



# SMART GAS Monfalcone, Italia

## Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia

### Componente Atmosfera – Modellazione qualità dell'aria e delle conseguenze di rilascio torcia

Doc. No. P0030812-1-H24 Rev. 0 - Febbraio 2023

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
0	Prima Emissione	M. Florio / C. Giuliani / M. Galmozzi / V. Giordano	M. Compagnino / M. Pontiggia / M. Gattuso	A. Lo Nigro	Febbraio 2023

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

## INDICE

	Pag.
<b>LISTA DELLE TABELLE</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE</b>	<b>2</b>
<b>ABBREVIAZIONI E ACRONIMI</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
<b>1 MODELLAZIONE QUALITÀ DELL’ARIA</b>	<b>6</b>
1.1    PREMESSA	6
1.2    MODELLO DI CALCOLO	6
1.2.1    Calpuff	6
1.2.2    Calmet	7
1.2.3    Calpost	8
1.3    RICOSTRUZIONE DEL CAMPO DI VENTO 3D	9
1.3.1    Dominio di calcolo	9
1.3.2    Orografia e uso del suolo	9
1.4    ANALISI MODELLISTICA DI DISPERSIONE	11
1.4.1    Assunzioni modellistiche	11
1.4.2    Calcolo del termine di sorgente	12
1.4.3    Limiti di riferimento	17
1.4.4    Recettori discreti	17
1.4.5    Risultati	20
1.4.6    CONCLUSIONI	44
<b>2 MODELLAZIONE DELLE CONSEGUENZE DI RILASCIO TORCIA</b>	<b>45</b>
2.1    ASSUNZIONI E IPOTESI ALLA BASE DEI RISULTATI	45
2.2    RISULTATI	45
2.3    CONCLUSIONI	46
<b>3 MANTENIMENTO TEMPERATURA CRIOGENICA SISTEMA DI TRAFERIMENTO GNL E ISO CONTAINER</b>	<b>47</b>
3.1    CONCLUSIONI	48
<b>REFERENZE</b>	<b>49</b>

## LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1.1:	Caratteristiche della shuttle carrier.	11
Tabella 1.2:	Caratteristiche del locotratto	12
Tabella 1.3:	Caratteristiche geometriche delle sorgenti emissive puntuali considerate (mezzi navali)	13
Tabella 1.4:	Caratteristiche geometriche delle sorgenti emissive lineari considerate (mezzi navali)	13
Tabella 1.5:	Fattori emissivi considerati per i mezzi navali coinvolti nelle operazioni	14
Tabella 1.6:	Portate in massa delle sorgenti puntuali considerate (mezzi navali)	14
Tabella 1.7:	Portate in massa per unità di lunghezza delle sorgenti lineari considerate (mezzi navali)	14
Tabella 1.8:	Caratteristiche geometriche delle sorgenti emissive lineari considerate (mezzi ferroviari)	15
Tabella 1.9:	Fattori emissivi considerati per i mezzi ferroviari coinvolti nelle operazioni	16
Tabella 1.10:	Portate in massa per unità di lunghezza delle sorgenti lineari considerate (mezzi navali)	16
Tabella 1.11:	Limiti normativi considerati per gli inquinanti emessi (Allegato XI e XII al D.Lgs. 155/2010)	17
Tabella 1.12:	Coordinate geografiche dei recettori considerati nello studio	18
Tabella 1.13:	Valori di concentrazione rilevati dalle centraline di qualità dell'aria della rete ARPA (anno 2021)	19
Tabella 1.14:	Emissioni annue dovute ai mezzi adibiti al trasporto di GNL (shuttle carrier e locotratto)	20
Tabella 1.15:	Concentrazioni massime rilevate dovute alle emissioni dei motori dei mezzi navali e ferroviari	22
Tabella 1.16:	Concentrazioni di inquinanti sui recettori discreti corrispondenti alle centraline di qualità dell'aria della rete ARPA FVG	22
Tabella 2-1:	Distanza in [m] dalla torcia a cui viene raggiunto l'irraggiamento di 4.73 kW/m <sup>2</sup> all'altezza di 1.5 metri da terra – Scenario "A" Incendio intorno al serbatoio TK101	45
Tabella 2-2:	Distanza in [m] dalla torcia a cui viene raggiunto l'irraggiamento di 4.73 kW/m <sup>2</sup> all'altezza di 1.5 metri da terra – Scenario "B" Interruzione di servizio del pacchetto di liquefazione BOG	46

## LISTA DELLE FIGURE

Figura 1.1:	Domini di calcolo meteorologico, computazionale e ricampionato	9
Figura 1.2:	Visualizzazione dei dati GeoTIFF disponibili dal database SRTM1	10
Figura 1.3:	Visualizzazione dei dati di land cover disponibili dal database CLC	11
Figura 1.4:	Localizzazione delle sorgenti emissive areali e lineari (mezzi navali)	13
Figura 1.5:	Localizzazione delle sorgenti emissive areali e lineari (mezzi ferroviari)	15
Figura 1.6:	Recettori discreti considerati per la dispersione degli inquinanti in CALPUFF	18
Figura 4.4:	Emissioni di inquinanti per macrosettore nel Comune di Monfalcone - 2015	20
Figura 1.8:	SO <sub>2</sub> – concentrazioni massime su base oraria [µg/m <sup>3</sup> ]	24
Figura 1.9:	SO <sub>2</sub> – concentrazioni massime su base oraria [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	25
Figura 1.10:	SO <sub>2</sub> – 99.7° percentile delle concentrazioni orarie [µg/m <sup>3</sup> ]	26
Figura 1.11:	SO <sub>2</sub> – 99.7° percentile delle concentrazioni orarie [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	27
Figura 1.12:	SO <sub>2</sub> – 99.2° percentile delle concentrazioni giornaliere [µg/m <sup>3</sup> ]	28
Figura 1.13:	SO <sub>2</sub> – 99.2° percentile delle concentrazioni giornaliere [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	29
Figura 1.14:	SO <sub>2</sub> – concentrazioni medie su base annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	30
Figura 1.15:	SO <sub>2</sub> – concentrazioni medie su base annuale [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	31
Figura 1.16:	NO <sub>x</sub> – concentrazioni massime su base oraria [µg/m <sup>3</sup> ]	32
Figura 1.17:	NO <sub>x</sub> – concentrazioni massime su base oraria [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	33
Figura 1.18:	NO <sub>x</sub> – 99.8° percentile delle concentrazioni orarie [µg/m <sup>3</sup> ]	34
Figura 1.19:	NO <sub>x</sub> – 99.8° percentile delle concentrazioni orarie [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	35
Figura 1.20:	NO <sub>x</sub> – concentrazioni medie su base annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	36
Figura 1.21:	NO <sub>x</sub> – concentrazioni medie su base annuale [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	37

---

Figura 1.22:	PM <sub>10</sub> – 90.4° percentile delle concentrazioni giornaliere [µg/m <sup>3</sup> ]	38
Figura 1.23:	PM <sub>10</sub> – 90.4° percentile delle concentrazioni giornaliere [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	39
Figura 1.24:	PM <sub>10</sub> – concentrazioni medie su base annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	40
Figura 1.25:	PM <sub>10</sub> – concentrazioni medie su base annuale [µg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	41
Figura 1.26:	CO – concentrazioni massime su base 8 ore [mg/m <sup>3</sup> ]	42
Figura 1.27:	CO – concentrazioni massime su base 8 ore [mg/m <sup>3</sup> ] – zoom su Monfalcone	43

## ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

<b>PROPONENTE</b>	SMART GAS
<b>PROGETTO</b>	Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia

<b>bcm</b>	billion cubic meter
<b>BOG</b>	Boil-Off Gas
<b>CLC</b>	Corine Land Cover
<b>CO</b>	Monossido di carbonio
<b>DEM</b>	Digital Elevation Model
<b>D.Lgs</b>	Decreto Legislativo
<b>EEA</b>	European Environment Agency
<b>EMEP</b>	European Monitoring and Evaluation Programme
<b>FVG</b>	Friuli-Venezia Giulia
<b>GNL</b>	Gas Naturale Liquefatto
<b>GSHHS</b>	Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Database
<b>ISO</b>	International Standard Organisation
<b>LNG</b>	Liquefied Natural Gas
<b>MAWP</b>	Maximum Allowable Working Pressure
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>NOx</b>	Ossidi di azoto
<b>PM<sub>10</sub></b>	Particulate Matter - polveri sottili (< 10 µm)
<b>SO<sub>2</sub></b>	Biossido di zolfo
<b>SRTM</b>	Shuttle Radar Topography Mission
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>VIA</b>	Valutazione Impatto Ambientale
<b>WRF</b>	Weather Research and Forecasting

## INTRODUZIONE

In relazione alla sottomissione del progetto “Distribuzione GNL in Regione Friuli Venezia Giulia” da parte del proponente Smart Gas S.p.A. a procedura di Assoggettabilità a VIA Nazionale, sono pervenute richieste di integrazioni da parte del Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica e dei relativi Enti territorialmente competenti, tramite Nota Prot. N.0009132 del 23 Novembre 2022.

Lo scopo del seguente documento è quello di fornire risposta per quanto riguarda i seguenti aspetti:

*“Per la componente atmosfera.*

*a) Localizzare su una mappa tutte le centraline di qualità dell’aria identificandole nel dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni modellistiche.*

*b) Riportare i dati di concentrazione, aggiornati all’ultimo anno disponibile, in formato tabellare con il relativo confronto dei limiti di legge previsti, evidenziando situazioni di criticità.*

*c) Indicare le emissioni previste per tutte le componenti potenzialmente rilasciate dall’opera, inclusi gli inquinanti NOx, SOx e le polveri emesse dallo shuttle carrier, nelle fasi di manovra e stazionamento in banchina, dai treni, nelle fasi di carico/scarico degli ISO container e nel percorso ferroviario per raggiungere la stazione di Ronchi dei Legionari sud.*

*d) Indicare la stima della percentuale del contributo di inquinamento del progetto in rapporto alle emissioni del porto di Monfalcone.*

*e) Produrre i presumibili scenari di funzionamento della torcia di emergenza indicando le emissioni in termini di concentrazione e di massa e le ricadute sul territorio degli inquinanti.*

*f) Descrivere le procedure da adottare nei caldi periodi estivi per il trasferimento del gas liquido da shuttle carrier a ISO container al fine di evitare il cambio di fase del GNL.”*

## 1 MODELLAZIONE QUALITÀ DELL'ARIA

### 1.1 PREMESSA

Nel presente capitolo vengono quantificate specificamente le portate inquinanti emesse dalla catena logistica, nello specifico dalla nave shuttle carrier e dai treni, e valutati gli impatti in termini di concentrazioni ricadute al suolo degli stessi inquinanti mediante il confronto con gli standard di qualità dell'aria previsti dal D. Lgs.155/2010 (Allegato XI e XII):

- ✓ Paragrafo 1.2: illustrazione del modello di calcolo CALMET/CALPUFF utilizzato per la modellazione della dispersione degli inquinanti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> e CO;
- ✓ Paragrafo 1.3: ricostruzione del campo di vento 3D per l'area di studio, a partire da dati di base quali orografia, uso del suolo e dati meteorologici (modello WRF);
- ✓ Paragrafo 1.4: analisi modellistica di dispersione, contenente il calcolo dei termini sorgente sia per la shuttle carrier, sia per il locotratteore, le impostazioni di base del modello ed i risultati della simulazione con software CALPUFF.

### 1.2 MODELLO DI CALCOLO

Ai fini dell'individuazione del modello di calcolo più idoneo per una corretta esecuzione di uno studio di modellistica diffusionale atmosferica, si deve prestare particolare attenzione ai seguenti elementi:

- ✓ specificità geografica e morfologica del sito;
- ✓ tipologia di sorgenti considerate (puntuali, lineari, areali o volumetriche);
- ✓ intervallo spaziale e temporale di analisi, che rende necessaria l'applicazione di un modello di mesoscala;
- ✓ tipologia di inquinanti trattati, caratterizzati da stati fisici particellari o gassosi.

Alla luce degli aspetti sopra considerati, il modello più appropriato al caso specifico di indagine risulta essere CALPUFF. Quest'ultimo è un modello a "puff", indicato per condizioni di orografia complessa, situazioni meteorologiche critiche come le calme di vento e domini spaziali anche di grandi dimensioni (raggi d'influenza compresi tra e 10 e 100 km), capace di modellare non solo la dispersione atmosferica degli inquinanti, ma anche la deposizione al suolo. Il modello, inoltre, è tra i più utilizzati e universalmente riconosciuti nel mondo come supporto di studi di impatto ambientale.

Il sistema modellistico CALPUFF si compone di tre componenti separate: CALMET, CALPUFF e CALPOST, oltre ad una quantità di preprocessori progettati per interfacciare il modello con data set meteorologici e territoriali di tipo standard e di largo utilizzo.

CALMET rappresenta il modello meteorologico che ricostruisce la serie oraria del campo tridimensionale di vento e di temperatura. L'output prodotto da CALMET, inoltre, include anche campi bidimensionali (superficiali) di parametri quali, ad esempio, altezza di mescolamento, caratteristiche superficiali e parametri dispersivi.

CALPUFF è il modello di trasporto e dispersione, necessario per il calcolo delle traiettorie, della dispersione e delle trasformazioni di "puff" di materiale emesso dalle sorgenti simulate. Normalmente esso utilizza i campi generati da CALMET, anche se è in grado, comunque, di utilizzare dati meteorologici di tipo più semplice (ad esempio dati puntuali) in analogia con altri modelli di diffusione. Le variazioni spaziali e temporali nei campi meteorologici selezionati sono esplicitamente prese in considerazione all'interno del periodo di simulazione. Il principale output di CALPUFF contiene le concentrazioni o le deposizioni orarie valutate ad ogni recettore impostato.

CALPOST è, invece, utilizzato per l'elaborazione dei dati prodotti da CALPUFF, ad esempio producendo tabelle riassuntive e/o identificando i valori di picco ed i vari percentili per i vari recettori.

#### 1.2.1 Calpuff

Il modello CALPUFF, realizzato dalla Earth Tech Inc. per conto del California Air Resources Board (CARB) e del U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA) è un modello di dispersione non stazionario, che veicola i "puff" gaussiani di materiale emesso dalle sorgenti attraverso un approccio lagrangiano. CALPUFF è specifico per gli inquinanti inerti o debolmente reattivi e può funzionare sia in modalità short-term, per studi d'impatto ambientale relativi ad uno specifico caso-studio, che in modalità long-term, nel caso si renda necessario stimare valori di concentrazione medi su periodi temporali rappresentativi (ad es. un anno). È adatto alla simulazione della dispersione di emissioni da sorgenti industriali, anche multiple. È in grado di calcolare la deposizione secca ed

umida, gli effetti di scia dovuti agli edifici, la dispersione da sorgenti puntiformi, areali o volumetriche, l'innalzamento graduale del pennacchio in funzione della distanza dalla sorgente, l'influenza dell'orografia del suolo sulla dispersione, la dispersione in casi di venti deboli o assenti.

I coefficienti di dispersione sono calcolati dai parametri di turbolenza, anziché dalle classi di stabilità di Pasquill-Gifford-Turner, vale a dire che la turbolenza è descritta da funzioni continue anziché discrete. Durante i periodi in cui lo strato limite ha struttura convettiva, la distribuzione delle concentrazioni all'interno di ogni singolo "puff" è gaussiana sui piani orizzontali, ma asimmetrica sui piani verticali, cioè tiene conto della asimmetria della funzione di distribuzione di probabilità delle velocità verticali. Il modello simula gli effetti sulla dispersione dovuti ai moti ascendenti e discendenti tipici delle ore più calde della giornata e dovuti a vortici di grande scala.

Tra i principali input di cui il modello necessita vi sono:

- ✓ definizione delle sorgenti: posizione, ratei di emissione, temperatura di emissione, velocità di emissione, caratteristiche fisiche (altezza dei camini e loro diametro);
- ✓ definizione della meteorologia;
- ✓ definizione dei parametri di controllo della simulazione: quali variabili produrre in output (concentrazioni, deposizioni), quali parametri di dispersione utilizzare (urbani, rurali), ecc.;
- ✓ definizione dei recettori discreti: posizioni in cui le variabili d'uscita devono essere calcolate.

Le caratteristiche principali di CALPUFF sono:

- ✓ capacità di trattare sorgenti puntuali, lineari, areali, di volume, con caratteristiche variabili nel tempo (flusso di massa dell'inquinante, velocità di uscita dei fumi, temperatura, ecc.);
- ✓ notevole flessibilità relativamente all'estensione del dominio di simulazione, da poche decine di metri (scala locale) a centinaia di chilometri dalla sorgente (mesoscala);
- ✓ capacità di trattare situazioni meteorologiche variabili e complesse, come calme di vento, parametri dispersivi non omogenei, effetti vicino alla sorgente, come transitional plume rise (innalzamento del plume dalla sorgente), building downwash (effetti locali di turbolenza dovuti alla presenza di ostacoli lungo la direzione del flusso), partial plume penetration (parziale penetrazione del plume nello strato d'inversione), fumigation;
- ✓ capacità di trattare condizioni di orografia complessa e caratterizzate da una significativa rugosità, nelle quali gli effetti della fisionomia del terreno influenzano la dispersione degli inquinanti;
- ✓ capacità di trattare effetti a lungo raggio quali le trasformazioni chimiche, trasporto sopra l'acqua ed interazione tra zone marine e zone costiere;
- ✓ possibilità di applicazione ad inquinanti inerti e polveri, soggetti a rimozione a secco o ad umido, ed a inquinanti reagenti: si possono considerare la formazione di inquinanti secondari, il fenomeno di smog fotochimico, ecc.

### 1.2.2 Calmet

CALMET è un pacchetto di simulazione per la ricostruzione del dominio meteorologico in grado di sviluppare campi di vento sia diagnostici che prognostici, rendendo così il sistema diffusionale capace di trattare condizioni atmosferiche complesse, variabili nel tempo e nello spazio.

CALMET consente di tener conto di diverse caratteristiche, quali la pendenza del terreno, la presenza di ostacoli al flusso, la presenza di zone marine o corpi d'acqua. È dotato inoltre di un processore micrometeorologico, in grado di calcolare i parametri dispersivi all'interno dello strato limite (PBL), come altezza di miscelamento e coefficienti di dispersione; inoltre, consente di produrre campi tridimensionali di temperatura e, a differenza di altri processori meteorologici (come per esempio AERMET), calcola internamente la classe di stabilità atmosferica, tramite la localizzazione del dominio (coordinate UTM), l'ora del giorno e la copertura del cielo.

Relativamente alla costruzione del campo di vento, CALMET è in grado di tenere conto degli effetti cinematici del terreno e risulta, quindi, adatto ad applicazioni in presenza di orografia complessa; in particolare, effettua il calcolo dello slope flow, cioè del flusso di aria che si genera lungo i pendii quando l'aria fredda nei pressi del terreno è accelerata verso valle a causa della forza di gravità.

Il modello meteorologico CALMET si compone, nel dettaglio, di un modulo per il calcolo del campo di vento (modello di tipo diagnostico) e di un modulo per il calcolo dei parametri micrometeorologici dello strato limite atmosferico. Il modello diagnostico per il calcolo dei campi di vento utilizza un algoritmo in due fasi. Nella prima fase una stima iniziale del campo di vento viene modificata in base agli effetti cinematici del terreno, dei pendii presenti, degli effetti di bloccaggio. Successivamente, nella seconda fase, mediante una procedura analitica oggettiva, vengono introdotti i dati osservati di input all'interno del campo prodotto dalla prima fase, ottenendo così il campo di vento



finale. Esiste comunque la possibilità di utilizzare come input campi di vento (generalmente a maglie più larghe) prodotti da modelli meteorologici di tipo prognostico, come ad esempio MM4-MM5 o WRF.

Di seguito si analizzano nel dettaglio le caratteristiche dell'approccio modellistico di CALMET.

Nella prima fase, gli effetti cinematici del terreno vengono considerati mediante l'approccio di Liu e Yocke (1980). Il campo di vento iniziale viene modificato tramite l'aggiunta di componenti verticali indotte dall'orografia complessa, utilizzando una funzione di decadimento di tipo esponenziale, dipendente dalla stabilità atmosferica. Gli effetti del terreno sulle componenti orizzontali del vento sono invece valutati applicando uno schema di minimizzazione della divergenza al campo di vento iniziale stimato. L'algoritmo viene applicato iterativamente fino a che la divergenza tridimensionale risulta al di sotto di una certa soglia. Il flusso sui pendii viene calcolato in base alla parametrizzazione di Mahrt (1982), mentre gli effetti termodinamici di bloccaggio del terreno sul flusso di vento sono parametrizzati in termini di numero di Froude locale.

Nella seconda fase di calcolo, la procedura prevede l'introduzione dei dati di input osservati. Viene effettuata un'interpolazione pesando maggiormente i punti nelle vicinanze del dato osservato, mentre il campo di vento risultante dalla prima fase risulta dominante nelle regioni del dominio più lontane. Come già accennato in precedenza, in alternativa ai dati osservati, possono essere utilizzati i risultati derivanti da modelli di tipo prognostico a larga scala.

Per il calcolo dei parametri micrometeorologici CALMET utilizza due differenti modelli, a seconda della tipologia di superficie planetaria coinvolta (terreno o acqua). Al di sopra della terraferma, viene applicato il bilancio energetico di Holtslag e Van Ulden (1983) per il calcolo dei valori bidimensionali orari di flusso di calore sensibile, velocità di attrito, lunghezza di Monin-Obukhov e velocità convettiva di scala. Le altezze di mescolamento sono determinate a partire dai valori calcolati di flusso superficiale di calore e dai valori osservati dei profili verticali di temperatura.

Nel caso in esame sono stati utilizzati, come campo di vento iniziale, i dati meteorologici prognostici elaborati dal modello WRF. Ciò consente di utilizzare dati distribuiti su una spaziatura orizzontale significativamente grande e con diversa risoluzione verticale, ottenendo una ricostruzione del campo di vento più consistente e realistica, rispetto all'uso di dati puntuali (misure da stazioni al suolo e profilometriche). Il campo di vento iniziale (initial-guess wind field), costituito dai dati prognostici WRF (3D.dat) è stato corretto dal CALMET in base agli effetti cinematici del terreno sulla base di dati orografici e d'uso del suolo forniti in input al modello.

#### 1.2.2.1 [Modello WRF \(Weather Research and Forecasting\)](#)

Il Weather Research and Forecasting Model (WRF) è un sistema di previsione numerica di nuova generazione progettato per simulare o predire la circolazione atmosferica a mesoscala. È dotato di due nuclei dinamici: un sistema di assimilazione dati e un'architettura software che permette di eseguire parallelamente la computazione e l'estensibilità del sistema. Il modello propone una vasta gamma di applicazioni meteorologiche su diverse scale da decine di metri a migliaia di chilometri. Lo sforzo di sviluppare WRF, iniziato alla fine degli anni '90, è frutto della collaborazione principalmente tra il National Center for Atmospheric Research (NCAR), la National Oceanic and Atmospheric Administration (rappresentato dal National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e (successivamente) dal Forecast Systems Laboratory (FSL), l'Air force Weather Agency (AFWA), il Naval Research Laboratory, l'University of Oklahoma e il Federal Aviation Administration (FAA).

Il modello WRF è in grado di generare la simulazione atmosferica utilizzando dati reali (osservazioni, analisi), o condizioni ideali. WRF genera previsioni meteo operative su una piattaforma flessibile e computazionalmente efficiente, fornendo al contempo contributi al progresso della fisica e dell'analisi numerica, assimilando il contributo di numerosi ricercatori di tutto il mondo.

#### 1.2.3 [Calpost](#)

CALPOST è il modulo in grado di elaborare l'output primario del CALPUFF, con i valori delle concentrazioni in corrispondenza dei recettori, a griglia o discreti, per renderlo adatto ad una migliore visualizzazione dei risultati nei formati richiesti dall'utente.

Lo stesso modulo consente anche di calcolare la riduzione della visibilità dovuta alle emissioni e la possibilità di applicare dei fattori di scala alle concentrazioni calcolate con CALPUFF, per una migliore rappresentazione dei risultati.

CALPOST consente l'estrazione di stime orarie, per un inquinante alla volta, di medie giornaliere, mensili o su di un numero di ore a piacere. Le stime di concentrazione (o di flusso di deposizione) vengono fornite sia in formato ASCII, sia in formato GRD.

## 1.3 RICOSTRUZIONE DEL CAMPO DI VENTO 3D

### 1.3.1 Dominio di calcolo

Vista l'eterogeneità orografica dell'area oggetto di studio, risulta necessario l'utilizzo di un dominio di calcolo di un'ampiezza tale da considerare, nella modellazione, un'area sufficientemente rappresentativa. D'altra parte, una elevata estensione del dominio di calcolo comporta l'utilizzo di una risoluzione più grossolana, e quindi una minor precisione del calcolo. Nella scelta del dominio di calcolo è stato dunque necessario ottimizzare i due aspetti.

Il presente studio è stato eseguito costruendo un dominio meteorologico, (Figura 1.1), definito con una estensione di  $80 \times 80 \text{ km}^2$  e diviso in una griglia regolare a celle quadrate con una risoluzione di 1 km. L'estensione verticale raggiunge una quota di 4000 m, con 10 layer verticali compresi tra il livello del suolo e la massima altezza. Il dominio computazionale, che è il dominio all'interno del quale vengono considerate le sorgenti emmissive e su cui vengono simulati i fenomeni di avvezione e dispersione degli inquinanti, ha estensione  $60 \times 60 \text{ km}^2$  con risoluzione cella di 1 km ed è stato scelto in modo che l'area oggetto di studio risultasse al centro del dominio. Il dominio di ricampionamento è stato invece scelto di dimensione ridotta  $20 \times 20 \text{ km}^2$  con risoluzione di 200 m e rappresenta il dominio su cui vengono forniti gli output di concentrazione.

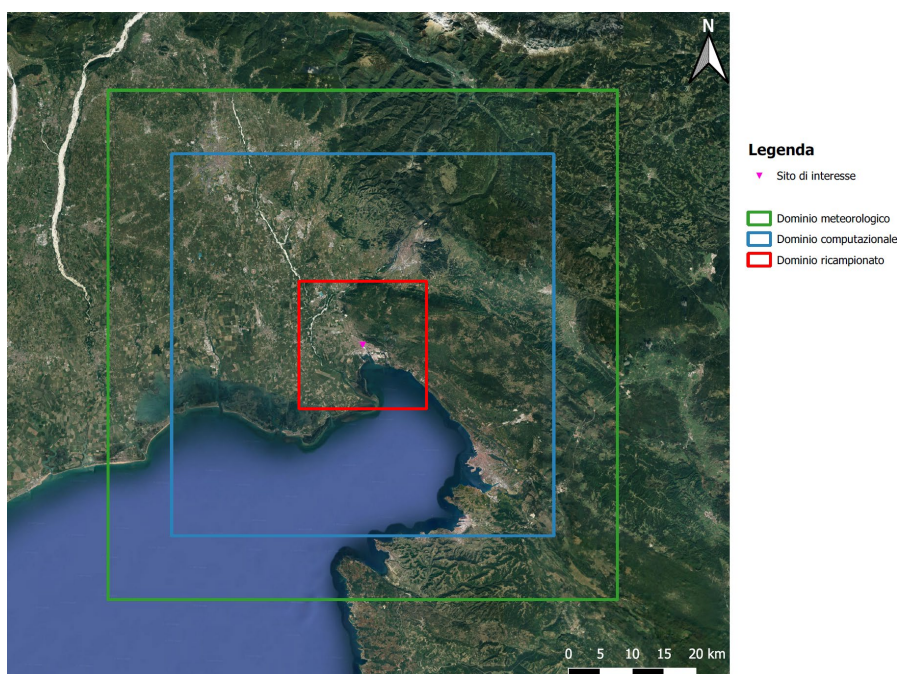


Figura 1.1: Domini di calcolo meteorologico, computazionale e ricampionato

### 1.3.2 Orografia e uso del suolo

I dati necessari per la definizione delle caratteristiche orografiche e idrografiche del dominio di studio sono stati estratti dal database SRTM, frutto di una collaborazione tra National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) e altre agenzie spaziali, tra cui quella tedesca e italiana. Il modello digitale di elevazione (DEM) utilizzato è SRTM1, che ha una risoluzione di 1 arco secondi (circa 30 m) (Figura 1.2). Nelle aree del dominio dove tali dati non sono disponibili si è fatto ricorso ai dati GTOPO30 forniti dall'U.S. Geological Survey (USGS) caratterizzati da una risoluzione più grossolana di 30 arco secondi (circa 900 m). Per migliorare la caratterizzazione orografica del dominio di interesse, sono stati impiegati anche i dati delle linee di costa e dei corpi d'acqua ad alta risoluzione Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Database (GSHHS) forniti dal National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Per quanto riguarda l'uso del suolo, è stato utilizzato il database Corine Land Cover (CLC) dell'anno 2018, messo a disposizione dal Global Monitoring for Environment and Security (GMES), conosciuto oggi come Copernicus. Esso, con una risoluzione spaziale di circa 100 m, riporta l'informazione sulla tipologia di copertura del suolo, codificata secondo un preciso codice (Figura 1.3).

In Figura 1.2 e Figura 1.3 sono rappresentate le elaborazioni eseguite con i preprocessori di CALMET che restituiscono una griglia di orografia ed uso del suolo con risoluzione uguale a quella del dominio meteorologico. Per quanto riguarda l'uso del suolo, poiché i codici del database CLC non sono immediatamente leggibili dal preprocessore, è stata utilizzata la tabella di decodifica riportata nel documento “Definizione della metodologia e degli input necessari per l'esecuzione di analisi integrate CALPUFF-CALMET ai fini della valutazione della dispersione di inquinanti radioattivi in atmosfera”, elaborato da ENEA nel 2015.

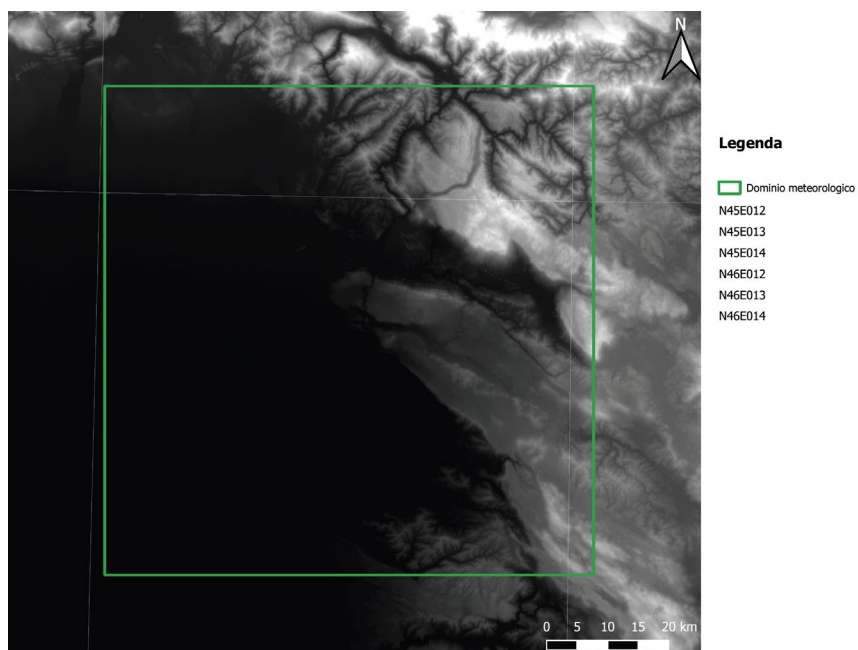
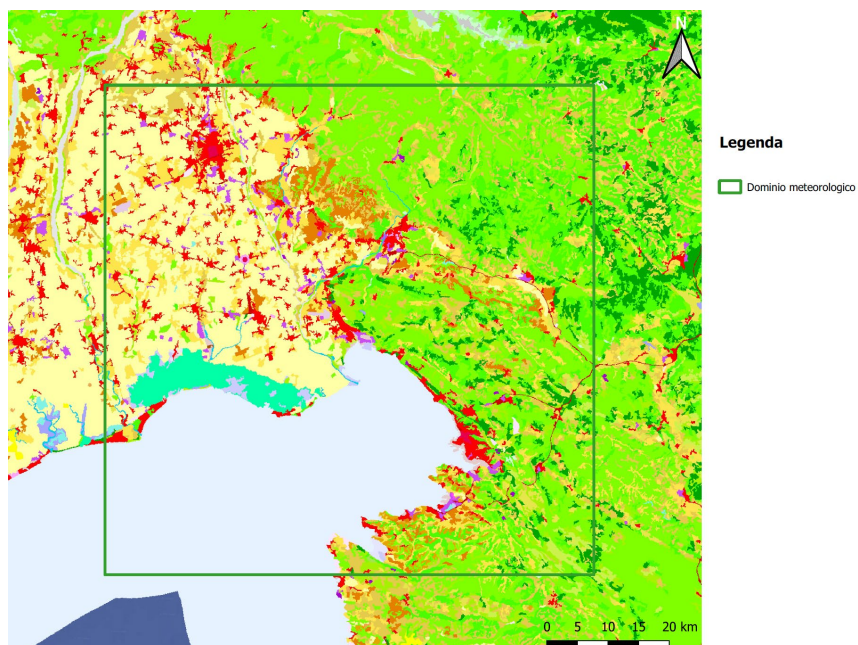


Figura 1.2: Visualizzazione dei dati GeoTIFF disponibili dal database SRTM1



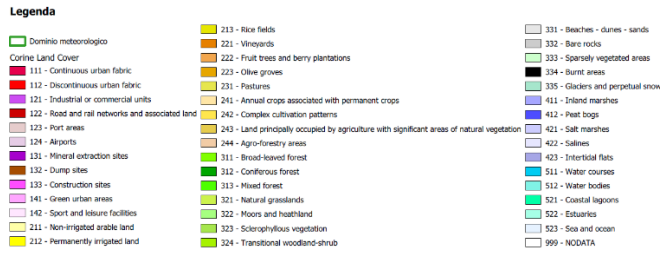


Figura 1.3: Visualizzazione dei dati di land cover disponibili dal database CLC

## 1.4 ANALISI MODELLISTICA DI DISPERSIONE

### 1.4.1 Assunzioni modellistiche

#### 1.4.1.1 Trasporto navale

Per quanto riguarda le impostazioni della simulazione CALPUFF inerente alla dispersione degli effluenti inquinanti dovuti alle emissioni dei mezzi navali sono state definite le seguenti assunzioni:

- ✓ Gli spostamenti della shuttle carrier e gli stazionamenti presso la nave madre o in porto si ipotizza che vengano ripetuti ciclicamente per l'intero anno.
- ✓ La shuttle carrier permane per 2 giorni alla banchina “Molino-Casillo” nel porto di Monfalcone per le operazioni di scarico GNL, successivamente si sposta offshore presso la nave madre per il rifornimento, che avviene in circa 5 ore.
- ✓ La rotta di navigazione porto di Monfalcone – nave madre viene percorsa complessivamente in un tempo di 3 ore ad una velocità costante. Stessa durata viene impiegata per la rotta inversa.
- ✓ Le pompe di carico e di zavorra che saranno presenti in banchina ed attive durante la presenza dello shuttle carrier sono state considerate alimentate da rete elettrica, pertanto, non producendo emissioni inquinanti, vengono escluse dalle sorgenti emissive.
- ✓ Per l'esecuzione del trasporto di GNL dalla nave madre al porto di Monfalcone è stato considerato un mezzo navale tipo shuttle carrier di taglia pari a 12000 m<sup>3</sup> di GNL stoccato, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1.1.
- ✓ Poiché la nave madre sarà ormeggiata semi-permanentemente ad una distanza dalla costa di circa 14 km, le ricadute delle emissioni inquinanti sulla costa risulteranno del tutto trascurabili. Pertanto, ai fini modellistici, questa sorgente non è stata considerata nel dominio di calcolo.

Tabella 1.1: Caratteristiche della shuttle carrier.

Type	LPG Tanker	
<b>Motore</b>	Diesel	
<b>Consumo (cruise)*</b>	32.8	t/day
<b>Consumo (port)**</b>	12.1	t/day
<b>GT</b>	11327	t
<b>Larghezza***</b>	19.8	m
<b>Lunghezza****</b>	152.3	m
<b>Potenza (main)</b>	8280	kW
<b>Potenza (aux.)</b>	3 × 900	kW



\* considerato motore diesel a 2 tempi a bassa velocità (carico al 75%) \*\* considerati motori diesel a 4 tempi ad alta velocità (carichi al 75%)

\*\*\* breadth

\*\*\*\*Lenght Overall (LOA)

#### 1.4.1.2 Trasporto ferroviario

Per quanto riguarda le impostazioni della simulazione CALPUFF inerente alla dispersione degli effluenti inquinanti dovuti alle emissioni dei mezzi ferroviari sono state definite le seguenti assunzioni:

- ✓ Gli spostamenti del locotratore in banchina e verso la stazione di Ronchi dei Legionari Sud si ipotizza che vengano ripetuti ciclicamente per l’intero anno.
- ✓ Per il traffico ferroviario si assume che esso sia operativo 365 giorni all’anno senza interruzioni: in totale si tratta di 3 viaggi A/R al giorno.
- ✓ È stato ipotizzato che le movimentazioni che deve effettuare il locotratore in banchina per il carico completo di 20 carri abbiano una durata complessiva di circa 2 ore.
- ✓ Gli spostamenti del locotratore dalla banchina “Molino-Casillo” alla stazione ferroviaria di Ronchi dei Legionari Sud, considerando il regime di marcia a vista ad una velocità massima di 30 km/h, ridotta a 5 km/h in corrispondenza dei passaggi a livello, si assume che avvengano in circa 30 minuti. Stessa durata è stata ipotizzata per il ritorno verso la banchina.
- ✓ Il generatore ed il sistema di flaring che verrà installato in banchina rappresentano sorgenti emissive discontinue e/o emergenziali, pertanto, considerando il loro impatto relativamente basso, sono state trascurate dalla modellazione.
- ✓ Per l’esecuzione della movimentazione dei vagoni in banchina e il successivo trasporto su rotaia verso la stazione di Ronchi dei Legionari Sud è stato considerato un mezzo locomotore le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1.2.

**Tabella 1.2: Caratteristiche del locotratore**

Type	Locotratore	
<b>Motore</b>	Diesel	
<b>Consumo (shunt)*</b>	2.2	t/day
<b>Consumo (line)*</b>	5.3	t/day
<b>Massa complessiva</b>	30	T
<b>Lunghezza</b>	10	m
<b>Potenza</b>	385	kW



\* consumi calcolati a partire dalla Table 3.5 del documento “EMEP/EEA “Air pollutant emission inventory guidebook 2019”. 1.A.3.c Railways

#### 1.4.1.3 Generali

Le impostazioni generali del modello di dispersione CALPUFF sono le seguenti:

- ✓ A fini cautelativi non sono stati attivati i meccanismi e relativi algoritmi di rimozione secca ed umida; saranno pertanto presentati risultati corrispondenti al non aver considerato tali fenomeni di rimozione;
- ✓ Alle stime prodotte dall’applicazione modellistica non è stato sommato alcun valore di fondo in modo da quantificare l’impatto netto del progetto, in termini di ricaduta di inquinanti, in rapporto alle altre emissioni del porto di Monfalcone.

### 1.4.2 Calcolo del termine di sorgente

#### 1.4.2.1 Trasporto navale

##### 1.4.2.1.1 Geometria e posizione delle sorgenti emissive

Nelle fasi di stazionamento in porto, la sorgente emissiva è stata considerata come sorgente puntuale, avente le caratteristiche riportate in Tabella 1.3. Per la modellistica è stato impiegato il modulo PTEMARB del pacchetto CALPUFF, che consente, oltre che caratterizzare le sorgenti a camino variabili nello spazio e nel tempo, anche l’attivazione/disattivazione delle stesse.

Per la stima del diametro del camino e per la stima della temperatura e velocità dei fumi in uscita, si è fatto riferimento a dati da fonte Fincantieri ed alle valutazioni proposte da ARPA Veneto nell’ambito del progetto CAIMANS.

Quindi, per la parametrizzazione emissiva è stato assunto un diametro del camino pari a 1.5 m, una temperatura dei fumi di 160 °C e una velocità dei fumi di 10 m/s. È stata inoltre considerata una altezza del camino pari a 20 m.

Durante la navigazione, la sorgente emissiva tempo variante è invece stata considerata come lineare (Tabella 1.4), impiegando il modulo RDEMARB del pacchetto CALPUFF.

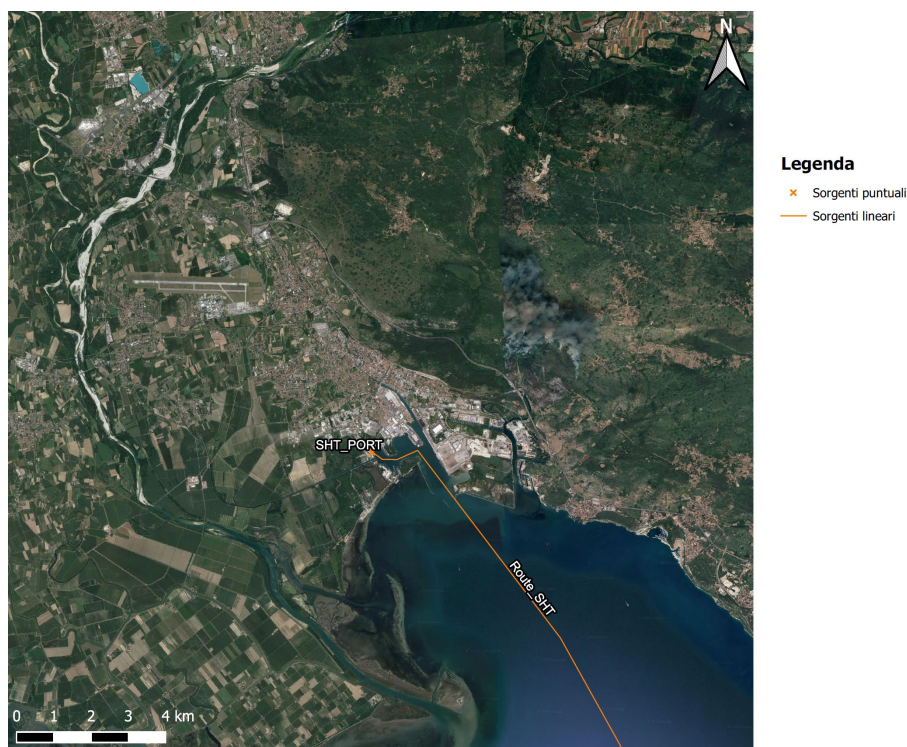
Tutte le sorgenti sono riportate graficamente in Figura 1.4.

**Tabella 1.3: Caratteristiche geometriche delle sorgenti emissive puntuali considerate (mezzi navali)**

Mezzo di trasporto	ID Sorgente	X [m]	Y [m]	Altezza [m]	Diametro [m]
Shuttle carrier	SHT_PORT	385773	5071517	20.00	1.50

**Tabella 1.4: Caratteristiche geometriche delle sorgenti emissive lineari considerate (mezzi navali)**

Mezzo di trasporto	ID Sorgente	X inizio [m]	Y inizio [m]	X fine [m]	Y fine [m]	Lunghezza [m]
Shuttle carrier	Route_SHT	385773	5071517	349455	5041315	63301



**Figura 1.4: Localizzazione delle sorgenti emissive areali e lineari (mezzi navali)**

#### 1.4.2.1.2 Portate emesse

Per quanto riguarda le emissioni dei motori dei mezzi navali utilizzati sono state calcolate a partire dai fattori emissivi riportati nel capitolo 1.A.3.d.i, 1.A.3.d.ii, 1.A.4.c.iii "International maritime navigation, international inland navigation, national navigation (shipping), national fishing, military (shipping), and recreational boats" del documento "EMEP EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2019", aggiornato a dicembre 2021.

Il suddetto documento riporta le emissioni medie (esprese come chilogrammi di sostanza inquinante per tonnellata di carburante consumato, kg/t) caratteristiche di diverse tipologie di natanti in funzione del combustibile da esse

utilizzato ed in funzione della tipologia di attività di navigazione (navigazione in mare aperto, navigazione in fase di manovra, stazionamento in porto).

In Tabella 1.5 vengono riportati i fattori emissivi considerati per il calcolo delle portate di sostanze inquinanti.

**Tabella 1.5: Fattori emissivi considerati per i mezzi navali coinvolti nelle operazioni**

Type	Pollutant	Value	Unit	Detail
Marine Diesel Oil (MDO) Marine Gas Oil (MGO)	<b>Engine: Main – Phase: Cruise – Engine type: Slow speed diesel</b>			
	SO <sub>2</sub>	1.82	kg/t fuel	Tier 1
	NOx – Tier I*	80.96	kg/t fuel	Tier 3
	PM <sub>10</sub>	1.01	kg/t fuel	Tier 3
	CO	2.52	kg/t fuel	Tier 3
	<b>Engine: Auxiliary – Phase: Hotelling – Engine type: High speed diesel</b>			
	SO <sub>2</sub>	1.82	kg/t fuel	Tier 1
	NOx – Tier I*	33.02	kg/t fuel	Tier 3
	PM <sub>10</sub>	0.98	kg/t fuel	Tier 3
	CO	4.90	kg/t fuel	Tier 3

\* ai valori iniziali di NOx (Tier 0) sono stati applicati fattori riduttivi pari a 13,1% e 18,3% rispettivamente per motori "High speed" e "Slow speed"

I suddetti valori emissivi devono essere moltiplicati per i consumi giornalieri riportati al paragrafo 1.4.1.1, suddivisi per tipologia di manovra di riferimento, ottenendo le portate emesse dalle sorgenti puntuali (Tabella 1.6) e lineari (Tabella 1.7).

**Tabella 1.6: Portate in massa delle sorgenti puntuali considerate (mezzi navali)**

Mezzo di trasporto	Tipologia di manovra	SO <sub>2</sub>	NOx	PM <sub>10</sub>	CO
		Portate in massa [g/s]			
Shuttle carrier	In porto	0.26	4.63	0.14	0.69

**Tabella 1.7: Portate in massa per unità di lunghezza delle sorgenti lineari considerate (mezzi navali)**

Mezzo di trasporto	Tipologia di manovra	SO <sub>2</sub>	NOx	PM <sub>10</sub>	CO
		Portate in massa per unità di lunghezza [g/s/m]			
Shuttle carrier	Navigazione	3.27E-05	1.46E-03	1.82E-05	4.53E-05

1.4.2.2 Trasporto ferroviario

1.4.2.2.1 Geometria e posizione delle sorgenti emissive

Per le fasi di movimentazione dei vagoni in banchina ed il successivo trasferimento degli ISO-container contenenti GNL verso la stazione di Ronchi dei Legionari Sud, le sorgenti emissive sono state considerate come lineari e ricalcheranno i tratti ferroviari che saranno percorsi dal locotratto. Per la modellazione è stato utilizzato il modulo RDEMARB del pacchetto CALPUFF.

Per il calcolo dei parametri necessari al modello si è fatto riferimento al documento US-EPA “Haul Road Workgroup”, in particolare:

- ✓ Altezza di rilascio della sorgente:  $1.7 \times$  altezza media del locotratto / 2
- ✓  $\sigma_y$  iniziale: larghezza media della ferrovia + 6 / 2.15
- ✓  $\sigma_z$  iniziale: altezza media del locotratto  $\times$  1.7 / 2.15

Le caratteristiche geometriche delle sorgenti lineari ed areali sono riportate rispettivamente in Tabella 1.8 e graficamente in Figura 1.5.

**Tabella 1.8: Caratteristiche geometriche delle sorgenti emissive lineari considerate (mezzi ferroviari)**

Mezzo di trasporto	ID Sorgente	X inizio [m]	Y inizio [m]	X fine [m]	Y fine [m]	Lunghezza [m]
Locotratto	Route_BAN	385828	5071404	385504	5071851	555
Locotratto	Route_RNC	385574	5071711	383297	5074933	6592



**Figura 1.5: Localizzazione delle sorgenti emissive areali e lineari (mezzi ferroviari)**



1.4.2.2.2 Portate emesse

Le emissioni del motore diesel del locotratore adibito alla movimentazione dei vagoni alla banchina “Molino-Casillo” ed il successivo trasferimento verso la stazione di Ronchi dei Legionari Sud sono state calcolate a partire dai fattori emissivi riportati nel capitolo 1.A.3.c “Railways” del documento “EMEP EEA Air pollutant mission inventory guidebook 2019”.

Il suddetto documento riporta le emissioni medie (esprese come chilogrammi di sostanza inquinante per tonnellata di carburante consumato, kg/t) caratteristiche di varie tipologie di locomotive e per tipologia di attività (es. locomotive da manovra, locomotiva per trasporto in linea).

In Tabella 1.9 vengono riportati i fattori emissivi considerati per il calcolo delle portate di sostanze inquinanti.

**Tabella 1.9: Fattori emissivi considerati per i mezzi ferroviari coinvolti nelle operazioni**

Type	Pollutant	Value	Unit	Detail
Diesel Locomotive	<b>Shunting Locomotives</b>			
	SO <sub>2</sub> *	0.01	kg/t fuel	Tier 1
	NO <sub>x</sub>	54.40	kg/t fuel	Tier 2
	PM <sub>10</sub>	2.10	kg/t fuel	Tier 2
	CO	10.80	kg/t fuel	Tier 2
	<b>Rail cars</b>			
	SO <sub>2</sub> *	0.01	kg/t fuel	Tier 1
	NO <sub>x</sub>	39.90	kg/t fuel	Tier 2
	PM <sub>10</sub>	1.10	kg/t fuel	Tier 2
	CO	10.80	kg/t fuel	Tier 2

\* è stato considerato un tenore di zolfo nel carburante diesel pari a 0.005% in massa.

I suddetti valori emissivi devono essere moltiplicati per i consumi giornalieri riportati al paragrafo 1.4.1.2, suddivisi per tipologia di manovra di riferimento, ottenendo le portate emesse dalle sorgenti lineari (Tabella 1.10).

**Tabella 1.10: Portate in massa per unità di lunghezza delle sorgenti lineari considerate (mezzi navali)**

Mezzo di trasporto	Tipologia di manovra	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	CO
		Portate in massa per unità di lunghezza [g/s/m]			
Locotratore	Manovra in banchina	4.55E-07	2.47E-03	9.55E-05	4.91E-04
Locotratore	Trasporto	9.23E-08	3.68E-04	1.02E-05	9.97E-05

### 1.4.3 Limiti di riferimento

Le concentrazioni inquinanti stimate con il modello di dispersione CALPUFF sono state riferite agli indicatori della normativa vigente per la qualità dell’aria (Allegato XI e XII al D.Lgs. 155/2010), riportate in Tabella 1.11.

**Tabella 1.11: Limiti normativi considerati per gli inquinanti emessi (Allegato XI e XII al D.Lgs. 155/2010)**

Inquinante	Limite	Periodo di mediazione	Valore limite	Superamenti annui
Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> )	Soglia di allarme	1 ora	500 µg/m <sup>3</sup>	-
	Valore limite per la protezione della salute umana	1 ora	350 µg/m <sup>3</sup>	massimo 24 (99.7° percentile)
	Valore limite per la protezione della salute umana	1 giorno	125 µg/m <sup>3</sup>	massimo 3 volte (99.2° percentile)
	Livello critico per la vegetazione	Anno civile	20 µg/m <sup>3</sup>	-
Ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )	Soglia di allarme	1 ora	400 µg/m <sup>3</sup>	-
	Valore limite per la protezione della salute umana	1 ora	200 µg/m <sup>3</sup>	massimo 18 volte (99.8° percentile)
	Valore limite per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>	-
	Livello critico per la vegetazione	Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup>	-
Polveri sottili (PM <sub>10</sub> )	Valore limite per la protezione della salute umana	1 giorno	50 µg/m <sup>3</sup>	massimo 35 volte (90.4° percentile)
	Valore limite per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>	-
Monossido di carbonio (CO)	Valore limite per la protezione della salute umana	8 ore	10 mg/m <sup>3</sup>	-

### 1.4.4 Recettori discreti

Le concentrazioni di inquinanti in aria ambiente sono state stimate, oltre che su reticolo spaziale regolare mediante il quale sono stati valutati i livelli di concentrazione massimi all’esterno dell’area di attività (vedi il Paragrafo 1.3.1 per la definizione della griglia di calcolo), anche in corrispondenza delle centraline di qualità dell’aria più prossime all’area di studio della rete gestita dall’ARPA Friuli-Venezia Giulia. Questo ci consente di stimare la percentuale del contributo del progetto in rapporto alle emissioni del porto di Monfalcone, le cui concentrazioni vengono registrate dalle suddette centraline.

La posizione e le coordinate geografiche dei recettori discreti individuati sono illustrate in Figura 1.6 e in Tabella 1.12.

La Tabella 1.13 riporta invece i valori di concentrazione dei vari inquinanti rilevati dalle centraline della rete ARPA e riferiti all’anno 2021. Ad eccezione del parametro monossido di carbonio (CO), che non viene registrato da nessuna delle sei centraline prossime al porto di Monfalcone, dal confronto tra le concentrazioni rilevate ed i corrispondenti limiti normativi emerge che, per l’anno 2021, non si sono verificati superamenti di soglia.



Figura 1.6: Recettori discreti considerati per la dispersione degli inquinanti in CALPUFF

Tabella 1.12: Coordinate geografiche dei recettori considerati nello studio

ID	Ubicazione	X [m UTM33]	Y [m UTM33]	Elevazione [m s.l.m.]
DBR	Doberdò d.L - via Vallone	386871	5077636	105
FIU	Fiumicello - via Brancolo	377473	5072980	4
GRA	Fossalon - via Eraclea	382233	5065341	0
MNF	Monfalcone - via Natisone	385162	5073466	6
MOV	Monfalcone - Area Verde	386898	5073190	7
RON	Vermeigliano - via Mostegane	383595	5076963	10

Tabella 1.13: Valori di concentrazione rilevati dalle centraline di qualità dell'aria della rete ARPA (anno 2021)

ID	Ubicazione	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NOx	NOx	NOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	CO
		Massimi orari [µg/m <sup>3</sup> ]	99.7° perc.le* [µg/m <sup>3</sup> ]	99.2° perc.le** [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	Massimi orari [µg/m <sup>3</sup> ]	99.8° perc.le* [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	90.4° perc.le** [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	Media 8 ore [mg/m <sup>3</sup> ]
DBR	Doberdò d.L - via Vallone	29.1	10.6	7.3	2.0	61.5	42.4	8.0	22.2	11.7	n.d.
FIU	Fiumicello - via Brancolo	19.5	4.0	2.0	0.7	79.2	58.4	11.9	34.7	17.6	n.d.
GRA	Fossalon - via Eraclea	21.5	13.5	10.4	3.1	n.d.	n.d.	n.d.	30.1	15.2	n.d.
MNF	Monfalcone - via Natisone	20.2	11.9	7.9	3.2	92.3	78.2	13.8	34.7	18.8	n.d.
MOV	Monfalcone - Area Verde	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	103.4	70.0	15.1	31.3	14.6	n.d.
RON	Vermeigliano - via Mostegane	12.5	3.0	1.1	0.1	96.1	65.1	14.6	29.7	16.0	n.d.
Limite normativo (D.Lgs. 155/2010)		500	350	125	20 (v)	400	200	40 30 (v)	50	40	10

\* percentile calcolato su base oraria, \*\*percentile calcolato su base giornaliera, (v) livello critico di concentrazione per la vegetazione, n.d. parametro non rilevato dalla centralina

#### 1.4.4.1 Inventario delle emissioni in atmosfera INEMAR FVG

I quantitativi dei diversi inquinanti emessi dalle attività riguardanti principalmente la logistica ed i trasporti di GNL del presente progetto sono stati confrontati con l'“Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera” (INEMAR) curato da IPAS Sviluppo sostenibile, eco-innovazione e semplificazione di Arpa FVG e disponibile per l'anno 2015. Tale documento garantisce, per l'anno di riferimento e per gli inquinanti di interesse, la migliore stima complessiva delle emissioni per ciascun Comune e per ciascun macrosettore del territorio regionale.

In generale, relativamente alla qualità dell'aria, le pressioni sono rappresentate dalle emissioni in atmosfera, cioè dai quantitativi delle diverse sostanze che vengono continuamente riversate in atmosfera sia dalle attività antropiche (produzione di energia, riscaldamento domestico, trasporto su strada, etc.) che naturali (composti volatili emessi dalle foreste, etc.).

Nel grafico di Figura 1.7 si riportano le emissioni di inquinanti suddivise per macrosettore, per il Comune di Monfalcone nell'anno di riferimento 2015. Tutti gli inquinanti sono espressi in t/anno ad esclusione della CO<sub>2</sub> che è espressa in kt/anno.

Il macrosettore dove si possono collocare le attività del presente progetto è ascrivibile alla categoria “Altre sorgenti mobili e macchinari”, responsabile dell'emissione in atmosfera, per il Comune di Monfalcone, delle seguenti inventory:

- ✓ Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) pari a 22.85 t/anno
- ✓ Ossidi di azoto (NOx) pari a 308.68 t/anno
- ✓ Polveri sottili (PM<sub>10</sub>) pari a 10.27 t/anno
- ✓ Monossido di carbonio (CO) pari a 39.04 t/anno

Indipendentemente dal macrosettore, per Comune di Monfalcone INEMAR stima i seguenti quantitativi:

- ✓ Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) pari a 590.06 t/anno
- ✓ Ossidi di azoto (NOx) pari a 2147.32 t/anno
- ✓ Polveri sottili (PM<sub>10</sub>) pari a 76.56 t/anno
- ✓ Monossido di carbonio (CO) pari a 609.31 t/anno

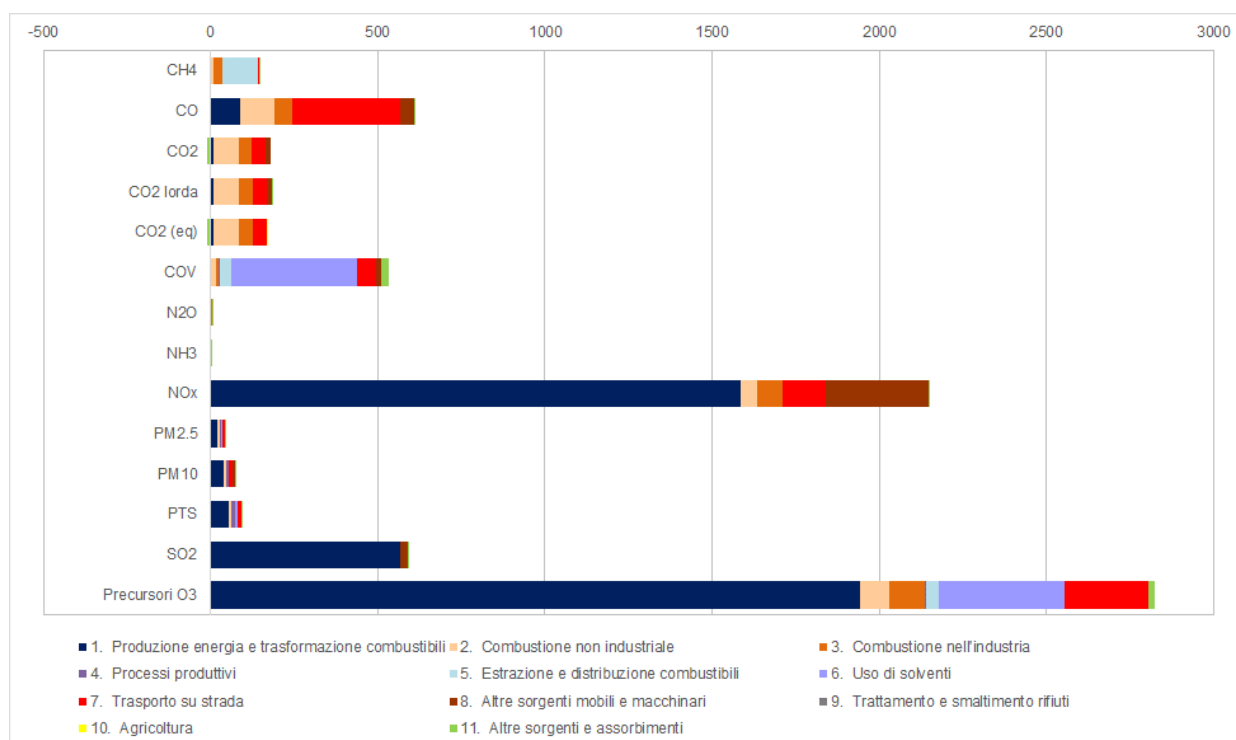


Figura 1.7: Emissioni di inquinanti per macrosettore nel Comune di Monfalcone - 2015

## 1.4.5 Risultati

### 1.4.5.1 Inventario delle emissioni in atmosfera

La stima delle emissioni annue delle sostanze inquinanti analizzate, dovute principalmente alla combustione di carburante diesel sia dei motori della shuttle carrier, sia del locotratore è riportata in Tabella 1.14. Non rientrano in questo computo le emissioni della shuttle carrier durante la navigazione nel tratto offshore e nella fase di trasferimento di GNL dalla nave madre.

Tabella 1.14: Emissioni annue dovute ai mezzi adibiti al trasporto di GNL (shuttle carrier e locotratore)

Mezzo	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	CO
	[t/anno]	[t/anno]	[t/anno]	[t/anno]
Shuttle carrier	7.29	151.67	3.94	18.67
Locotratore	0.00	16.60	0.55	3.86
<b>TOTALE</b>	<b>7.29</b>	<b>168.27</b>	<b>4.49</b>	<b>22.52</b>

Con riferimento ai valori presenti nell’Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (INEMAR), riportati nel paragrafo 1.4.4.1, si evidenzia che l’incremento delle emissioni nel Comune di Monfalcone per il macrosettore “Altre sorgenti mobili e macchinari” risulta importante, pari al 32% per SO<sub>2</sub>, 55% per NO<sub>x</sub>, 44% per PM<sub>10</sub> e 58% per CO, ma diviene trascurabile considerando le emissioni complessive, indipendentemente dal macrosettore: 1% per SO<sub>2</sub>, 8% per NO<sub>x</sub>, 6% per PM<sub>10</sub> e 4% per CO.

### 1.4.5.2 Qualità dell’aria

Nel presente paragrafo si riportano i risultati ottenuti dalla simulazione su base annua delle emissioni in atmosfera dovute sia ai motori della shuttle carrier nelle fasi di navigazione, manovra e stazionamento in banchina, sia al locomotore nelle fasi di carico/scarico degli ISO-container e nel percorso ferroviario per raggiungere la stazione di Ronchi dei Legionari Sud, suddivisi per ogni inquinante simulato. L’analisi dei risultati è volta a determinare i valori di concentrazione (definiti dalla normativa vigente) e a confrontare gli stessi con gli standard di qualità dell’aria previsti dal D. Lgs.155/2010 (riportati al paragrafo 1.4.3).

Sinteticamente, le massime concentrazioni al suolo dei principali inquinanti dovute alle emissioni dalla shuttle carrier e dal locotrattore sono inserite nella Tabella 1.15 riportata di seguito.

Come si può osservare, tutti i limiti normativi sono ovunque pienamente rispettati, ad eccezione di quelli relativi agli NOx (massimi orari, percentile e media annua), i cui superamenti sono riscontrabili principalmente nei pressi della banchina "Molino-Casillo", dove si concentrano le attività di scaricamento GNL da shuttle carrier e successivo caricamento degli ISO-container su vagoni ferroviari: l'estensione degli impatti è pari a 0.72 km<sup>2</sup> con un raggio di circa 480 m per il limite dei massimi orari, 1.16 km<sup>2</sup> con un raggio di circa 605 m per il limite 99.8° percentile su base oraria e 0.04 km<sup>2</sup> con un raggio equivalente di circa 110 m.

Per quanto riguarda l'analisi sui recettori discreti inseriti nel modello di dispersione CALPUFF, posizionati alle coordinate delle centraline di qualità dell'aria della rete gestita dall'ARPA Friuli Venezia Giulia, si può osservare che tutti i limiti normativi sono pienamente rispettati, con le concentrazioni maggiori calcolate sui punti MNF e MOV, che corrispondono alle centraline più vicine alla banchina "Molino-Casillo" e alla linea ferroviaria porto – Ronchi dei Legionari Sud (Tabella 1.16). Gli incrementi di concentrazione stimati dall'analisi modellistica rispetto ai valori rilevati dalle centraline stesse nell'anno 2021 (vedere a tal proposito il Paragrafo 1.4.4) sono quantificabili, considerando le medie annue, in circa 0.2÷8.6% per gli SO<sub>2</sub>, 0.8÷3.1% per NOx e di circa 0.1% per PM<sub>10</sub>, attribuibili per più del 75% alle emissioni dovute alla shuttle carrier. Per l'inquinante CO non è stato possibile effettuare una comparativa in quanto non registrato da nessuna delle sei centraline prossime al porto di Monfalcone.

Sulla base di questi risultati e valutati gli impatti dovuti agli ossidi di azoto NOx in prossimità della banchina "Molino-Casillo" e parzialmente anche lungo la tratta ferroviaria che dal porto conduce alla stazione di Ronchi dei Legionari Sud, si propongono le seguenti azioni mitigative:

- ✓ Prediligere shuttle carrier alimentate a LNG o utilizzarne una tipologia dotata di motori diesel più recenti Tier II (costruiti nel periodo 2011-2015) o Tier III (costruiti a partire dal 2016) in modo da ridurre le emissioni di ossidi di azoto NOx.
- ✓ Promuovere l'elettrificazione sia della banchina, al fine di poter far stazionare la shuttle carrier a motore spento, sia della bretella ferroviaria che collega la banchina alla stazione di Ronchi dei Legionari Sud.
- ✓ Utilizzare una tipologia di locotrattore dotato di motore elettrico.

Tabella 1.15: Concentrazioni massime rilevate dovute alle emissioni dei motori dei mezzi navali e ferroviari

ID	Ubicazione	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NOx	NOx	NOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	CO
		Massimi orari [µg/m <sup>3</sup> ]	99.7° perc.le* [µg/m <sup>3</sup> ]	99.2° perc.le** [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	Massimi orari [µg/m <sup>3</sup> ]	99.8° perc.le* [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	90.4° perc.le** [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	Media 8 ore [mg/m <sup>3</sup> ]
DBR	Doberdò d.L - via Vallone	7.76	3.54	1.75	0.262	<b>2548</b>	<b>1574</b>	<b>50.5</b>	4.11	1.90	0.100

Limite normativo (D.Lgs. 155/2010)	500	350	125	20 (v)	400	200	40 30 (v)	50	40	10
------------------------------------	-----	-----	-----	--------	-----	-----	--------------	----	----	----

\* percentile calcolato su base oraria, \*\*percentile calcolato su base giornaliera, (v) livello critico di concentrazione per la vegetazione

Tabella 1.16: Concentrazioni di inquinanti sui recettori discreti corrispondenti alle centraline di qualità dell'aria della rete ARPA FVG

ID	Ubicazione	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NOx	NOx	NOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	CO
		Massimi orari [µg/m <sup>3</sup> ]	99.7° perc.le* [µg/m <sup>3</sup> ]	99.2° perc.le** [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	Massimi orari [µg/m <sup>3</sup> ]	99.8° perc.le* [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	90.4° perc.le** [µg/m <sup>3</sup> ]	Media annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	Media 8 ore [mg/m <sup>3</sup> ]
DBR	Doberdò d.L - via Vallone	0.77	0.25	0.04	0.01	13.99	5.57	0.15	0.01	0.00	0.00
FIU	Fiumicello - via Brancolo	0.50	0.27	0.07	0.01	10.13	6.98	0.31	0.02	0.01	0.00
GRA	Fossalon - via Eraclea	0.47	0.17	0.03	0.01	9.54	6.36	0.20	0.01	0.01	0.00
MNF	Monfalcone - via Natisone	0.76	0.41	0.07	0.01	21.06	11.96	0.43	0.03	0.01	0.00
MOV	Monfalcone - Area Verde	0.72	0.36	0.08	0.01	27.39	10.65	0.37	0.03	0.01	0.00
RON	Vermegliano - via Mostegane	0.42	0.14	0.03	0.00	7.90	3.47	0.12	0.01	0.00	0.00

Limite normativo (D.Lgs. 155/2010)	500	350	125	20 (v)	400	200	40 30 (v)	50	40	10
------------------------------------	-----	-----	-----	--------	-----	-----	--------------	----	----	----

\* percentile calcolato su base oraria, \*\*percentile calcolato su base giornaliera, (v) livello critico di concentrazione per la vegetazione,

#### 1.4.5.2.1 SO<sub>2</sub>

Per quanto riguarda la SO<sub>2</sub> sono stati ottenuti i seguenti risultati (da Figura 1.8 a Figura 1.13):

- ✓ Il limite normativo relativo alle concentrazioni massime orarie su base annua è pari a 500 µg/m<sup>3</sup> (da non superare per più di 3 ore consecutive): il valore massimo, ottenuto nei pressi della banchina è di 7.76 µg/m<sup>3</sup>, un valore notevolmente inferiore al limite di riferimento. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto DBR, pari a 0.77 µg/m<sup>3</sup>, due ordini di grandezza inferiore al limite di legge.
- ✓ Il limite per le concentrazioni orarie, pari a 350 µg/m<sup>3</sup> e non deve essere superato per più di 24 volte nell'arco di un anno. Tale limite è quindi attribuibile al 99.7° percentile delle concentrazioni orarie. Il massimo valore, ottenuto nei pressi della banchina, è pari a circa 3.45 µg/m<sup>3</sup>, ben al di sotto della soglia di legge. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto MNF, pari a 0.41 µg/m<sup>3</sup>, due ordini di grandezza inferiore al limite di legge.
- ✓ Il limite per le concentrazioni giornaliere, pari a 125 µg/m<sup>3</sup> non deve essere superato per più di 3 volte nell'arco di un anno. Tale limite è quindi attribuibile al 99.2° percentile delle concentrazioni giornaliere. Il massimo valore ottenuto in prossimità della banchina "Molino-Casillo" è pari a circa 1.75 µg/m<sup>3</sup> e quindi inferiore alla soglia di legge. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto MOV, pari a 0.08 µg/m<sup>3</sup>, due ordini di grandezza inferiore al limite di legge.
- ✓ Il limite normativo relativo alle concentrazioni medie annuali è pari a 20 µg/m<sup>3</sup> (valore limite per la protezione della vegetazione). Il valore massimo ottenuto è pari a circa 0.262 µg/m<sup>3</sup>, ben al di sotto del limite di riferimento. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto MNF, pari a 0.01 µg/m<sup>3</sup>, circa tre ordini di grandezza inferiore al limite di legge.

#### 1.4.5.2.2 NO<sub>x</sub>

Per quanto riguarda gli NO<sub>x</sub> sono stati ottenuti i seguenti risultati (da Figura 1.16 a Figura 1.21):

- ✓ il limite normativo relativo alle concentrazioni massime orarie su base annua è pari a 400 µg/m<sup>3</sup> (da non superare per più di 3 ore consecutive): nei pressi della banchina si può individuare un'area di estensione pari a 0.72 km<sup>2</sup> (raggio equivalente di 480 m) dove tale limite viene superato. Il valore massimo ottenuto dal modello è pari a 2548 µg/m<sup>3</sup>. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto MOV, pari a 27.39 µg/m<sup>3</sup>, due ordini di grandezza inferiore al limite di legge.
- ✓ il limite per le concentrazioni orarie, pari a 200 µg/m<sup>3</sup> non deve essere superato per più di 18 volte nell'arco di un anno. Tale limite è quindi attribuibile al 99.8° percentile delle concentrazioni orarie. I valori massimi, superiori al limite di riferimento, si ottengono in prossimità della banchina con una estensione di 1.16 km<sup>2</sup> (raggio di circa 605 m) e in alcuni punti lungo la tratta ferroviaria verso la stazione di Ronchi dei Legionari Sud. Il valore massimo ottenuto dalla simulazione modellistica è pari a 1574 µg/m<sup>3</sup>. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto MNF, pari a 11.96 µg/m<sup>3</sup>, più di due ordini di grandezza inferiore al limite di legge.
- ✓ il limite normativo relativo alle concentrazioni medie annuali è pari a 40 µg/m<sup>3</sup> per la protezione della salute umana e 30 µg/m<sup>3</sup> come livello critico per la vegetazione. I valori massimi, superiori ai limiti di riferimento, si ottengono in prossimità della banchina "Molino-Casillo" e raggiungono concentrazioni fino a 50.5 µg/m<sup>3</sup>. È però da sottolineare che tali superamenti sono circoscritti ad una superficie con raggio di circa 110 m. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto MNF, pari a 0.43 µg/m<sup>3</sup>, circa due ordini di grandezza inferiore ai limiti di legge.

#### 1.4.5.2.3 PM<sub>10</sub>

Per quanto riguarda le polveri sottili PM<sub>10</sub> sono stati ottenuti i seguenti risultati (da Figura 1.22 a Figura 1.25):

- ✓ il limite normativo relativo al 90.4° percentile delle medie giornaliere, da non superare cioè più di 35 volte in un anno, è pari a 50 µg/m<sup>3</sup>. Il valore massimo, ottenuto nei pressi della banchina è di 4.11 µg/m<sup>3</sup>, un valore notevolmente inferiore al limite di riferimento. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto MNF, pari a 0.03 µg/m<sup>3</sup>, oltre tre ordini di grandezza inferiore al limite di legge.
- ✓ il limite normativo relativo alle concentrazioni medie annuali è pari a 40 µg/m<sup>3</sup>. Il valore massimo, riscontrabile nei pressi della banchina "Molino-Casillo", è pari a 1.90 µg/m<sup>3</sup>, notevolmente inferiore alla soglia di legge. Sui recettori discreti il valore di concentrazione più elevato corrisponde al punto MNF, pari a 0.01 µg/m<sup>3</sup>, oltre tre ordini di grandezza inferiore al limite di legge.

#### 1.4.5.2.4 CO

Per la CO sono stati ottenuti i seguenti risultati (Figura 1.26 e Figura 1.27):

- ✓ il limite normativo relativo alle concentrazioni mediate sulle 8 ore è pari a 10 mg/m<sup>3</sup>. Il valore massimo, ottenuto in corrispondenza della banchina, è pari a 0.100 mg/m<sup>3</sup>, ben al di sotto del limite di riferimento. Il recettore discreto con il valore di concentrazione più elevato è MNF, pari a 0.001 mg/m<sup>3</sup>, circa 4 ordini di grandezza più basso della soglia di legge.

#### 1.4.5.3 [Mappe di distribuzione](#)



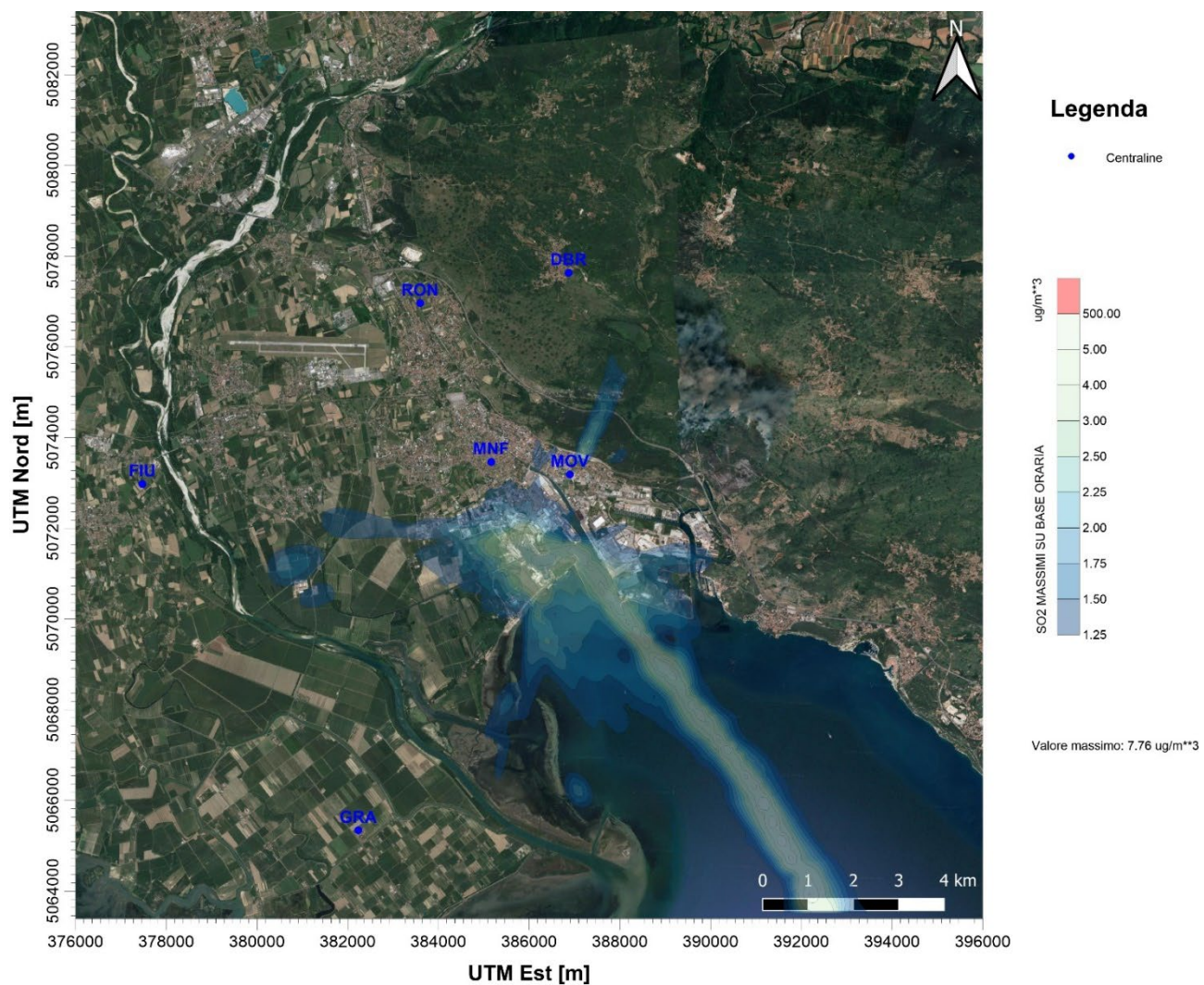


Figura 1.8: SO<sub>2</sub> – concentrazioni massime su base oraria [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

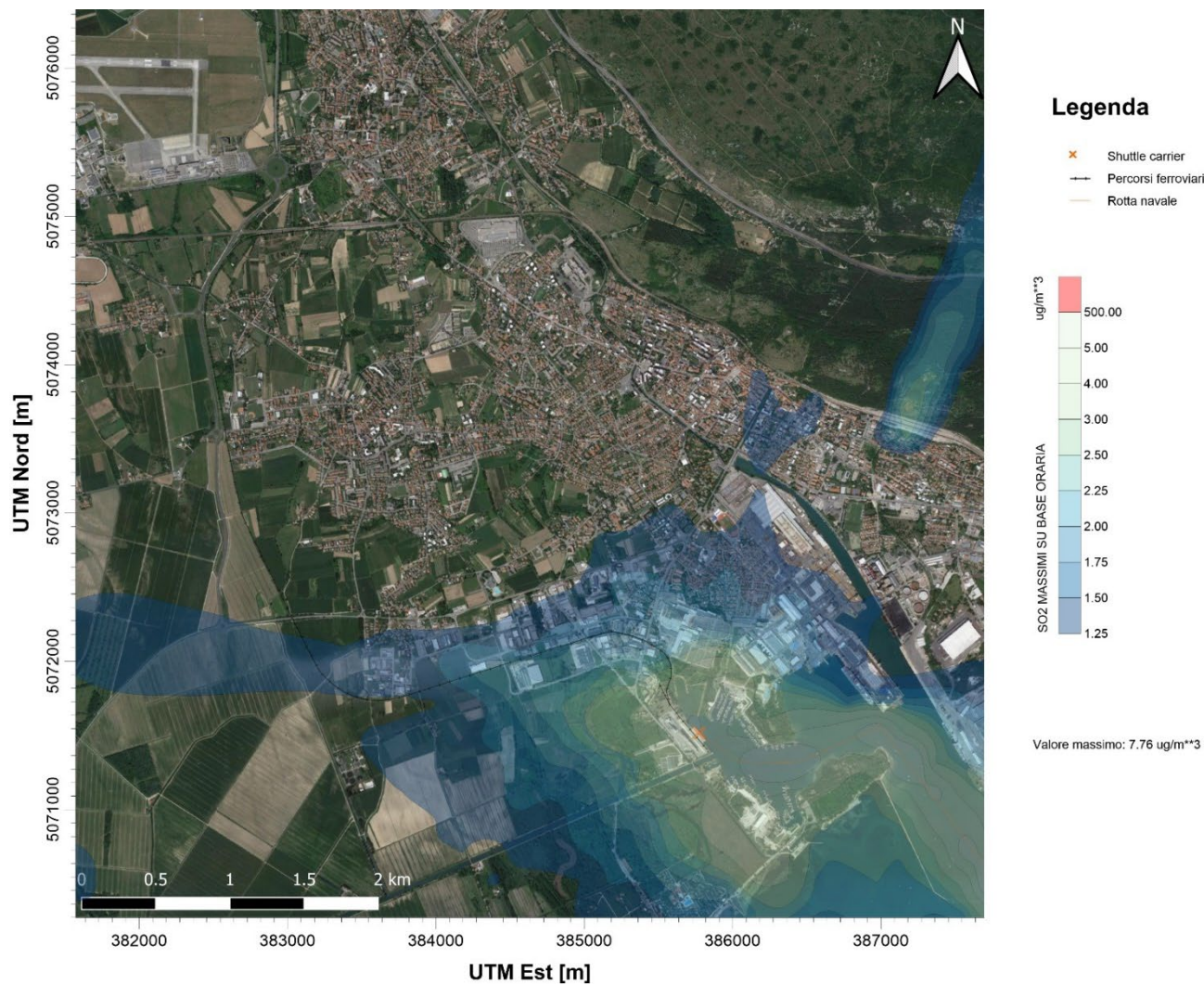


Figura 1.9: SO<sub>2</sub> – concentrazioni massime su base oraria [µg/m<sup>3</sup>] – zoom su Monfalcone

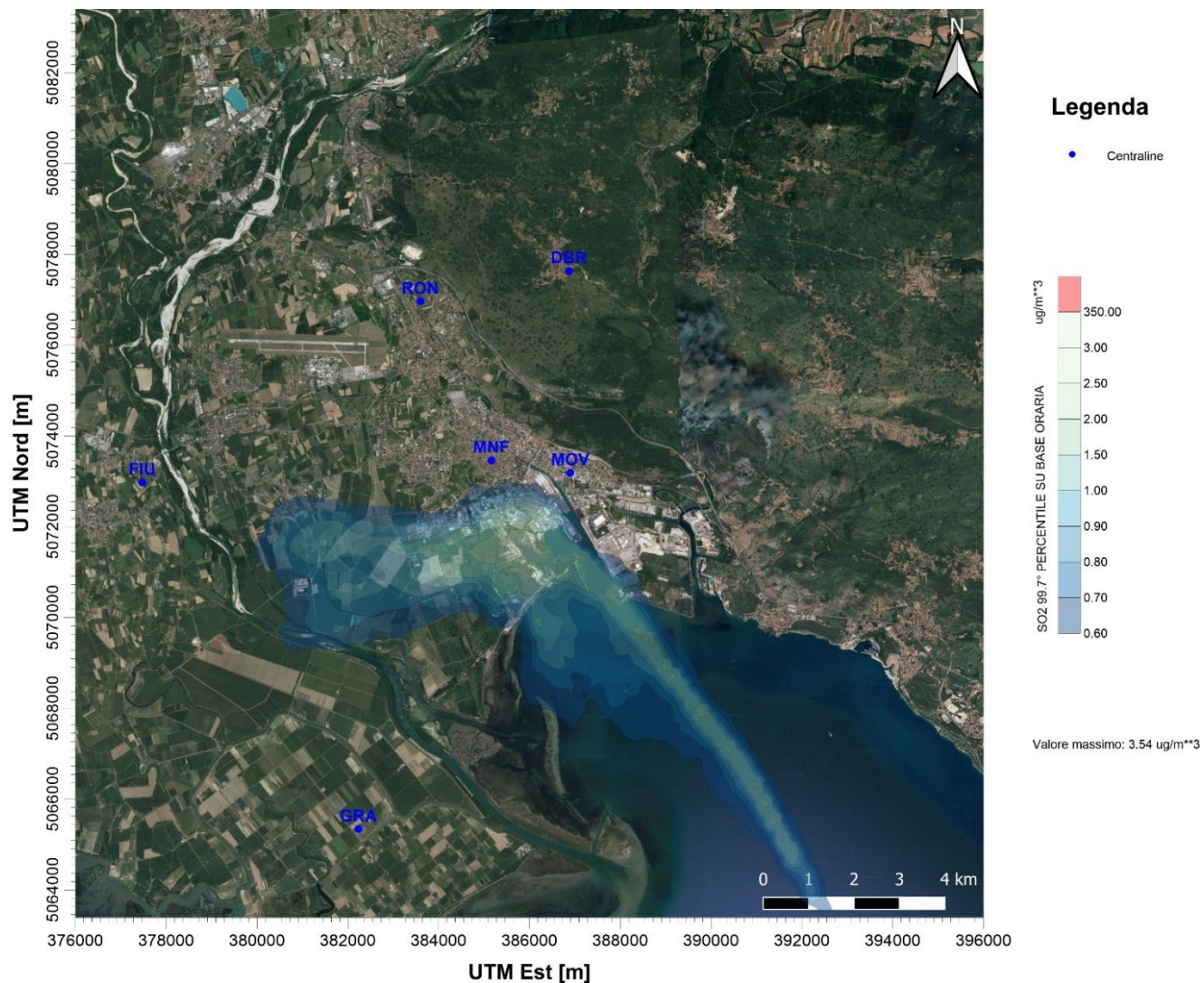


Figura 1.10: SO<sub>2</sub> – 99.7° percentile delle concentrazioni orarie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

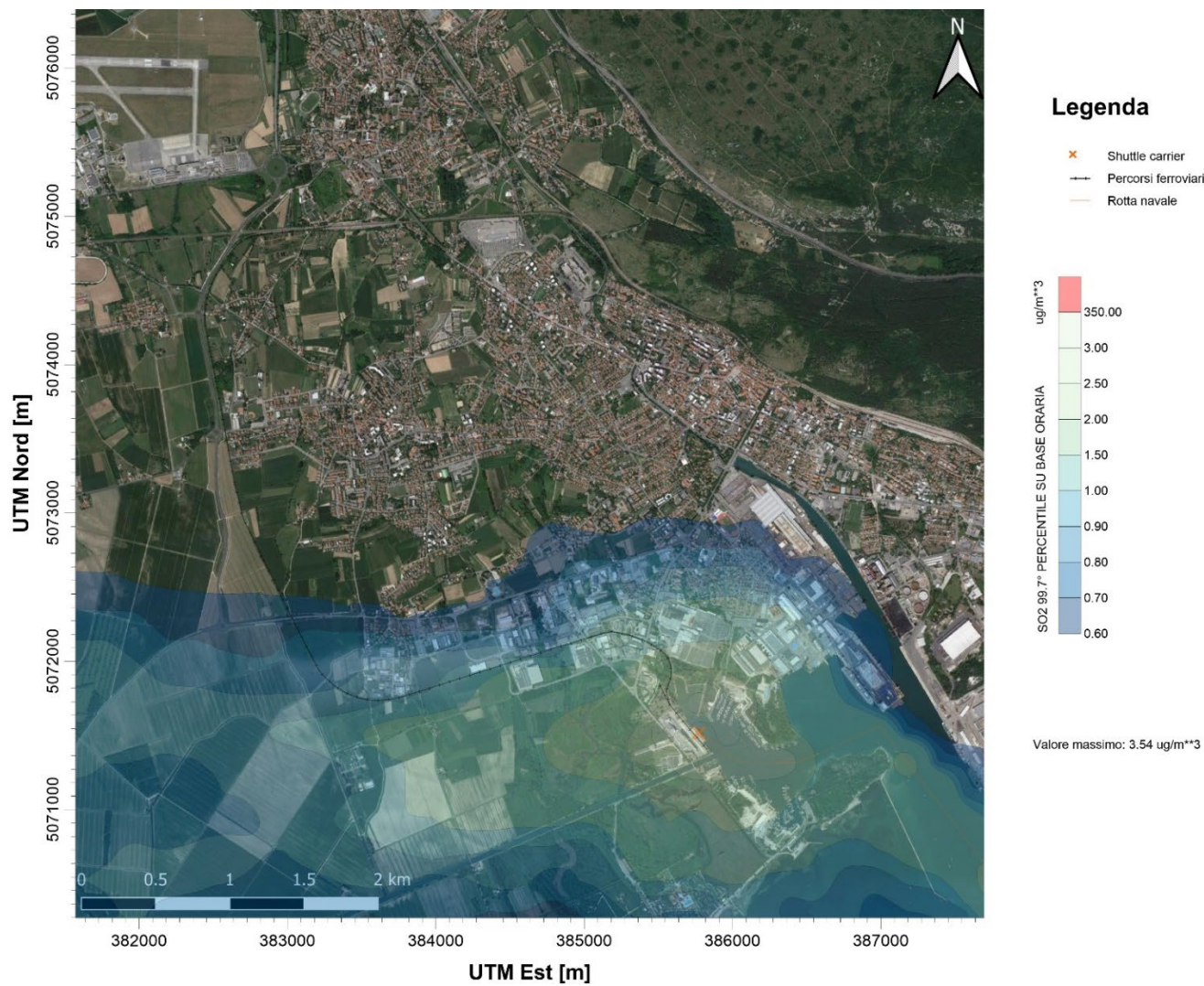


Figura 1.11: SO<sub>2</sub> – 99.7° percentile delle concentrazioni orarie [µg/m<sup>3</sup>] – zoom su Monfalcone

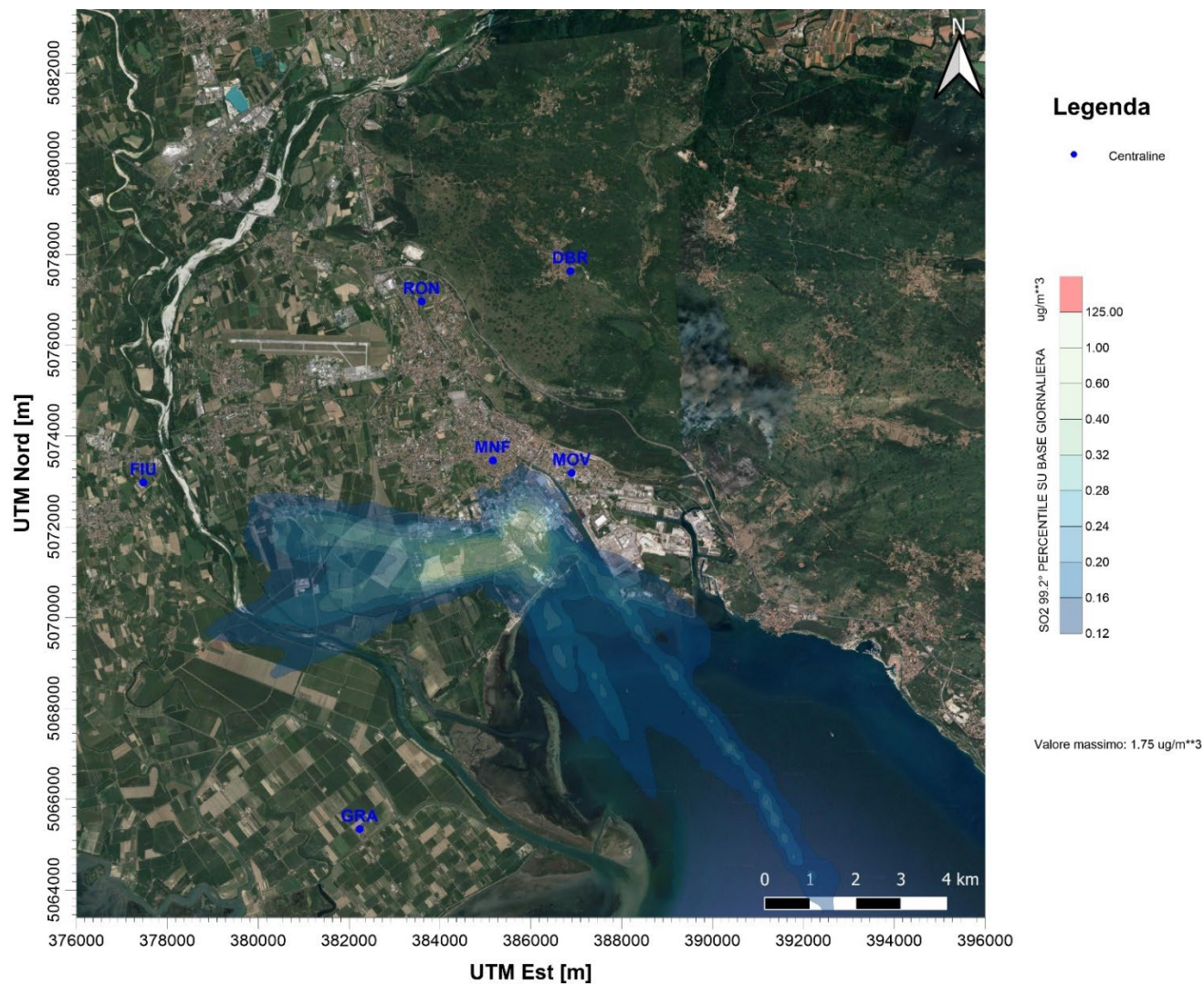


Figura 1.12: SO<sub>2</sub> – 99.2° percentile delle concentrazioni giornaliere [µg/m<sup>3</sup>]

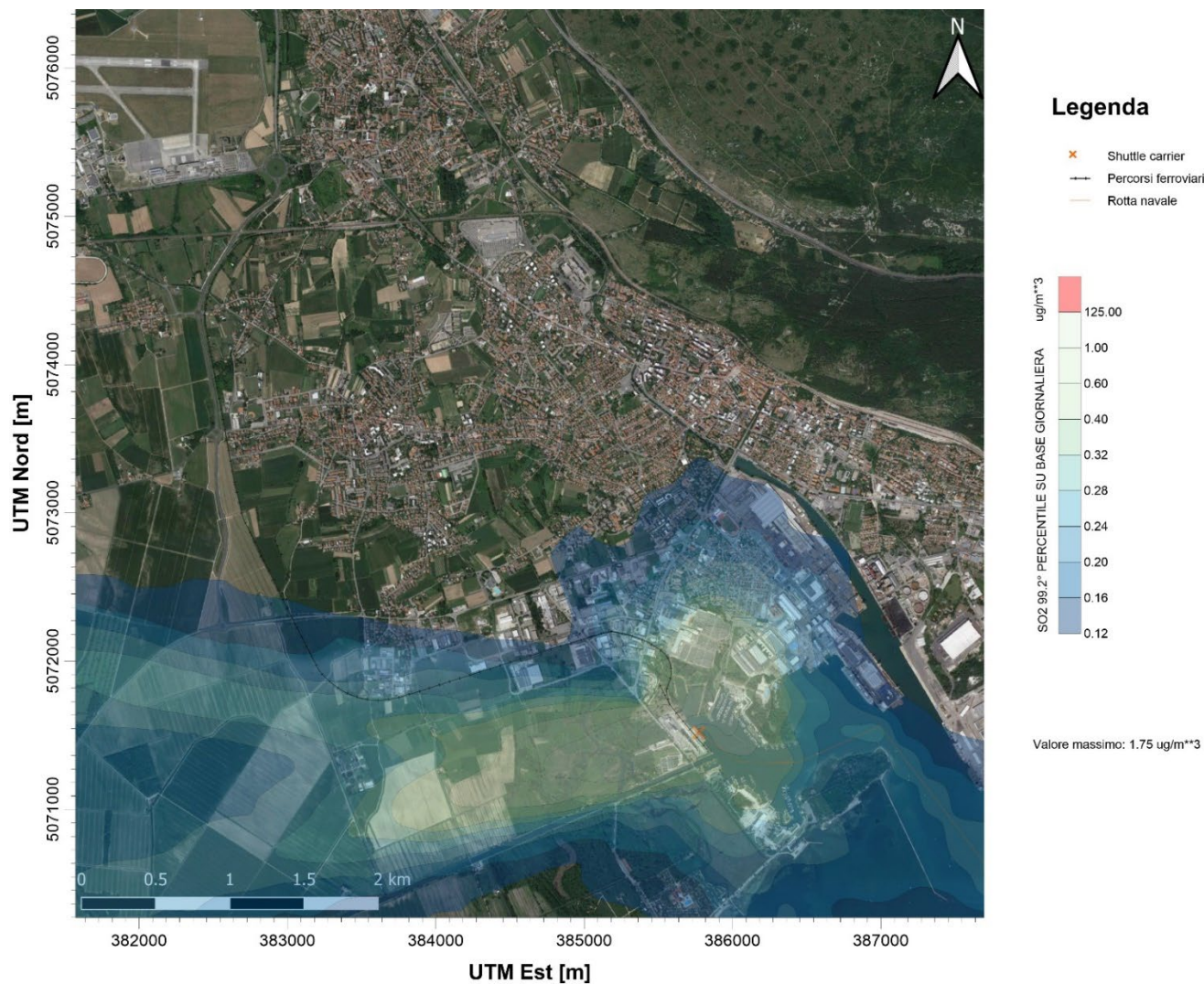


Figura 1.13: SO<sub>2</sub> – 99.2° percentile delle concentrazioni giornaliere [µg/m<sup>3</sup>] – zoom su Monfalcone

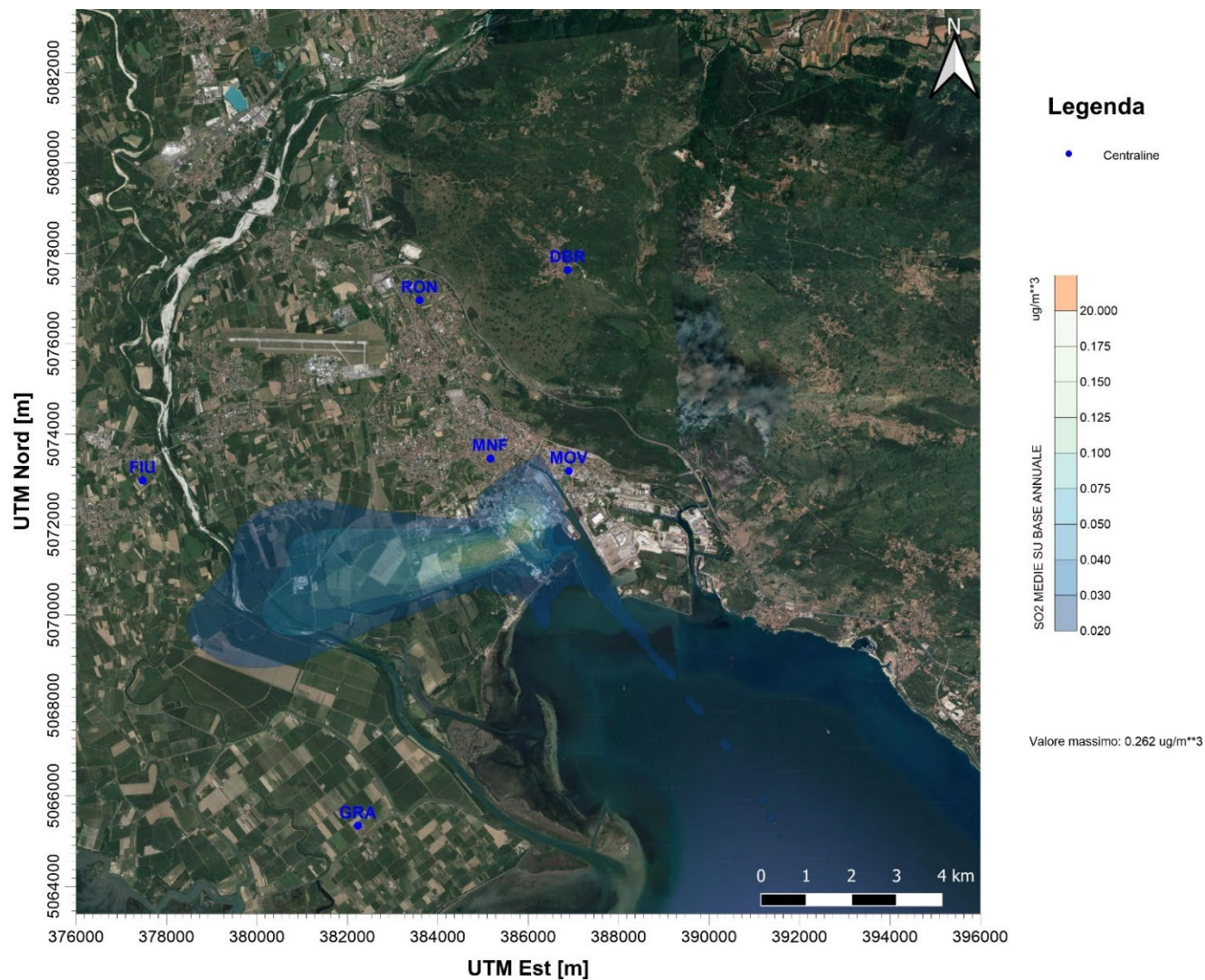


Figura 1.14: SO<sub>2</sub> – concentrazioni medie su base annuale [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

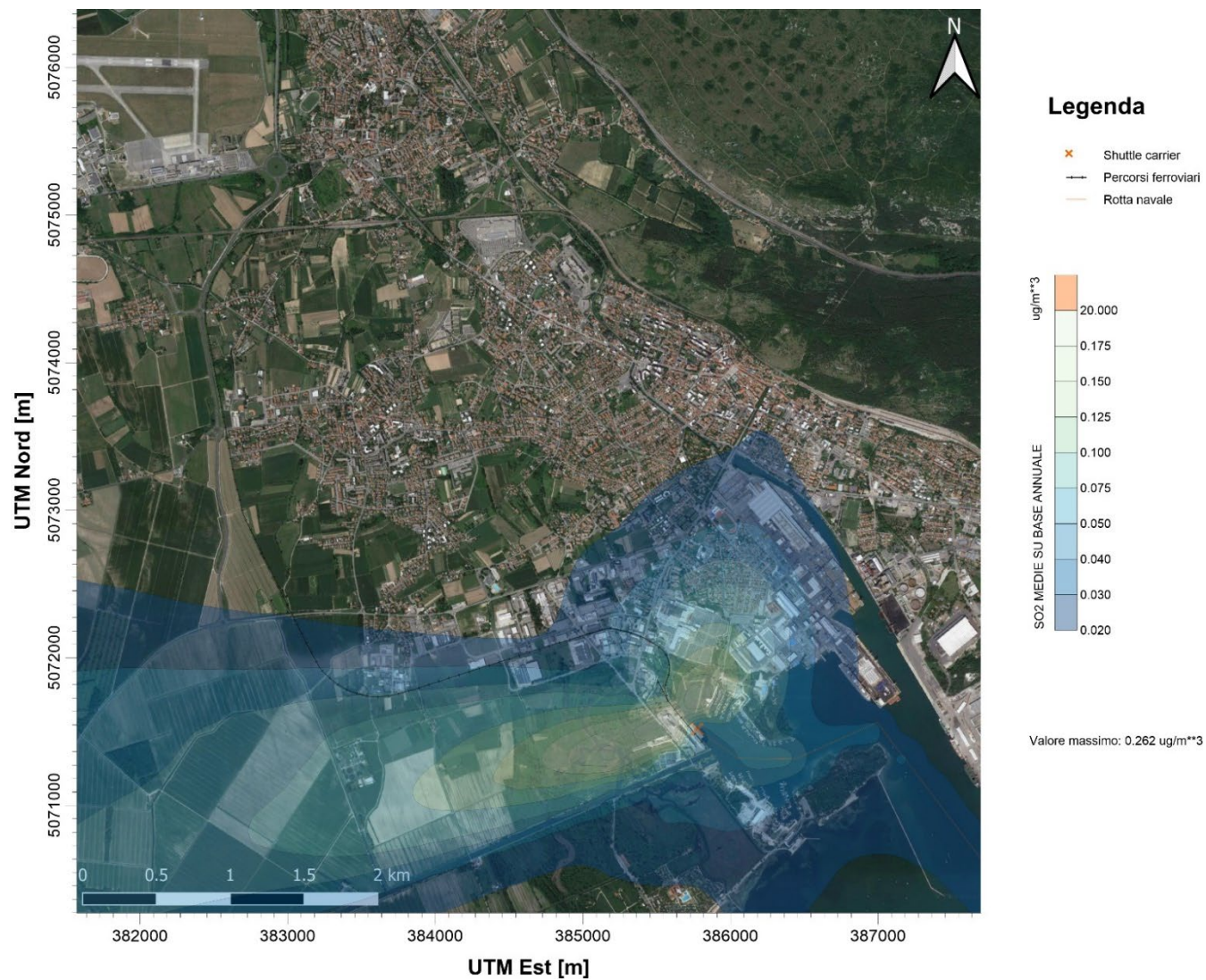


Figura 1.15: SO<sub>2</sub> – concentrazioni medie su base annuale [µg/m<sup>3</sup>] – zoom su Monfalcone



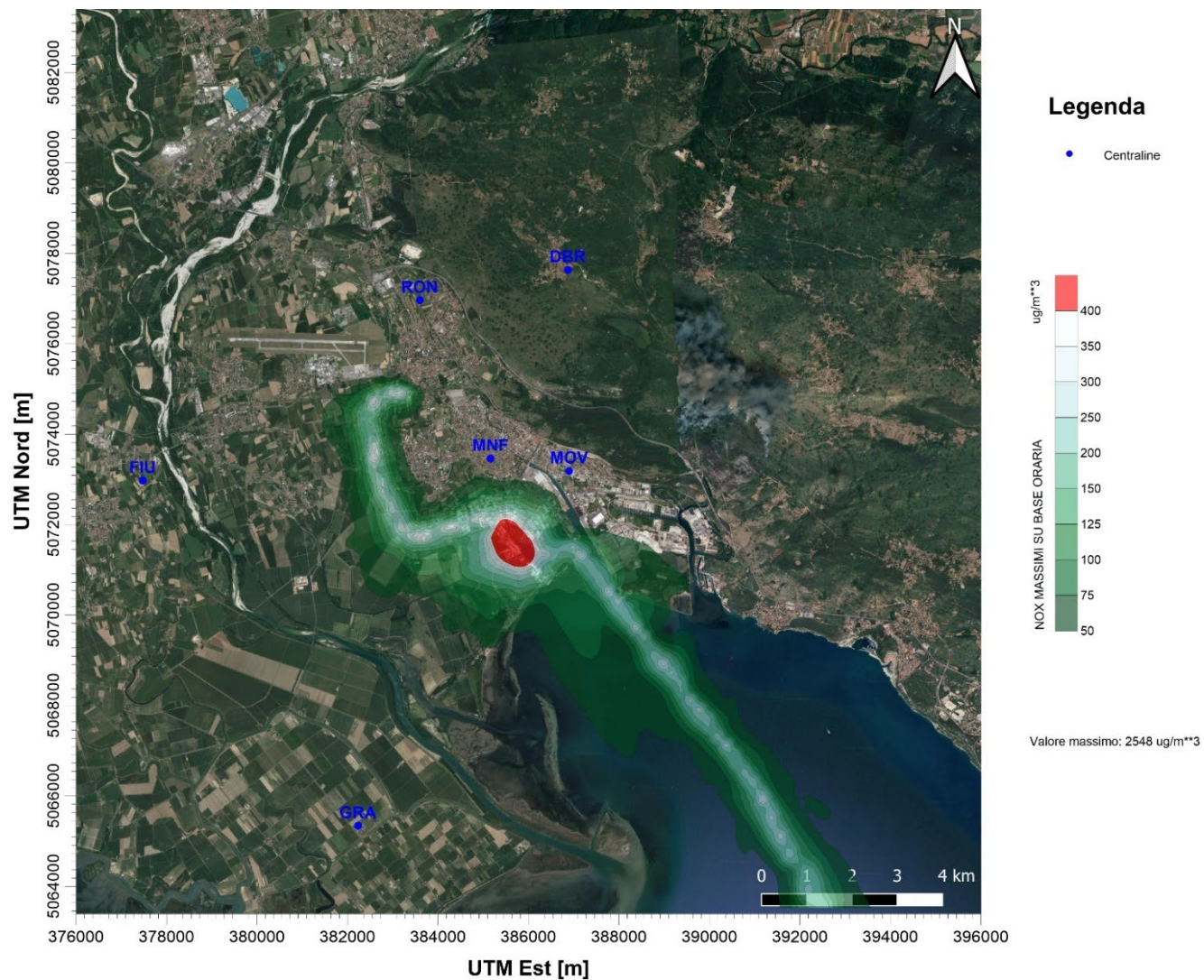


Figura 1.16: NOx – concentrazioni massime su base oraria [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

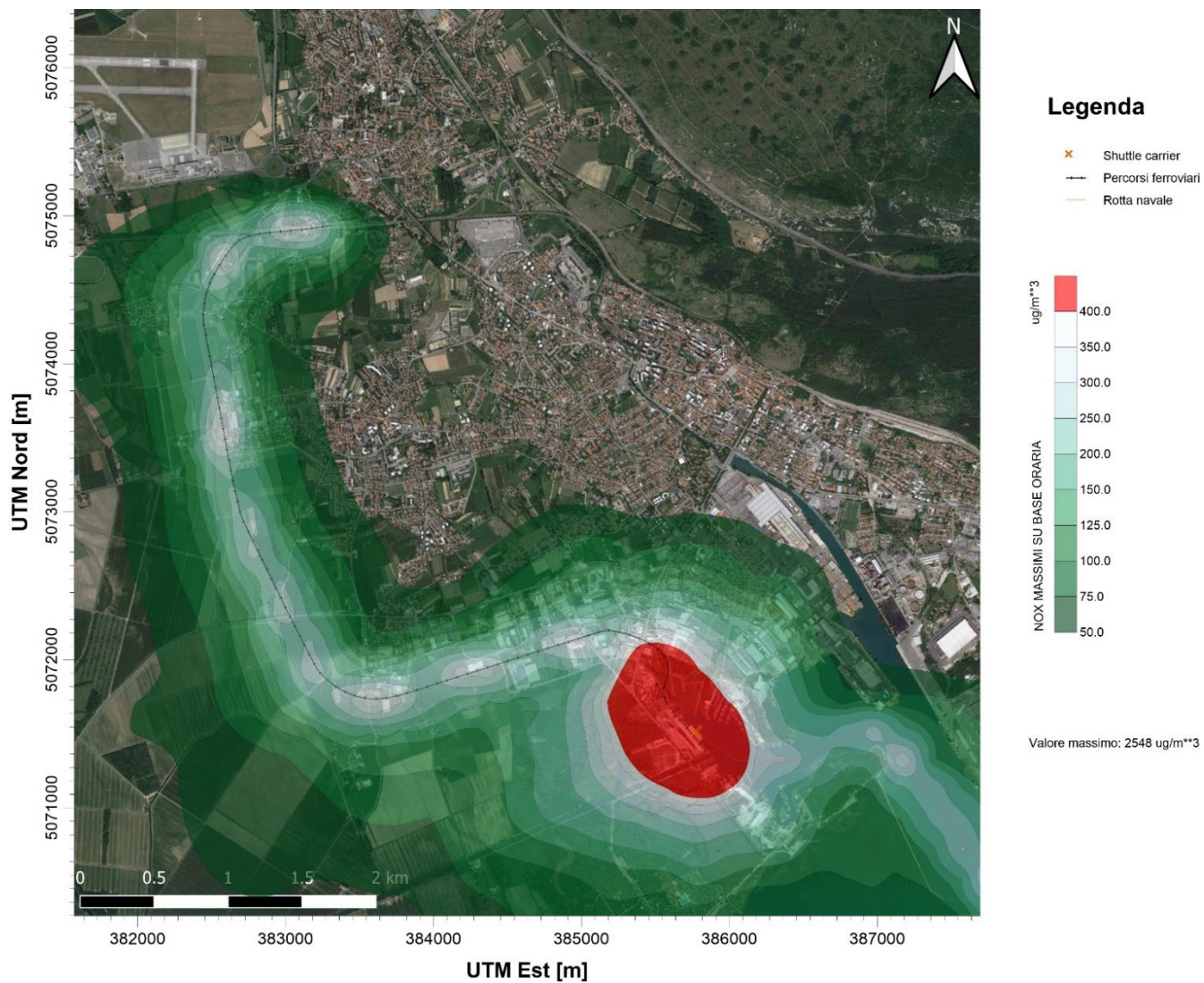


Figura 1.17: NOx – concentrazioni massime su base oraria [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] – zoom su Monfalcone

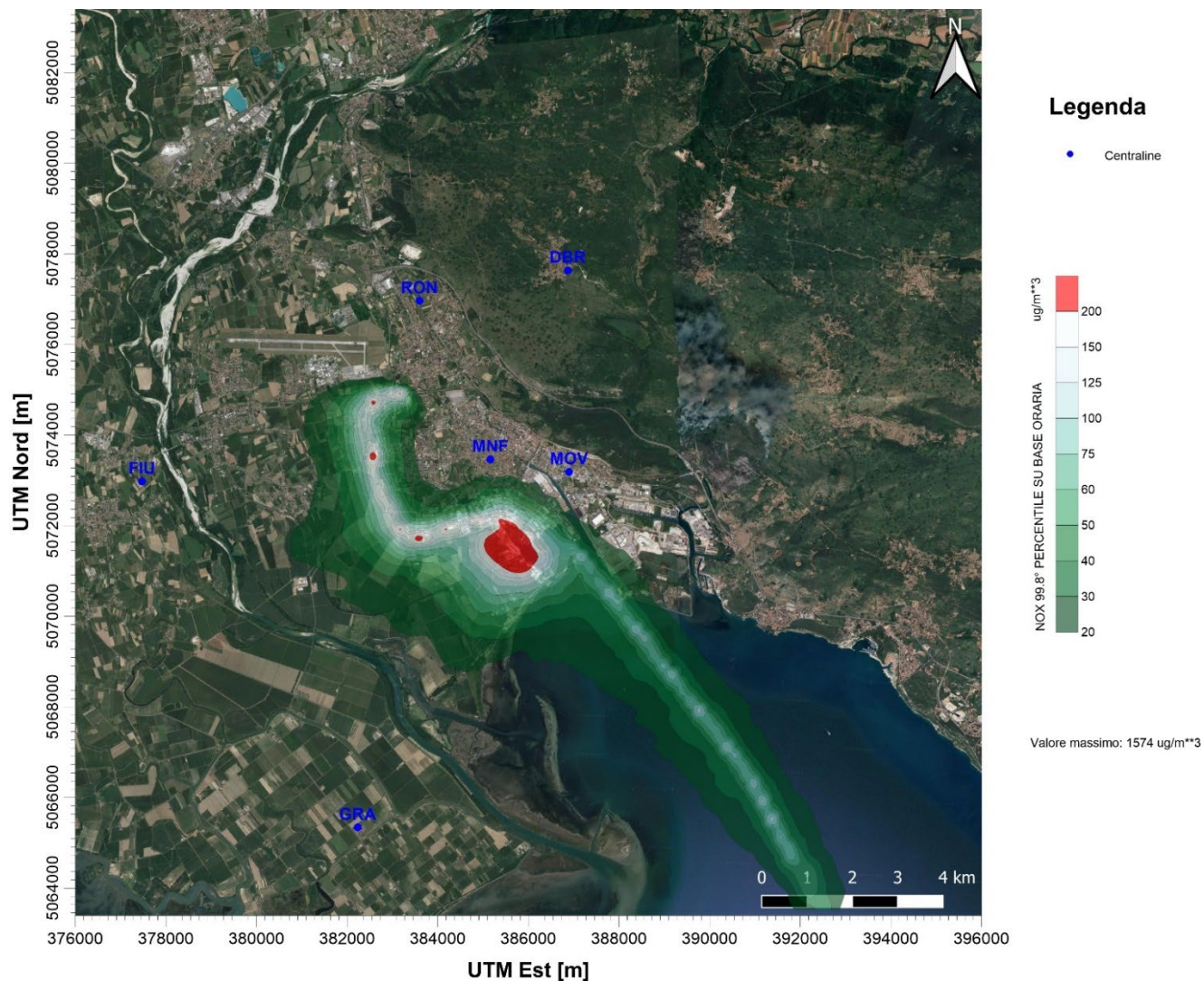


Figura 1.18: NOx – 99.8° percentile delle concentrazioni orarie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

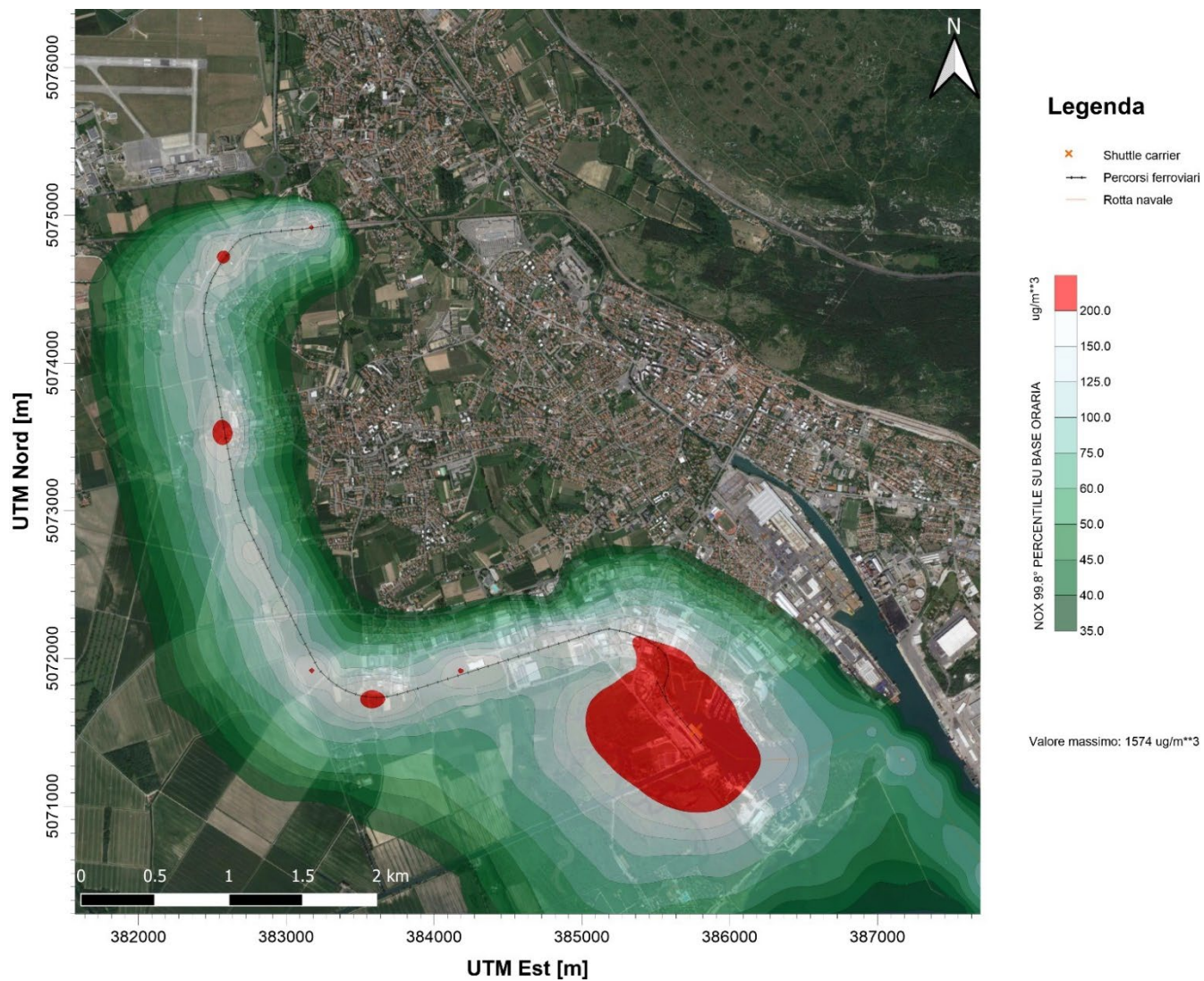


Figura 1.19: NOx – 99.8° percentile delle concentrazioni orarie [µg/m³] – zoom su Monfalcone

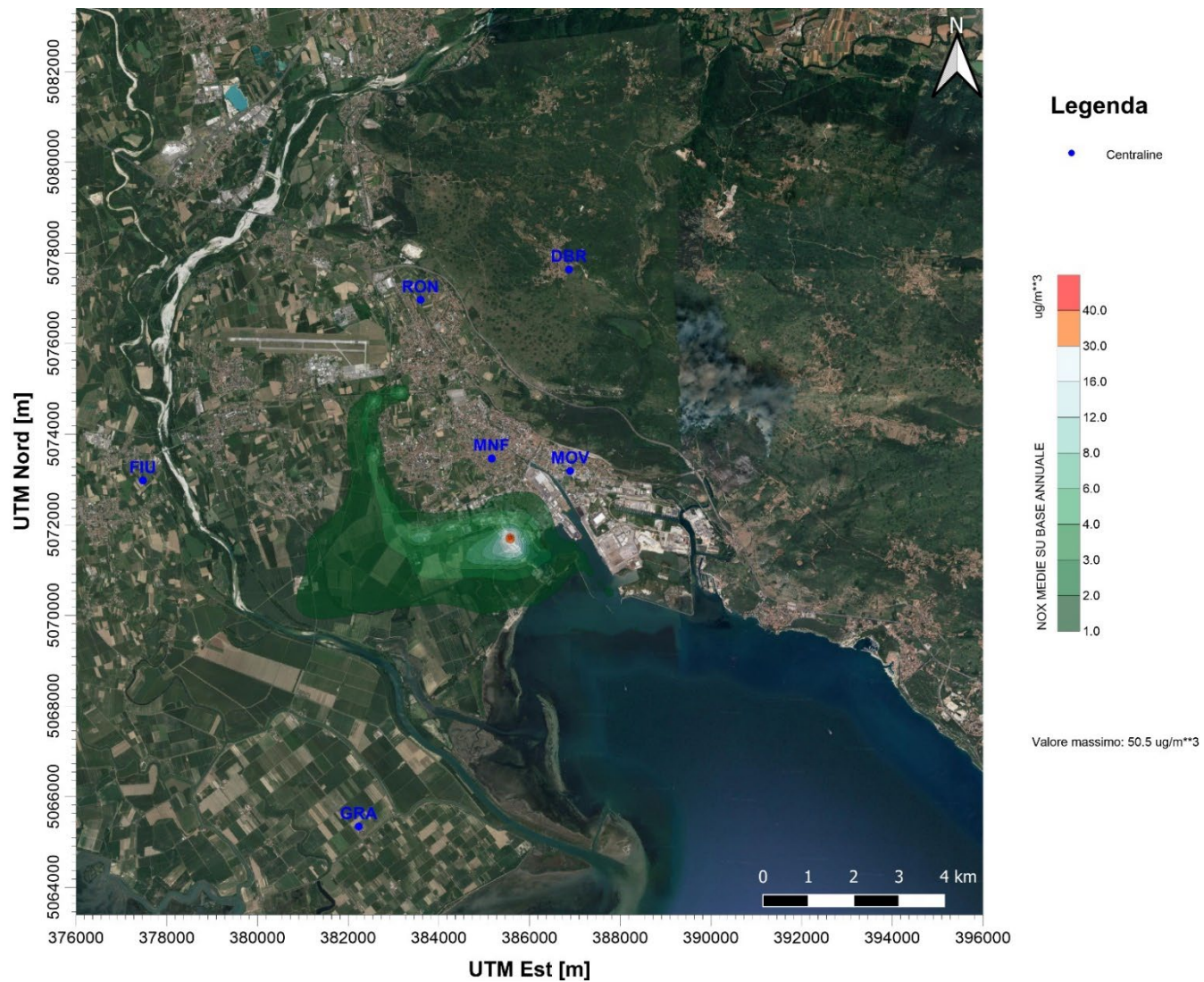


Figura 1.20: NOx – concentrazioni medie su base annuale [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

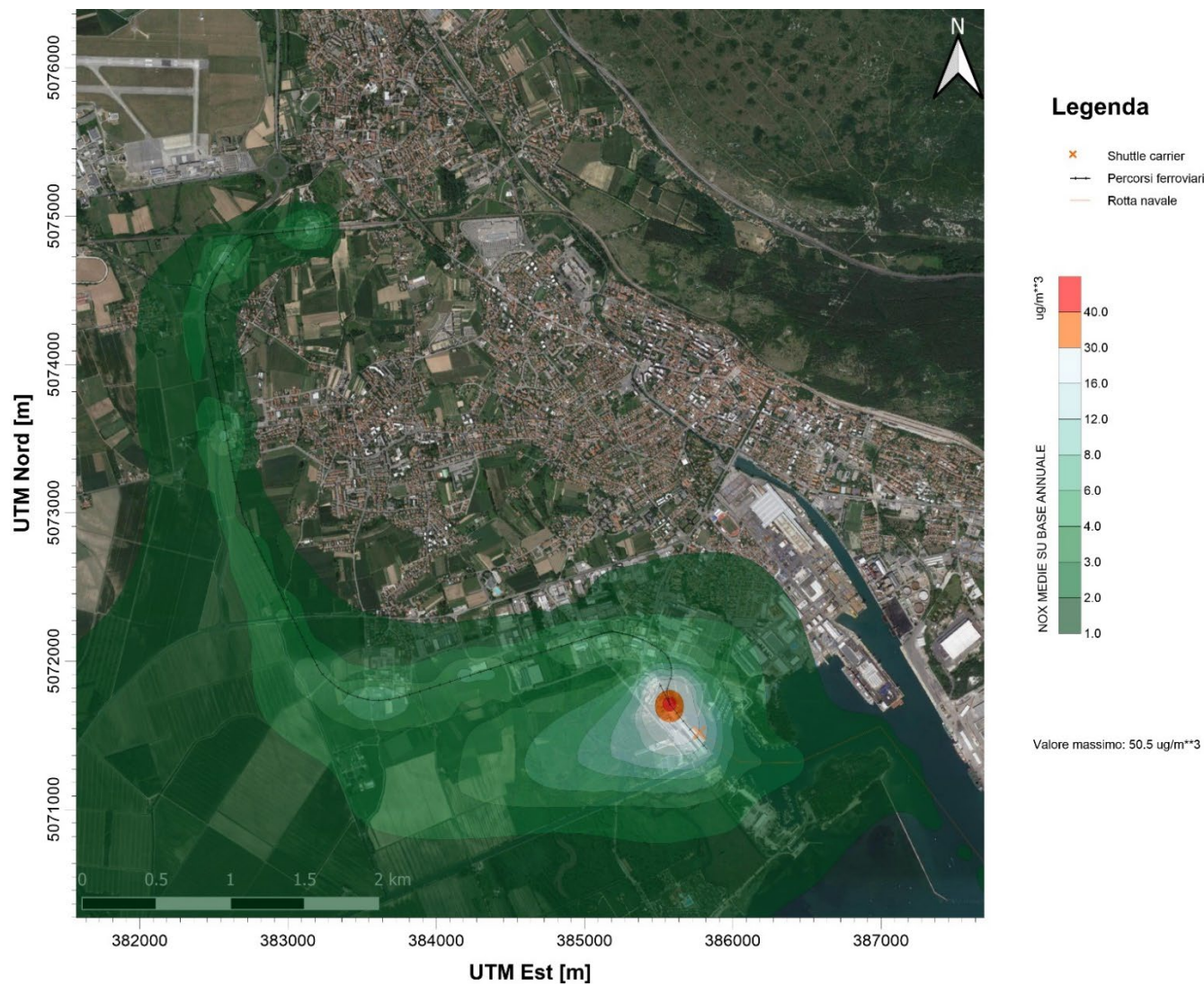


Figura 1.21: NOx – concentrazioni medie su base annuale [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] – zoom su Monfalcone

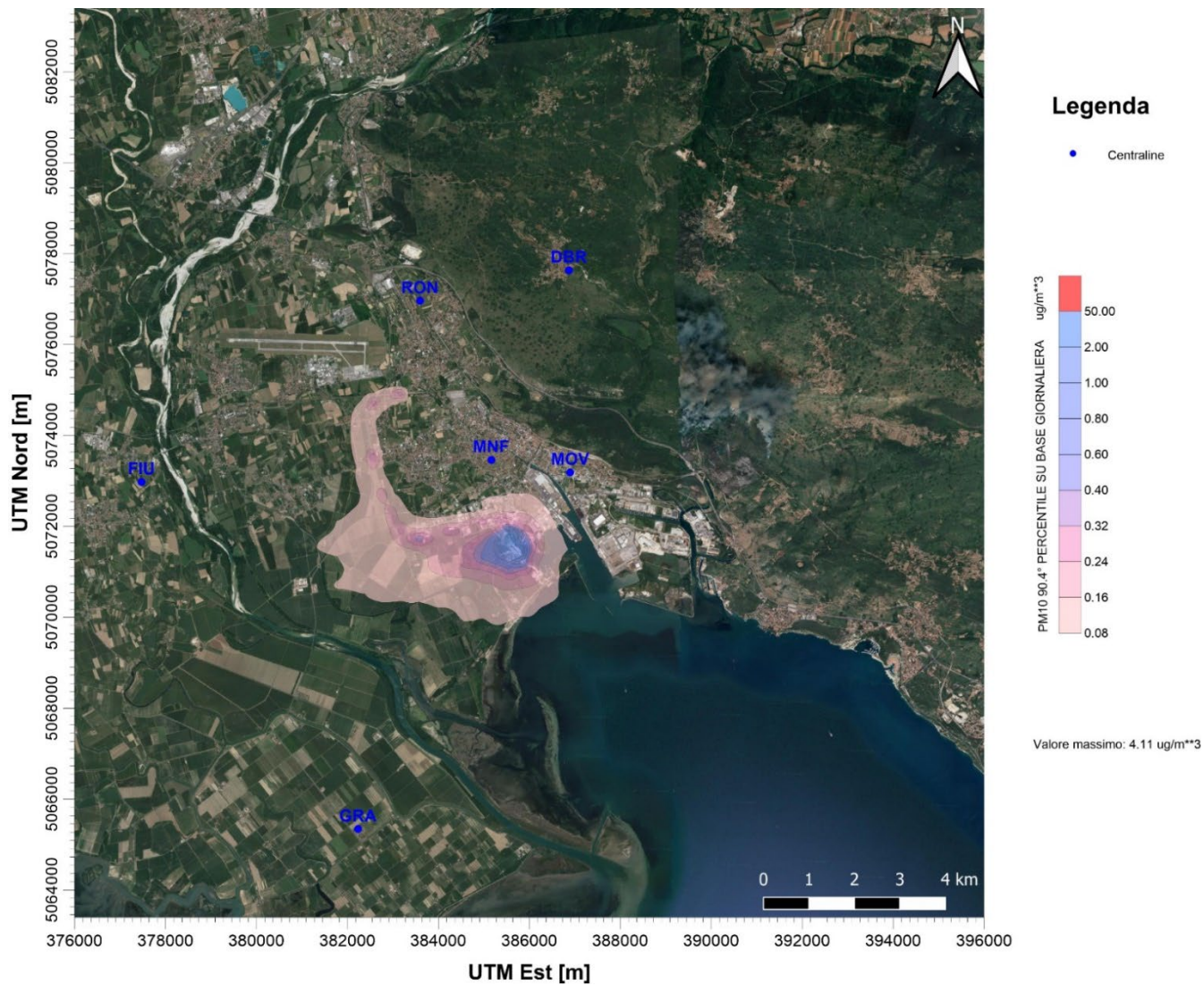


Figura 1.22: PM<sub>10</sub> – 90.4° percentile delle concentrazioni giornaliere [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

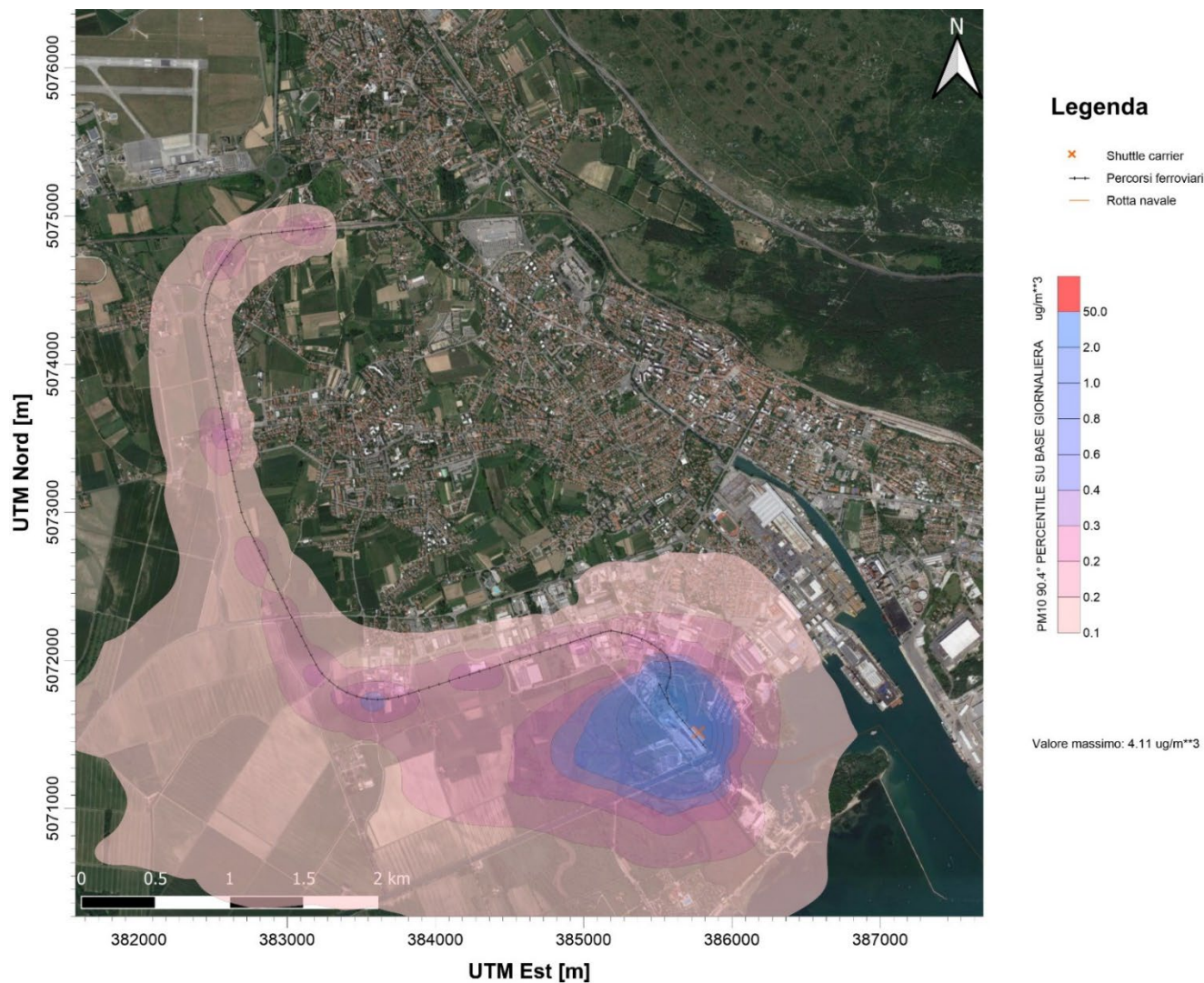


Figura 1.23: PM<sub>10</sub> – 90.4° percentile delle concentrazioni giornaliere [µg/m<sup>3</sup>] – zoom su Monfalcone



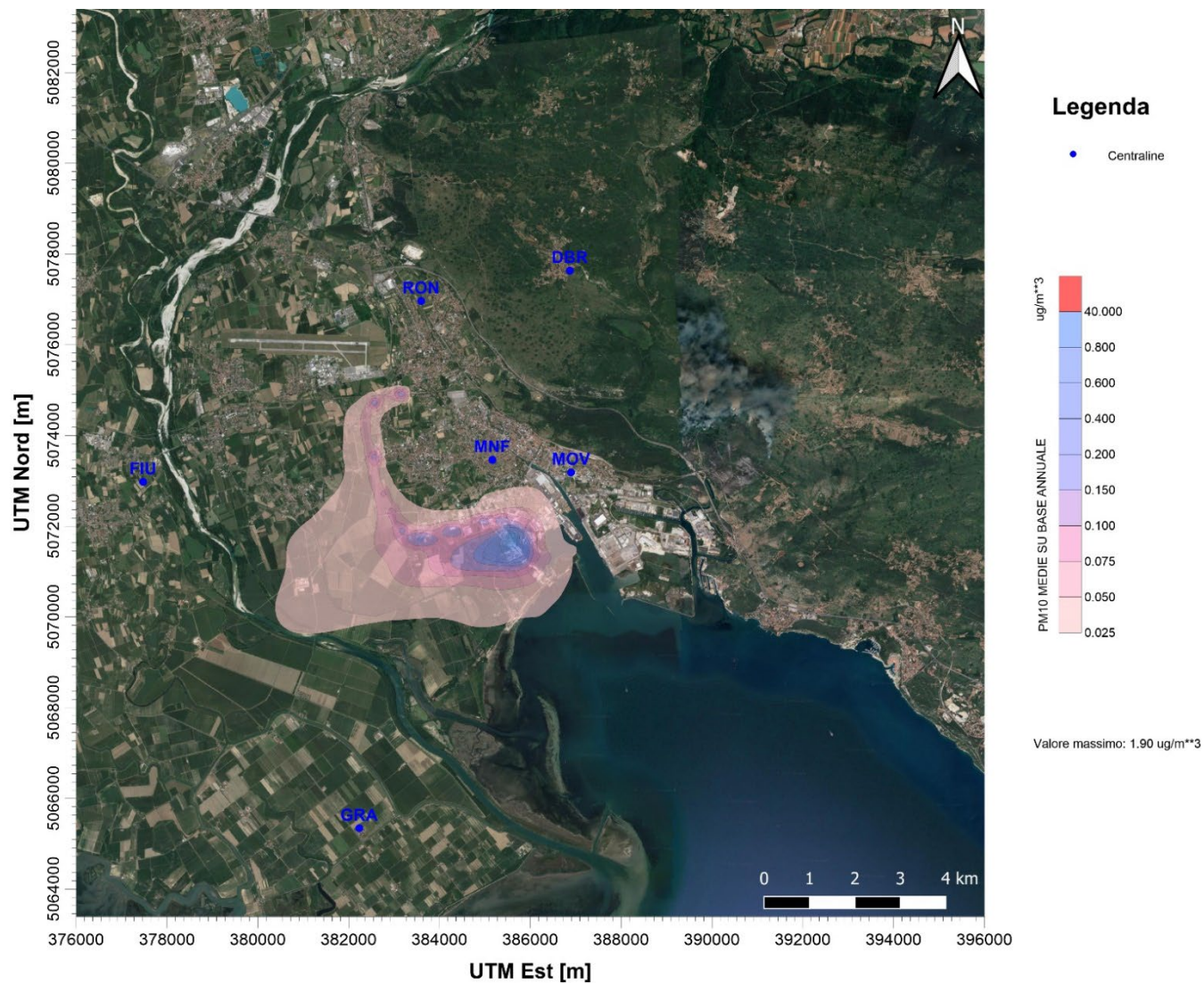


Figura 1.24: PM<sub>10</sub> – concentrazioni medie su base annuale [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

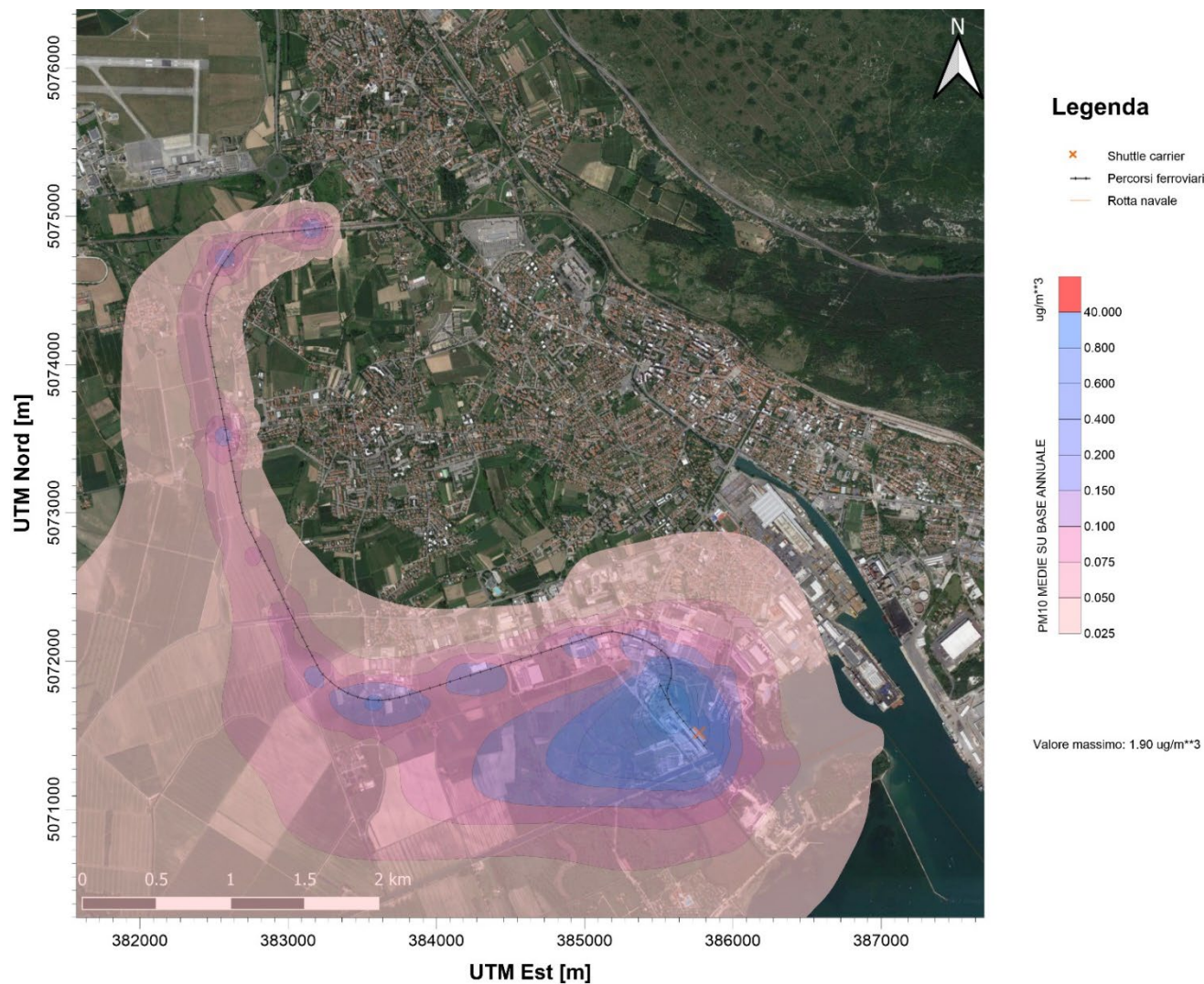


Figura 1.25: PM<sub>10</sub> – concentrazioni medie su base annuale [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] – zoom su Monfalcone

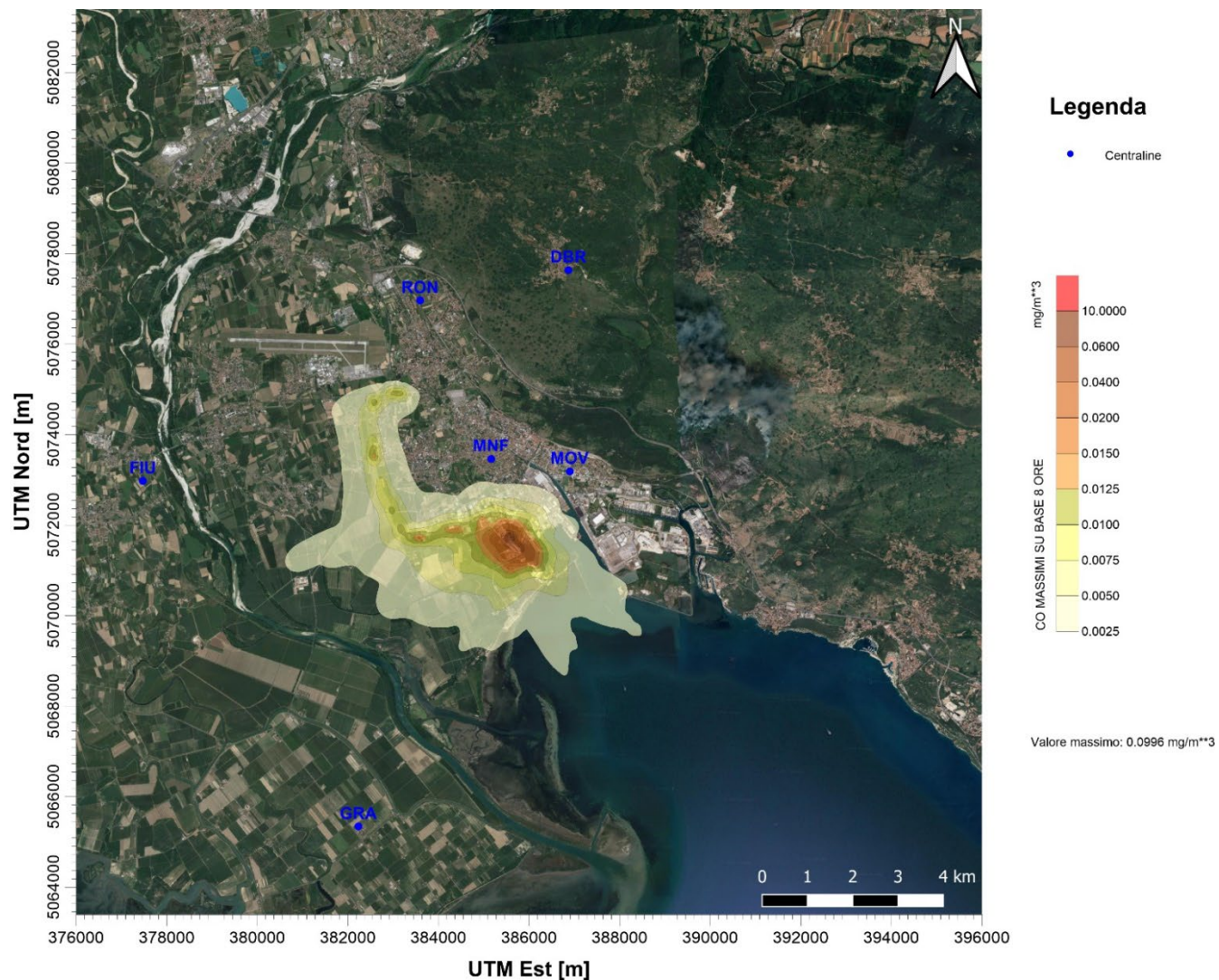


Figura 1.26: CO – concentrazioni massime su base 8 ore [mg/m<sup>3</sup>]

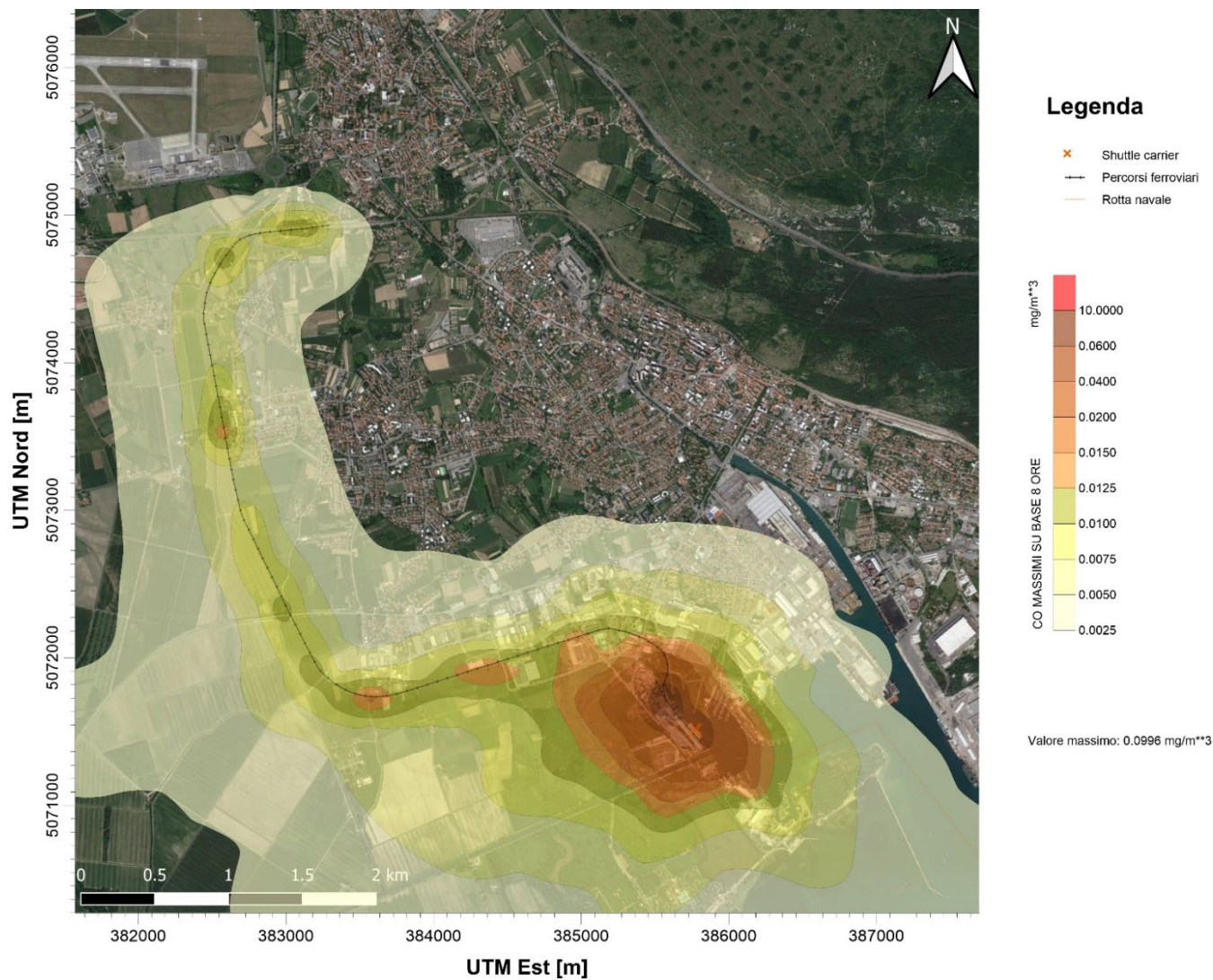


Figura 1.27: CO – concentrazioni massime su base 8 ore [mg/m<sup>3</sup>] – zoom su Monfalcone

#### 1.4.6 CONCLUSIONI

Nel presente studio sono stati valutati gli impatti sulla qualità dell'aria connessi alle emissioni dei mezzi a motore facenti parte della catena logistica di trasporto di GNL dalla nave madre agli utenti finali mediante simulazione di dispersione a lungo termine attraverso il sistema di modelli CALMET-CALPUFF.

L'analisi si è concentrata sulla valutazione delle ricadute dei principali inquinanti (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> e CO) emessi da:

- ✓ shuttle carrier nelle fasi di navigazione, manovra e stazionamento al porto di Monfalcone, alla banchina "Molino-Casillo";
- ✓ locomotore durante la movimentazione dei vagoni in banchina (fasi di carico/scarico degli ISO-container) e nel successivo trasporto del treno così formato fino alla stazione di Ronchi dei Legionari Sud.

L'impatto cumulativo della dispersione a lungo termine è stato valutato confrontando le concentrazioni del biossido di zolfo SO<sub>2</sub>, degli ossidi di azoto NO<sub>x</sub>, delle polveri in termini di PM<sub>10</sub> e del monossido di carbonio CO con i limiti di qualità dell'aria riportati negli Allegati XI e XII al D.Lgs. 155/2010.

Tutti i limiti normativi sono ovunque pienamente rispettati, ad eccezione di quelli relativi agli NO<sub>x</sub> (massimi orari, percentile e media annua), i cui superamenti sono riscontrabili principalmente nei pressi della banchina "Molino-Casillo", dove si concentrano le attività di scaricamento GNL da shuttle carrier e successivo caricamento degli ISO-container su vagoni ferroviari: l'estensione degli impatti è pari a 0.72 km<sup>2</sup> con un raggio di circa 480 m per il limite dei massimi orari, 1.16 km<sup>2</sup> con un raggio di circa 605 m per il limite 99.8° percentile su base oraria e 0.04 km<sup>2</sup> con un raggio equivalente di circa 110 m.

Per quanto riguarda l'analisi sui recettori discreti posizionati alle coordinate delle centraline di qualità dell'aria della rete gestita dall'ARPA Friuli-Venezia Giulia, si può osservare che tutti i limiti normativi sono pienamente rispettati, con le concentrazioni maggiori calcolate sui punti MNF e MOV, che corrispondono alle centraline più vicine alla banchina "Molino-Casillo" e alla linea ferroviaria porto – Ronchi dei Legionari Sud.

Le emissioni annue delle sostanze inquinanti dovute ai mezzi adibiti al trasporto di GNL (shuttle carrier e locotratore) sono pari a 7.29 t/anno per SO<sub>2</sub> corrispondente ad un incremento del 32% per il macrosettore dell'INEMAR "Altre sorgenti mobili e macchinari" (1% indipendentemente dal macrosettore), 168.27 t/anno per NO<sub>x</sub>, corrispondente ad un incremento del 55% (8% indipendentemente dal macrosettore), 4.49 t/anno per PM<sub>10</sub> corrispondente ad un incremento del 44% (6% indipendentemente dal macrosettore) e 22.52 t/anno per CO, corrispondente ad un incremento del 58% (4% indipendentemente dal macrosettore),

Sulla base di questi risultati e valutati gli impatti dovuti agli ossidi di azoto NO<sub>x</sub> in prossimità della banchina "Molino-Casillo" e parzialmente anche lungo la tratta ferroviaria che dal porto conduce alla stazione di Ronchi dei Legionari Sud, si propongono le seguenti azioni mitigative:

- ✓ Prediligere shuttle carrier alimentate a LNG o utilizzarne una tipologia dotata di motori diesel più recenti Tier II (costruiti nel periodo 2011-2015) o Tier III (costruiti a partire dal 2016) in modo da ridurre le emissioni di ossidi di azoto NO<sub>x</sub>.
- ✓ Utilizzare una tipologia di locotratore dotato di motore elettrico.

## 2 MODELLAZIONE DELLE CONSEGUENZE DI RILASCIO TORCIA

### 2.1 ASSUNZIONI E IPOTESI ALLA BASE DEI RISULTATI

Gli scenari di emissione dalla torcia sono stati simulati mediante l'utilizzo del software DNV PHAST considerando le seguenti assunzioni:

1. **Altezza della torcia: 25 m**
2. **Condizioni meteo:**
  - a. 2F: velocità del vento pari a 2 m/s e classe di stabilità atmosferica F. Questa condizione meteo è rappresentativa di condizioni stabili notturne con basse velocità di vento.
  - b. 5D: velocità del vento pari a 5 m/s e classe di stabilità atmosferica D. Questa condizione meteo è rappresentativa di condizioni atmosferiche neutre con medie velocità di vento.
  - c. 20A: velocità del vento pari a 20 m/s e classe di stabilità atmosferica A. Questa condizione meteo è rappresentativa di condizioni atmosferica instabili e alte velocità di vento.
3. **Livello di irraggiamento limite: 4.73 kW/m<sup>2</sup>**
4. Questo livello di irraggiamento corrisponde al livello Massimo di intensità termica radiante in corrispondenza del quale il personale con indumenti appropriati, ma senza schermatura, deve mettere in atto azioni di allontanamento in un tempo compreso tra 2 e 3 minuti.
5. Inoltre, come riportato nello standard OGP 434-14 “Vulnerability of Humans”, senza indumenti appropriati, a questo livello di irraggiamento si subiscono ustioni di secondo grado in 60 secondi. Tale valore-soglia è ritenuto il più rappresentativo per personale di terze parti o popolazione che transiti nelle vicinanze della torcia in assenza di impedimenti alla fuga; il valore è considerato applicabile anche per le l'equipaggio delle imbarcazioni in navigazione nel canale del Brancolo e nel bacino antistante.
6. **Scenari attivazione torcia considerati**

Sono stati considerati i seguenti scenari:

- a. Incendio intorno al serbatoio TK101 e successivo scarico in torcia (caso dimensionante):
  - i. Portata: 11370 kg/h,
  - ii. Velocità di efflusso: 150 m/s;
- b. Interruzione di servizio del pacchetto di liquefazione BOG, assenza della nave e successivo scarico in torcia dei vapori di BOG prodotti dai serbatoi:
  - i. Portata: 334 kg/h,
  - ii. Velocità di efflusso: 7.5 m/s.

### 2.2 RISULTATI

Considerando le assunzioni riportate al capitolo precedente, sono stati simulati i due scenari di rilascio dalla torcia (Incendio intorno al serbatoio TK101 e interruzione di servizio del pacchetto di liquefazione BOG) utilizzando il software DNV Phast; i risultati sono riportati in Tabella 2-1 e in Tabella 2-2.

**Tabella 2-1: Distanza in [m] dalla torcia a cui viene raggiunto l'irraggiamento di 4.73 kW/m<sup>2</sup> all'altezza di 1.5 metri da terra – Scenario “A” Incendio intorno al serbatoio TK101**

Condizione meteo	2F	5D	20A
Altezza Torcia			
25m	Non Raggiunto	Non Raggiunto	Non Raggiunto

Tabella 2-2: Distanza in [m] dalla torcia a cui viene raggiunto l’irraggiamento di 4.73 kW/m<sup>2</sup> all’altezza di 1.5 metri da terra – Scenario “B” Interruzione di servizio del pacchetto di liquefazione BOG

Condizione meteo Altezza Torcia	2F	5D	20A
25m	Non Raggiunto	Non Raggiunto	Non Raggiunto

Come si può osservare in Tabella 2-1 e in Tabella 2-2, per entrambi gli scenari (A e B) l’irraggiamento limite di 4.73 kW/m<sup>2</sup> non viene mai raggiunto all’altezza di 1.5 m da terra (altezza uomo) per nessuna condizione di vento.

## 2.3 CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati ottenuti e delle valutazioni riviste in questa fase di studio, un’altezza della torcia pari a 25 m risulta essere sufficiente ad evitare che il livello di irraggiamento limite di 4.73 kW/m<sup>2</sup> (soglia limite di esposizione per le persone) non raggiunga mai l’altezza di 1.5 m da terra (altezza uomo) per nessuno dei due scenari di attivazione della torcia presi in considerazione.

Si ritiene pertanto che la torcia in esame non costituisca un rischio per la popolazione al di fuori dell’impianto.

Per i motivi di cui sopra, non sarà necessario prevedere un’area sterile nell’intorno della torcia e sul canale del Brancolo.

### 3 MANTENIMENTO TEMPERATURA CRIOGENICA SISTEMA DI TRAFERIMENTO GNL E ISO CONTAINER

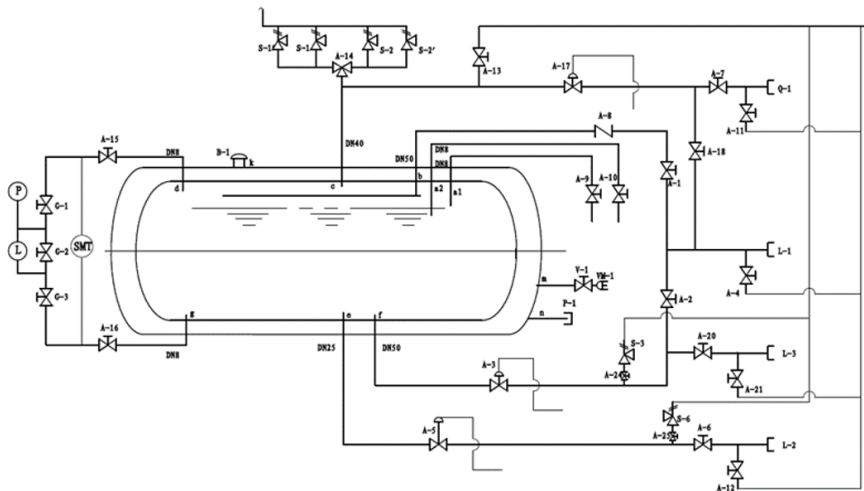
Gli ISO Container sono costituiti da un serbatoio interno in acciaio inox per applicazioni criogeniche che garantisce il contenimento del GNL, con una camicia esterna in acciaio al carbonio.

L'intercapedine tra il contenimento interno e la camicia esterna è riempita di perlite e messa sottovuoto per garantire un adeguato isolamento termico nei confronti dell'ambiente esterno, al fine di garantire il mantenimento della temperatura criogenica. Il telaio esterno è realizzato in acciaio al carbonio.

Le principali caratteristiche di design degli ISO Container (riferite al contenimento interno), per container da 40 ft, sono le seguenti:

- ✓ MAWP: 0.79 – 0.83 Mpa
- ✓ Temperatura di progetto: -196 / 50 °C

Di seguito si riporta uno schema di flusso tipico di un ISO Container.



Si tratta di container idonei al trasporto e dotati di tutte le dovute certificazioni, adatti alle applicazioni criogeniche.

Vista la specificità di tali apparecchiature, non sono pertanto previste particolari procedure/prescrizioni da adottare per i grandi caldi estivi.

Da dati del fornitore contattato per il progetto, il tempo di tenuta degli ISO Container<sup>1</sup> risulta pari a 50-60 giorni dopo 5 anni di utilizzo, con riempimento al 90% (fino a 90 giorni per ISO Container di nuova produzione). Il Doc. No. P0030812-1-H7 Rev.0 "Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia - Studio della Logistica" descrive il ciclo logistico del progetto, allo scopo di definire il numero indicativo di ISO Container necessari per realizzare il progetto. In particolare, è possibile rilevare che:

- ✓ Si prevede l'impiego di ca. 420 ISO Container;
- ✓ Ciascun container verrebbe utilizzato 110 volte all'anno;
- ✓ Mediamente ogni container completa il ciclo logistico ogni 3-4 giorni.

\*\*\*\*\*

<sup>1</sup> Tempo garantito dall'isolamento termico prima che la pressione interna dell'ISO Container possa raggiungere quella di intervento della valvola di sicurezza. Questo tempo, variabile in funzione del tempo di utilizzo (massimo per ISO Container di nuova produzione), è calcolato sulla base delle seguenti condizioni ambiente: temperatura pari a 15 °C, pressione atmosferica.



Alla luce di quanto sopra riportato, il tempo di tenuta garantito è notevolmente superiore rispetto al completo ciclo logistico medio del singolo ISO Container. L’intercapedine tra il vessel interno e quello esterno consente infatti di isolare il prodotto dall’ambiente esterno, minimizzando il rateo di evaporazione del GNL all’interno del Container.

Per quanto riguarda le linee di trasferimento, si sottolinea che è prevista l’attivazione di una procedura particolare definita di “cold-keeping” che verrà avviata allo scopo di mantenere la temperatura criogenica all’interno del sistema di trasferimento, precisamente dal buffer tank fino al collettore principale che collega la nave shuttle agli skid di riempimento.

La ricircolazione del GNL consentirà di mantenere la temperatura criogenica delle linee quando la shuttle carrier non sarà all’ormeggio e quindi non è previsto il passaggio del GNL nel sistema di trasferimento. L’attivazione di questa procedura consentirà di:

- ✓ garantire il mantenimento della temperatura criogenica del sistema di trasferimento, idonea alla ricezione del GNL dalla shuttle carrier;
- ✓ mantenere fredde le linee, per velocizzare le operazioni di trasferimento.

In particolare, il cold-keeping delle linee permette di minimizzare le tempistiche di trasferimento del GNL, consentendo di azzerare/ridurre i tempi associati alla fase di cooldown del sistema all’inizio di ogni operazione di scarico del GNL, minimizzando al contempo la produzione di BOG.

### 3.1 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto sopra riportato, si ritiene pertanto che non sarà necessario adottare delle misure particolari per il mantenimento della temperatura criogenica durante le operazioni di trasferimento del GNL e/o per il mantenimento delle temperature negli ISO Container, in quanto:

- ✓ Gli ISO Container sono termicamente isolati e progettati per applicazione con fluidi criogenici;
- ✓ Il mantenimento della temperatura delle linee è garantito dalle operazioni di cold-keeping, con ricircolazione del GNL quando la nave non è all’ormeggio.

## REFERENZE

- [1] Arpa FVG – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia: [arpa.fvg.it/temi/temi/aria/sezioni-principali/qualita-dellaria/](http://arpa.fvg.it/temi/temi/aria/sezioni-principali/qualita-dellaria/)
- [2] Copernicus Corine Land Cover: [land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover](http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover)
- [3] EMEP/EEA “*Air pollutant emission inventory guidebook 2019*”. 1.A.3.c Railways
- [4] EMEP/EEA “*Air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Dec. 2021*”. 1.A.3.d.i, 1.A.3.d.ii, 1.A.4.c.iii International maritime navigation, international inland navigation, national navigation (shipping), national fishing, military (shipping), and recreational boats
- [5] ENEA (2015). “*Definizione della metodologia e degli input necessari per l’esecuzione di analisi integrate CALPUFF-CALMET ai fini della valutazione della dispersione di inquinanti radioattivi in atmosfera*”.
- [6] Liguori F., Pillon S., Patti S. e ARPA Veneto “*CAIMANs Cruise and passenger ship Air quality Impact Mitigation ActioNs. Scenari emissivi per la Laguna di Venezia*”.
- [7] RINA – “*LNG Logistics. Monfalcone, Italia. Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia. Descrizione del progetto*.” Doc. No. P0030812-1-H12 Rev. 0 - Agosto 2022
- [8] RINA – “*LNG Logistics. Monfalcone, Italia. Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia. Studio della Logistica*.” Doc. No. P0030812-1-H7 Rev. 0 - Agosto 2022
- [9] RINA – “*LNG Logistics. Monfalcone, Italia. Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia. Studio Preliminare Ambientale*.” Doc. No. P0030812-1-H11 Rev. 0 - Agosto 2022
- [10] Scire J. S., Robe F. R., Fernau M. E., Yamartino R. J. (2000). “*A User’s Guide for the CALMET Meteorological Model (Version 5)*”.
- [11] Scire J. S., Strimaitis D. G., Yamartino R. J. (2000). “*A User’s Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5)*”.
- [12] US-EPA (2012) “*Haul Road Workgroup Final Report Submission to EPA-OAQPS*” Memorandum.
- [13] USGS - [usgs.gov](http://usgs.gov)



**RINA Consulting S.p.A.** | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.  
Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | [rinaconsulting@rina.org](mailto:rinaconsulting@rina.org) | [www.rina.org](http://www.rina.org)  
C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.