%.

Le conclusioni appena presentate riguardano la frazione di concentrazione derivante dalle sole emissioni navali. Le reazioni chimiche che si instaurano tra i pennacchi navali e gli inquinanti emessi da altre sorgenti (e che influiscono sulla parte secondaria delle concentrazioni di fondo) sono state qui trascurate; nonostante questa approssimazione, è utile considerare anche gli impatti sulla qualità dell'aria complessiva, addizionando i livelli di fondo stimati a partire da misure sperimentali. Con questo approccio è stato possibile evidenziare che entrambi gli scenari formulati impattano significativamente sui livelli complessivi di NO_2 ; la riduzione percentuale sulla concentrazione totale del gas varia infatti dall'11% al 20% a seconda dello scenario e del periodo considerato; al contrario, per le polveri tale riduzione percentuale non supera mai il valore di 1.2%, mostrando che le navi non hanno un impatto significativo sulla concentrazione totale di questo tipo di inquinante.

4. PORTO DI LIVORNO (ARPA TOSCANA)

4.1. Scenari di calcolo

L’Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale (da adesso AdSP MTS) dispone di un modello per il calcolo della qualità dell’aria, acquisito per adempiere alle richieste previste in fase di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) avanzata dalla Regione Toscana per la realizzazione della Darsena Europa nel Porto di Livorno.

Il modello realizzato è stato pertanto messo a punto e configurato per l’area livornese e comprende un sistema modellistico integrato (in ottemperanza agli adempimenti connessi alle prescrizioni della VAS del nuovo Piano Regolatore Portuale (PRP) limitatamente alle emissioni in atmosfera e alla qualità dell’aria).

Questa attività è possibile attraverso le componenti che formano l’intero modello: diversi moduli per la modellazione meteorologica ed emissiva e di qualità dell’aria, alimentate da basi di dati che descrivono la conformazione del territorio, le emissioni legate alle attività presenti su di esso, nonché gli apporti ai livelli di fondo delle concentrazioni dati dalle sorgenti più lontane.

Inoltre, l’AdSP MTS realizza annualmente un documento che contiene il calcolo della Carbon Footprint navale nell’ambito portuale di Livorno, analizzando i dati relativi ai singoli movimenti operati dai natanti durante le fasi in porto. Il report della Carbon Footprint navale risulta essere uno strumento preliminare, realizzato con strumenti innovativi, grazie al quale è stato possibile valutare eventuali scenari per la riduzione delle emissioni di inquinanti.

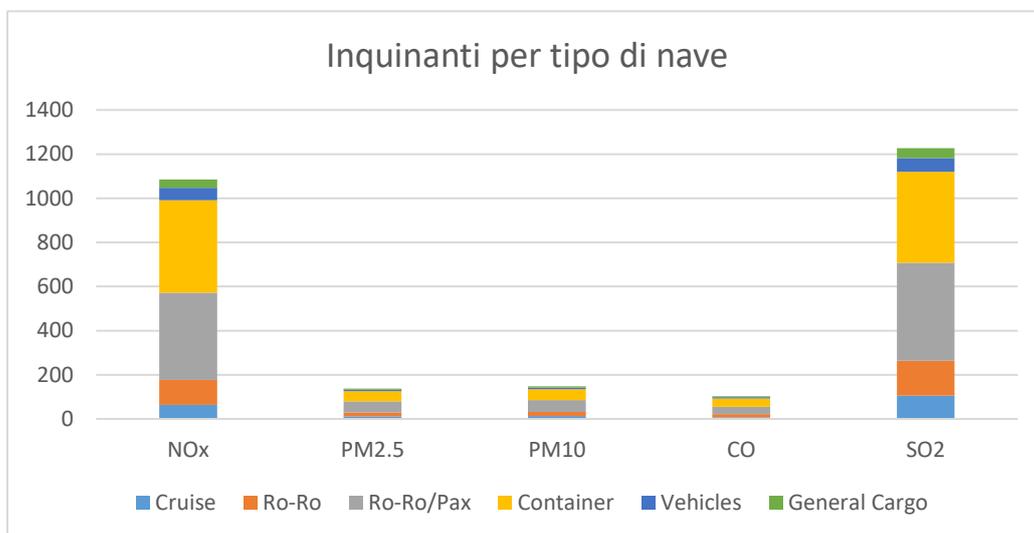


Figura 48 : Carbon footprint 2021

L’AdSP MTS, nelle fasi preliminari del progetto, ha ipotizzato alcuni scenari concreti di riduzione delle emissioni di inquinanti tramite azioni sul comparto navale. Preliminarmente però sono state valutate le statistiche degli arrivi e delle partenze su Livorno negli anni precedenti, tenendo però in considerazione l’evidente riduzione dei numeri di arrivi/partenze dovuta alla pandemia da COVID-19. Di seguito sono indicati alcuni numeri che rappresentano al meglio l’andamento dei principali indicatori di traffico 2021-2022.

Principali indicatori di traffico	2021	2022	Var. %
	GEN - DIC	GEN - DIC	
Totale movimentazione del porto (ton)	34.346.072	31.909.489	-7,1%
Navi arrivate	6.246	6.309	1,0%
TEUs	791.356	751.811	-5,0%
Rotabili (n. mezzi commerciali)	509.989	480.873	-5,7%
Passeggeri (unità)	2.226.765	2.811.322	26,3%
Crocieristi (unità)	56.338	437.670	676,9%
Auto nuove (unità)	467.338	491.159	5,1%
Prodotti forestali (ton)	1.788.512	2.131.105	19,2%

Figura 49 : Andamento traffico navale 2021/2022

Tra gli indicatori più evidenti possiamo porre l'attenzione sulla variazione nel biennio 2021-2022 delle varie tipologie di traffico merci in arrivo nel Porto. Queste, come già detto, evidenziano una contrazione dei numeri dovute ancora una volta alla sensibile modifica dei traffici post pandemia.

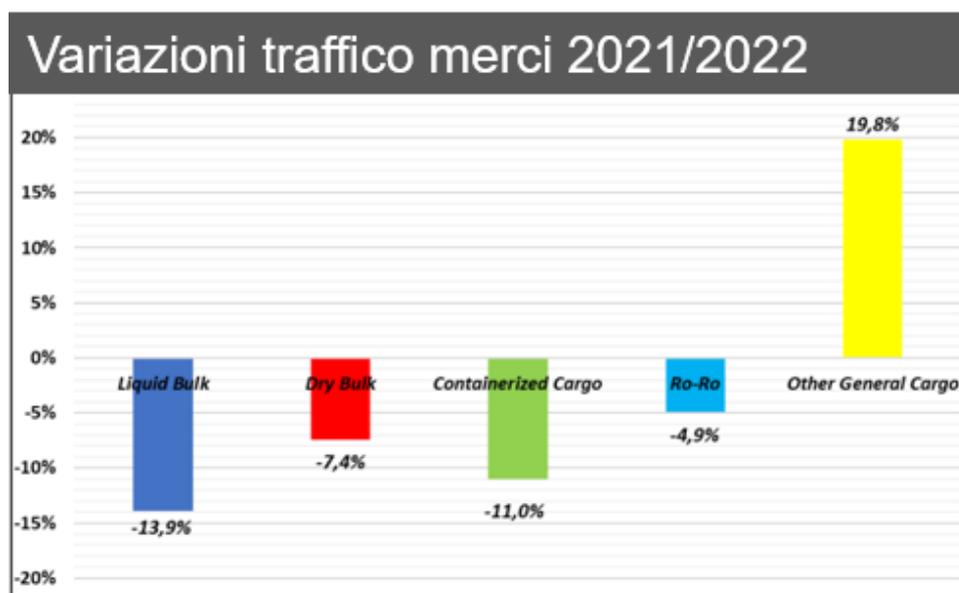


Figura 50 : Variazione dei traffici nel biennio 2021/2022

Le statistiche presentate evidenziano bene come la pandemia abbia influito sul comparto turistico principalmente, riducendo in maniera evidente gli arrivi dei crocieristi nel periodo precedente al 2022.

La definizione degli scenari, attività realizzata nel 2022, è stata concepita sugli arrivi navali del 2021, da ritenersi come il primo anno completo per quanto riguarda gli arrivi e le partenze, andando però a prendere come riferimento un anno con meno arrivi del comparto crocieristico rispetto al passato e soprattutto rispetto all'anno successivo.

I dati utilizzati per il calcolo degli scenari, oltre al modello ARIA Regional descritto nell'output T2.3.1, sono quelli relativi agli arrivi e alle partenze del comparto navale su Livorno. Le informazioni relative agli orari di arrivo in rada, in porto e in banchina (così come per le partenze) sono disponibili all'interno della piattaforma MONICA, architettura standard per il monitoraggio portuale realizzata dall'AdSP MTS. La piattaforma dispone di tutte le informazioni sui viaggi nave nel Porto, di tutte le caratteristiche nelle navi operative su Livorno e di tutte le componenti legate alla movimentazione dei natanti in porto. Le specifiche delle navi sono disponibili all'interno del DB navale legato alla piattaforma MONICA e fornito da IHS Markit, unico soggetto certificato in possesso di questi dati. I dati a disposizione sono stati utilizzati per il calcolo degli scenari di riduzione emissive, andando a valutare i viaggi navi realizzati durante l'anno 2021 e le conseguenti quantità di inquinanti emesse.

La prima fase dell'attività è stata infatti quella di valutare le emissioni della sola quota del comparto navale tramite l'utilizzo di un modello Bottom Up (Bottom Up Harbour) con dati in input relativi ai viaggi nave del 2021. I dati in ingresso sono quelli relativi alla tipologia di nave (categorizzata in maniera puntuale), i dati temporali relativi all'arrivo a banchina della nave e i minuti di movimento in porto e di stazionamento a banchina. Il modello, come indicato, richiede l'inserimento dei tempi di movimentazione e dei tempi di sosta; per avere un controllo maggiore dei dati di output, i calcoli degli inquinanti emessi sono stati realizzati in due step: il primo inserendo i dati relativi ai tempi di movimentazione, azzerando i tempi di sosta, e il secondo inserendo i dati relativi alla fase a banchina, azzerando i tempi relativi alla manovra. Questo ci ha permesso di ottenere dei valori specifici per ciascuna fase, dando modo di mantenere un controllo di quelli che sono sia i dati in input che, ovviamente, i dati in output.

Il modello BUH è stato utilizzato per il mero calcolo delle quantità di inquinanti emessi in tutti gli scenari ipotizzati, partendo dallo scenario base. Successivamente si è provveduto ad agire sulle quote emissive del singolo viaggio nave per tutti gli scenari ipotizzati.

4.1.1. Scenari ipotizzati

Durante la fase di preliminare di questa attività, è stata fatta un'analisi dei risultati del modello BUH per quanto concerne lo scenario base (quello privo di azioni di riduzione) che comprende l'intero anno 2021, per tutte le tipologie di fase navale, arrivo, partenza, movimento interno e sosta a banchina.

Le supposizioni iniziali comprendevano una valutazione degli scenari di possibile realizzazione, mantenendo il calcolo sulle reali navi in arrivo e sui viaggi realizzati durante l'intero anno 2021.

L'elenco degli scenari inizialmente ipotizzati è il seguente:

- Scenario 1.1: Situazione attuale (dati 2021)
- Scenario 2.1: Cold Ironing sul 10% delle navi Cruise e Ro-Ro/Pax agli accosti 59-62 e la flotta attuale
- Scenario 2.2: Cold Ironing sul 10% delle navi Cruise agli accosti 59-62 e la flotta attuale
- Scenario 2.3: Cold Ironing sul 10% delle navi Ro-Ro/Pax agli accosti 59-62 e la flotta attuale
- Scenario 3.1: 10% delle navi alimentate a LNG
- Scenario 4.1: Intera flotta attuale con legislazione SECA (2025)

- Scenario 5.1: Cold Ironing sul 10% delle navi Cruise e Ro-Ro/Pax agli accosti 59-62 + 10% delle navi alimentate a LNG
- Scenario 5.2: Cold Ironing sul 10% delle navi Cruise e Ro-Ro/Pax agli accosti 59-62 e la flotta attuale + Intera flotta attuale con legislazione SECA (2025)
- Scenario 5.3: 10% delle navi alimentate a LNG + Intera flotta attuale con legislazione SECA (2025)
- Scenario 5.4: Cold Ironing sul 10% delle navi Cruise e Ro-Ro/Pax agli accosti 59-62 + 10% delle navi alimentate a LNG + Intera flotta attuale con legislazione SECA (2025)

Gli scenari selezionati inizialmente per Livorno per la fase di modellazione sono: Scenario 1.1; Scenario 2.1, 2.2, 2.3; Scenario 3.1, Scenario 5.1, 5.2.

Durante la prima fase di calcolo del primo scenario, relativo all'implementazione di banchine per il cold ironing nel porto di Livorno, già nella prima fase di calcolo degli inquinanti emessi tramite il modello BUH, è emerso come i risultati siano di scarso impatto rispetto allo scenario base. La differenza emersa è infatti inferiore all'1%, come si può notare dai risultati indicati nella tabella seguente:

	Combustibile	Scenario	NOX	PM	SO2	CO
			t	t	t	t
Hotelling	MDGO	base	2724.11	91.41	93.36	345.42
		cold ironing	2695.99	90.79	93.12	341.83
Maneuver	MDGO	base	19.18	1.30	8.16	3.48
		cold ironing	19.18	1.30	8.16	3.48
Tug	MDGO	base	49.17	4.35	2.30	8.49
		cold ironing	49.17	4.35	2.30	8.49
C_ter	MDGO	base	159.23	3.56	66.54	24.62
		cold ironing	158.41	3.55	66.46	24.49
C_ext	MDGO	base	0.00	0.00	0.00	0.00
		cold ironing	0.00	0.00	0.00	0.00
Hotelling	BFO	base	0.00	0.00	0.00	0.00
		cold ironing	0.00	0.00	0.00	0.00
Maneuver	BFO	base	155.61	23.69	126.54	21.65
		cold ironing	155.61	23.69	126.54	21.65
Tug	BFO	base	0.00	0.00	0.00	0.00
		cold ironing	0.00	0.00	0.00	0.00
C_ter	BFO	base	1474.25	111.24	924.63	162.65
		cold ironing	1466.64	110.87	923.48	161.81
C_ext	BFO	base	0.00	0.00	0.00	0.00
		cold ironing	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 24 : Bottom-Up-Harbour - Confronto Scenario base / Scenario Cold Ironing

Le differenze sono evidenti in rosso nella tabella precedente ed evidenziano che i principali riduzioni si ottengono nella fase di di sosta (hotelling) con combustibile MDGO (marine diesel gas oil), e nella fase di navigazione nelle acque territoriali (C_ter) con entrambi i combustibili calcolati. Questa riduzione, molto bassa per tutti gli inquinanti monitorati, ha posto la necessità di modificare le ipotesi di scenario ipotizzate e comportato l'aumento dei numeri all'interno delle ipotesi avanzate sul comparto navale.

Si è provveduto a mantenere gli obiettivi indicati, cold ironing, LNG, SECA, evitando di intrecciare gli scenari e andando a ipotizzare un ulteriore scenario innovativo, tramite l'utilizzo dell'idrogeno come combustibile navale, un'ipotesi che può diventare realtà nel 2030.

I nuovi scenari sono stati ovviamente valutati preliminarmente tramite il modello BUH per il calcolo della quantità di inquinanti.

4.1.2. Scenari calcolati

L'analisi degli scenari emissivi è un metodo per stimare con sistemi modellistici gli effetti attesi sulla qualità dell'aria a seguito dell'applicazione di misure di riduzione delle emissioni, in funzione del raggiungimento degli obiettivi previsti dalla normativa. Per la realizzazione delle analisi di scenario devo essere predisposti degli scenari emissivi futuri o tendenziali, a partire da uno scenario base, ipotizzato senza alcun intervento di riduzione, preso come riferimento, che tenga conto delle evoluzioni tecnologiche e comportamentali, nonché dell'applicazione di interventi riduttivi decisi a vari livelli (comunitario, nazionale, regionale).

Come già indicato nella sezione precedente gli scenari calcolati sono stati modificati al fine di avere degli scenari "reali" che possano mostrare risultati evidenti. In altri termini, ciò si traduce in un calcolo di scenari che abbiano una concretezza "emissiva", forzando leggermente la quantità di navi oggetto di modifica, al fine di valutare la componente navale all'interno di quelle valutazioni sulla qualità dell'aria nel Comune di Livorno.

Si pone la necessità di sottolineare un aspetto infrastrutturale ed economico relativo alla realizzazione di interventi fisici quale, ad esempio, il cold ironing: l'installazione di una soluzione quale quella indicata presenta indubbiamente elevati costi che vanno successivamente confrontati con l'obiettivo "ritorno ambientale".

Sono stati presi in considerazione i seguenti scenari:

1. Cold Ironing: Ipotesi di installazione di un'infrastruttura per l'alimentazione delle navi a banchina tramite elettricità (cold ironing). Individuata la tipologia di nave e gli accosti ipotetici: categorie Cruise e Ro-Ro/Pax in funzione degli accosti 59 e 62 (in modo da utilizzare la stessa cabina elettrica per due accosti). Totale di arrivi Cruise e Ro-Ro/Pax negli accosti 59 e 62: 1032. Ipotesi di calcolo: 10% di navi (103 accosti). Si agisce solo su stazionamento
2. LNG: Ipotesi di propulsione navale a GNL con ipotesi che il 30% di tutte le navi in arrivo a Livorno siano alimentate a GNL. Individuazione dei viaggi nave in funzione del numero totale degli arrivi della singola nave. Si agisce su crociera, manovra e stazionamento.
3. Idrogeno: Ipotesi di uno scenario in cui l'idrogeno è una possibile soluzione per la propulsione navale. Si ipotizza una diffusione del 50% su tutte le navi cruise e del 30% su tutti i traghetti (Ro-Ro/Pax). Ipotesi anche del 100% di tug elettrici. Si agisce su crociera, manovra e stazionamento
4. SECA: Ipotesi di implementazione nella navigazione mediterranea di obblighi sulle emissioni di zolfo (area SECA 0,1%). Si agisce su tutte le navi e su tutte le categorie, per ogni fase (crociera, manovra e stazionamento).

4.2. Calcolo

Il risultato *concettuale* del lavoro è stato svolto mediante una serie di *modelli* (vedi figura 3) aventi come *input*: condizioni al contorno, dati meteorologici, inventario delle emissioni, traffico stradale, traffico navale, sorgenti emissive puntiformi, sorgenti naturali in un punto del dominio (inteso come area di indagine) e come *output* la qualità dell'aria (definito per legge mediante certi valori limite degli inquinanti) in specifiche postazioni predefinite. Questo lavoro ha soprattutto una valenza *pianificatrice* dei modelli che vengono impiegati per valutare scenari ipotetici di sviluppo della navigazione al fine di valutare possibili soluzioni in linea con quelli che sono gli elementi di innovazione e di sviluppo in ambito portuale, sia dal punto di vista infrastrutturale nel porto che dal punto di vista energetico. In questo quadro, possiamo ritenere che l'*output* di questi modelli possa fornire supporto alla fase di pianificazione e programmazione di sviluppo ambientale da adottare in porto all'interno di un'ottica di sostenibilità ambientale.

Per la simulazione delle concentrazioni di inquinanti primari e secondari originate dalle sorgenti legati alle attività portuali, nonché di tutte le sorgenti presenti sul territorio circostante è stato utilizzato il modello euleriano fotochimico FARM.

FARM è un modello euleriano reattivo in grado di simulare trasporto e diffusione, trasformazioni chimiche in fase gassosa ed aerosol, nonché rimozioni per via secca ed umida degli inquinanti rilasciati dall'insieme di tutte le sorgenti presenti all'interno dei domini di calcolo considerati, di origine antropica o naturale. Tramite le "condizioni al contorno" per i diversi inquinanti ai bordi del dominio di calcolo consente inoltre di tenere conto dei contributi delle sorgenti più lontane ai livelli di fondo degli inquinanti secondari. Il modello, dunque, propriamente configurato ed alimentato, è in grado di stimare i livelli di qualità dell'aria da comparare con gli standard di legge.

FARM è il modello di riferimento nazionale utilizzato nell'ambito del progetto MINNI (www.minni.org), nelle attività istituzionali di diverse ARPA (Lombardia, Piemonte, Valle d'Aosta, Friuli-Venezia Giulia, Lazio, Molise, Puglia, Calabria), comprendenti valutazioni annuali della qualità dell'aria a scala regionale, sistemi per la previsione giornaliera e studi di scenario, nonché in valutazioni di impatto ambientale a varie scale.

FARM fa parte di ARIA Regional, per la simulazione multiscala della qualità dell'aria. Il sistema modellistico utilizzato nella configurazione utilizzata per questo studio è illustrato schematicamente nella figura seguente (figura 2) e include:

- moduli per il trattamento dei dati territoriali (orografia, uso del suolo, cartografia);
- un insieme di moduli per la predisposizione di un input emissivo complesso (Emission Manager) a partire dai dati di inventario;
- modelli per la messa a punto dell'input meteorologico alle simulazioni di qualità dell'aria (WRF e SURFpro);
- pre-processor per il trattamento delle condizioni al contorno chimiche;
- il modello FARM per la dispersione e le trasformazioni chimiche degli inquinanti.

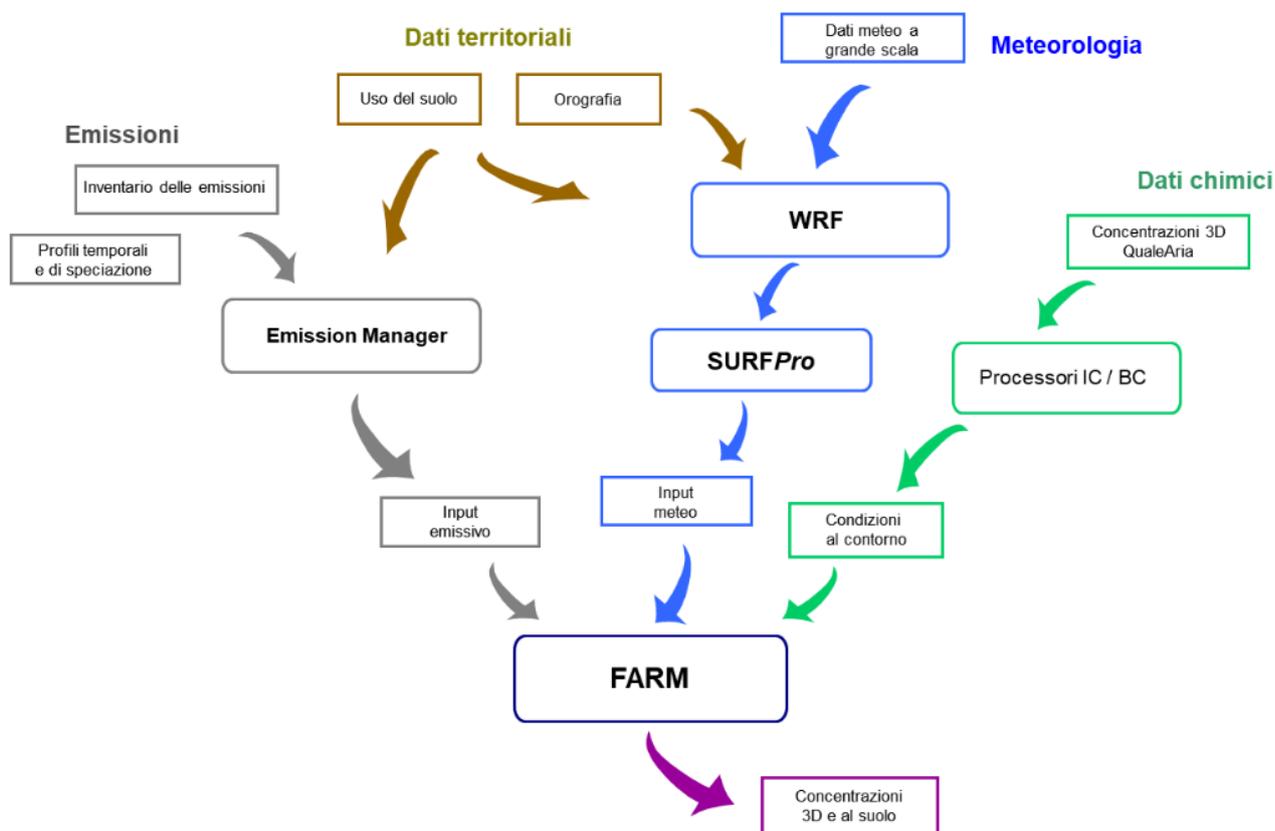


Figura 51 : Suite modellistica ARIA Regional/ FARM.

I risultati del calcolo del modello FARM sono relativi ai valori della qualità dell'aria in postazioni predefinite preliminarmente all'interno del modello stesso; durante la realizzazione dei file di sistema del modello sono state indicate le postazioni delle centraline della qualità dell'aria di ARPAT, in modo da rettificare il sistema e di poter realizzare confronti con i modelli e i dati rilevati.

A queste postazioni fisse (denominate Cappiello, La Pira, Carducci) è stata aggiunta una postazione “nuova”, denominata Porto in modo da poter valutare in ambito portuale, sulla fascia diretta di interazione Porto-Città. Inoltre, nelle coordinate inserite per la stazione Porto, è solitamente posizionato l'auto-laboratorio mobile di ARPAT che svolge campagne di monitoraggio all'interno di specifiche attività di rilievo della qualità dell'aria.

Nell'immagine che segue sono presenti in verde le postazioni reali delle centraline ARPAT per il monitoraggio della qualità dell'aria, mentre in rosso è presente la centralina create successivamente, Livorno Porto.

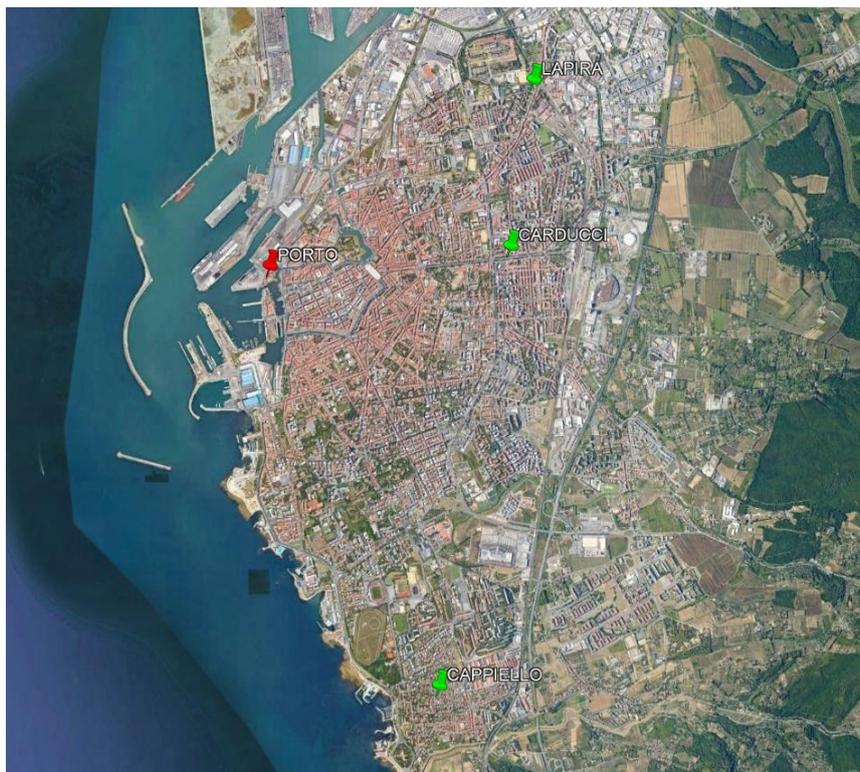


Figura 52 : Postazioni delle centraline ARPAT e centralina Livorno Porto

Il modello produce anche una serie di output grafici, ovvero le mappe di diffusione degli inquinanti da cui è possibile estrapolare l'andamento degli inquinanti in forma di gradienti di concentrazione, che danno modo di rappresentare tramite isolinee l'area di calcolo.

4.2.1. Scenario Base

Il quadro emissivo di partenza, lo scenario base, rappresenta la condizione iniziale del nostro sistema (=modello). Questo, come anche tutti gli altri scenari, sono stati calcolati attraverso il sistema di simulazione Euleriano fotochimico (FARM) e da esso è stata analizzata la dispersione degli inquinanti, di principale interesse, in atmosfera nella sorgente dell'area di valutazione (Livorno-Porto). L'input, la parte di partenza e più importante dell'intero procedimento, comprende l'intro traffico navale del 2021 con i tempi e le percorrenze effettive delle navi in transito nel Porto di Livorno. I dati in uscita da questo modello riportano: i valori delle concentrazioni dei principali inquinanti rispetto alle postazioni predefinite (LI-Porto); le mappe delle concentrazioni di inquinanti giornaliere e annuali. Dopo la trattazione dei vari scenari verranno messe confronto le differenze per trarre conclusioni qualitative e quantitative sulla migliore applicazione da poter sviluppare.

La prima parte del calcolo dello scenario è stato il calcolo degli inquinanti emessi dal comparto navale tramite il modello Bottom-Up-Harbour (BUH), i cui risultati sono indicati di seguito.

	Combustibile	NO _x	PM	SO ₂	CO
		t	t	t	t
Emiss_HOT	MDGO	2724.11	91.41	93.36	345.42
Emiss_MAN	MDGO	19.18	1.30	8.16	3.48
Emiss_tug	MDGO	49.17	4.35	2.30	8.49
Emiss_Cter	MDGO	159.23	3.56	66.54	24.62
Emiss_Cext	MDGO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_HOT	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_MAN	BFO	155.61	23.69	126.54	21.65
Emiss_tug	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_Cter	BFO	1474.25	111.24	924.63	162.65
Emiss_Cext	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
	totale	4581.56	235.55	1221.53	566.32

Tabella 25 : Bottom-Up-Harbour - Scenario Base

- Emiss_HOT - MDGO: stima emissioni della fase di stazionamento per il combustibile MDO-MGO
- Emiss_MAN - MDGO: stima emissioni della fase di manovra per il combustibile MDO-MGO
- Emiss_tug - MDGO: stima delle emissioni dei rimorchiatori
- Emiss_Cter - MDGO: stima emissioni della fase di navigazione in acque territoriali per MDO-MGO
- Emiss_Cext – MDGO: stima emissioni della fase di navigazione in acque extraterritoriali per MDO-MGO
- Emiss_HOT – BFO: stima emissioni della fase di stazionamento per il combustibile BFO
- Emiss_MAN - BFO: stima emissioni della fase di manovra per il combustibile BFO
- Emiss_tug - BFO: stima delle emissioni dei rimorchiatori per il combustibile BFO (di default nulle)
- Emiss_Cter - BFO: stima emissioni della fase di navigazione in acque territoriali per il comb. BFO
- Emiss_Cext – BFO: stima emissioni della fase di navigazione in acque extraterritoriale per il comb. BFO

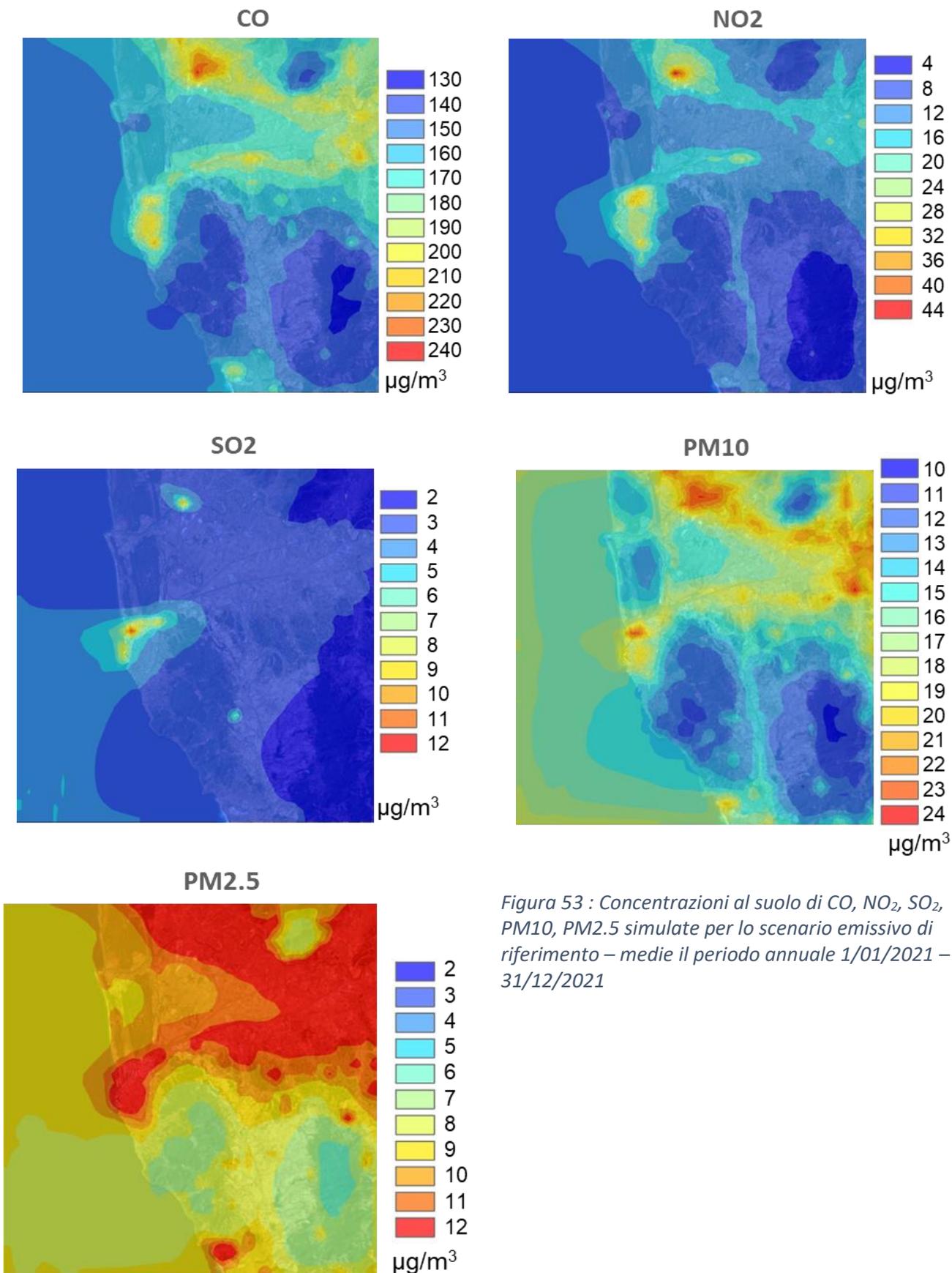


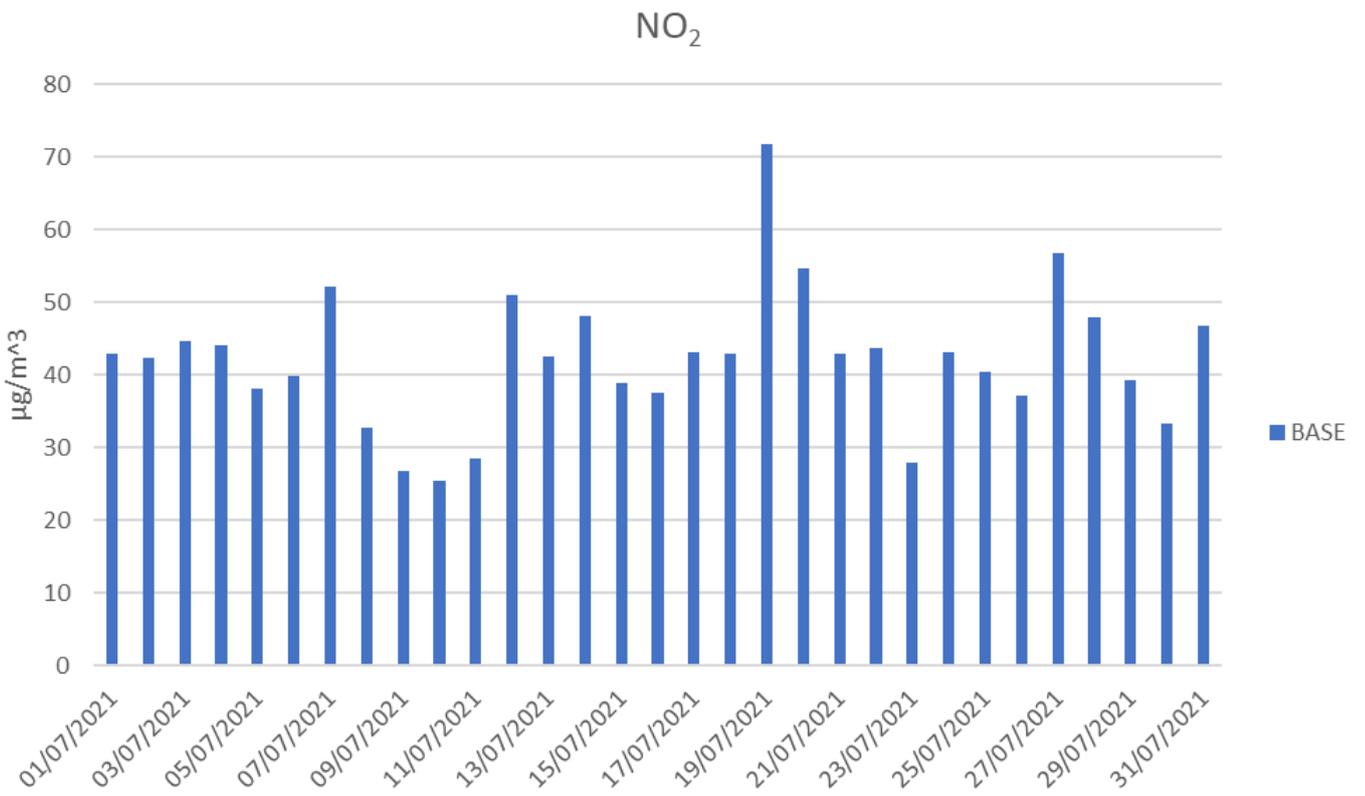
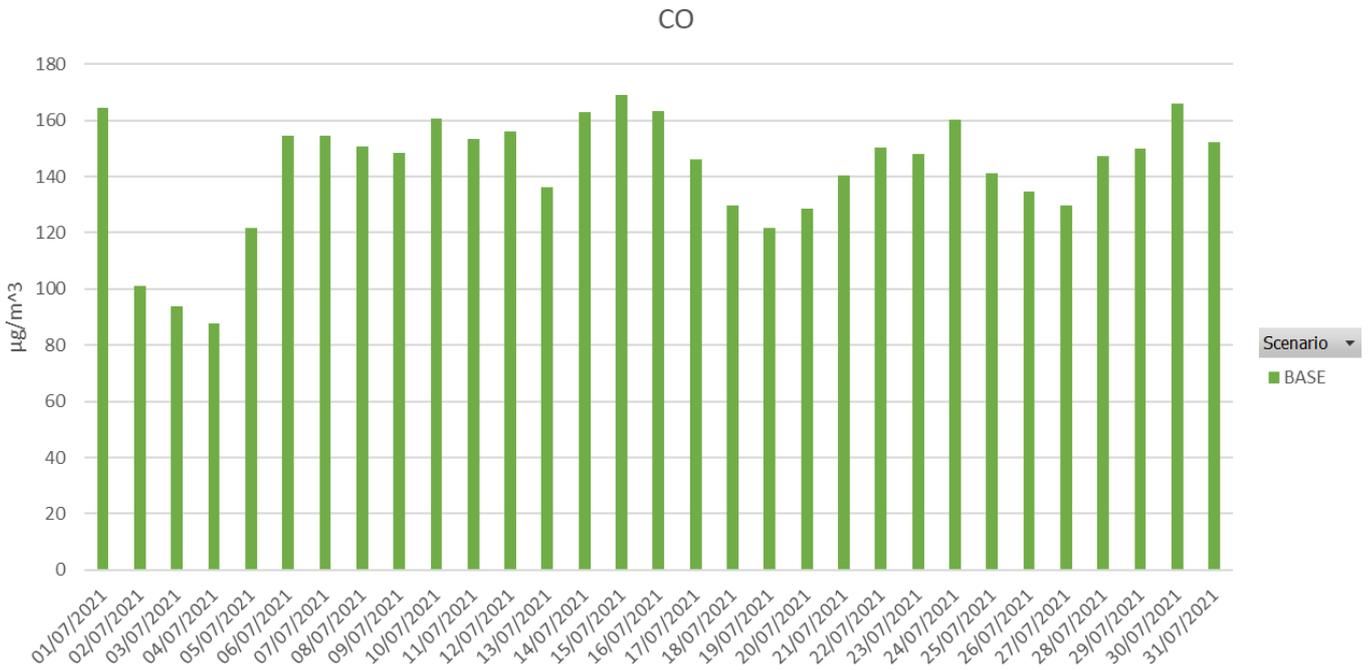
Figura 53 : Concentrazioni al suolo di CO, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5} simulate per lo scenario emissivo di riferimento – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021

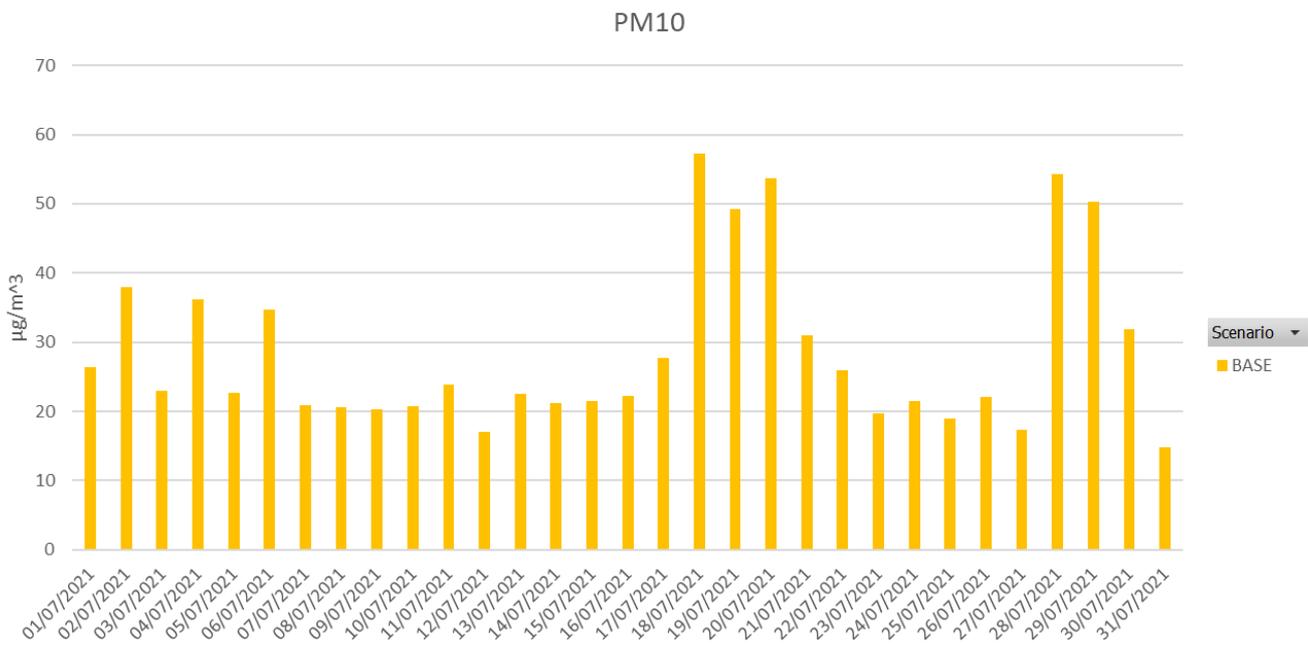
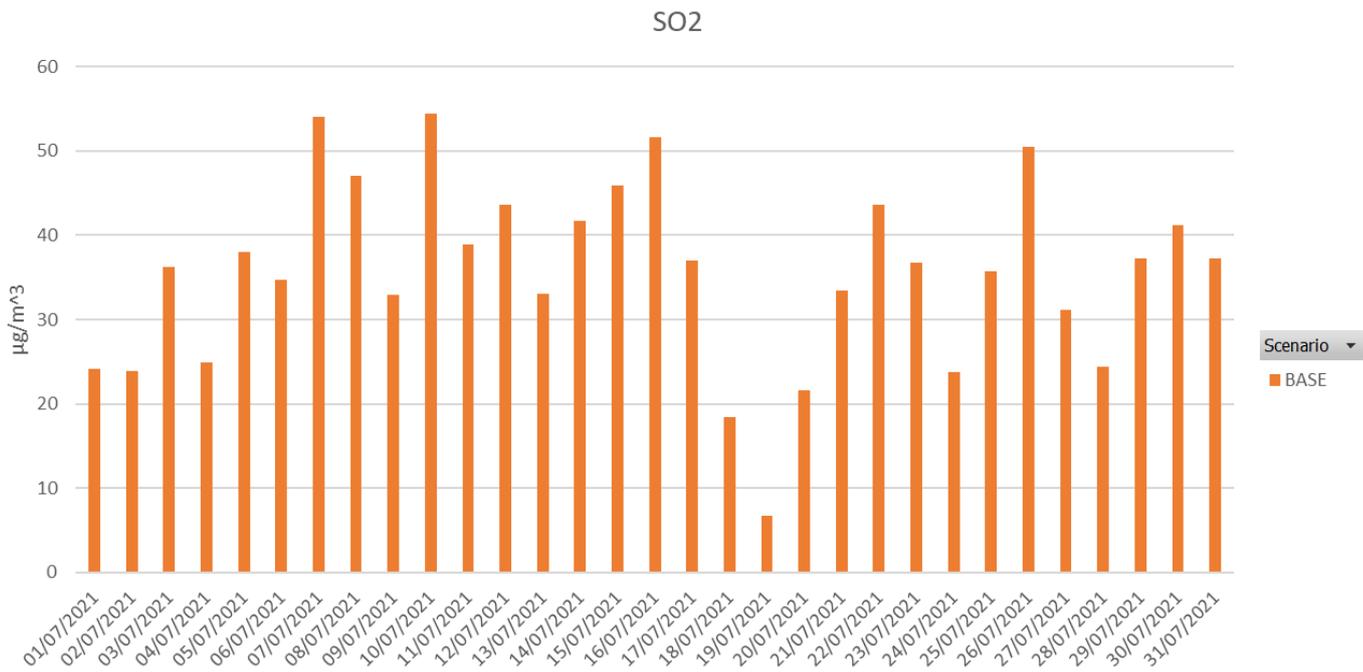
Nelle Figure sopraindicate sono mostrate le mappe di isolivelli delle concentrazioni al suolo, dei principali inquinanti di interesse, risultanti sul dominio in corrispondenza dello scenario emissivo di riferimento. Gli isolivelli di concentrazione sono valutati opportunamente in un intervallo temporale ben sancito, ovvero, in questo caso è definito in base alla media annuale. Per valutare l'impatto in aria delle emissioni si è scelto di considerare la concentrazione media annuale per gli inquinanti CO, NO₂, SO₂, PM10, PM2.5. I grafici riferenti ai cinque indicatori, indicano i valori delle concentrazioni al suolo in µg/m³ all'interno di una griglia del dominio; quindi, ad ogni cella viene assegnato il valore della media annuale. Nello specifico, per la rappresentazione delle mappe sono state realizzate delle interpolazioni bilineari tra le varie celle per mappe di più chiara lettura.

Dall'osservazione delle mappe possiamo trarre alcune considerazioni:

1. Influenza combinata della conformazione del territorio (presenza di rilievi e del mare) e della distribuzione delle sorgenti emissive.
2. La distribuzione spaziale dell'NO₂ riflette la distribuzione delle sorgenti con gradienti spaziali importanti. Ciò accade anche per la componente primaria del particolato, mentre a maggior distanza dalle sorgenti aumenta la componente secondaria, con gradienti spaziali più contenuti rispetto NO₂.
3. Nei campi di concentrazione di questi inquinanti sono chiaramente evidenti le principali aree urbane (influenza del traffico urbano e del riscaldamento degli edifici, specie per il particolato) e dei principali assi viari (specie nel caso del biossido di azoto), così come nel tratto di mare antistante Livorno è visibile l'influenza delle emissioni dell'area urbana e del traffico navale.
4. La distribuzione delle concentrazioni medie di SO₂ sul territorio risulta essere strettamente legata alla presenza di sorgenti industriali e quella portuale, che, sulla carta, è quella che fornisce un contributo maggiore.

Successivamente sono stati valutati i valori degli inquinanti per il monitoraggio della qualità dell'aria nella postazione definita in precedenza di Livorno Porto.





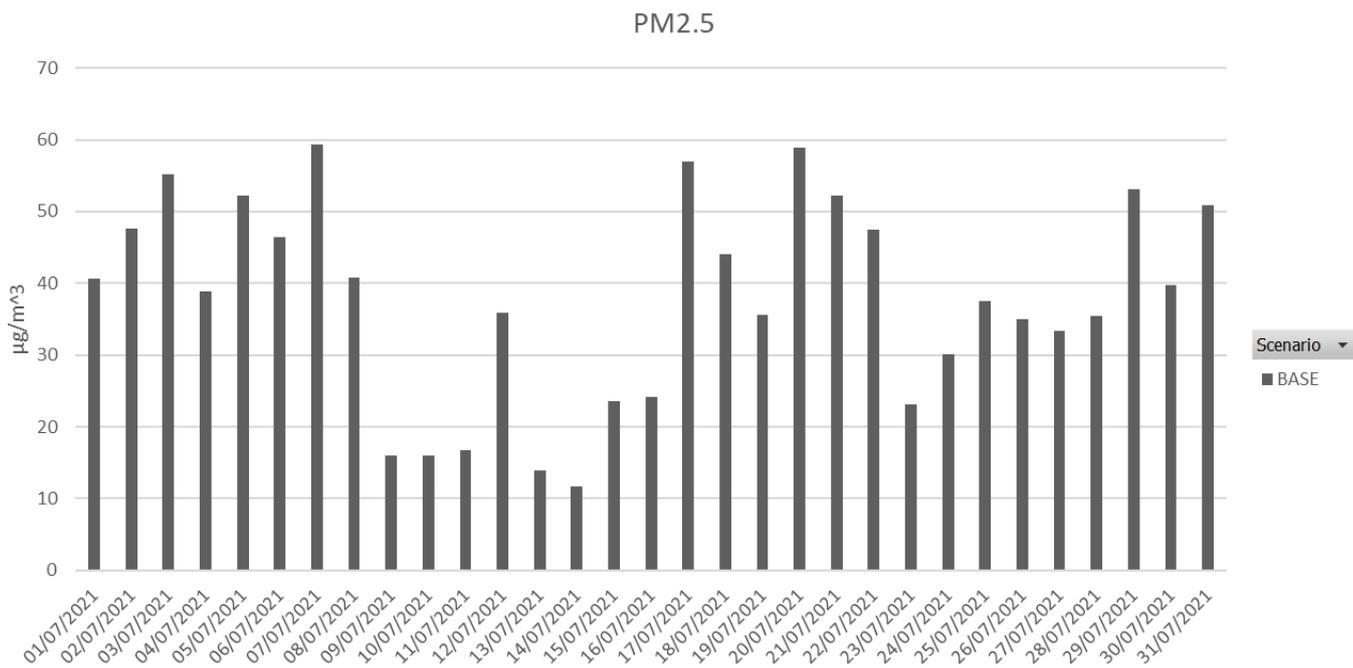


Figura 54 : Grafici delle medie giornaliere di CO, NO₂, SO₂, PM2.5, PM10 per il periodo 01.01.2021 - 31.12.2021

4.2.2. Scenario 1- Cold Ironing

Questo scenario valuta l'ipotesi di installazione di un'infrastruttura da realizzare a banchina destinata ad alimentare le navi tramite elettricità (cold ironing) durante la sosta. In primo luogo, si è ragionato in termini dei seguenti dati:

1. Tipologia di nave e degli accosti ipotetici: categorie Cruise e Ro-Ro/Pax in funzione degli accosti 59 e 62 (stessa cabina per due accosti).
2. Totale di arrivi Cruise e Ro-Ro/Pax negli accosti 59 e 62: 1032.

L'Ipotesi riguardante lo svolgimento del calcolo è basata su circa il 10% delle navi in arrivo, che, su 1030 arrivi delle categorie cruise e ro-ro/pax agli accosti indicati, comporta un'azione di riduzione su circa 103 accosti.

La prima fase ha visto il calcolo delle emissioni tramite il modello Bottom-Up-Harbour:

	Combustibile	NO _x	PM	SO ₂	CO
		t	t	t	t
Emiss_HOT	MDGO	2695.99	90.79	93.12	341.83
Emiss_MAN	MDGO	19.18	1.30	8.16	3.48
Emiss_tug	MDGO	49.17	4.35	2.30	8.49
Emiss_Cter	MDGO	158.41	3.55	66.46	24.49
Emiss_Cext	MDGO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_HOT	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_MAN	BFO	155.61	23.69	126.54	21.65
Emiss_tug	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_Cter	BFO	1466.64	110.87	923.48	161.81
Emiss_Cext	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
	totale	4545.01	234.54	1220.06	561.75
		-0.80%	-0.43%	-0.12%	-0.81%

Tabella 26 : Bottom-Up-Harbour - Scenario Cold Ironing

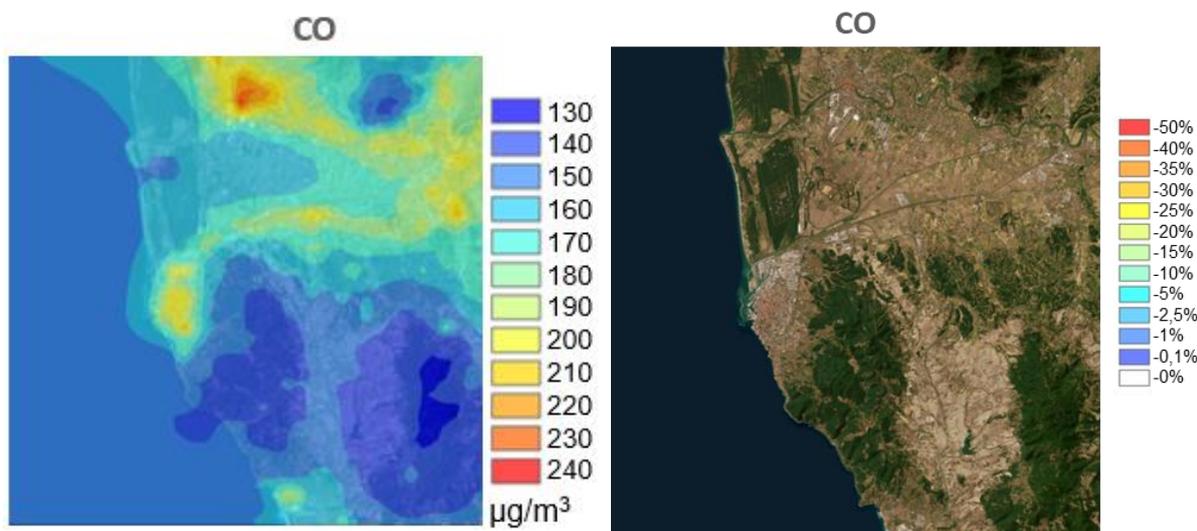
Dalla tabella precedente non si notano grandi riduzioni degli inquinanti emessi sia per tutti gli inquinanti che per tutte le varie fasi emissive che per i due combustibili, come si nota dalla percentuale di riduzione presente nell'ultima riga.

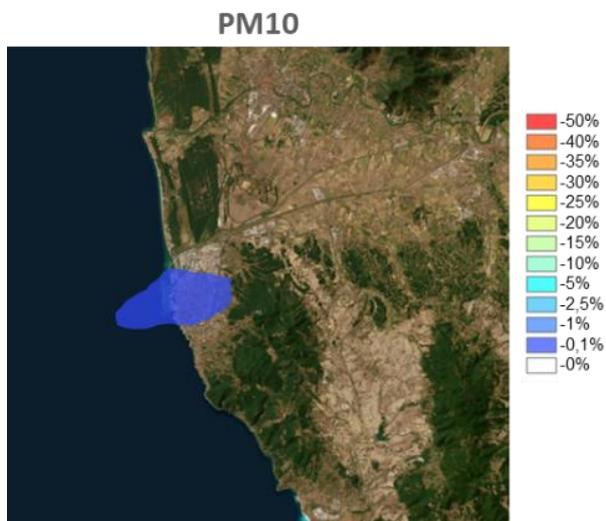
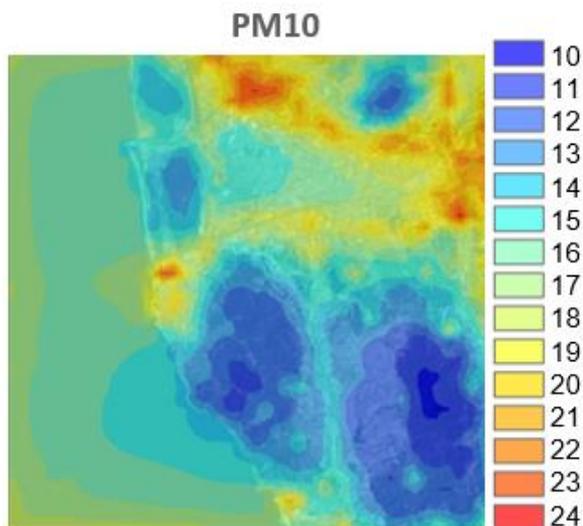
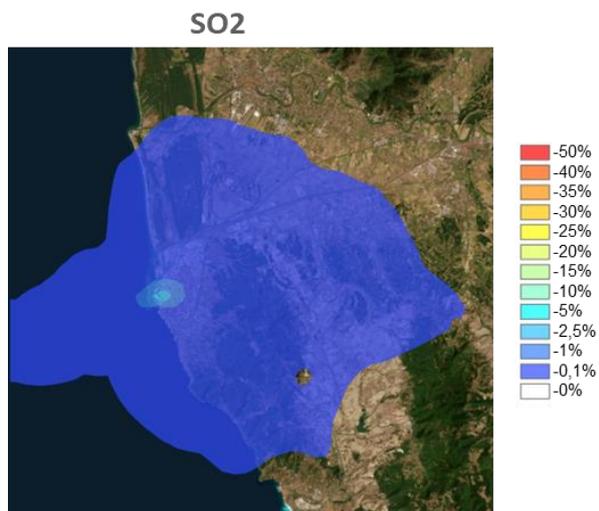
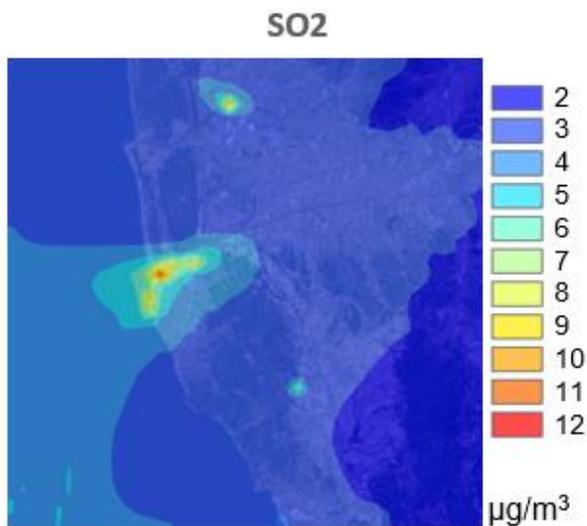
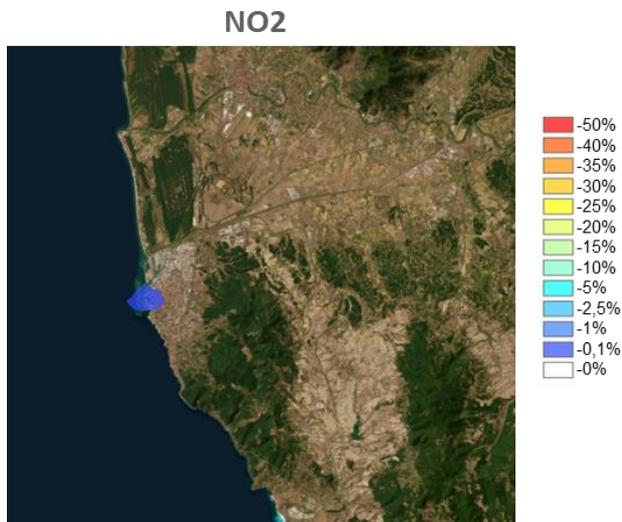
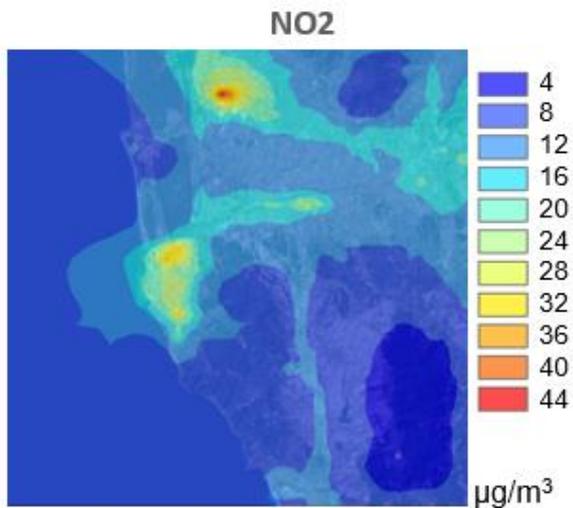
I risultati delle simulazioni sono matrici numeriche da cui sono state estratte le mappe di concentrazione al suolo su base annuale. Secondo la metodologia di lavoro seguita, per ogni inquinante considerato e per ogni simulazione effettuata - di ipotetici scenari - si troverà una configurazione basata sul confronto "scenario base – scenario ipotizzato". Data la considerevole mole di mappe ottenute, al fine di semplificarne l'interpretazione ed ottenere informazioni, per gli inquinanti in esame, quali CO, NO₂, SO₂, PM₁₀, e PM_{2.5}, è stato preso in considerazione la sola rappresentazione grafica della media annuale. Il sistema a disposizione però permetterebbe, in caso di indagini più approfondite, la realizzazione di mappe che tengano di conto dei seguenti aspetti:

1. concentrazioni medie al suolo di CO, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5} ottenute considerando tutte le sorgenti (TS) o il contributo separato del cold ironing (CI);
2. massimo sull'anno delle concentrazioni medie su 24 ore di CO, per TS e CI;
3. deposizioni totali al suolo di PM₁₀ annue, per TS e CI;
4. medie delle concentrazioni mensili per il PM₁₀ per TS e CI.

Le informazioni delle mappe prodotte sono da considerarsi in termini meramente qualitativi e di distribuzione spaziale, in quanto come già più volte ribadito non sono state considerate tutte le possibili sorgenti emmissive, quali il traffico, il riscaldamento domestico e gli altri impianti produttivi presenti nell'area, dal momento che i dati relativi non erano disponibili.

Di seguito sono rappresentati i grafici relativi ai 5 inquinanti monitorati in prevalenza (CO, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) sia per quanto riguarda la media annuale del dominio (sulla sinistra) che la differenza percentuale tra la media annuale dello scenario calcolato e la media annuale dello scenario base (sulla destra), utilizzato come scenario di confronto.





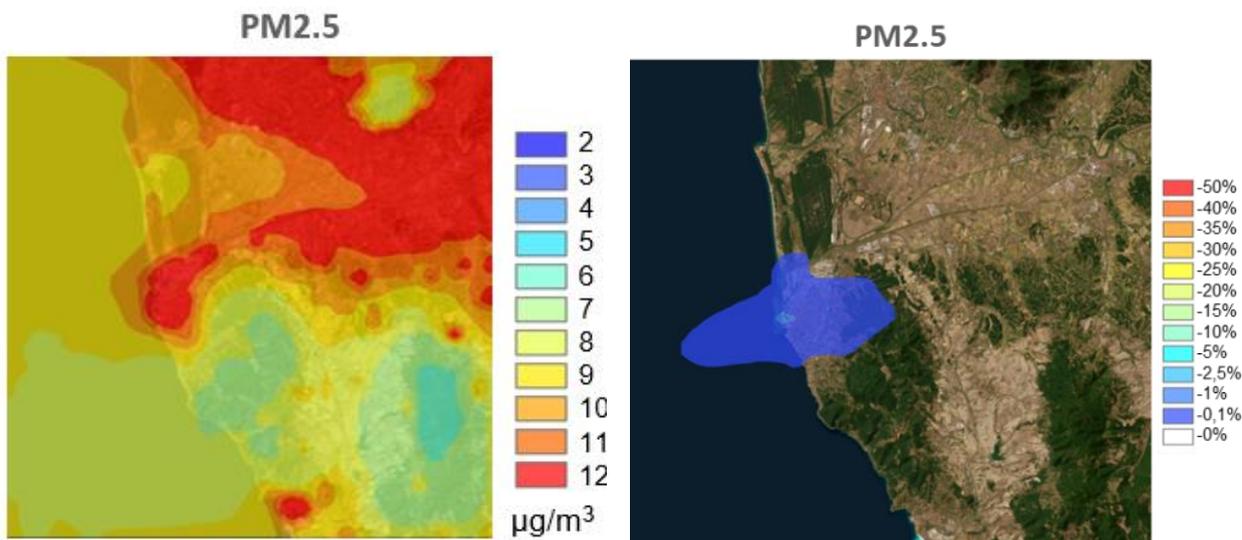


Figura 55 : Sinistra: Concentrazioni al suolo di CO , NO_2 , SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ simulate per lo scenario Cold Ironing – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021 - Destra: Percentuale di riduzione tra lo scenario calcolato e lo scenario base su media annuale

Dall'analisi delle mappe si deduce che le due simulazioni producono output differenti nella distribuzione spaziale:

- nello scenario base si ha una distribuzione lungo l'asse della zona industriale da Ovest verso Est,
- nello scenario “cold-ironing” non si individuano assi prevalenti, ma una distribuzione più uniforme e centrata rispetto alle sorgenti emmissive. Le mappe delle medie annuali di concentrazione evidenziano che i massimi di concentrazione ricadono all'interno o nelle immediate vicinanze del perimetro industriale.

Di seguito vengo riportati i grafici confrontante l'andamento degli inquinanti - tra lo scenario e quello del cold ironing - per il mese di luglio.

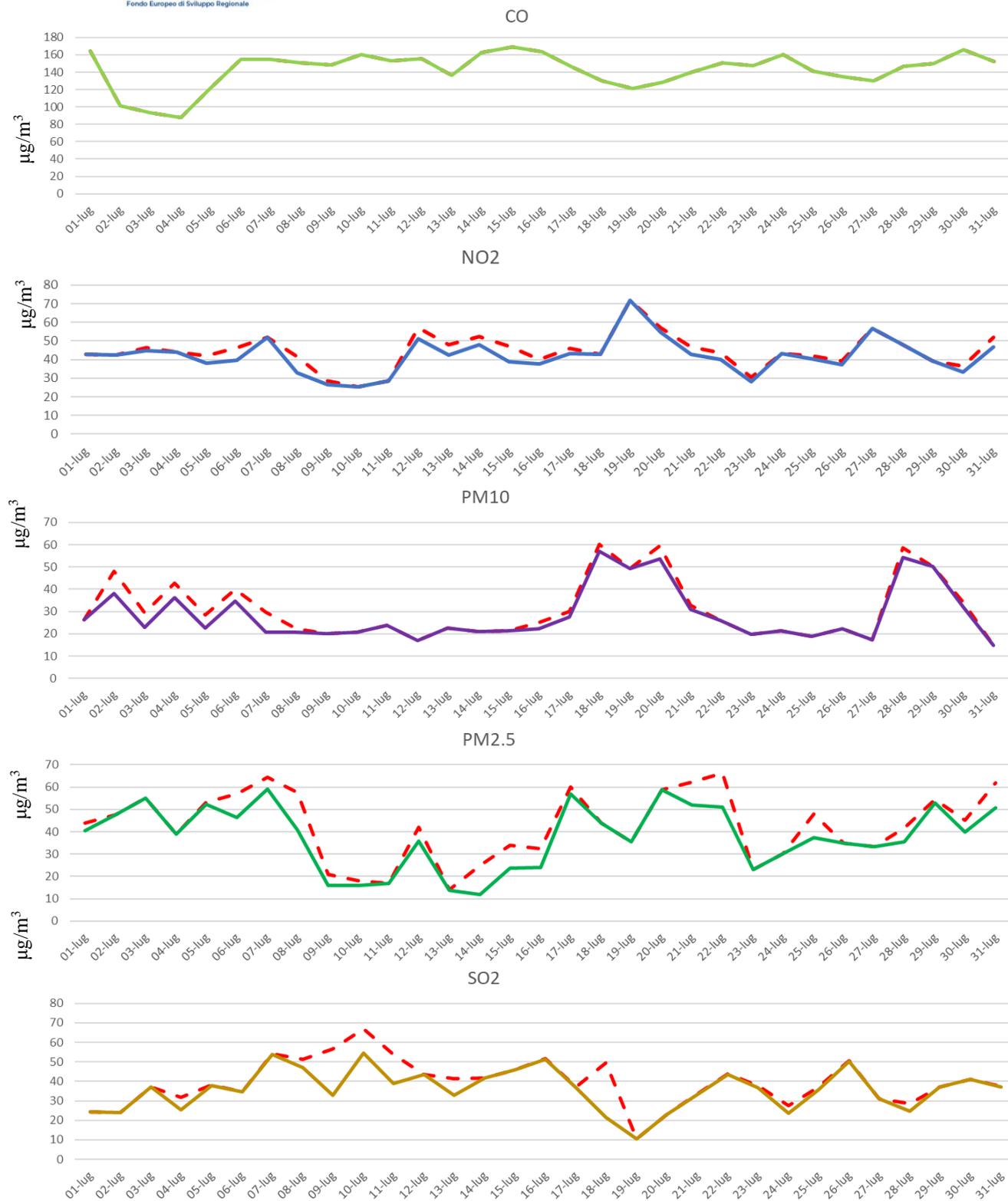


Figura 56 : Grafici delle medie giornaliere di CO,NO₂, SO₂, PM2.5, PM10 per il periodo 01.07.2021 31.07.2021 per lo scenario Cold Ironing

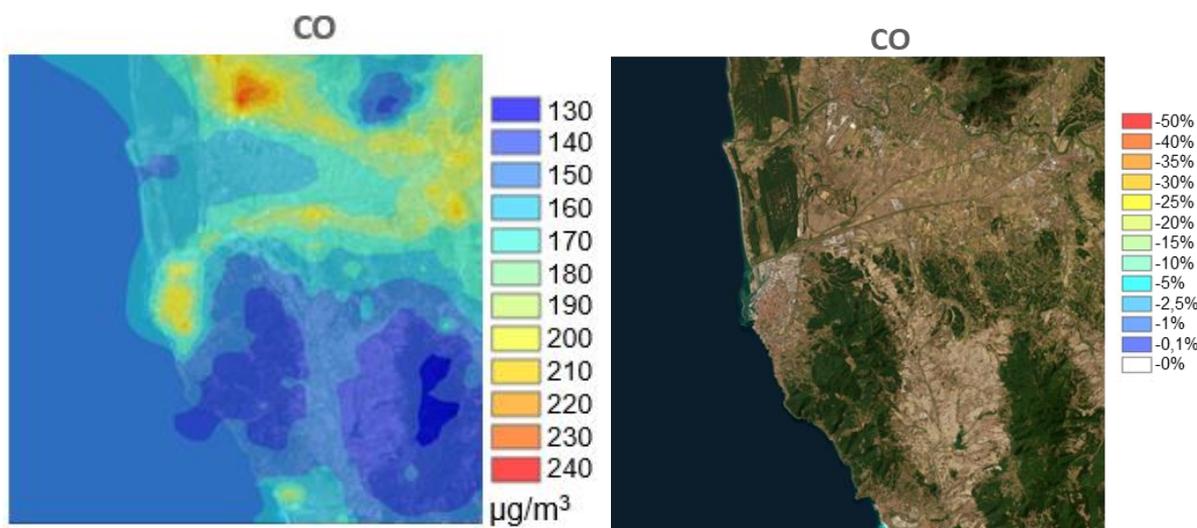
4.2.3. Scenario 2- GNL

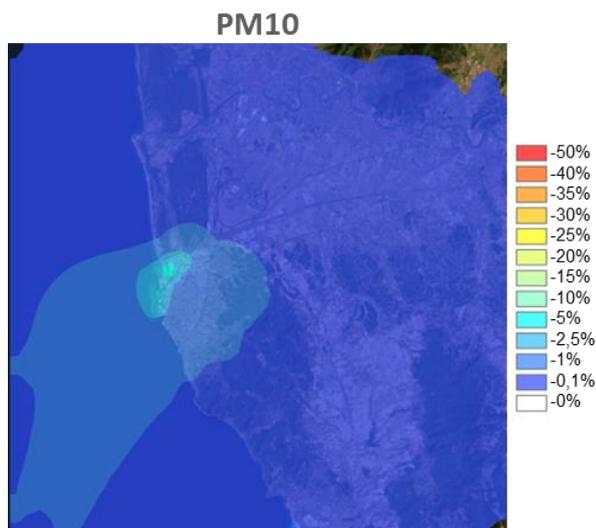
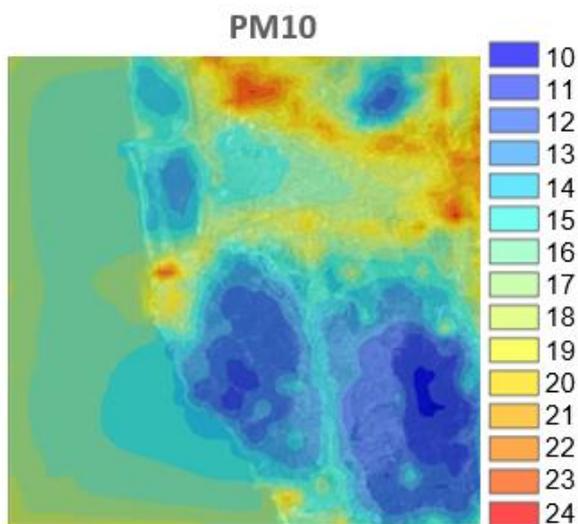
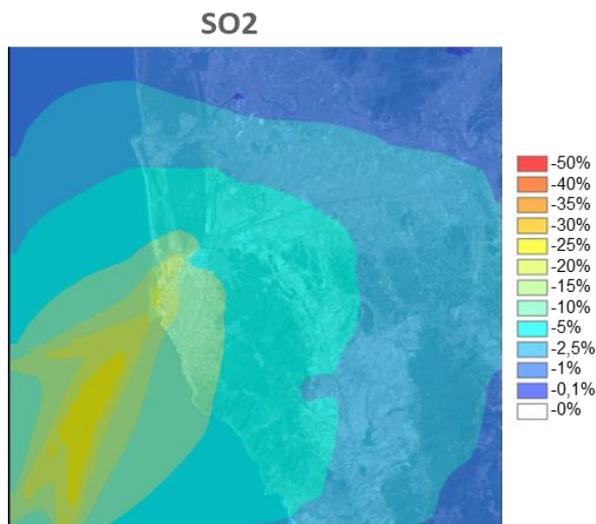
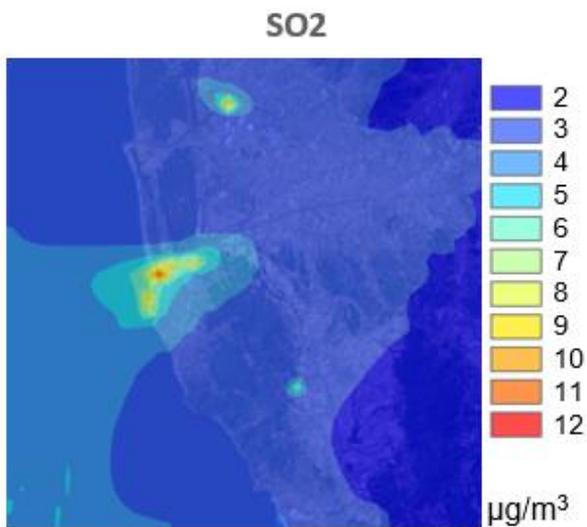
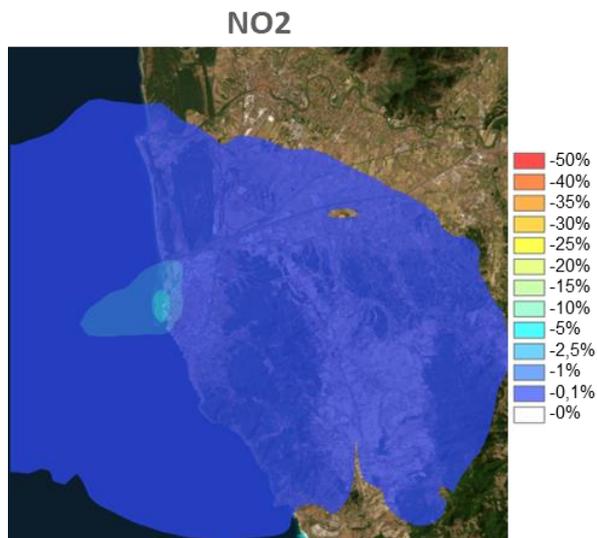
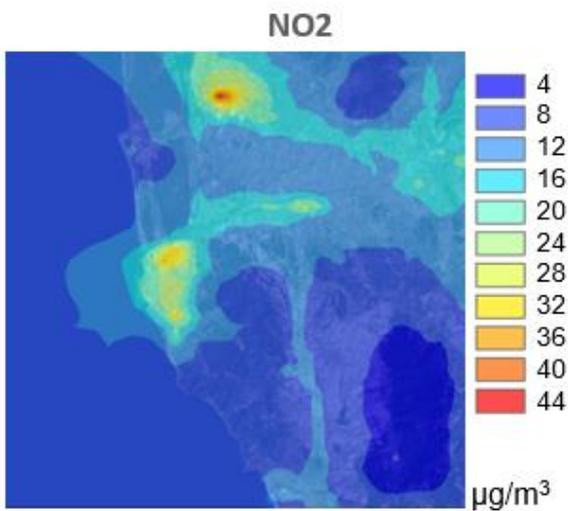
In questo scenario è stata valutata l'ipotesi di propulsione navale a GNL. In tale ipotesi è stato considerato che il 30% di tutte le navi in arrivo a Livorno siano alimentate a GNL. Per l'individuazione dei viaggi il percorso considerato è stato: valutazione della nave in funzione del numero totale degli arrivi della singola nave. La riduzione delle emissioni tramite il combustibile GNL incide su tutte le fasi della nave ovvero: crociera, manovra e stazionamento.

Il calcolo BUH preliminare ha dato i seguenti risultati, confrontati come sempre con i risultati del calcolo dello scenario base

	Combustibile	NO _x	PM	SO ₂	CO
		t	t	t	t
Emiss_HOT	MDGO	2054.87	60.58	64.59	341.83
Emiss_MAN	MDGO	17.46	1.19	7.55	3.48
Emiss_tug	MDGO	42.85	3.68	1.91	8.49
Emiss_Cter	MDGO	151.08	3.32	61.77	24.49
Emiss_Cext	MDGO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_HOT	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_MAN	BFO	138.26	20.94	106.73	21.65
Emiss_tug	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_Cter	BFO	1317.32	95.74	790.27	161.81
Emiss_Cext	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
	totale	3721.83	185.47	1032.82	561.75
		-18.76%	-21.26%	-15.45%	-0.81%

Tabella 27 : Bottom-Up-Harbour - Scenario GNL





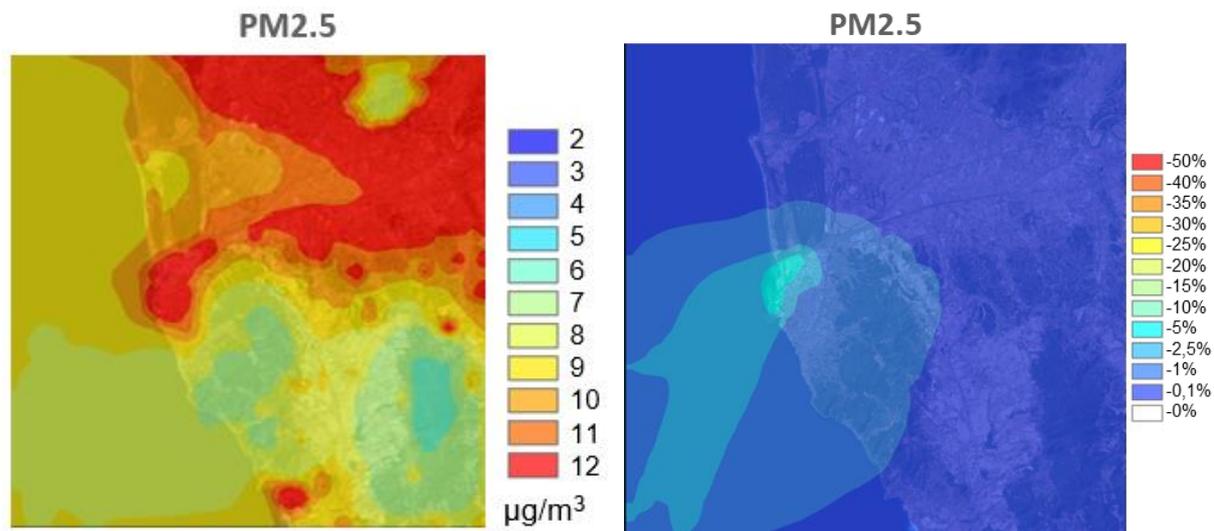
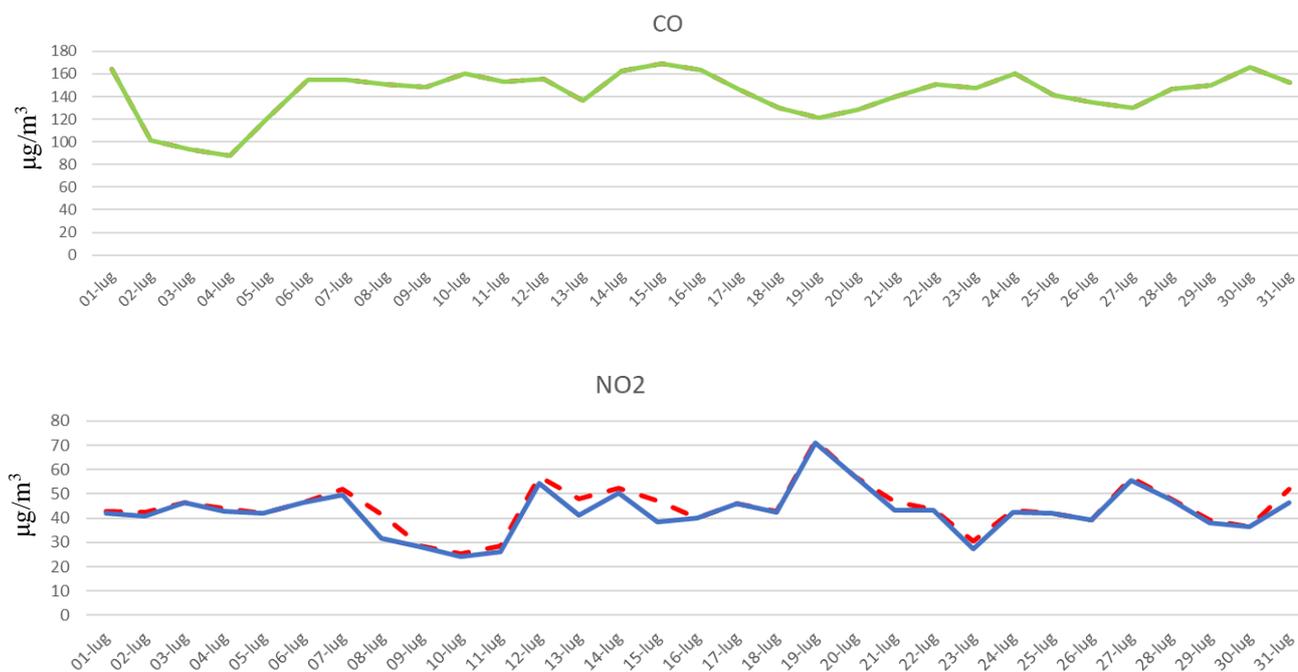


Figura 57 : 15 Sinistra: Concentrazioni al suolo di CO, NO₂, SO₂, PM10, PM2.5 simulate per lo scenario GNL – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021 - Destra: Percentuale di riduzione tra lo scenario calcolato e lo scenario base su media annuale

Di seguito vengo riportati i grafici confrontante l'andamento degli inquinanti - tra lo scenario base e quello GNL - per il mese di luglio.



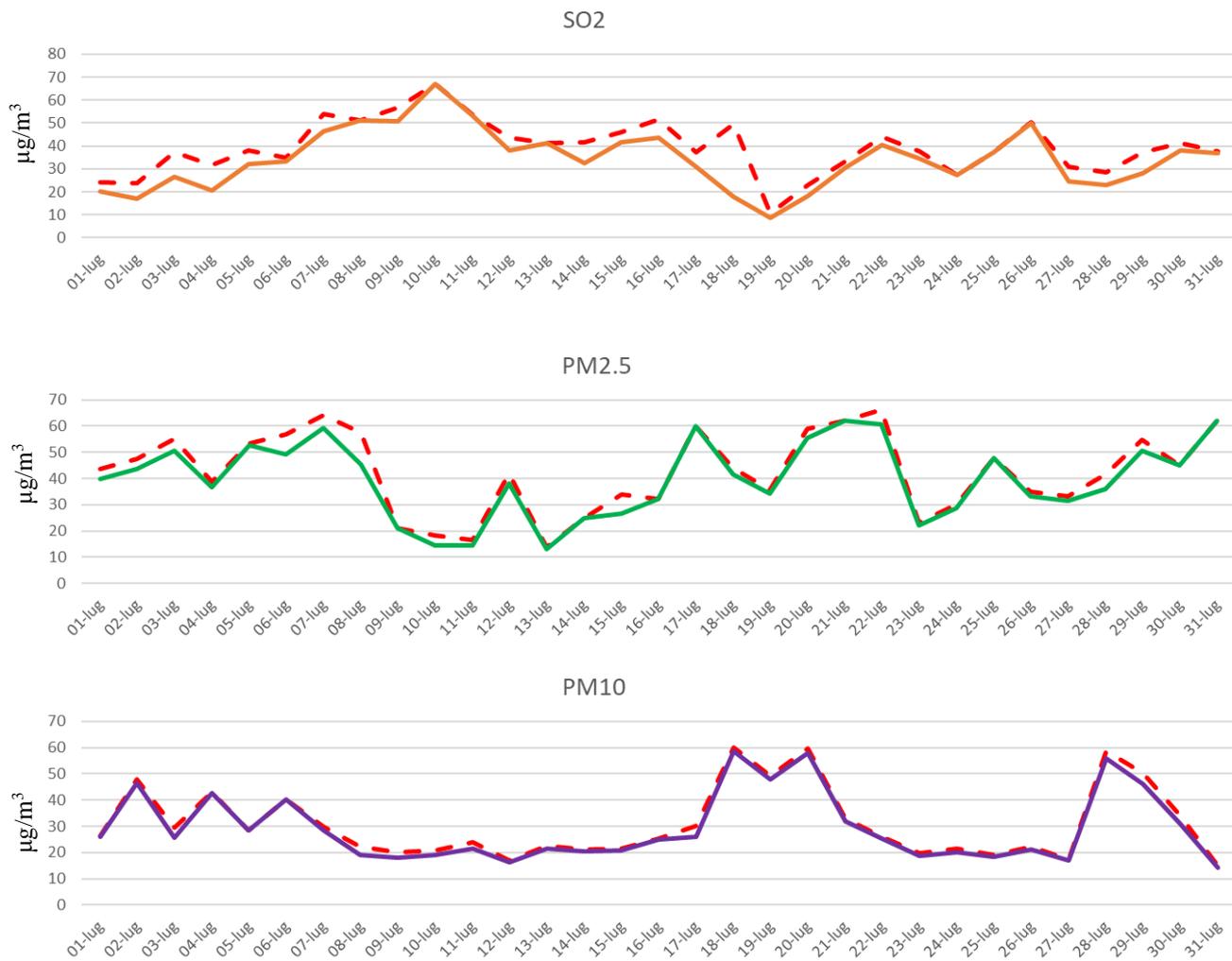


Figura 58 : Grafici delle medie giornaliere di CO , NO_2 , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} per il periodo 01.07.2021 31.07.2021 per lo scenario GNL

4.2.4. Scenario 3- Idrogeno

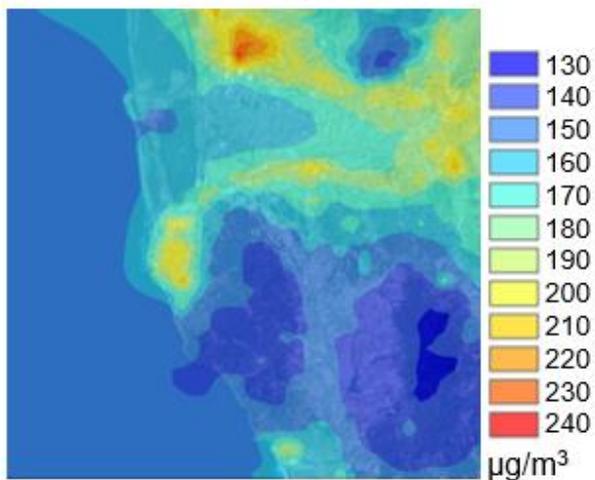
In questo ipotetico scenario è stata valutata la tecnologia ad idrogeno come una possibile soluzione per la propulsione navale o per l'alimentazione a banchina delle navi in sosta. Infatti, il presente scenario insiste su tutte le fasi operative della nave, stazionamento, manovra e crociera. Per questo scenario si è cercato di valutare come possibile rispetto al mercato e agli interessi degli armatori navali una diffusione delle navi ad idrogeno per il 50% sulle navi cruise (di maggiore rilevanza verso l'utilizzatore finale) e per il 30% sui traghetti Ro-Ro/Pax (anche qui rilevante verso il cittadino e interessante dal punto di vista dei numeri che relativi all'intero comparto navale). In aggiunta a questo, è stato possibile ipotizzare che ci sia una rapida diffusione delle soluzioni per la propulsione elettrica delle piccole imbarcazioni, come ad esempio i tug portuali: questi natanti compiono molti viaggi/anno e, seppur per pochi chilometri, il loro utilizzo sulla media portuale, è da considerarsi importante. Per queste imbarcazioni si è ipotizzato il 100% di diffusione, ritenendo possibile l'elettrificazione completa di questi mezzi e di questo servizio portuale. Ovviamente, l'ipotesi iniziale di elettrificazione dei tug e di alimentazione ad idrogeno, parte dal presupposto che la produzione di entrambi i vettori energetici passi da percorsi sostenibili tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili ad impatto nullo sull'ambiente.

Preliminarmente, come per le altre ipotesi, è stato eseguito un calcolo tramite Bottom Up Harbour, andando ad azzerare le emissioni del 50% delle navi Cruise in arrivo a Livorno, il 30% dei traghetti e il 100% dei tug.

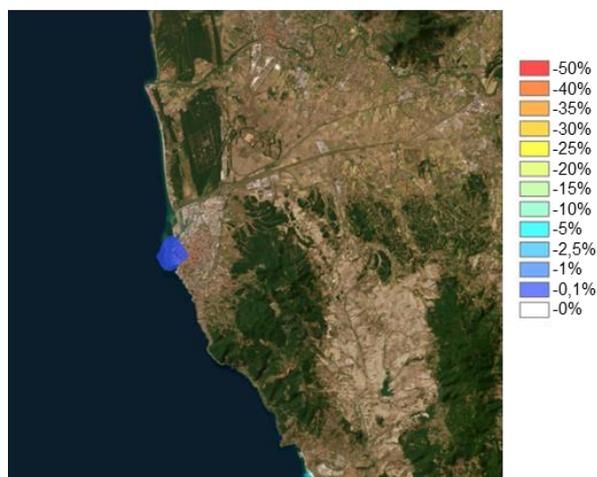
	Combustibile	NO _x	PM	SO ₂	CO
		t	t	t	t
Emiss_HOT	MDGO	2591.01	87.35	88.64	345.42
Emiss_MAN	MDGO	16.11	1.07	7.39	2.91
Emiss_tug	MDGO	45.99	4.07	2.15	7.95
Emiss_Cter	MDGO	132.13	2.99	53.94	22.29
Emiss_Cext	MDGO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_HOT	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_MAN	BFO	145.18	21.92	120.01	20.04
Emiss_tug	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_Cter	BFO	1271.73	98.50	822.80	150.09
Emiss_Cext	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
	totale	4202.15	215.90	1094.93	548.70
		-8.28%	-8.34%	-10.36%	-3.11%

Tabella 28 : Bottom-Up-Harbour - Scenario Idrogeno

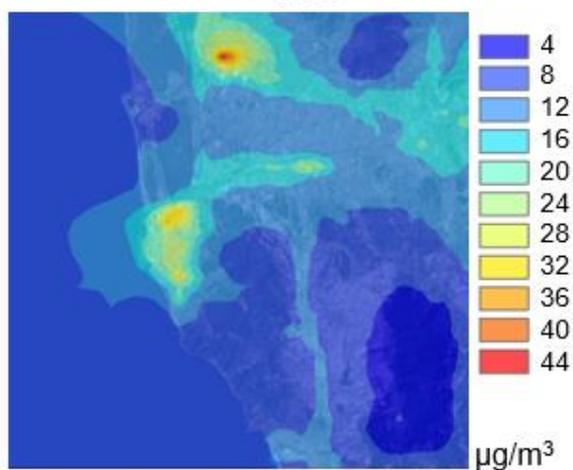
CO



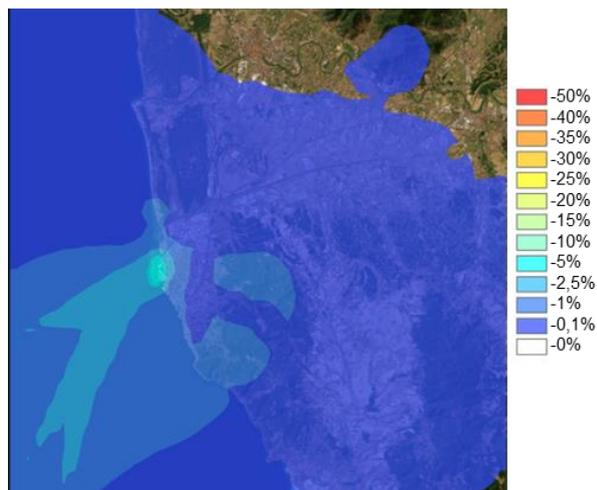
CO



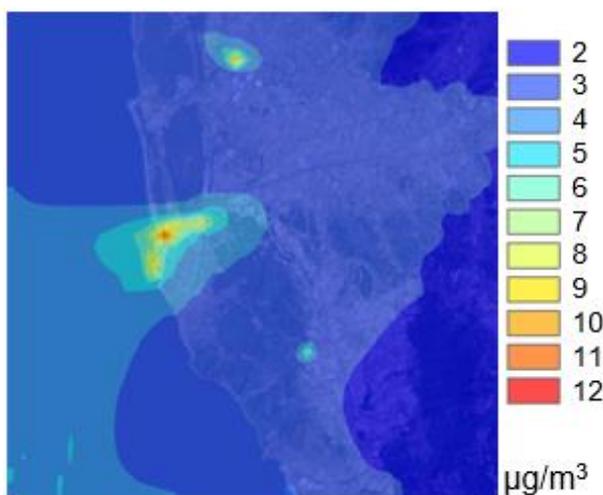
NO2



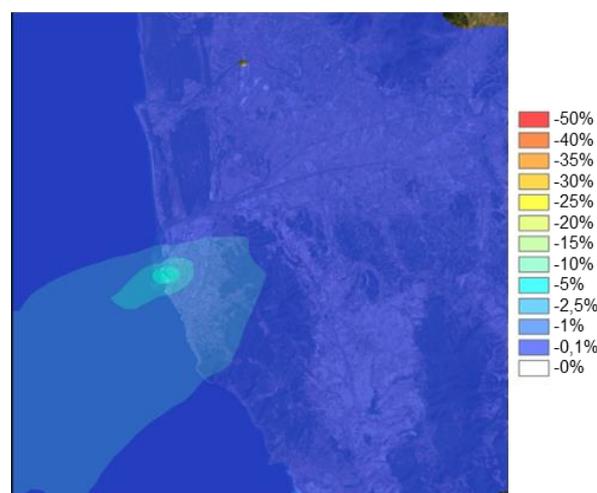
NO2



SO2



SO2



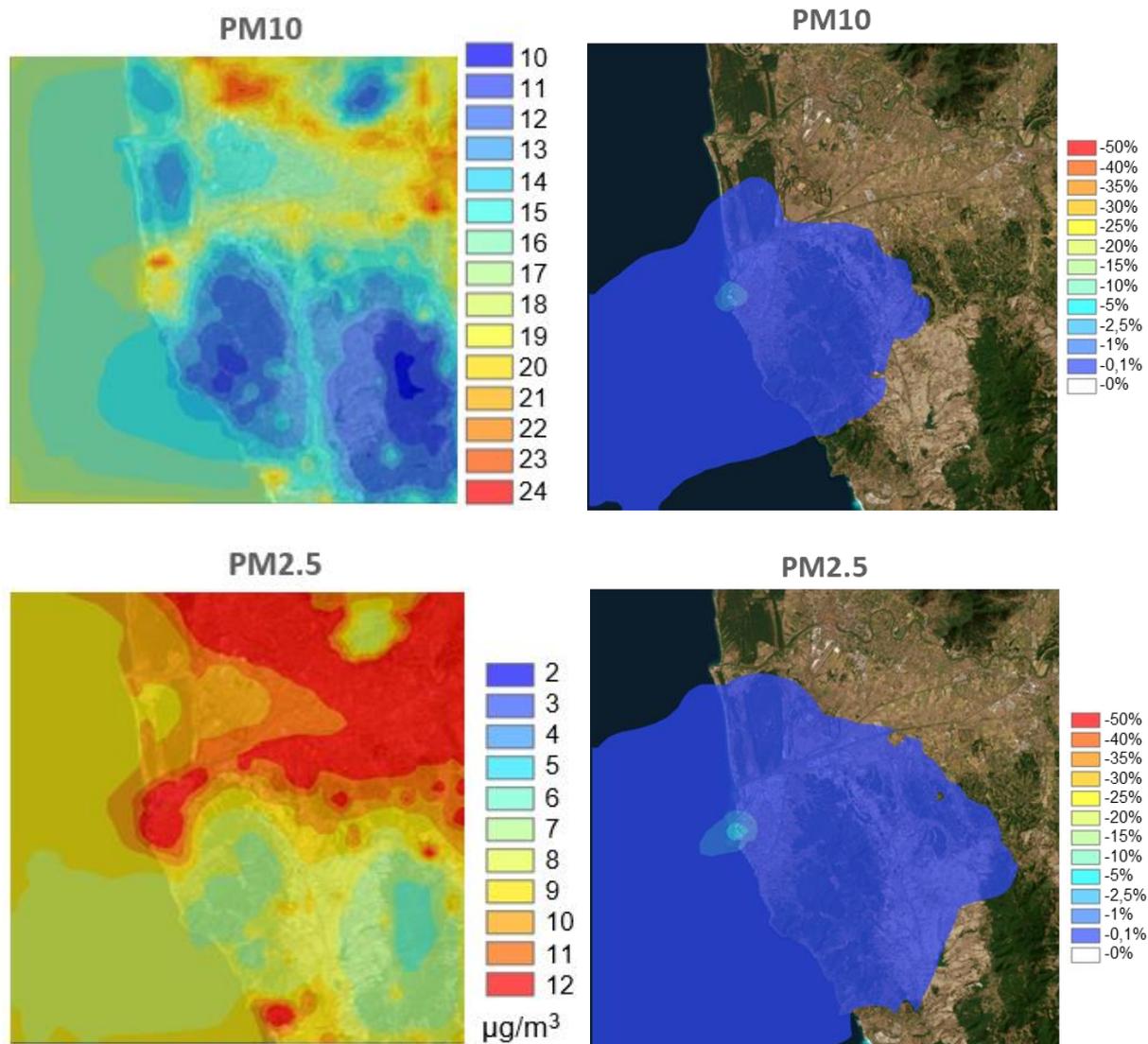


Figura 59 : Sinistra: Concentrazioni al suolo di CO , NO_2 , SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ simulate per lo scenario Idrogeno – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021 - Destra: Percentuale di riduzione tra lo scenario calcolato e lo scenario base su media annuale

Di seguito vengo riportati i grafici confrontante l'andamento degli inquinanti - tra lo scenario base e quello idrogeno - per il mese di luglio.

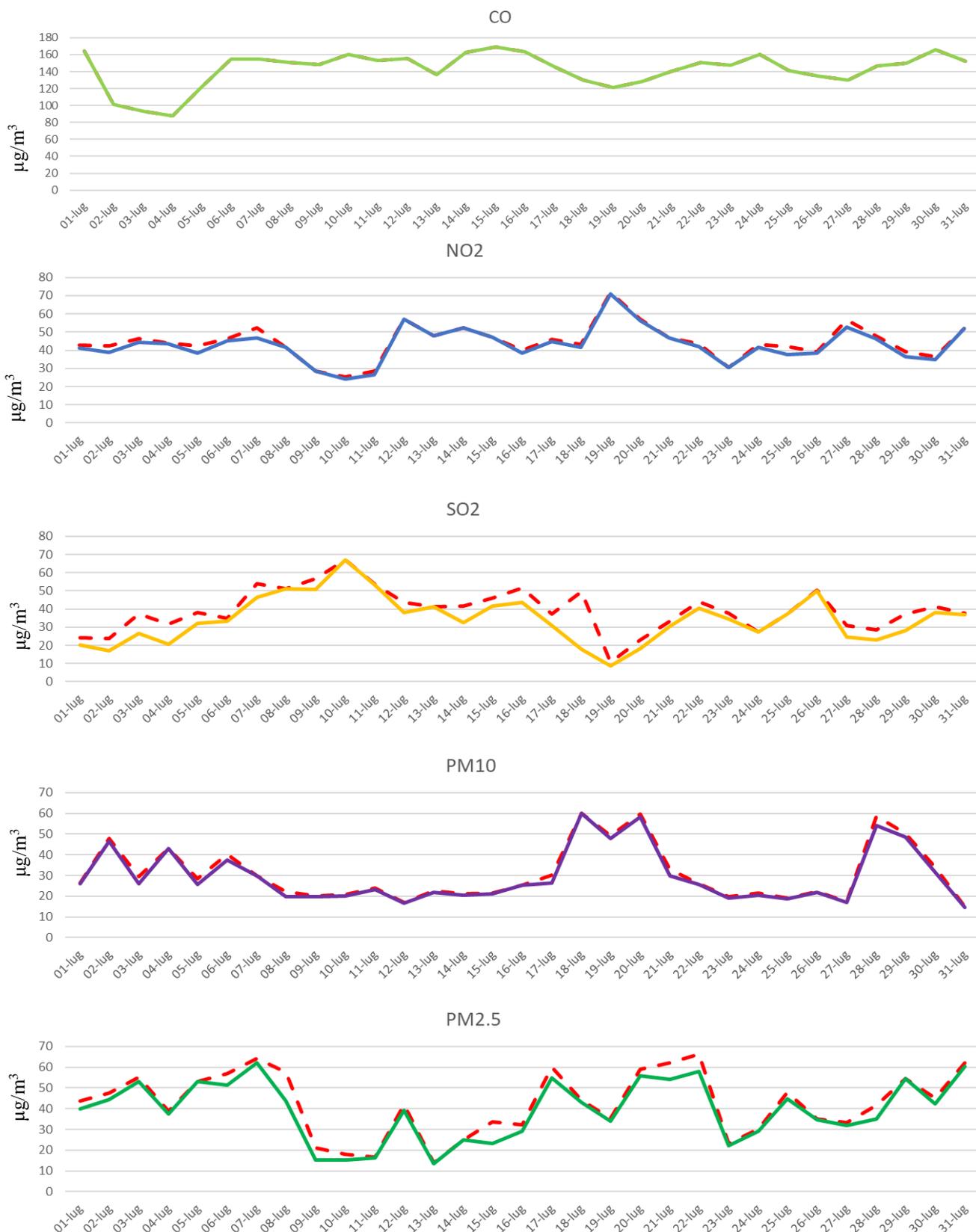


Figura 60 : Grafici delle medie giornaliere di CO, NO₂, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ per il periodo 01.07.2021 31.07.2021 per lo scenario idrogeno

4.2.5. Scenario 4- SECA

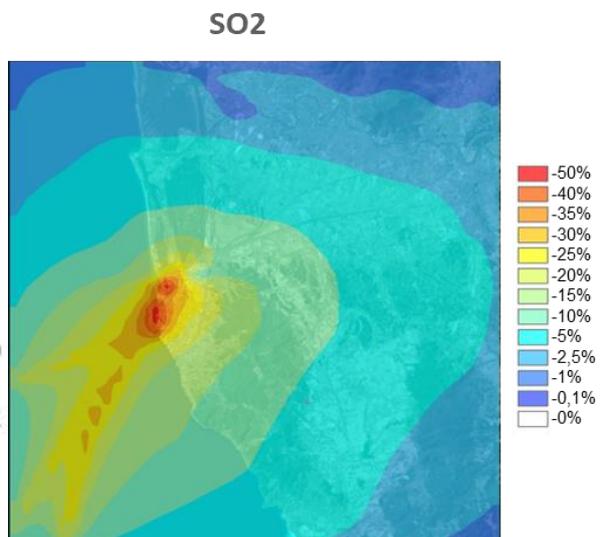
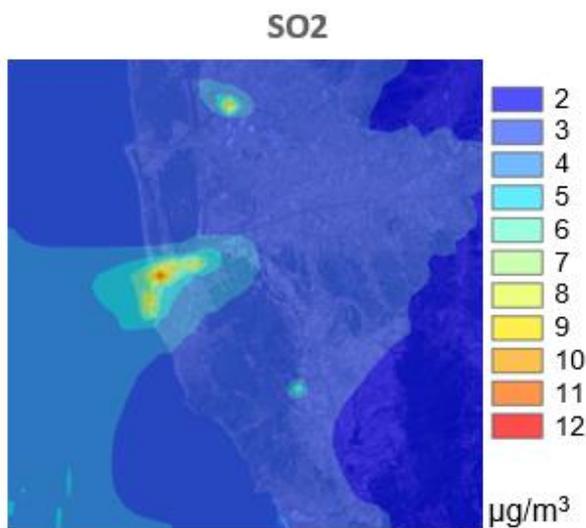
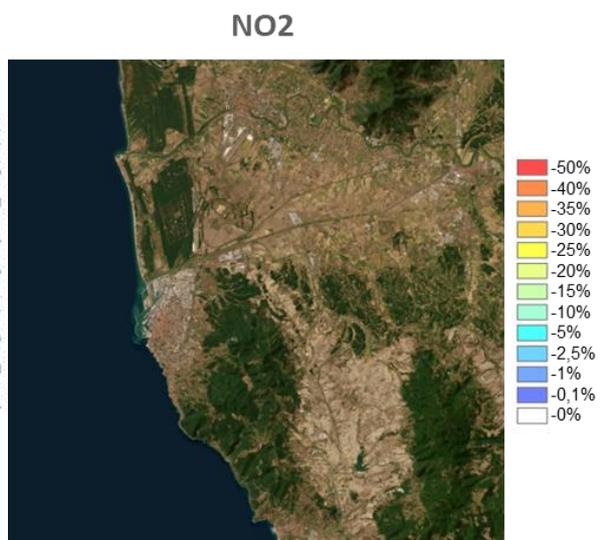
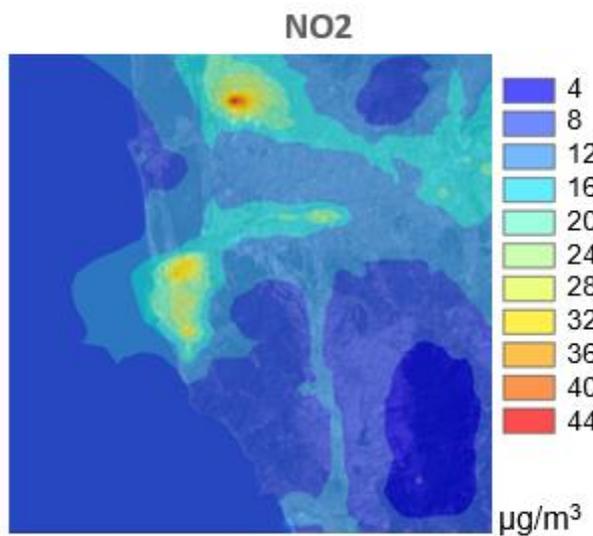
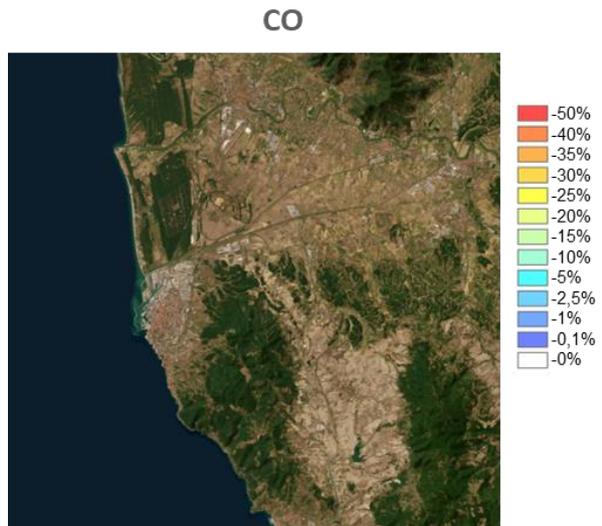
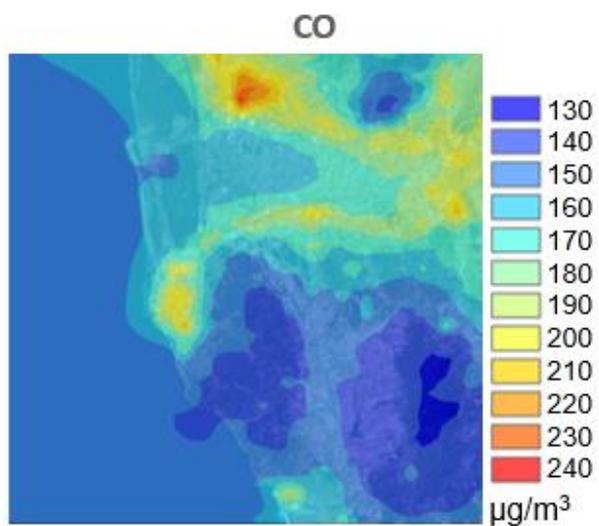
Nell'ultimo scenario realizzato si ipotizza l'implementazione di prescrizioni sulle emissioni di zolfo delle navi nell'area del Mediterraneo, tramite l'istituzione di un'area SECA, che obblighi l'utilizzo di combustibili a basso tenore di zolfo (0,1%). All'interno di questo scenario si agisce su tutte le navi di ogni categoria, per ogni fase (crociera, manovra e stazionamento).

Questo scenario è il più semplice da ipotizzare e soprattutto è quello che, a rigor di logica, verrà implementato quasi sicuramente visti gli obblighi normativi che ne conseguono.

Come in precedenza è stato fatto un calcolo delle emissioni tramite il Bottom-Up-Harbour della quantità di inquinanti emesse.

	Combustibile	NO _x	PM	SO ₂	CO
		t	t	t	t
Emiss_HOT	MDGO	2724.11	73.13	9.34	345.42
Emiss_MAN	MDGO	19.18	1.04	0.82	3.48
Emiss_tug	MDGO	49.17	3.48	0.23	8.49
Emiss_Cter	MDGO	159.23	2.85	6.65	24.62
Emiss_Cext	MDGO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_HOT	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_MAN	BFO	155.61	18.95	12.65	21.65
Emiss_tug	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
Emiss_Cter	BFO	1474.25	88.99	92.46	162.65
Emiss_Cext	BFO	0.00	0.00	0.00	0.00
	totale	4581.56	188.44	122.15	566.32
		0.00%	-20.00%	-90.00%	0.00%

Tabella 29 : Bottom-Up-Harbour - Scenario SECA



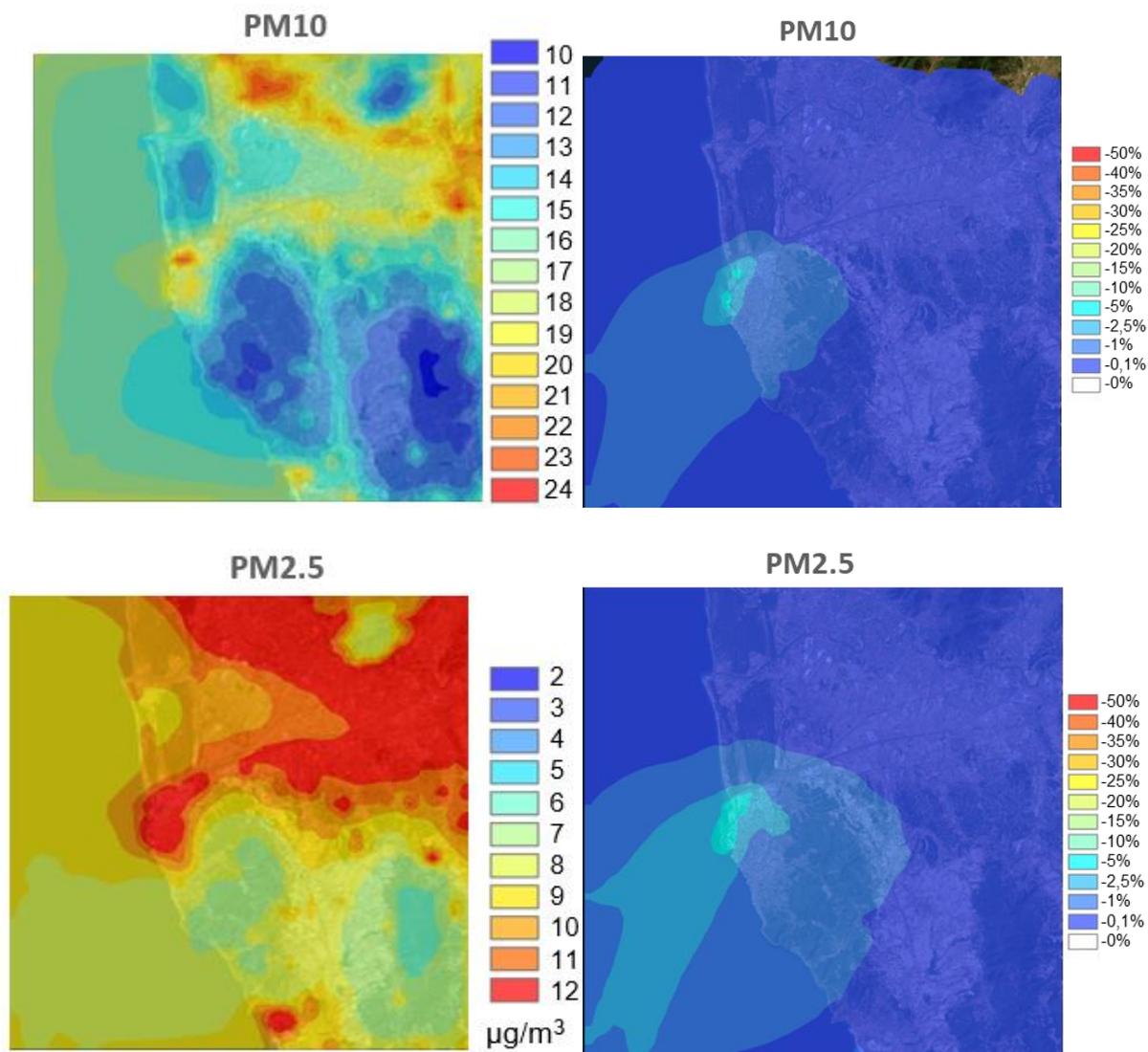


Figura 61 : Sinistra: Concentrazioni al suolo di CO , NO_2 , SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ simulate per lo scenario SECA – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021 - Destra: Percentuale di riduzione tra lo scenario calcolato e lo scenario base su media annuale

Di seguito vengo riportati i grafici confrontante l'andamento degli inquinanti - tra lo scenario base e quello SECA - per il mese di luglio.

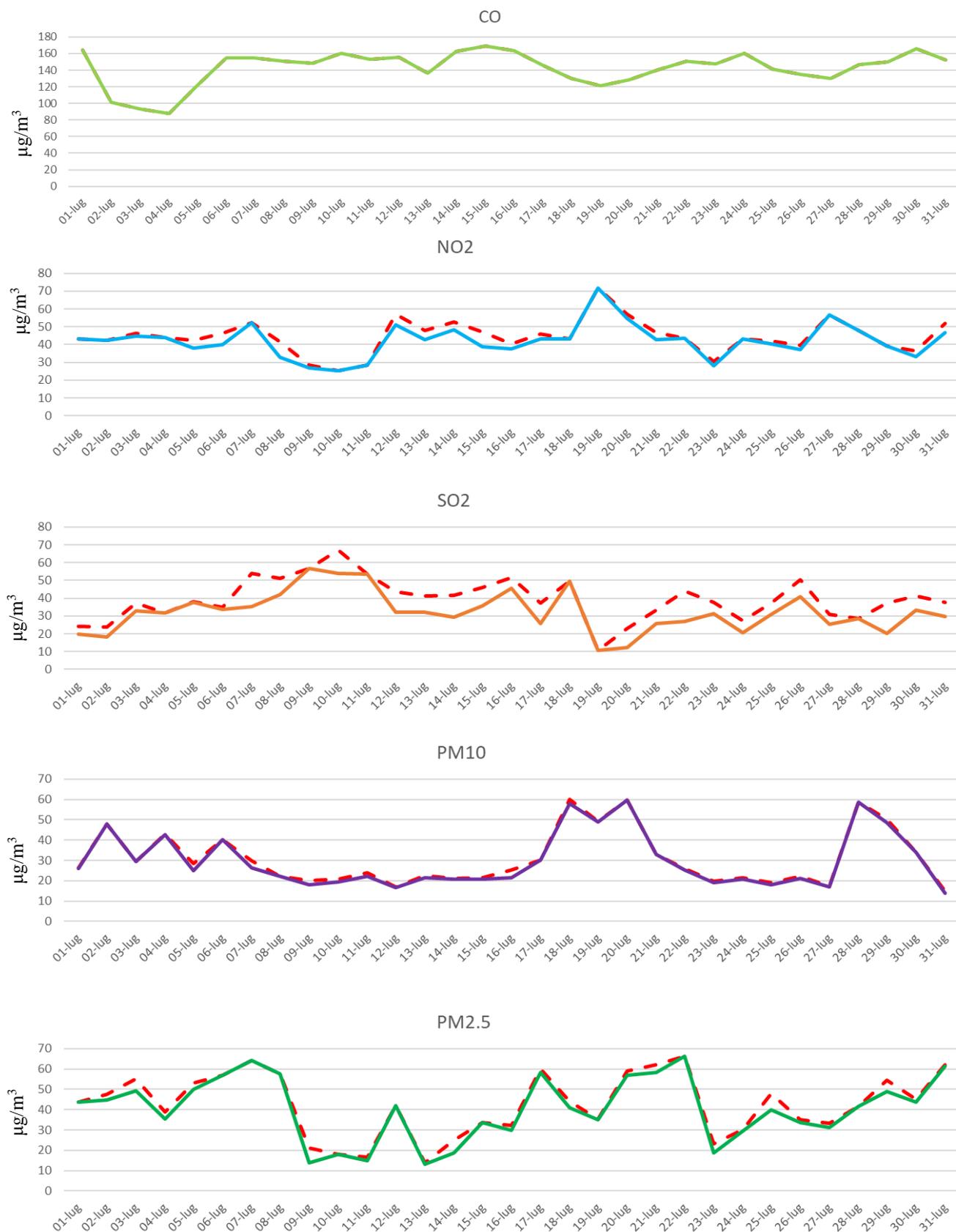


Figura 62 : Grafici delle medie giornaliere di CO , NO_2 , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} per il periodo 01.07.2021 31.07.2021 per lo scenario SECA

4.3. Conclusioni

Il presente paragrafo tende a commentare i risultati ottenuti dai calcoli precedenti sia dal punto di vista dei calcoli Bottom-Up che da quello dei valori estrapolati dal modello FARM.

Scenario Base

Lo scenario base evidenzia come la qualità dell'aria nel porto di Livorno è da considerarsi “buona”, così come indica ARPAT all'interno dei propri report a seguito delle campagne di monitoraggio. I dati ottenuti dal modello, confrontati con i dati rilevati dalle centraline Coppielo, Carducci, La Pira, anche se differenti dal punto di vista numerico, evidenziano proprio l'andamento positivo della qualità dell'aria nell'area costiera toscana.

Scenario Cold Ironing

Lo scenario proposto, anche se presenta ridotti risultati, sottolinea alcuni aspetti di rilievo per quanto concerne gli aspetti ambientali e la pianificazione delle infrastrutture portuali. Infatti, nel caso in cui si ponesse la necessità di realizzare un'infrastruttura portuale per la riduzione degli inquinanti navali, la costruzione di banchine elettrificate deve avere due differenti obiettivi: il primo riguarda i numeri delle navi e delle soste (e quindi dei tempi di sosta) che devono essere interessate, andando ovviamente a realizzare una soluzione che massimizzi gli accosti elettrificati, andando a realizzare una soluzione tecnologica vasta e su banchine maggiormente interessate. Il secondo aspetto, di più ampio interesse, riguarda la fonte energetica che alimenti le navi stesse: una soluzione che preveda la produzione di energia elettrica da fonti tradizionali non migliorerebbe in alcun modo la qualità dell'aria ma andrebbe solo a spostare la sede delle emissioni in aree differenti lontane dal porto.

A seguito di questi concetti preliminari, la progettazione e la realizzazione di una serie di banchine elettrificate passa anche attraverso una valutazione costi-benefici che tenga in considerazione la percentuale di riduzione degli inquinanti (benefici) in relazione all'importo economico necessario (costi). Il costo di una soluzione come quella ipotizzata analoga allo scenario non riesce a garantire una riduzione soddisfacente in funzione al costo dell'infrastruttura stessa. Questo è dovuto anche al fatto che la realizzazione di una banchina elettrificata influisce anche sulla rete elettrica non solo portuale, ma anche cittadina. Una nave da crociera di grandi dimensioni, in sosta durante l'intero arco notturno, può necessitare di circa 50 megawatt (circa 4,5 megawatt/ora) con anche frequenze differenti. Queste richieste energetiche comportano ovviamente una rete elettrica cittadina importante così come disponibilità stessa di energia a livello locale può subire forti influenze nel caso in cui si necessitino anche di potenze maggiori. Inoltre, in caso di cold ironing, difficilmente si può prevedere l'utilizzo congiunto di banchine elettrificate su due diverse navi in sosta, proprio per queste motivazioni energetiche.

Scenario GNL

Questo scenario, che presenta comunque numeri importanti difficilmente raggiungibili nel breve periodo, a meno di interventi politico-normativi, è quello che riesce a fornire maggiormente vantaggi a livello emissivo, soprattutto per quanto riguarda i livelli di SO₂ generati dal comparto navale. Questa riduzione di SO₂ influisce anche sulla riduzione dei PM che “nascono” da processi chimici e che, in questo caso, diventa particolato secondario. Il particolato secondario si forma quando il SO₂ reagisce con l’ossigeno e l’acqua nell’aria per formare acido solforico (H₂SO₄) e solfati (SO₄) che si combinano con altri composti per formare particelle fini.

La questione successiva, analizzata anche per quanto riguarda il cold ironing, è relativa alla fattibilità della soluzione proposta: la fattibilità in questo specifico caso passa dalla modifica della motoristica e dei combustibili che alimentano i natanti. La modifica della motoristica influisce su diversi aspetti:

- Il primo di questi è relativo agli investimenti economici che gli armatori dovrebbero fare, i quali possono ipotizzare l’implementazione del GNL solo in caso di incentivi statali per la costruzione di nuove imbarcazioni o per il refitting navale.
- Un altro aspetto è che l’arrivo di un gran numero di imbarcazioni alimentate a gas naturale liquefatto genera un problema “lato porto”, ovvero quello della necessità di creare un punto di approvvigionamento per il bunkeraggio. La creazione di un deposito costiero, pur di piccole dimensioni, presenta problematiche localizzative, autorizzative, economiche e gestionali
- I tempi necessari alla creazione di questi ultimi due aspetti, numero delle navi e depositi per il bunkeraggio, non sono brevi, vista anche la necessità di percorsi amministrativi complessi
- I fondi europei a disposizione per lo sviluppo della filiera del GNL sono stati ampiamente utilizzati, creando a livello nazionale una rete per il trasporto che si concentra maggiormente verso i mezzi stradali (sono presenti sul territorio nazionali, ad oggi, circa 130 stazioni di rifornimento realizzate e poco più di 20 in progetto). I nuovi fondi europei (ad esempio PNRR) sono invece diretti verso combustibili e vettori energetici innovativi quali idrogeno, ammoniaca o bio combustibili.

Scenario idrogeno

Le previsioni inserite all’interno di questo scenario sono da ritenersi altamente futuristiche: il 50% delle navi cruise e il 30% delle navi Ro-Ro/Pax alimentate ad idrogeno e il 100% dei tug elettrici sono ipotesi molto lontane dalla realizzazione. Mancano ancora motoristiche con tecnologie diffuse, mancano soluzioni per lo stoccaggio in porto e manca completamente, a livello nazionale, la filiera per l’approvvigionamento. I risultati ambientali, che possiamo considerare evidenti visto l’azzeramento delle emissioni relativi alla singola nave alimentata ad idrogeno, devono essere confrontati con i costi che si generano all’avvio della filiera, percorso che comporta un dispendio di risorse molto ampio e che deve essere visto anche nell’ottica di uno sviluppo a livello globale, non solo nazionale. I fondi europei messi a disposizione all’interno degli ultimi bandi incentivano questa soluzione tecnologica innovativa, con l’obiettivo di indirizzare la politica europea e nazionale verso lo sviluppo di filiera dell’idrogeno.

Le riduzioni degli inquinanti che si evidenziano a valle del calcolo ottenuto dal modello FARM, mettono in evidenza i vantaggi ambientale che si generano se il sistema navale fosse totalmente alimentato dall'idrogeno. Le basse percentuali attuali, visibili anche dai valori ottenuti tramite il BUH, sono da imputarsi ai pochi viaggi nave oggetto di riduzione (soprattutto per i tug e per le cruise, che nel 2021 subivano ancora le restrizioni pandemiche). Da valutare attentamente la riduzione che il Porto di Livorno otterrebbe in caso di traghetti Ro-Ro/Pax ad idrogeno, cosa altamente improbabile nel breve periodo. L'intervento sui traghetti sarebbe utile valutarlo sulla tratta Piombino-Portoferraio, i cui numeri sono molto più alti soprattutto nel periodo estivo.

Scenario SECA

L'ultimo scenario è da ritenersi il migliore per quanto riguarda sia la futuribilità della soluzione che i risultati ambientali. Dal primo gennaio 2025 l'intera area del Mediterraneo diventerà un'Area a Controllo delle Emissioni di Zolfo (SECA: sulphur emission controlled area), all'interno della quale si dovrà utilizzare un combustibile a basse emissioni di Zolfo, 0,1%. Questa ipotesi, tra l'altro concreta, influisce su tutte le navi in transito, riducendo la quantità di zolfo nell'aria emessa dalle navi. La soluzione influenzerà gli armatori che potranno cambiare i combustibili (con costi maggiori per i rifornimenti), potranno installare scrubber (con costi elevati di acquisto ed installazione e problematiche sullo smaltimento dei prodotti chimici che si generano durante il trattamento dei fumi di scarico) o potranno realizzare un refitting della nave al fine di utilizzare un combustibile differente (con costi elevati per la procedura di modifica).

I vantaggi si ottengono, come si vede dalle mappe, soprattutto per le emissioni di SO₂, con una riduzione delle emissioni nell'aria fino al 50%, e per i PM (particolato secondario) in quota molto più bassa.

La soluzione ipotizzata è già stata definita a livello normativo e andrà a colpire tutte le nazioni che si

Elenco delle figure

Figura 1 : Istogrammi delle durate degli scali nei porti di Tolone e Nizza per intervalli di 2h30, per le due stagioni modellate.....	Erreur ! Signet non défini.
Figura 2 : Regolamento sul contenuto di zolfo dei combustibili.	6
Figura 3 : Somma delle emissioni di NO _x , SO _x e PM e delle emissioni per specie calcolate per il porto di Tolone per i diversi scenari nel 2021.	Erreur ! Signet non défini.
Figura 4 : Somma delle emissioni di NO _x , SO _x e PM e delle emissioni per specie calcolate per il porto di Nizza per i diversi scenari nel 2019.	Erreur ! Signet non défini.
Figura 5 : Mappe delle concentrazioni medie di SO ₂ a Tolone in estate per lo scenario di riferimento (prima riga) e per gli scenari (a) BFO 1.5%, (b) BFO 0.5%, (c) MDO + CENAB. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in µg.m ⁻³	12
Figura 6 : Mappe delle concentrazioni medie di NO ₂ a Tolone in estate per lo scenario di riferimento (prima riga) e per gli scenari (a) BFO, (b) MDO + CENAB. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in µg.m ⁻³ . Erreur ! Signet non défini.	Erreur ! Signet non défini.
Figura 7 : Mappe delle concentrazioni medie di PM _{2.5} a Tolone in estate per lo scenario di riferimento (prima riga) e per gli scenari (a) BFO, (b) MDO + CENAB. Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in µg.m ⁻³	14
Figura 8 : Mappe delle concentrazioni medie di SO ₂ a Nizza in estate per lo scenario di riferimento (prima colonna) e per gli scenari (a) BFO 0.5%, (b) MDO, (c) CENAB, (d) MDO + CENAB. Le mappe poste sulla seconda riga mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in µg.m ⁻³	15
Figura 9 : Mappe delle concentrazioni medie di NO ₂ a Nizza in estate per lo scenario di riferimento (prima colonna) e per gli scenari (a) MDO, (b) CENAB, (c) MDO + CENAB. Le mappe poste sulla seconda riga mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in µg.m ⁻³	16
Figura 10 : Mappe delle concentrazioni medie di PM _{2.5} a Nizza in estate per lo scenario di riferimento (prima colonna) e per gli scenari (a) MDO, (b) CENAB, (c) MDO + CENAB. Le mappe poste sulla seconda riga mostrano le differenze di concentrazione tra gli scenari e il riferimento. Le concentrazioni sono in µg.m ⁻³	17
Figura 11 : Mappe delle concentrazioni medie (a) SO ₂ , (b) NO ₂ , (c) PM _{2.5} a Tolone in inverno per lo scenario di riferimento (prima colonna) e per lo scenario MDO + CENAB (seconda colonna). Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra lo scenario e il riferimento. Le concentrazioni sono in µg.m ⁻³	18
Figura 12 : Mappe delle concentrazioni medie di (a) SO ₂ , (b) NO ₂ , (c) PM _{2.5} a Nizza in inverno per lo scenario di riferimento (prima riga) e per lo scenario CENAB (seconda colonna). Le mappe a destra mostrano le differenze di concentrazione tra lo scenario e il riferimento. Le concentrazioni sono in µg.m ⁻³	19
Figura 13 : Box-plot delle concentrazioni al suolo (prima riga) e box-plot dei rapporti di concentrazione scenario/riferimento (seconda riga) a Tolone per il periodo estivo (sinistra) e invernale (destra). Lo scenario di riferimento è lo scenario MDO.	22

Figura 14 : Box-plot delle concentrazioni in superficie (prima riga) e box-plot dei rapporti di concentrazione scenario/riferimento (seconda riga) a Nizza per il periodo estivo (sinistra) e invernale (destra). Lo scenario di riferimento è lo scenario BFO 1.5%.	23
Figura 15 : Ripartizione delle emissioni per tipo di nave ad Ajaccio (2019)	28
Figura 16 : Ripartizione delle emissioni secondo la fase dello scalo ad Ajaccio (2019)	29
Figura 17 : Mix Energetico in Corsica	30
Figura 18 : Impianti di produzione di energia EDF in Corsica – EDF	30
Figura 19 : Fogli utilizzati per gli scenari su Ajaccio	32
Figura 20 : Fogli utilizzati per gli scenari su Bastia	33
Figura 21 : Differenza percentuale delle emissioni tra gli scenari e la situazione al 2021 ad Ajaccio	45
Figura 22 : Differenza percentuale delle emissioni tra gli scenari e la situazione al 2021 a Bastia	46
Figura 23 : Mappe delle concentrazioni medie di SO ₂ in µg.m ⁻³ ad Ajaccio il 15/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).	50
Figura 24 : Mappe delle concentrazioni medie di NO ₂ in µg.m ⁻³ ad Ajaccio il 15/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).	51
Figura 25 : Mappe delle concentrazioni medie di PM _{2.5} in µg.m ⁻³ ad Ajaccio il 15/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).	52
Figura 26 : Mappe delle concentrazioni medie di PM ₁₀ in µg.m ⁻³ ad Ajaccio il 15/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).	53
Figura 27 : Mappe delle concentrazioni medie di SO ₂ in µg.m ⁻³ ad Ajaccio il 12/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1 LNG (C).	54
Figura 28 : Mappe delle concentrazioni medie di NO ₂ in µg.m ⁻³ ad Ajaccio il 12/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1 LNG (C).	55
Figura 29 : Mappe delle concentrazioni medie di PM _{2.5} in µg.m ⁻³ ad Ajaccio il 12/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1 LNG (C).	56
Figura 30 : Mappe delle concentrazioni medie di PM ₁₀ in µg.m ⁻³ ad Ajaccio il 12/09/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1 LNG (C).	57
Figura 31 : Mappe delle concentrazioni medie di SO ₂ in µg.m ⁻³ ad Bastia il 27/08/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).	58
Figura 32 : Mappe delle concentrazioni medie di NO ₂ in µg.m ⁻³ ad Bastia il 27/08/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).	59
Figura 33 : Mappe delle concentrazioni medie di PM _{2.5} in µg.m ⁻³ ad Bastia il 27/08/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).	60
Figura 34 : Mappe delle concentrazioni medie di PM ₁₀ in µg.m ⁻³ ad Bastia il 27/08/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON (C).	61
Figura 35 : Mappe delle concentrazioni medie di SO ₂ in µg.m ⁻³ a Bastia il 14/07/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA (B) e SECA + COLD IRON + 1LNG (C).	62
Figura 36 : Mappe delle concentrazioni medie di NO ₂ in µg.m ⁻³ a Bastia il 14/07/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA (B) e SECA + COLD IRON + 1LNG (C).	63
Figura 37 : Mappe delle concentrazioni medie di PM _{2.5} in µg.m ⁻³ a Bastia il 14/07/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1LNG (C).	64
Figura 38 : Mappe delle concentrazioni medie di PM ₁₀ in µg.m ⁻³ a Bastia il 14/07/2021 per lo scenario di riferimento (A) e per gli scenari SECA(B) e SECA + COLD IRON + 1LNG (C).	65
Figura 39 : Boxplot delle concentrazioni con il fondo solo a terra (Ajaccio)	66

Figura 40 : Boxplot delle concentrazioni di scenario/ref senza fondo solo sulla terra (Ajaccio)	66
Figura 41 : Boxplot delle concentrazioni con il fondo solo a terra (Ajaccio).....	67
Figura 42 : Boxplot delle concentrazioni di scenario/ref senza fondo solo sulla terra (Ajaccio)	67
Figura 43 : Boxplot delle concentrazioni con il fondo solo a terra (Bastia)	68
Figura 44 : Boxplot delle concentrazioni di scenario/ref senza fondo solo sulla terra (Bastia)	68
Figura 45 : Boxplot delle concentrazioni con il fondo solo a terra (Bastia)	69
Figura 46 : Boxplot delle concentrazioni di scenario/ref senza fondo solo sulla terra (Bastia)	69
Figura 47: Immagine satellitare dell'area portuale di Genova. I segnaposto i punti di stazionamento nelle varie banchine considerati nella preparazione dell'input emissivo delle sorgenti puntuali	74
Figura 48 : Immagine satellitare dell'area portuale di Genova. In bianco sono riportate le sorgenti areali introdotte nell'input per descrivere le fasi di manovra delle navi in ingresso e in uscita dal porto	75
Figura 49 : Fattori di emissione per le varie tipologie di motore e carburante navale.....	77
Figura 50 : Mappe dei campi di concentrazione di NO ₂ ottenute per i tre scenari (riferimento a sinistra, banchine elettrificate al centro e GNL a destra) relative a Agosto 2021 (sopra) e Aprile 2022 (sotto).	79
Figura 51 : Mappe dei campi di concentrazione di PM ₁₀ ottenute per i tre scenari (riferimento a sinistra, banchine elettrificate al centro e GNL a destra) relative a Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).	80
Figura 52 : Mappe dei campi di concentrazione di PM ₂₅ ottenute per i tre scenari (riferimento a sinistra, banchine elettrificate al centro e GNL a destra) relative al Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).	81
Figura 53 : Mappe delle differenze di concentrazione di NO ₂ tra Scenario 1 e Scenario 0 (a sinistra) e tra Scenario 2 e Scenario 0 (a destra) relative al periodo Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).	82
Figura 54 : Mappe delle differenze di concentrazione di PM ₁₀ tra Scenario 1 e Scenario 0 (a sinistra) e tra Scenario 2 e Scenario 0 (a destra) relative al periodo Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).	83
Figura 55 : Mappe delle differenze di concentrazione di PM ₂₅ tra Scenario 1 e Scenario 0 (a sinistra) e tra Scenario 2 e Scenario 0 (a destra) relative al periodo Agosto 2021 (sopra) ed Aprile 2022 (sotto).	84
Figura 56 : Boxplot delle concentrazioni di NO ₂ (con background) simulate per i tre scenari, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate su agosto 2021 (in alto) e aprile 2002 (in basso).	87
Figura 57 : Boxplot delle concentrazioni di PM ₁₀ (con background) simulate per i tre scenari, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate su agosto 2021 (in alto) e aprile 2002 (in basso).	88
Figura 58 : Boxplot delle concentrazioni di PM ₂₅ (con background) simulate per i tre scenari, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate su agosto 2021 (in alto) e aprile 2002 (in basso).	89
Figura 59 : Boxplot del rapporto tra le concentrazioni di NO ₂ (senza background) degli scenari di mitigazione e di riferimento, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate sul periodo simulato (agosto 2021 in alto e aprile 2002 in basso).....	90

Figura 60: Boxplot del rapporto tra le concentrazioni di PM ₁₀ (senza background) degli scenari di mitigazione e di riferimento, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma e mediate sul periodo simulato (agosto 2021 in alto e aprile 2022 in basso).....	91
Figura 61 : Boxplot del rapporto tra le concentrazioni di NO ₂ (senza background) degli scenari di mitigazione e di riferimento, sulle sole celle del dominio localizzate su terraferma, mediate sul periodo simulato (agosto 2021 in alto ed aprile 2002 in basso).....	92
Figura 62 : Carbon footprint 2021	96
Figura 63 : Andamento traffico navale 2021/2022	97
Figura 64 : Variazione dei traffici nel biennio 2021/2022.....	97
Figura 65 : Suite modellistica ARIA Regional/ FARM.....	103
Figura 66 : Postazioni delle centraline ARPAT e centralina Livorno Porto.....	104
Figura 67 : Concentrazioni al suolo di CO, NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} simulate per lo scenario emissivo di riferimento – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021	107
Figura 68 : Grafici delle medie giornaliere di CO,NO ₂ , SO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ per il periodo 01.01.2021 - 31.12.2021	111
Figura 69 : Sinistra: Concentrazioni al suolo di CO, NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} simulate per lo scenario Cold Ironing – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021 - Destra: Percentuale di riduzione tra lo scenario calcolato e lo scenario base su media annuale	115
Figura 70 : Grafici delle medie giornaliere di CO,NO ₂ , SO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ per il periodo 01.07.2021 31.07.2021 per lo scenario Cold Ironing.....	116
Figura 71 : 1 Sinistra: Concentrazioni al suolo di CO, NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} simulate per lo scenario GNL – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021 - Destra: Percentuale di riduzione tra lo scenario calcolato e lo scenario base su media annuale	119
Figura 72 : Grafici delle medie giornaliere di CO,NO ₂ , SO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ per il periodo 01.07.2021 31.07.2021 per lo scenario GNL.....	120
Figura 73 : Sinistra: Concentrazioni al suolo di CO, NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} simulate per lo scenario Idrogeno – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021 - Destra: Percentuale di riduzione tra lo scenario calcolato e lo scenario base su media annuale.....	123
Figura 74 : Grafici delle medie giornaliere di CO,NO ₂ , SO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ per il periodo 01.07.2021 31.07.2021 per lo scenario idrogeno.....	124
Figura 75 : Sinistra: Concentrazioni al suolo di CO, NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} simulate per lo scenario SECA – medie il periodo annuale 1/01/2021 – 31/12/2021 - Destra: Percentuale di riduzione tra lo scenario calcolato e lo scenario base su media annuale.....	127
Figura 76 : Grafici delle medie giornaliere di CO,NO ₂ , SO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ per il periodo 01.07.2021 31.07.2021 per lo scenario SECA.....	128

Elenco delle tabelle

Tabella 1 : Periodi di simulazione per i porti di Nizza e Toulon-la Seyne.	3
Tabella 2 : Fattori di emissione (FE) in NO _x , SO _x e PM _{2.5} [g/GJ] estratti dal database OMINEA del CITEPA.	7
Tabella 3 : Elenco degli scenari modellati. Lo scenario di riferimento è lo scenario "MDO" per il porto di Tolone, lo scenario "BFO 1.5%" per il porto di Nizza, (riquadri in arancio chiaro).....	7
Tabella 4 : Concentrazioni di fondo medie in µg.m ⁻³ stimate nelle stazioni di Toulon Claret e Nizza Arson per i periodi di simulazione indicati nella Tabella 1	10
Tabella 5 : Medie in µg.m ⁻³ delle concentrazioni misurate dalle cabine situate nei porti di Tolone e Nizza e delle concentrazioni simulate nelle simulazioni di base, estratte nei punti in cui si trovano le cabine, a orari tali che C _i ^{sim} ≠ 0. I rapporti delle due medie, espressi in percentuale, indicano il contributo delle navi. I rapporti con sfondo arancione sono quelli per i quali la correlazione misura/modello è soddisfacente (si veda il deliverable T2.3.1 - Rapporto sui risultati delle simulazioni di modellazione del progetto, per maggiori dettagli).	11
Tabella 6 : Evoluzione delle concentrazioni del pennacchio a Tolone per i diversi scenari, con lo scenario MDO come riferimento (situazione nel 2021).....	24
Tabella 7 : Evoluzione delle concentrazioni del pennacchio a Tolone per i diversi scenari, con lo scenario BFO 0.5% come riferimento (situazione se non ci fosse stato la Carta).	24
Tabella 8 : Evoluzione delle concentrazioni del pennacchio a Nizza per diversi scenari, con lo scenario BFO 1.5% come riferimento (situazione nel 2019).....	25
Tabella 9 : Fattori di emissione di NO _x , SO _x e PM _{2.5} estratti dal database OMINEA del CITEPA.	34
Tabella 10 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, caso base - Ajaccio, 2021	35
Tabella 11 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, caso base - Bastia, 2021	36
Tabella 12 : Cronologia parziale di uno scalo con Cold Ironing	37
Tabella 13 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, Cold Iron - Ajaccio, 2021	38
Tabella 14 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, Cold Iron - Bastia, 2021.....	38
Tabella 15 : Différences entre le scénario de base et l'utilisation de COLD IRON (%).....	39
Tabella 16 : Quantité de polluants émis par les ferries, SECA - Ajaccio, 2021	40
Tabella 17 : Quantité de polluants émis par les ferries, SECA - Bastia, 2021	40
Tabella 18 : Le differenze tra lo scenario di base e l'uso del SECA (%).....	41
Tabella 19 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, LNG - Ajaccio, 2021	42
Tabella 20 : Quantità di inquinanti emessi dai traghetti, LNG - Bastia, 2021.....	42
Tabella 21 : Differenze tra lo scenario di base e una flotta al 100% di LNG (%)	43
Tabella 22 : Emissioni in CO _{2eq} di uno scenario 100% LNG	43
Tabella 23 : Differenze tra scenario di base e scenari combinati (%) - Manovra + Banchina	44
Tabella 24 : Date e modelli per i porti di Ajaccio e Bastia.....	47
Tabella 25 : Concentrazioni medie di fondo in µg.m ⁻³ stimate nelle stazioni di Ajaccio "Canetto" e Bastia "Giraud" per i giorni di simulazione indicati	48
Tabella 26 : Quota di inquinamento marino in relazione alle misurazioni da stazioni fisse ad Ajaccio e Bastia secondo gli scenari (valori mediati sul giorno)	49
Tabella 27 : Riduzione delle concentrazioni del pennacchio ad Ajaccio per i diversi scenari, con lo scenario di base come riferimento	70

Tabella 28 : Riduzione delle concentrazioni del pennacchio a Bastia per i diversi scenari, con lo scenario di base come riferimento	70
Tabella 29 : Fattori di emissioni per i tre scenari.....	76
Tabella 30 : Valori delle concentrazioni di fondo stimate per i due periodi di simulazione considerati.	78
Tabella 31 : Tabella riassuntiva dell'indice percentuale di riduzione per i due scenari di mitigazione e per i due periodi considerati.	93
Tabella 32 : Bottom-Up-Harbour - Confronto Scenario base / Scenario Cold Ironing	100
Tabella 33 : Bottom-Up-Harbour - Scenario Base.....	105
Tabella 34 : Bottom-Up-Harbour - Scenario Cold Ironing.....	112
Tabella 35 : Bottom-Up-Harbour - Scenario GNL	117
Tabella 36 : Bottom-Up-Harbour - Scenario Idrogeno	121
Tabella 37 : Bottom-Up-Harbour - Scenario SECA	125