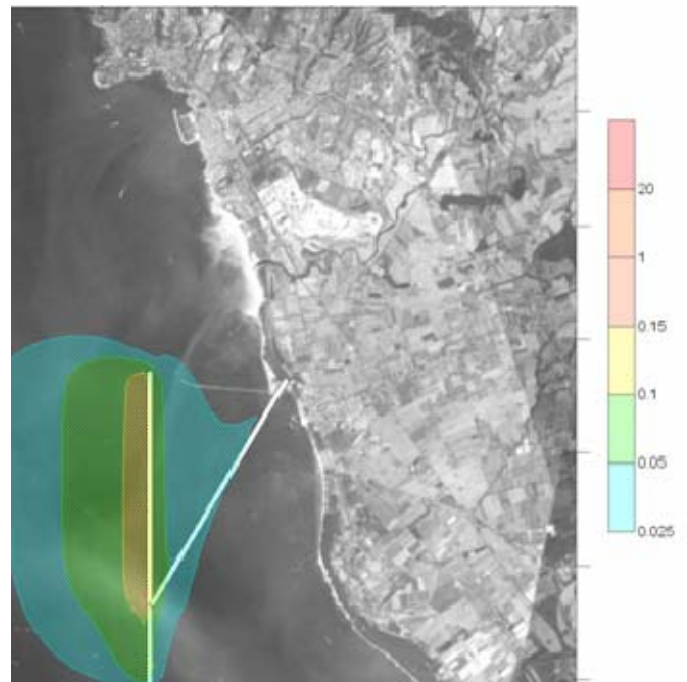
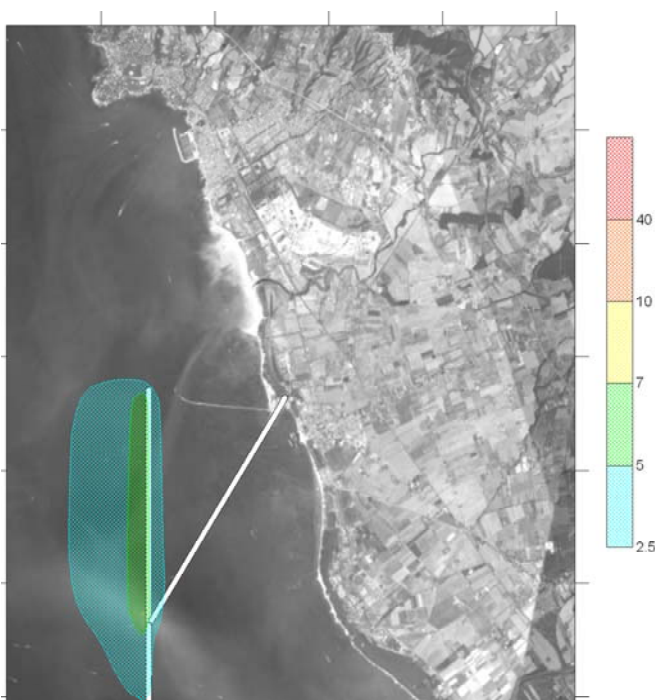




EDISON S.p.A. Milano

**“Variante Progetto Rosignano”
Rosignano Marittimo (LI)**

Studio di Dispersione
Atmosferica delle
Emissioni dei Mezzi
Navali





EDISON S.p.A. Milano

**“Variante Progetto Rosignano”
Rosignano Marittimo (LI)**

**Studio di dispersione
atmosferica delle
emissioni dei mezzi
navali**

	Firma	Data
Preparato da		
Alessandro Puppo		30 Gennaio 2008
Marco Compagnino		30 Gennaio 2008
Verificato da	Firma	Data
Claudio Mordini		30 Gennaio 2008
Paola Rentocchini		30 Gennaio 2008
Approvato da	Firma	Data
Roberto Carpaneto		30 Gennaio 2008

Rev.	Descrizione	Preparato da	Verificato da	Approvato da	Data
0	Prima Emissione	ASP/MCO	CSM/PAR	RC	Gennaio 2008

INDICE

	<u>Pagina</u>
ELENCO DELLE TABELLE	II
ELENCO DELLE FIGURE	III
1 INTRODUZIONE	1
2 RIFERIMENTI NORMATIVI NAZIONALI PER LA QUALITÀ DELL'ARIA	2
3 CARATTERIZZAZIONE METEOCLIMATICA	4
3.1 VENTO	4
3.2 TEMPERATURA	4
3.3 NUVOLOSITÀ E CALCOLO DELLA RADIAZIONE	5
3.4 STABILITÀ ATMOSFERICA	7
4 QUADRO EMISSIVO	9
4.1 DEFINIZIONE DELLE FASI DI FUNZIONAMENTO DEI MEZZI NAVALI	9
4.2 CALCOLO DELLE EMISSIONI	13
5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	15
6 CONCLUSIONI	27
RIFERIMENTI	
APPENDICE A: IL MODELLO MATEMATICO GAUSSIANO ARIA IMPACT	

ELENCO DELLE TABELLE

<u>Tabella No.</u>	<u>Pagina</u>
Tabella 2.1: Limiti alle Concentrazioni di Inquinanti dell'Aria Indicati dal DM 60/2002	2
Tabella 3.1: Distribuzione delle Classi di Nuvolosità nel Corso della Giornata	6
Tabella 3.2: Distribuzione delle Classi di Stabilità nei Diversi Periodi dell'Anno	8
Tabella 4.1: Fattori di Emissione Utilizzati per la Nave Metaniera	13
Tabella 4.2: Fattori di Emissione Utilizzati per i Rimorchiatori (g/HP*ora)	14
Tabella 5.1: Risultati delle Simulazioni: Massimi di Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	26

ELENCO DELLE FIGURE

<u>Figura No.</u>	<u>Pagina</u>
Figura 3.1: Rosa dei Venti, Stazione di Pisa S.Giusto	4
Figura 3.2: Andamento Mensile della Temperatura Media, Minima e Massima	5
Figura 3.3: Andamento Giornaliero della Radiazione Totale	7
Figura 3.4: Andamento Giornaliero della Stabilità Atmosferica	8
Figura 4.1: Ore Interessate dalle Fasi di Transito della Metaniera	10
Figura 4.2: Ore Interessate dalle Fasi di Spostamento dei Rimorchiatori da e per il Porto	11
Figura 4.3: Ore Interessate dalle Fasi di Avvicinamento	11
Figura 4.4: Ore Interessate dalle Fasi di Accosto e Ormeggio	12
Figura 4.5: Ore Interessate dalle Fasi di Stazionamento	12
Figura 5.1: Area di Interesse per lo Studio	15
Figura 5.2: 100° Percentile di CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	16
Figura 5.3: Media Annuale di NMVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	17
Figura 5.4: 100° Percentile di Periodo di NMVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	18
Figura 5.5: Media Annuale di SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	19
Figura 5.6: 99.2°Percentile di SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	20
Figura 5.7: 99.7°Percentile di SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	21
Figura 5.8: Media Annuale di NO _x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	22
Figura 5.9: 99.8°Percentile di NO _x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	23
Figura 5.10: 98°Percentile di PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	24
Figura 5.11: Media Annuale di PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)	25

**RAPPORTO
STUDIO DI DISPERSIONE ATMOSFERICA
DELLE EMISSIONI DEI MEZZI NAVALI
VARIANTE PROGETTO ROSIGNANO**

1 INTRODUZIONE

Il Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha trasmesso al proponente dell'iniziativa una serie di richieste di chiarimenti e integrazioni alla documentazione già inviata agli enti coinvolti nel procedimento.

Tali richieste sono state trasmesse con comunicazione DSA-2006-0025082 del 2 Ottobre 2006 a seguito dell'esame, da parte della Commissione VIA, della documentazione già prodotta, delle risultanze dei sopralluoghi effettuati e delle esigenze evidenziate con Nota No. A00GRT/207168/120.8.6.1 del 20 Luglio 2006 in sede di istruttoria da parte della Regione Toscana.

Il presente rapporto è stato elaborato con lo scopo di fornire i chiarimenti richiesti in merito alle ricadute di inquinanti connessi alle emissioni del traffico marittimo a servizio del terminale GNL.

La struttura del documento è la seguente:

- Capitolo 2: riferimenti normativi nazionali per la qualità dell'aria;
- Capitolo 3: caratterizzazione meteorologica del sito;
- Capitolo 4: quadro emissivo;
- Capitolo 5: risultati delle simulazioni modelistiche;
- Capitolo 6: conclusioni.

Hanno collaborato al gruppo di lavoro D'Appolonia, il Dott. A. Nanni e la Dott.ssa P. Radice della Società Arianet.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI NAZIONALI PER LA QUALITÀ DELL'ARIA

Il presente studio è relativo alla simulazione delle emissioni da traffico marittimo indotto dall'esercizio del Terminale GNL di Rosignano e della ricaduta al suolo dei seguenti inquinanti:

- NO_x;
- composti organici volatili (VOC);
- monossido di carbonio (CO);
- SO_x;
- PM₁₀.

I limiti legislativi delle concentrazioni in aria di tali inquinanti attualmente vigenti sono indicati nel DM 60/2002. Tali limiti sono riassunti nella Tabella 2.1.

Tabella 2.1: Limiti alle Concentrazioni di Inquinanti dell'Aria Indicati dal DM 60/2002

Inquinante	Tipo di Limite	Limite	Tempo di Mediazione Dati	Margine di Tolleranza	Entrata in Vigore
Monossido di carbonio	Valore limite per la protezione della salute umana	10 mg/m ³	Media massima giornaliera su 8 ore	6 mg/m ³ ⁽¹⁾	1 Gennaio 2005
Biossido di zolfo	Valore limite per la protezione della salute umana	350 (da non superare più di 24 volte l'anno)	Media oraria	150 µg/m ³	1 Gennaio 2005
	Valore limite per la protezione della salute umana	125 (da non superare più di 3 volte l'anno)	Media nelle 24 ore	Nessuno	1 Gennaio 2005
	Valore limite per la protezione degli ecosistemi	20	Media annuale e invernale	Nessuno	19 Luglio 2010
Biossido di azoto	Valore limite per la protezione della salute umana	200 (da non superare più di 18 volte l'anno)	Media oraria	50% ⁽²⁾	1 Gennaio 2010
	Valore limite per la protezione della salute umana	40	Media annuale	50% ⁽²⁾	1 Gennaio 2010
Ossidi di azoto	Valore limite per la protezione degli ecosistemi	30	Media annuale	Nessuno	19 Luglio 2010

Inquinante	Tipo di Limite	Limite	Tempo di Mediazione Dati	Margine di Tolleranza	Entrata in Vigore
PM ₁₀	Valore limite per la protezione della salute umana	50 (da non superare più di 7 volte l'anno)	Media nelle 24 ore	(in base ai dati; deve essere equivalente al val.lim.fase 1)	1 Gennaio 2010
	Valore limite per la protezione della salute umana	20	Media annuale	50% ⁽³⁾	1 Gennaio 2010

Note:

- 1) All'entrata in vigore della direttiva 2000/69/CE, con una riduzione lineare il 1 Gennaio 2006 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1 Gennaio 2010.
- 2) All'entrata in vigore della presente normativa, con una riduzione lineare il 1 Gennaio 2001 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1 Gennaio 2010.
- 3) Al 1 Gennaio 2005 con riduzione ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% entro il 1 Gennaio 2010.

3 CARATTERIZZAZIONE METEOCLIMATICA

La meteorologia riveste un ruolo fondamentale per la rappresentazione dei fenomeni di trasporto e dispersione degli inquinanti in atmosfera.

Tra le variabili meteorologiche a disposizione, particolare attenzione è stata posta nell'analisi di quelle direttamente coinvolte nelle simulazioni modellistiche di dispersione, ovvero:

- vento;
- temperatura;
- nuvolosità;
- stabilità atmosferica.

3.1 VENTO

In Figura 3.1 è riportata la rosa dei venti, elaborata sulla base dei dati registrati presso la stazione di Pisa S.Giusto.

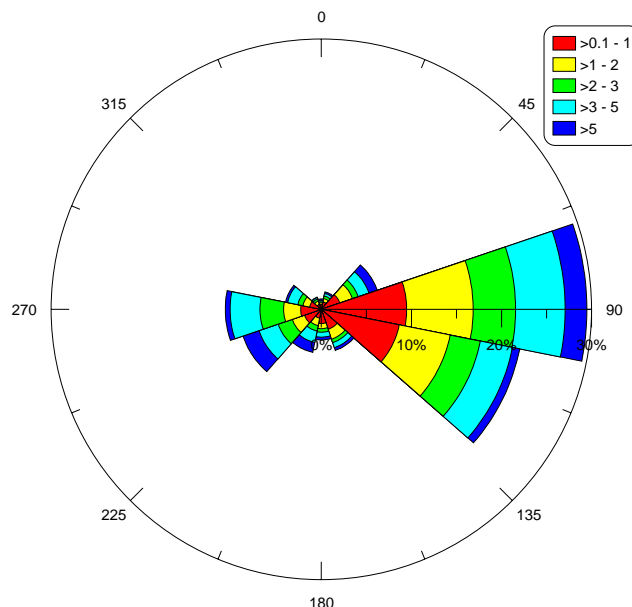


Figura 3.1: Rosa dei Venti, Stazione di Pisa S.Giusto

I venti provengono essenzialmente dal settore Est Est-Sud-Est e, in percentuale notevolmente minore, dal settore occidentale. Anche le calme di vento, caratterizzate da velocità inferiori a 1m/s e che rappresentano circa il 20% del totale delle osservazioni, risultano provenienti per la maggior parte dalla stessa direzione.

3.2 TEMPERATURA

In Figura 3.2 è riportato l'andamento mensile delle temperature media, minima e massima sulla base dei dati rilevati presso la stazione di Pisa S.Giusto.

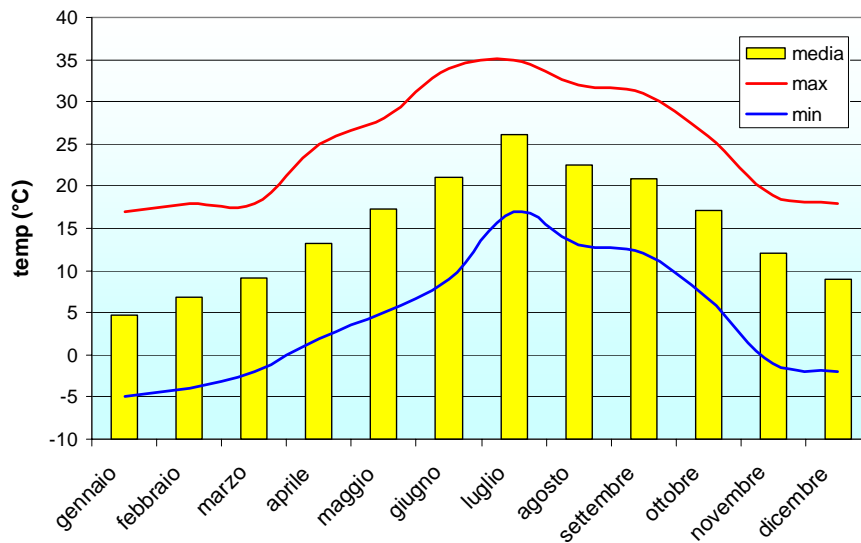


Figura 3.2: Andamento Mensile della Temperatura Media, Minima e Massima

A livello generale si osserva come la temperatura media presenti una escursione termica piuttosto ampia, passando da una temperatura di circa 5°C nel mese di Gennaio ai 26°C di Luglio.

L'escursione termica assoluta è stimata in circa 40°C. (dal valore minimo di -5°C misurato a Gennaio al valore massimo pari ai 35°C di Luglio).

3.3 NUVOLOSITÀ E CALCOLO DELLA RADIAZIONE

I dati di nuvolosità sono espressi in ottavi, in base alle diverse percentuali di copertura del cielo da parte delle nubi. In particolare:

- 8 ottavi: cielo totalmente coperto senza alcuna zona di sereno (coperto);
- 5, 6 o 7 ottavi: cielo quasi totalmente coperto da nubi, con limitati spazi di sereno (molto nuvoloso);
- 3 o 4 ottavi: cielo coperto da nuvolosità per circa metà superficie (nuvoloso);
- 1 o 2 ottavi: cielo quasi interamente sgombro di nubi (poco nuvoloso);
- 0 ottavi: cielo totalmente o quasi sgombro da nubi (sereno).

In Tabella 3.1 è riportata la distribuzione delle classi di nuvolosità nelle diverse ore della giornata (stazione di Pisa S. Giusto).

Tabella 3.1: Distribuzione delle Classi di Nuvolosità nel Corso della Giornata

Ora	Classi di Nuvolosità								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
00	5%	4%	4%	0%	5%	6%	4%	0%	5%
01	5%	4%	4%	5%	6%	4%	4%	0%	0%
02	4%	4%	4%	8%	4%	4%	5%	0%	8%
03	5%	4%	4%	2%	5%	1%	4%	0%	0%
04	5%	4%	4%	6%	6%	4%	4%	0%	0%
05	5%	5%	4%	2%	6%	3%	4%	0%	0%
06	5%	4%	4%	0%	6%	2%	4%	0%	3%
07	4%	4%	4%	8%	5%	4%	4%	0%	5%
08	4%	4%	4%	7%	3%	5%	4%	0%	0%
09	4%	5%	4%	1%	4%	4%	4%	0%	0%
10	4%	5%	4%	5%	4%	4%	4%	0%	8%
11	3%	5%	4%	4%	4%	3%	4%	0%	3%
12	4%	4%	5%	1%	2%	4%	4%	0%	3%
13	3%	5%	4%	5%	3%	5%	5%	0%	5%
14	4%	5%	4%	5%	4%	5%	4%	17%	5%
15	4%	4%	5%	3%	4%	1%	4%	0%	8%
16	4%	4%	4%	7%	2%	3%	4%	0%	13%
17	4%	4%	4%	3%	2%	4%	4%	0%	13%
18	4%	4%	5%	1%	2%	4%	5%	0%	8%
19	4%	4%	4%	7%	3%	5%	4%	0%	8%
20	5%	3%	4%	7%	3%	8%	4%	33%	0%
21	4%	4%	4%	2%	6%	4%	5%	33%	0%
22	4%	4%	4%	4%	6%	5%	4%	17%	3%
23	4%	4%	4%	7%	6%	8%	3%	0%	3%

Dall'analisi della Tabella 3.1 si nota come tutte le classi di nuvolosità si distribuiscano in modo più o meno uniforme nelle diverse ore della giornata, con l'eccezione delle categorie relative alla maggior copertura nuvolosa (7 e 8), il cui maggior contributo si registra nelle ore pomeridiane e serali.

In base alla nuvolosità è possibile stimare la radiazione solare al suolo, necessaria per determinare la stabilità atmosferica; in Figura 3.1 sono presentati gli andamenti giornalieri medi calcolati:

- su tutto l'anno;
- nel mese di Giugno;
- nel mese di Dicembre.

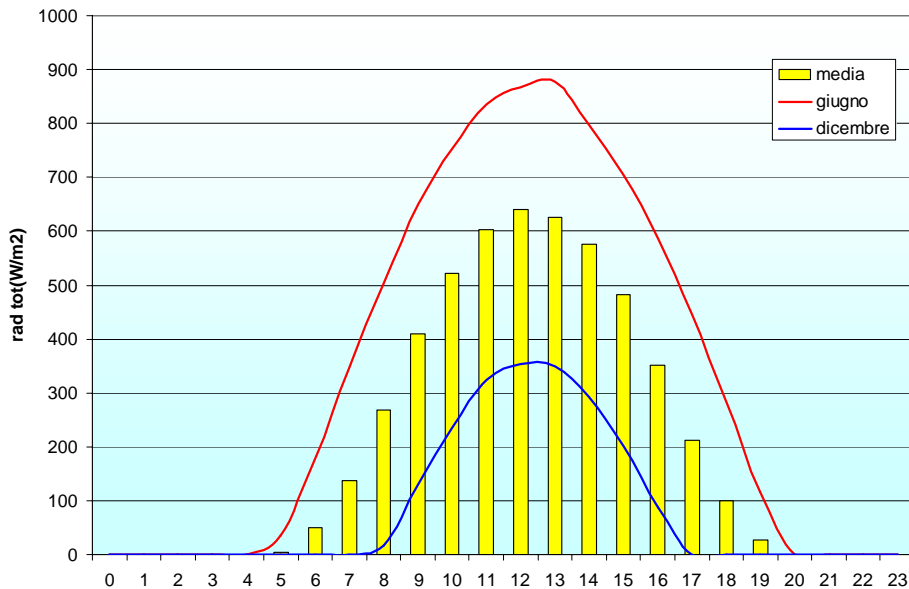


Figura 3.3: Andamento Giornaliero della Radiazione Totale

Il massimo raggiunge mediamente nel mese di Giugno un livello pari a 876 W/m^2 (alle ore 13) e nel mese di Dicembre a 354 W/m^2 (alle ore 12).

3.4 STABILITÀ ATMOSFERICA

La stabilità atmosferica, parametro necessario ai fini del calcolo della turbolenza e della dispersione degli inquinanti, è stata calcolata in base a:

- velocità del vento e radiazione totale incidente (nel corso delle ore diurne);
- copertura nuvolosa (nel corso della notte).

La stabilità è stata parametrizzata tramite le classi di Pasquill, secondo cui un'atmosfera con caratteristiche prevalentemente convettive è detta instabile e viene rappresentata con le classi di stabilità A e B. Al diminuire della turbolenza si avranno le classi C e D diurne e D ed E notturne, che esprimono, rispettivamente, un'atmosfera debolmente instabile, neutra e moderatamente stabile; nei casi in cui ci si trovi in presenza di un'atmosfera particolarmente stabile, tipica delle notti con vento debole (inferiore a 2 m/s) e cielo sereno, si utilizza la classe F, che può essere caratterizzata addirittura da forti gradienti verticali di inversione termica, con turbolenza praticamente assente e forte attitudine al ristagno atmosferico.

Nel caso di condizioni instabili, gli inquinanti sono facilmente dispersi in atmosfera per effetto della turbolenza convettiva e/o meccanica. In condizioni stabili, d'altra parte, gli inquinanti tendono a rimanere confinati in uno stretto strato atmosferico, all'altezza della sorgente che li emette, a causa della scarsa capacità di diluizione. Le classi di stabilità A, B, C sono diurne, scalate in base alla radiazione solare e al vento (tipicamente A = forte radiazione e vento debole, C = vento forte), E ed F notturne (tipicamente E per condizioni isoterme e F per condizioni di inversione). La classe D corrisponde a situazioni di cielo coperto, oppure a presenza di precipitazioni o di vento forte ($>6 \text{ m/s}$), con prevalenza quindi di turbolenza di natura meccanica.

In Tabella 3.2 è riportata la distribuzione delle classi di stabilità nei diversi periodi dell'anno.

Tabella 3.2: Distribuzione delle Classi di Stabilità nei Diversi Periodi dell'Anno

Stagione	Classi di Stabilità					
	A	B	C	D	E	F
Inverno	6%	9%	10%	42%	19%	15%
Primavera	13%	17%	14%	27%	16%	14%
Estate	17%	20%	14%	21%	12%	16%
Autunno	12%	14%	10%	27%	16%	21%

L'andamento annuale mostra il massimo per la categoria D (circa 29%), mentre la categoria meno rappresentata è la A (circa 12%).

L'andamento giornaliero medio della stabilità atmosferica è riportato in Figura 3.4.

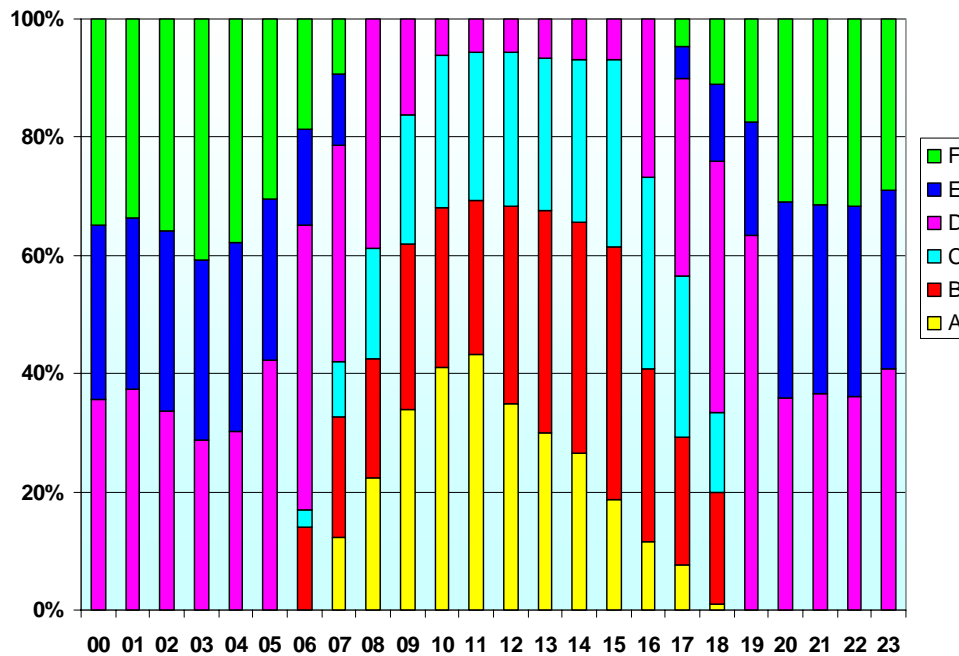


Figura 3.4: Andamento Giornaliero della Stabilità Atmosferica

4 QUADRO EMISSIVO

Le emissioni da considerare per la valutazione dell'impatto atmosferico da traffico navale sono principalmente derivanti da:

- combustione dei motori dei mezzi navali;
- evaporazione dei prodotti trasportati.

Nel caso in esame, il gas viene trasportato tramite navi metaniere, costruite appositamente per il trasporto del GNL; tali navi garantiscono completa sicurezza vista la presenza di una tripla protezione dei serbatoi e di una struttura a doppio scafo. Inoltre, la piccola parte di GNL che evapora durante il trasporto è utilizzata come combustibile pulito per i motori della nave metaniera.

I mezzi navali considerati nel periodo di attività sono:

- una metaniera, che compie due viaggi a settimana,
- tre rimorchiatori, deputati alle operazioni di manovra ed accompagnamento della metaniera nell'area più vicina alla zona di attracco e di scarico del GNL.

Si è ipotizzata una rotta di arrivo Sud – Nord e ne è stata considerata l'ultima parte, nel tratto prospiciente la costa toscana.

4.1 DEFINIZIONE DELLE FASI DI FUNZIONAMENTO DEI MEZZI NAVALI

Ai fini dello studio sono state identificate tre fasi di funzionamento dei mezzi navali:

- fase di transito;
- fase di manovra;
- fase di stazionamento.

La fase di transito, in cui le metaniere si muovono con motori a regime di crociera, è relativa ad una distanza di circa 1.5 km; le emissioni di tale fase vengono simulate come provenienti da una sorgente areale caratterizzata da un'altezza che supera i 40m. Una ulteriore fase di transito riguarda i tre rimorchiatori a servizio della metaniera che, nell'ipotesi che partano dal paraggio posto alla radice del Pontile Solvada, coprono una distanza di poco superiore ai 4 km; anche in questo caso i mezzi navali sono stati assimilati ad una sorgente areale caratterizzata da un'altezza di 15 m.

La fase di manovra indica:

- il tragitto di avvicinamento al pontile, in cui la metaniera, con motori al minimo, viene coadiuvata nel suo spostamento dai rimorchiatori (la sorgente è simulata come una sorgente areale con una altezza proporzionale alle emissioni dei diversi mezzi);
- l'accosto al pontile (sorgente puntuale, con una altezza proporzionale alle emissioni dei diversi mezzi, temperatura di uscita fumi di poco superiore ai 400 °C).

Infine, nella fase di stazionamento il GNL viene scaricato dalla metaniera (sorgente puntuale, con una altezza proporzionale alle emissioni dei diversi mezzi, temperatura di uscita fumi di poco superiore ai 400°C).

Stimando cautelativamente una durata totale delle operazioni pari a 36 ore, sono state prese in esame diverse modulazioni temporali (giornaliere e settimanali) a seconda delle sorgenti considerate (si vedano le Figure da 4.1 a 4.5).

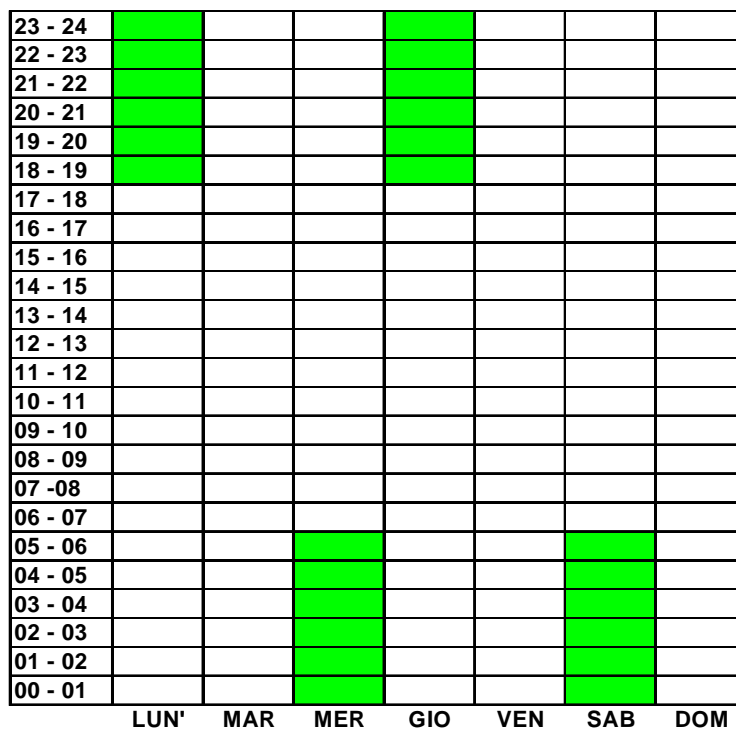


Figura 4.1: Ore Interessate dalle Fasi di Transito della Metaniera

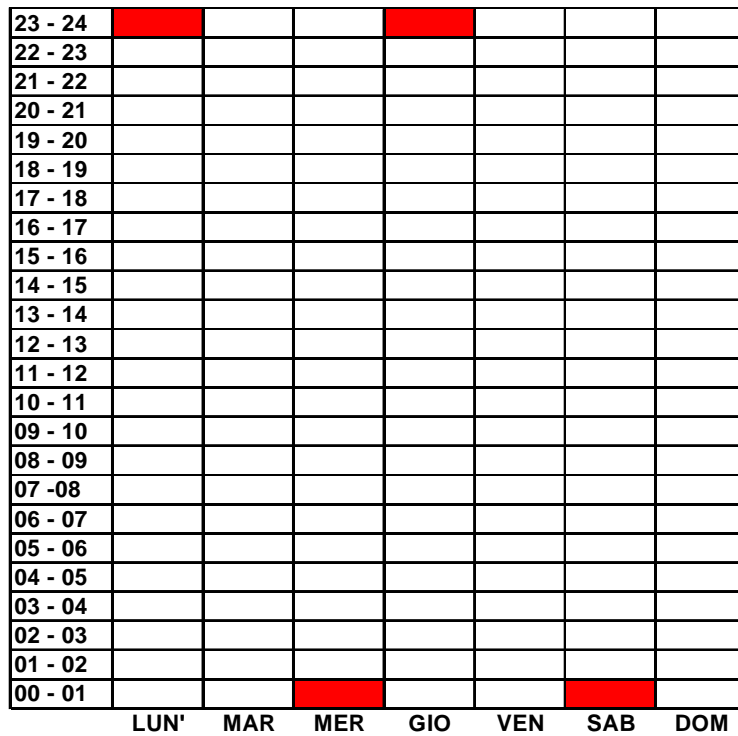


Figura 4.2: Ore Interessate dalle Fasi di Spostamento dei Rimorchiatori da e per il Porto

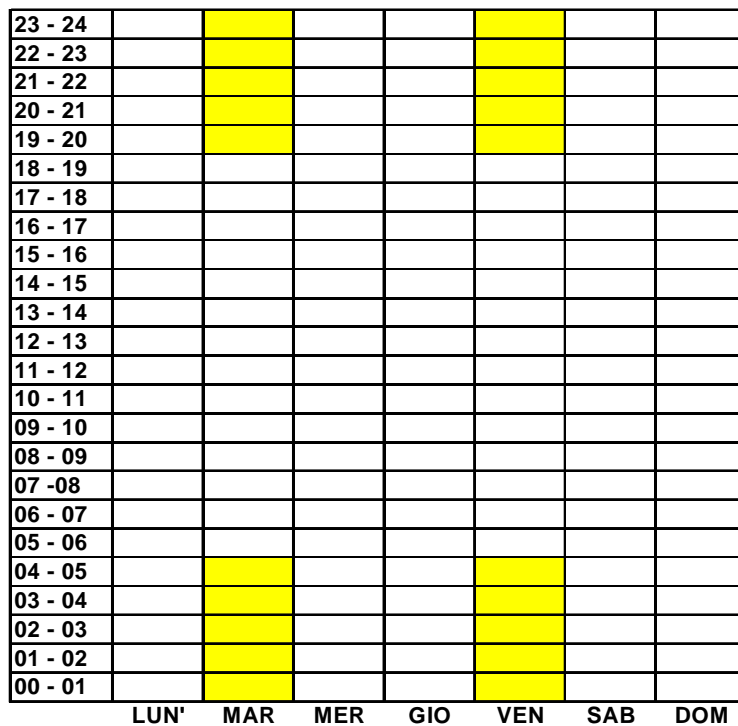


Figura 4.3: Ore Interessate dalle Fasi di Avvicinamento

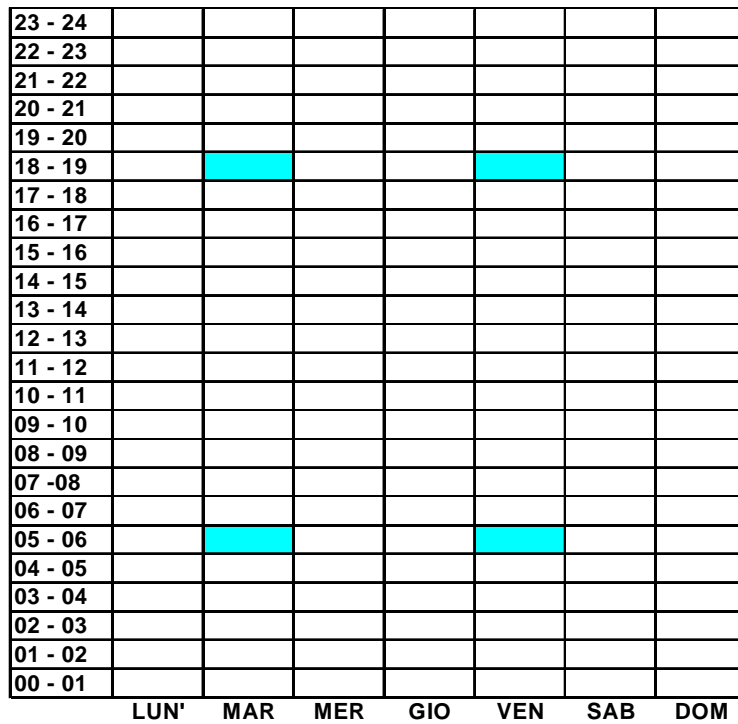


Figura 4.4: Ore Interessate dalle Fasi di Accosto e Ormeggio

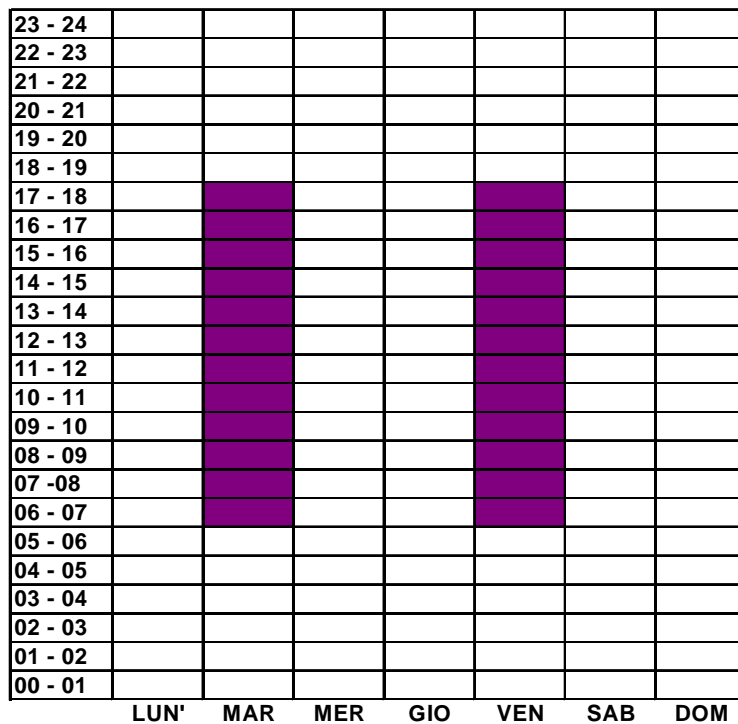


Figura 4.5: Ore Interessate dalle Fasi di Stazionamento

4.2 CALCOLO DELLE EMISSIONI

La valutazione dell'apporto di inquinanti a seguito dell'aumento del traffico marino nell'area antistante il Comune di Rosignano è stata effettuata tramite l'uso di un modello elaborato all'interno del progetto europeo MEET (Methodology for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport) (Trozzi e Vaccaro, 1998). Lo sviluppo di questa metodologia si è basato su una ricca base di dati relativa ad oltre 10,000 navi caratterizzate da tonnellaggi e consumi energetici specifici; i fattori di emissione calcolati si riferiscono dunque a navi specifiche (per combustibile, tipo di motore, tonnellaggio medio) ed alle diverse fasi di navigazione considerate.

La metodologia dettagliata di calcolo delle emissioni è stata adottata sulla base di:

- stima degli intervalli di tempo che si suppone verranno interessati dalle diverse fasi;
- conoscenza della potenza dei motori dei rimorchiatori;
- stima approssimativa dei consumi di carburante della nave metaniera.

Il calcolo effettuato è sintetizzabile nella seguente formula:

$$\text{Emissioni} = \text{Fattore di emissione} \times \text{Attività}$$

dove con il termine attività si tengono in considerazione sia il consumo del combustibile sia la potenza dei motori dei mezzi navali.

Per quanto riguarda i fattori di emissione, sono stati considerati i seguenti inquinanti:

- NO_x;
- composti organici volatili (VOC);
- monossido di carbonio (CO);
- SO_x;
- PM₁₀.

I fattori di emissione di tali inquinanti, utilizzati per le diverse tipologie di mezzi (nave metaniera e rimorchiatori) in relazione alle diverse fasi, sono riportati nelle Tabelle 4.1 e 4.2.

Tabella 4.1: Fattori di Emissione Utilizzati per la Nave Metaniera

Fasi	Fattori di emissione (kg/t combustibile)				
	NO _x	VOC	CO	SO _x	PM ₁₀
Movimento	57	2.4	7.4	30	1.2
Manovra	51	3.6	28	30	1.2
Stazionamento	23	23.1	99	30	1.2

Tabella 4.2: Fattori di Emissione Utilizzati per i Rimorchiatori (g/HP*ora)

Fasi	Fattori di emissione (kg/t combustibile)				
	NO _x	VOC	CO	SO _x	PM ₁₀
Movimento	4.86	0.15	0.08	2.92	0.1
Manovra	6.13	0.23	0.38	2.92	0.17
Stazionamento	4.86	0.15	0.08	2.92	0.1

5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Le simulazioni delle emissioni da traffico marittimo associato all'esercizio del Terminale GNL di Rosignano sono state condotte utilizzando il pacchetto software "ARIA Impact", basato su un modello gaussiano coerente con le raccomandazioni della US E.P.A. (Environmental Protection Agency).

Le equazioni di base di tale modello sono quelle classiche che descrivono la dispersione rettilinea di un pennacchio in condizioni stazionarie. Tali equazioni, con alcune modifiche, sono usate per trattare diverse tipologie di sorgenti, classificabili in tre categorie principali:

- sorgenti di tipo puntiforme;
- sorgenti di tipo areale;
- sorgenti di tipo lineare.

Per ulteriori dettagli sul pacchetto software "ARIA Impact" si rimanda all'Appendice A.

L'area su cui sono state valutate le ricadute degli inquinanti è riportata in Figura 5.1.

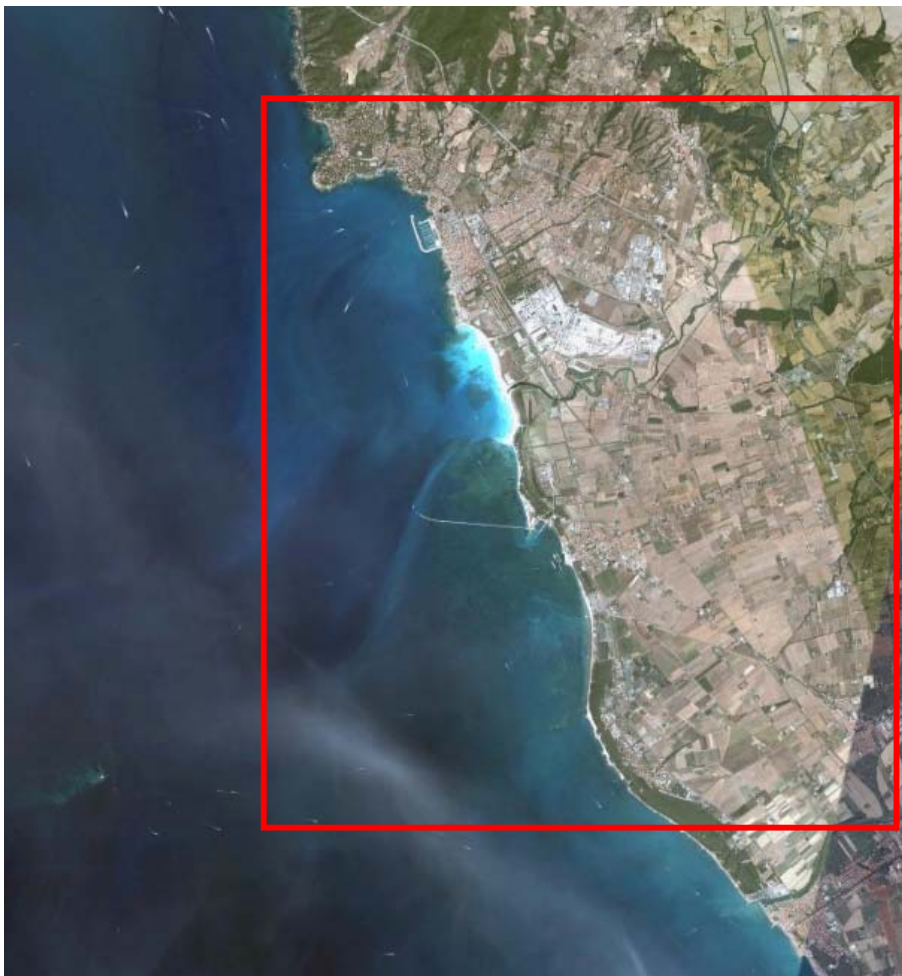
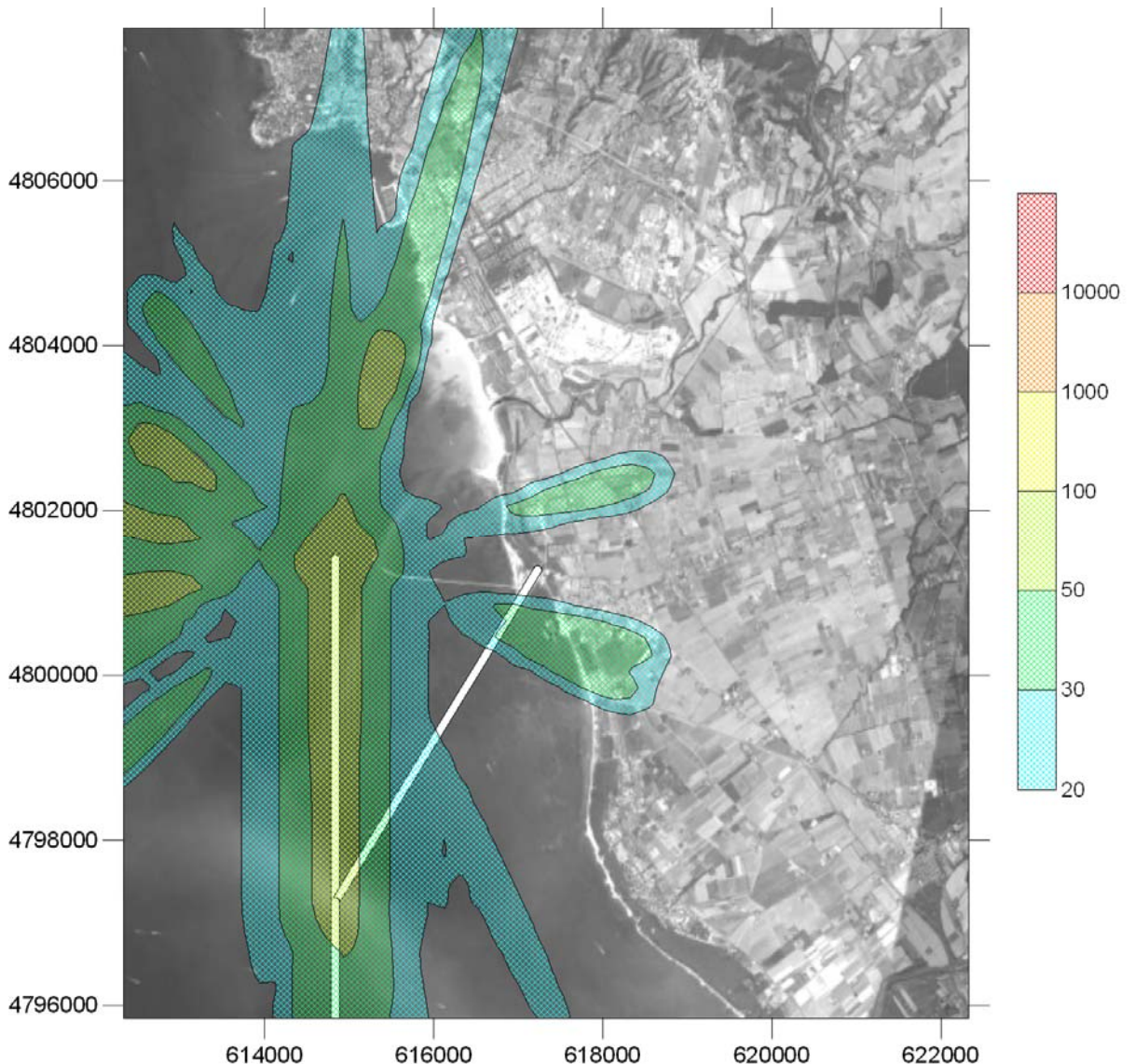


Figura 5.1: Area di Interesse per lo Studio

La scelta di tale area, di estensione pari a 120 km², permette di valutare gli eventuali impatti anche nella fase di avvicinamento ed allontanamento delle navi metaniere.

Nelle figure che seguono, suddivise per i singoli inquinanti considerati, sono riportati i risultati grafici delle simulazioni

Il monossido di carbonio presenta valori di due ordini di grandezza inferiori rispetto ai limiti. In particolare, sulla terraferma in prossimità dei centri abitati, le concentrazioni superano di poco i 30 µg/m³ (Figura 5.2).



**Figura 5.2: 100° Percentile di CO (µg/m³) Emesso dai Mezzi Navali
(Fase di Esercizio del Rigassificatore)**

Per i composti organici volatili nel loro complesso non esiste un limite normativo, pertanto si possono confrontare le concentrazioni stimate con i limiti fissati dalle legge per il solo benzene: per tale

inquinante il valore medio annuale deve essere inferiore a $5\mu\text{g}/\text{m}^3$, valore che risulta al di sopra delle concentrazioni ricavate dalle simulazioni (Figura 5.3).

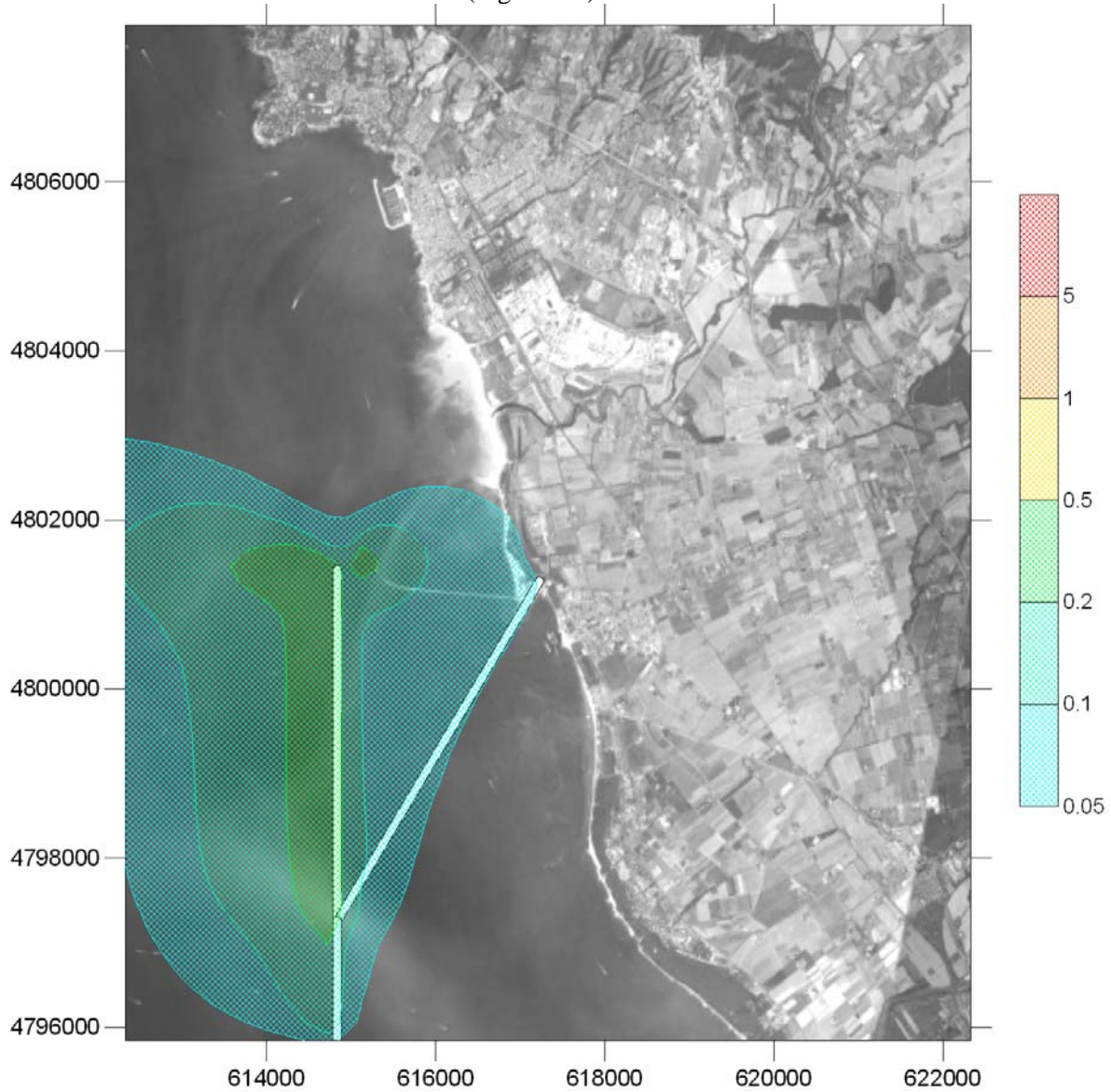


Figura 5.3: Media Annuale di NMVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)

In Figura 5.4 è riportata la mappa delle concentrazioni dei massimi calcolati di NMVOC.

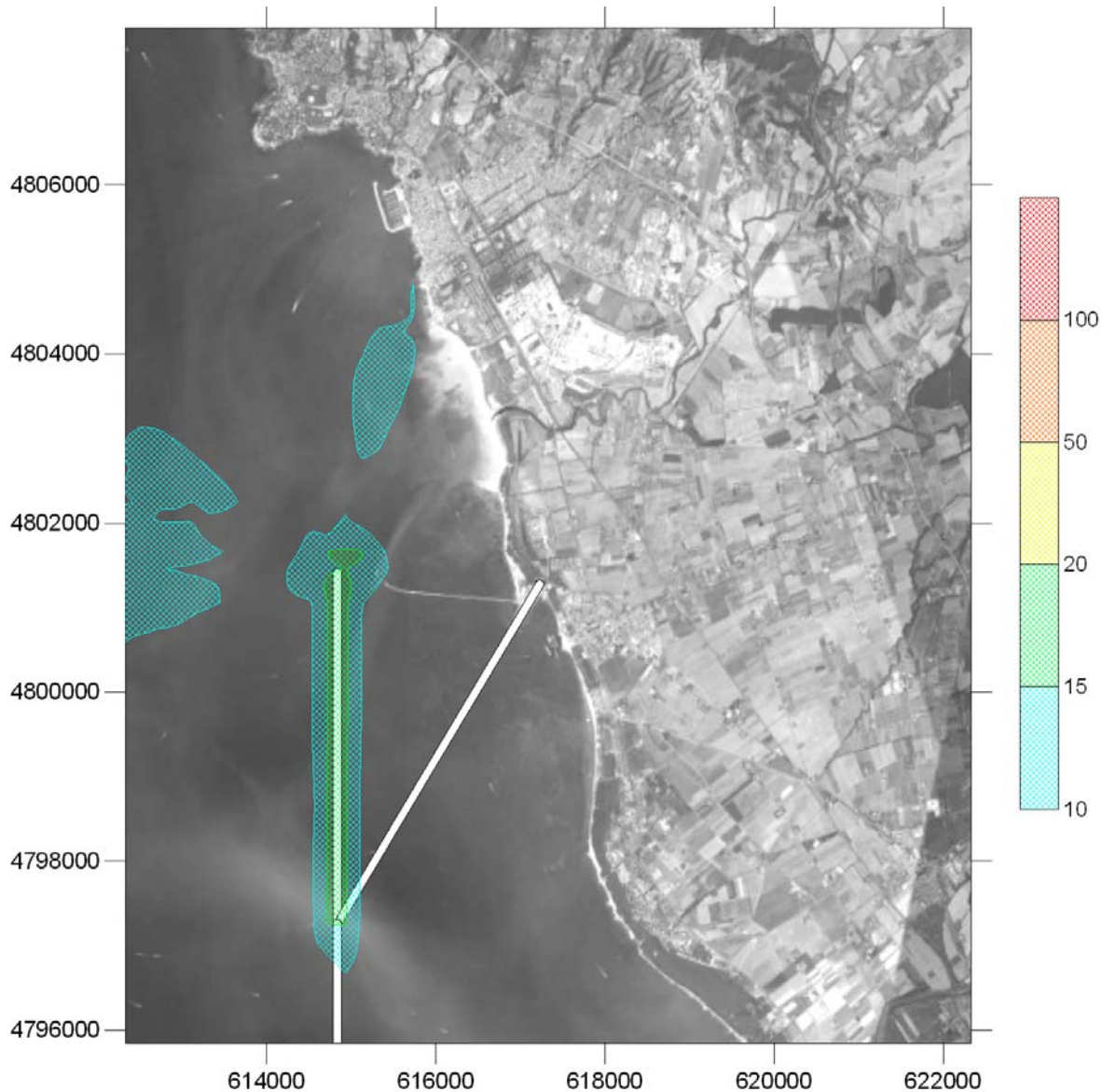
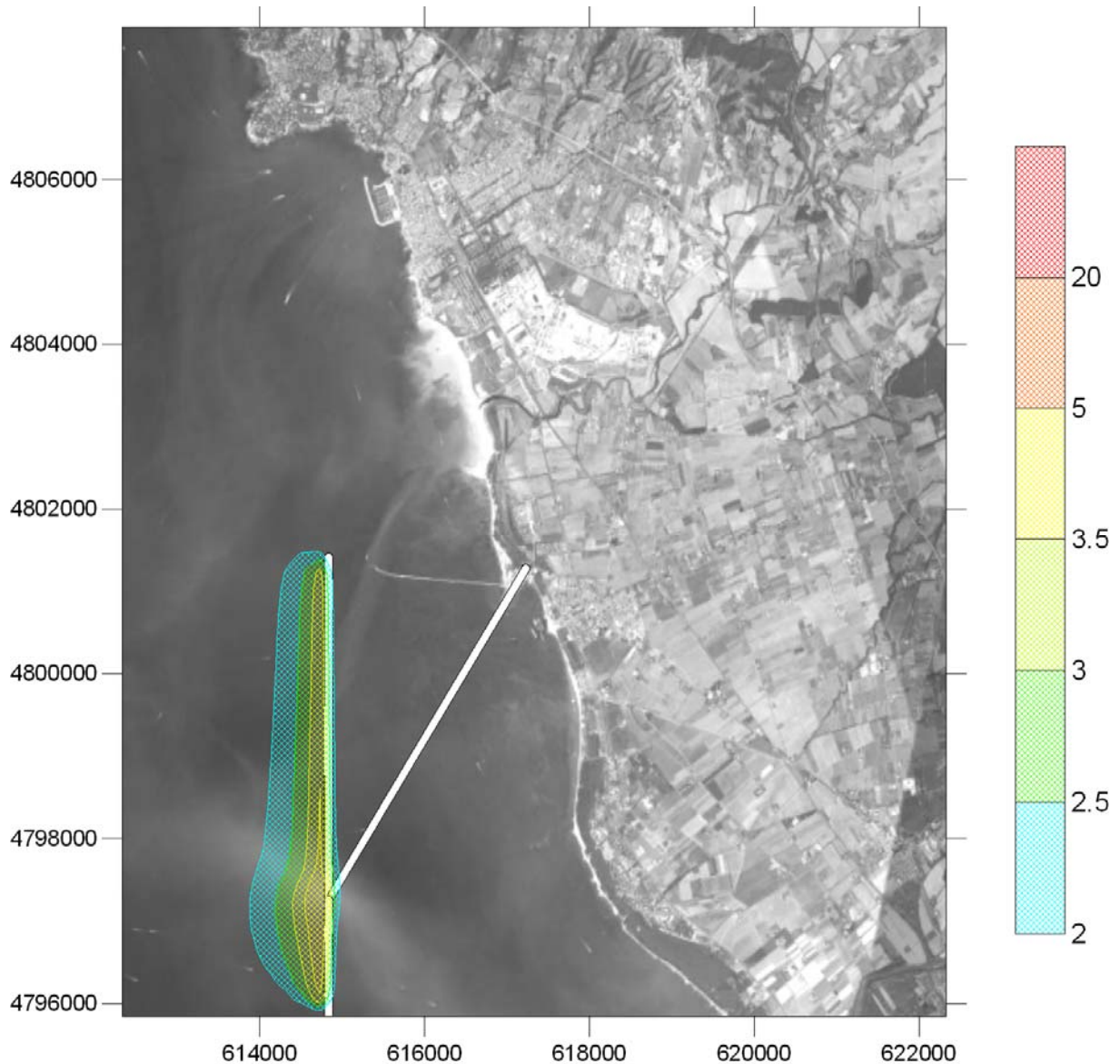


Figura 5.4: 100° Percentile di Periodo di NMVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)

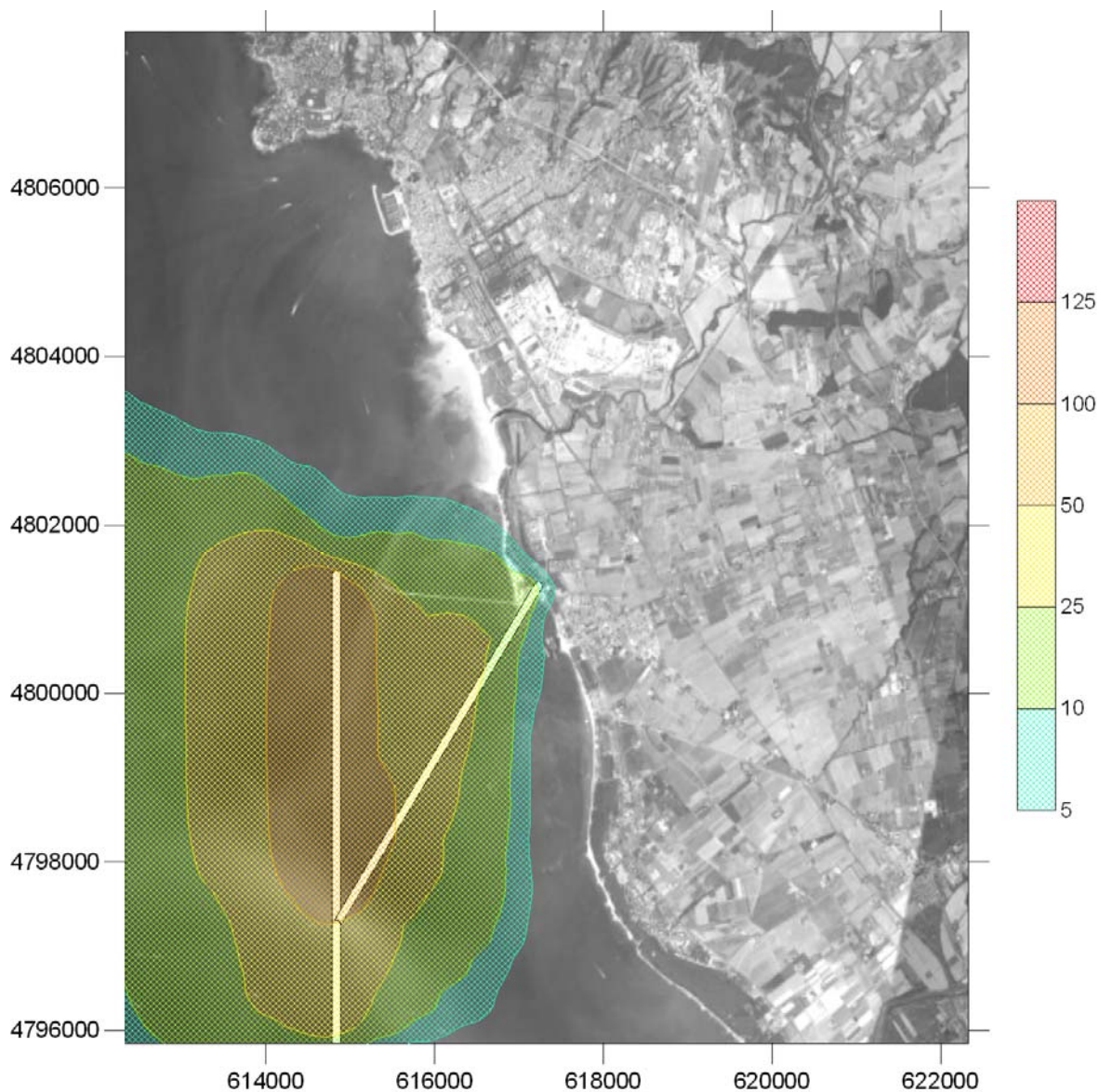
Il biossido di zolfo rappresentava fino a pochi anni fa una delle maggiori criticità legate alla combustione dei motori navali; con il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri No. 395 del 7 Settembre 2001 viene recepita la Direttiva 99/32/CE relativa alla riduzione del tenore di zolfo di alcuni combustibili liquidi (ed in seguito modificata dalla Direttiva 2005/33/CE del Parlamento Europeo del 6 Luglio 2005), portando ad una notevole diminuzione delle concentrazioni di zolfo e dei suoi composti registrabili in prossimità di processi di combustioni.

Nello studio in esame tutti i parametri sono ben al di sotto dei limiti di legge; in particolare:

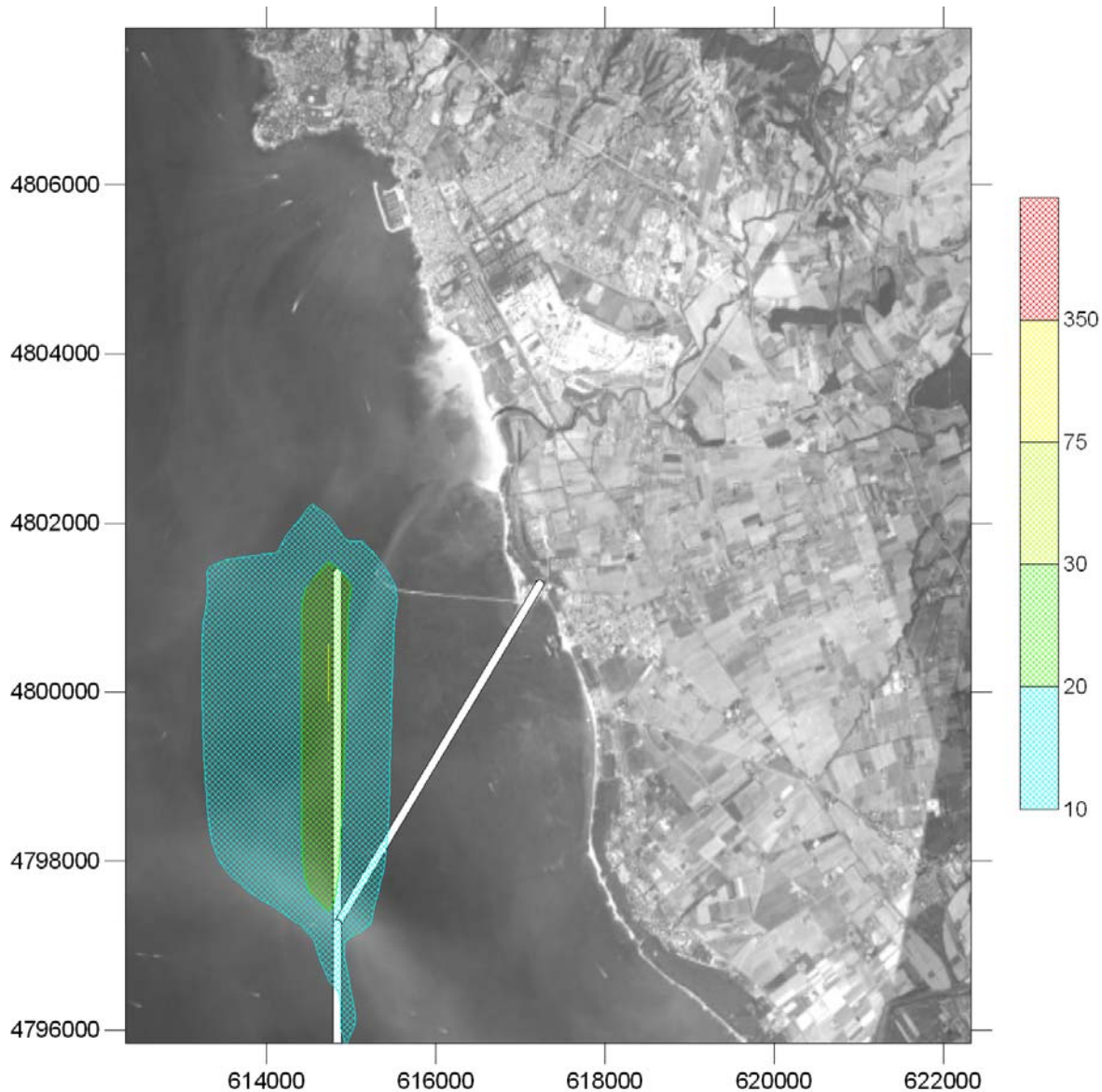
- il massimo delle concentrazioni medie annuali stimate sulla costa è inferiore a $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 5.5),
- il 99.2° percentile calcolato su base oraria stimato sui centri abitati è compreso per lo più tra 1 e $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a fronte di un limite di $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 5.6),
- il 99.78° percentile calcolato su base giornaliera sulla terraferma è inferiore a $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 5.7).



**Figura 5.5: Media Annuale di SO₂ (µg/m³) Emesso dai Mezzi Navali
(Fase di Esercizio del Rigassificatore)**



**Figura 5.6: 99.2°Percentile di SO₂ (µg/m³) Emesso dai Mezzi Navali
(Fase di Esercizio del Rigassificatore)**



**Figura 5.7: 99.7°Percentile di SO₂ (µg/m³) Emesso dai Mezzi Navali
(Fase di Esercizio del Rigassificatore)**

L'unico caso in cui vengono superati i limiti di normativa riguarda le concentrazioni di ossidi di azoto: tale superamento si verifica comunque in un'area molto ristretta (in corrispondenza dei punti di emissione), dal momento che già poco oltre i 100 m di distanza dalla rotta navale i livelli scendono sotto i limiti fissati dalla normativa (Figure 5.8 e 5.9). I limiti di legge riguardano il solo biossido di azoto, mentre la simulazione modellistica descritta in questo studio considera l'insieme degli NO_x, cioè la miscela complessiva degli ossidi di azoto.

La miscela inquinante degli ossidi di azoto in aria è per la maggior parte composta da due gas:

- monossido di azoto (NO);

- biossido di azoto (NO_2),

in misura variabile dipendente, tra l'altro dal sito, dalla meteorologia e dalla distanza dalle eventuali principali sorgenti. In particolare, la distanza dalle eventuali sorgenti riveste un ruolo di particolare importanza, in quanto negli ossidi di azoto, che sono un prodotto della combustione ad alta temperatura, l' NO è presente all'emissione in frazione preponderante (anche oltre il 90%): tale frazione tende a diminuire velocemente mentre l'aria contenente il gas emesso è trasportata lontano, risultando all'osservazione generalmente compresa tra il 25% ed il 75%.

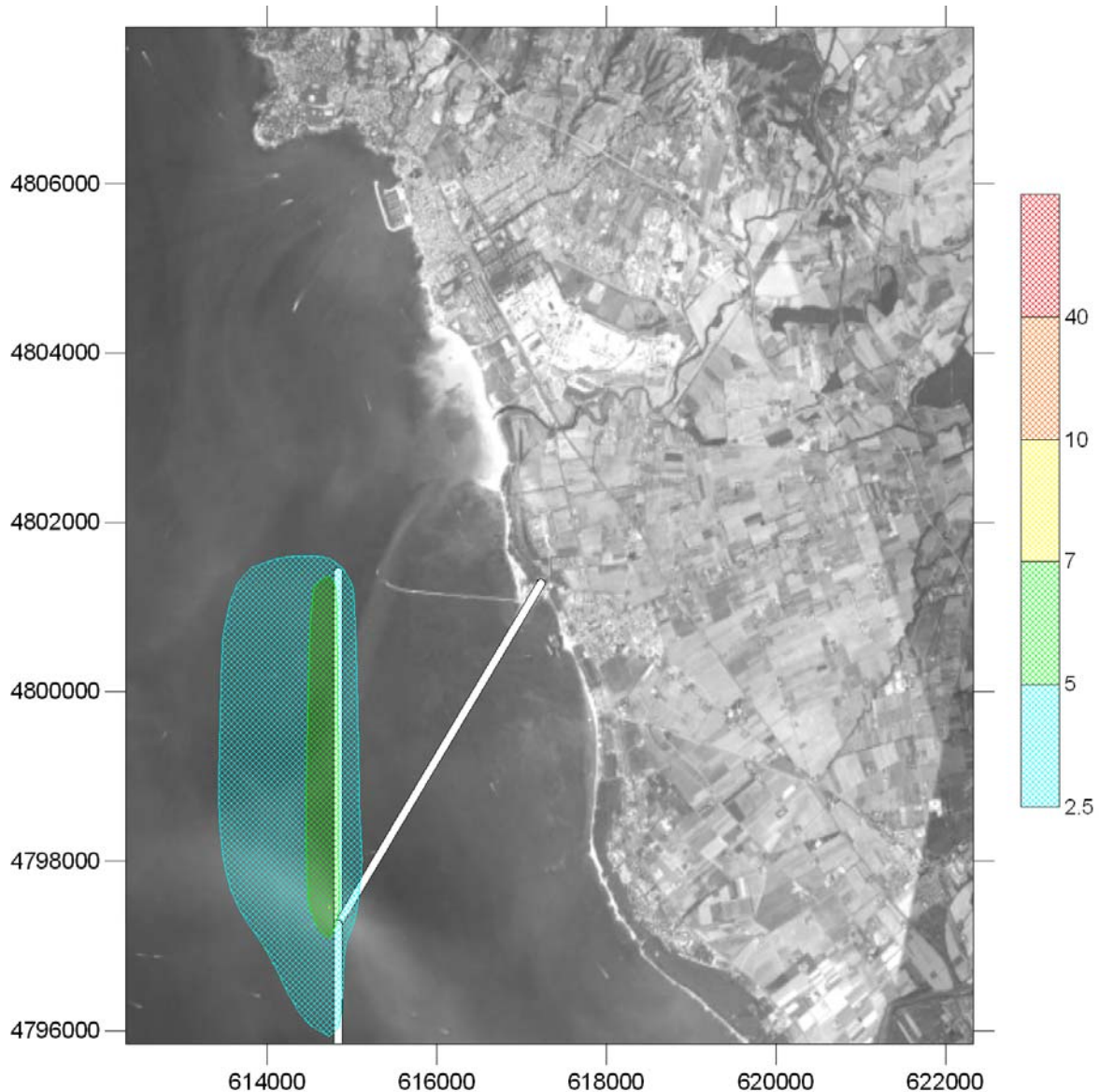


Figura 5.8: Media Annuale di NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)

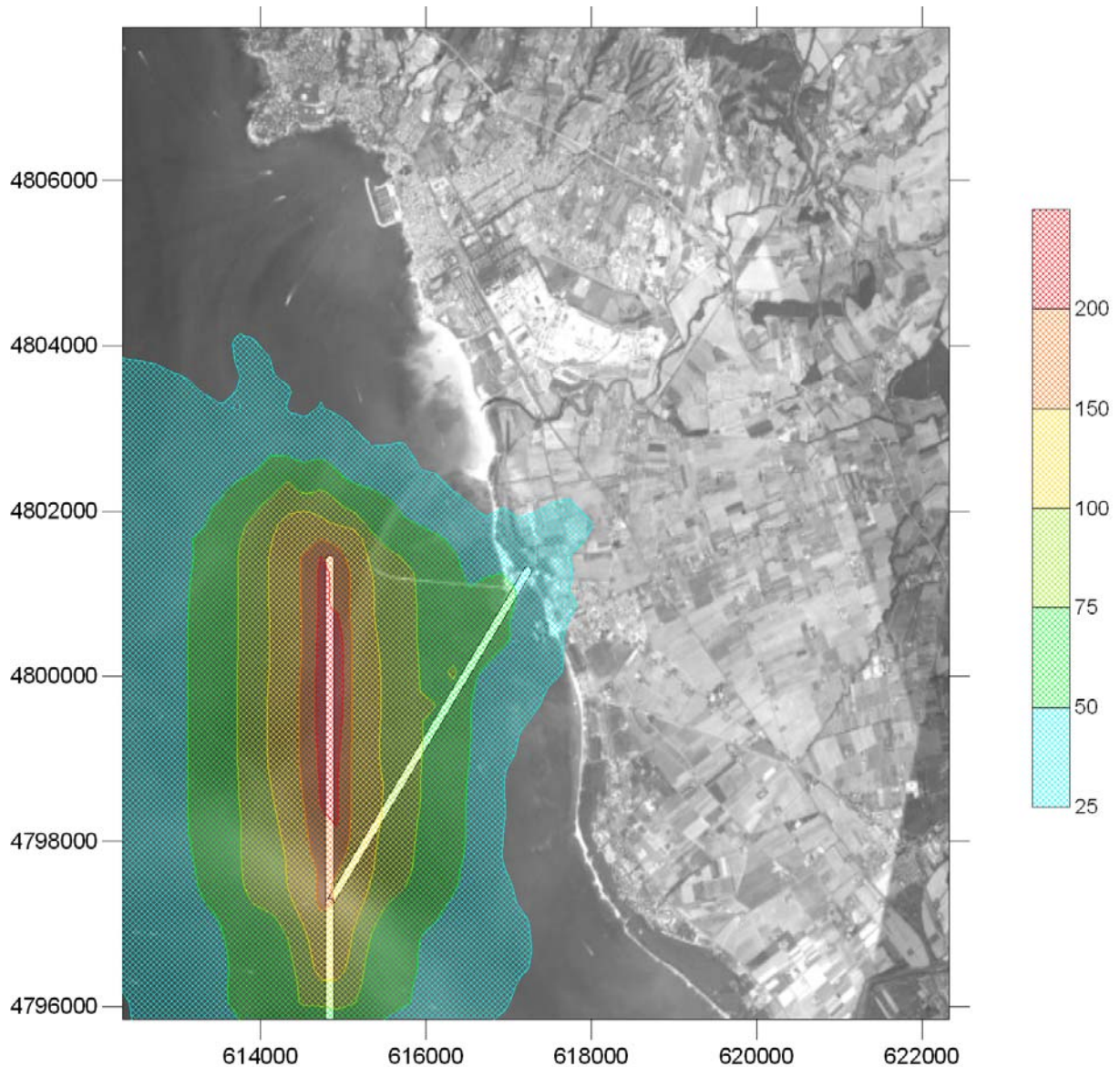
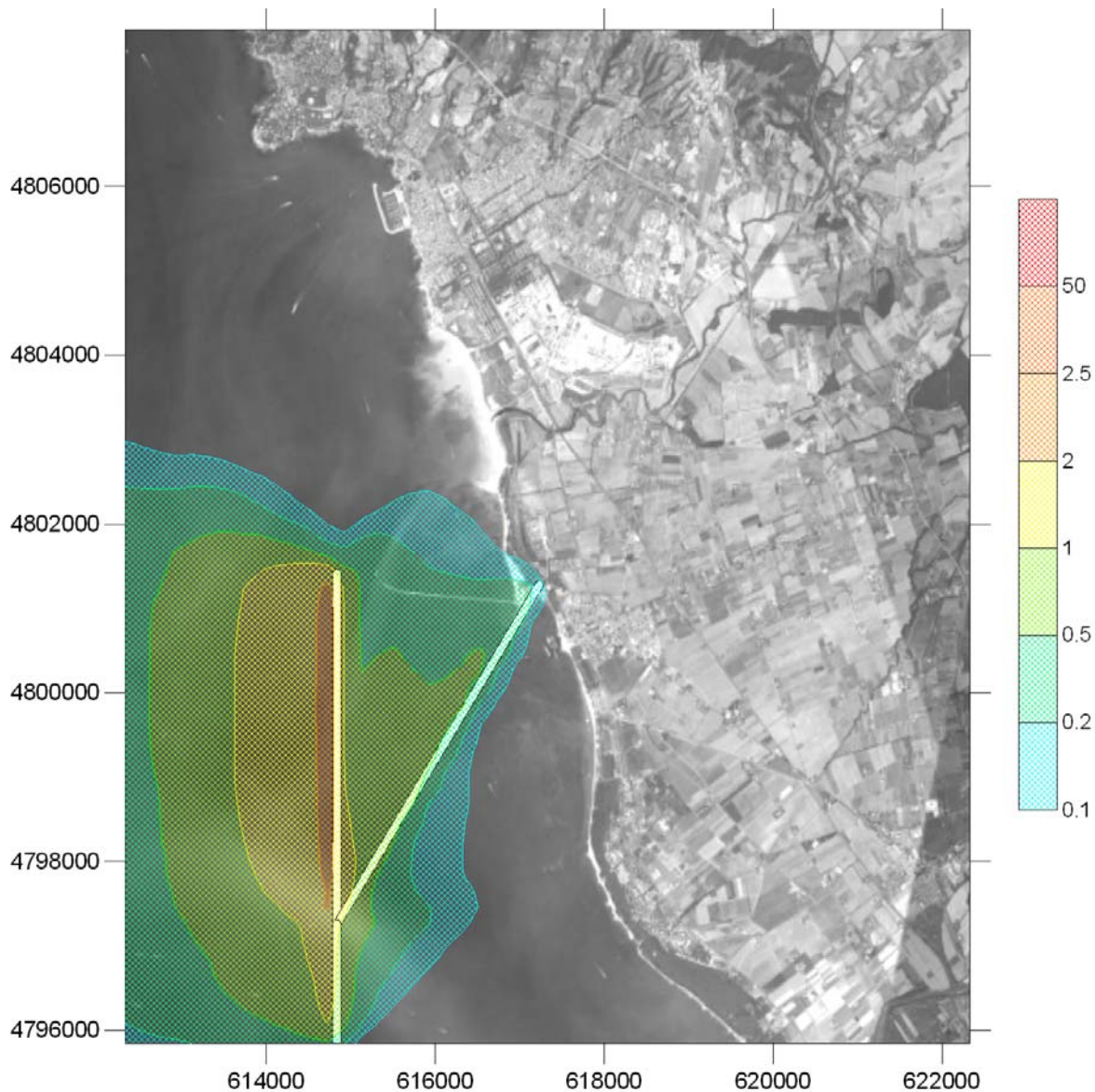
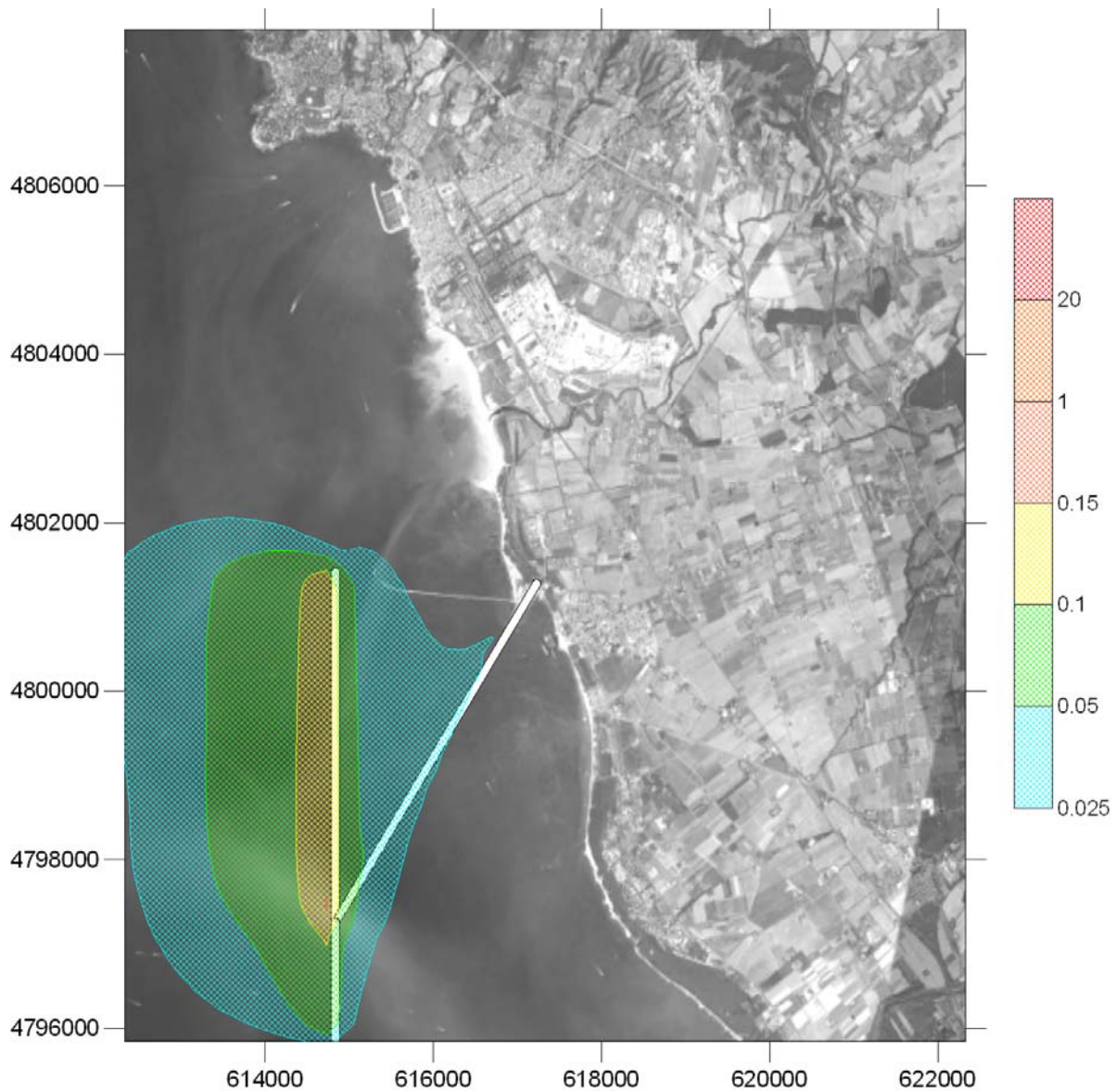


Figura 5.9: 99.8°Percentile di NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Emesso dai Mezzi Navali (Fase di Esercizio del Rigassificatore)

Infine, le concentrazioni di PM_{10} risultanti dalle modellazioni presentano valori inferiori ai limiti di legge (Figure 5.10 e 5.11).



**Figura 5.10: 98° Percentile di PM₁₀ (µg/m³) Emesso dai Mezzi Navali
(Fase di Esercizio del Rigassificatore)**



**Figura 5.11: Media Annuale di PM₁₀ (µg/m³) Emesso dai Mezzi Navali
(Fase di Esercizio del Rigassificatore)**

In Tabella 5.1 sono riassunti i massimi di concentrazione per ogni inquinante risultanti dalle simulazioni.

Tabella 5.1: Risultati delle Simulazioni: Massimi di Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Inquinante	Tipo di Limite	Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
CO	100° percentile (calcolato su media oraria)	84.4
NMVOC	media annuale	0.4
	100° percentile (calcolato su media oraria)	16
Biossido di zolfo	99.2° percentile (calcolato sulla media oraria)	81.9
	99.7° percentile (calcolato sulla media giornaliera)	30.1
	media annuale	4.1
Biossido di azoto	99.8° percentile (calcolato sulla media oraria)	233.1
	media annuale	7
PM ₁₀	98° percentile (calcolato sulla media giornaliera)	0.79
	media annuale	0.2

6 CONCLUSIONI

La realizzazione di un Terminale GNL presso il Comune di Rosignano Marittimo (LI) comporterà la presenza, in fase di esercizio, di mezzi di trasporto navali ed in particolare di una metaniera e di tre rimorchiatori di supporto; si stima che tali mezzi effettueranno 2 viaggi alla settimana.

I risultati delle simulazioni, effettuate in modo conservativo sia per quanto riguarda la scelta dei fattori di emissione sia dei tempi interessati dalle diverse fasi di navigazione/stazionamento, mostrano impatti dei diversi inquinanti sempre al di sotto dei limiti fissati dalla normativa, eccezion fatta per gli ossidi di azoto, che superano la soglia dei $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in un'area comunque molto ristretta quasi in corrispondenza della rotta navale. Si segnala che tale soglia si riferisce propriamente al biossido di azoto, mentre le simulazioni prodotte nello studio si riferiscono alla miscela di NO_x .

In sintesi, le simulazioni effettuate consentono di concludere che le ricadute degli inquinanti connesse alle emissioni da traffico navale a servizio del terminale GNL possono essere ritenute complessivamente accettabili. Si evidenzia in particolare che i valori di ricaduta sulle aree a terra e sui centri abitati risultano assolutamente contenuti.

RIFERIMENTI

Trozzi e Vaccaro, 1998, “MEET project (Methodologies for Estimating air pollutant Emissions from Transport)”.

APPENDICE A
IL MODELLO MATEMATICO GAUSSIANO ARIA IMPACT

APPENDICE A IL MODELLO MATEMATICO GAUSSIANO ARIA IMPACT

La stima d'impatto sulla qualità dell'aria è stata condotta utilizzando il pacchetto software ARIA Impact, composto di un modulo user friendly d'interfaccia a finestre grafiche e di un modello gaussiano coerente con le raccomandazioni della US E.P.A. (Environmental Protection Agency).

Le equazioni di base del modello gaussiano sono quelle classiche che descrivono la dispersione rettilinea di un pennacchio in condizioni stazionarie. Tali equazioni, con alcune modifiche, sono usate per trattare diverse tipologie di sorgenti, classificabili in tre categorie principali: sorgenti di tipo puntiforme, sorgenti di tipo areale e sorgenti di tipo lineare.

L'equazione gaussiana di base, relativa ad una sorgente puntiforme con pennacchio stazionario, utilizzata per il calcolo della concentrazione media oraria ad una distanza sottovento x e ad una distanza laterale y , è la seguente:

$$\chi = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2}, \text{ dove:}$$

- χ concentrazione oraria (massa per unità di volume);
- Q rateo di emissione (massa per unità di tempo);
- K coefficiente per la trasformazione delle concentrazioni nelle unità di misura desiderate;
- V termine di dispersione verticale;
- D termine di decadimento;
- σ_y deviazione standard della distribuzione laterale delle concentrazioni (m);
- σ_z deviazione standard della distribuzione verticale delle concentrazioni (m);
- u_s velocità del vento media alla quota di rilascio (m/s).

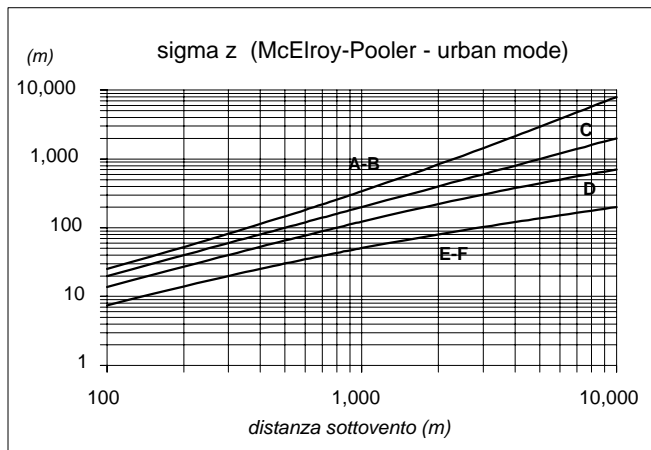
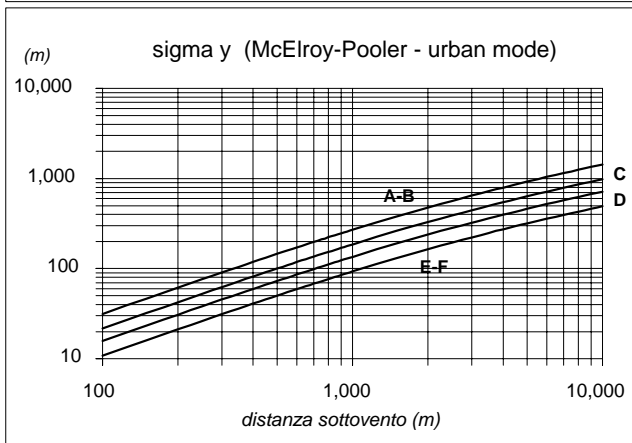
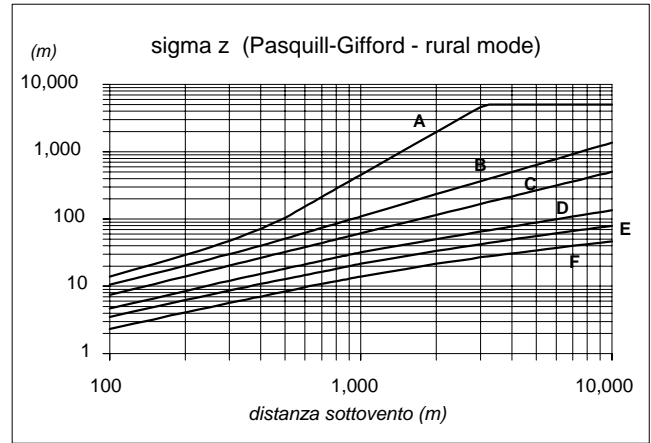
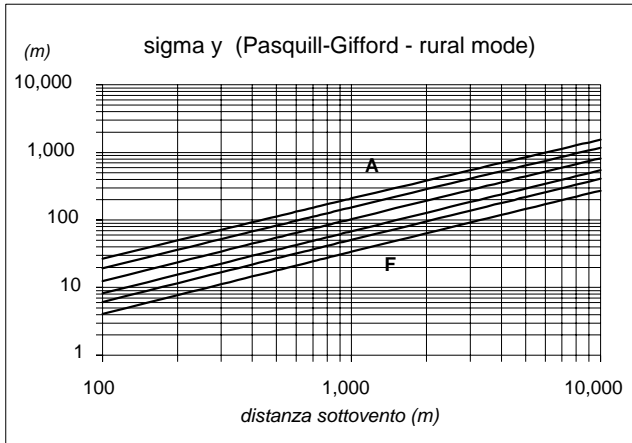
Il termine di dispersione verticale V include gli effetti dovuti all'altezza fisica del camino, all'innalzamento del pennacchio, alla quota dei recettori, allo strato di rimescolamento alla deposizione secca, ecc.

La velocità del vento, se necessario, viene estrapolata alla quota di emissione secondo la seguente legge di potenza:

$$u_s = u_m \left(\frac{h_s}{z_m} \right)^p$$

dove u_m è la velocità del vento misurata alla quota z_m , mentre all'esponente p , in mancanza di informazioni fornite dall'utente, vengono assegnati dal modello valori standard funzione della categoria di stabilità.

I parametri di dispersione orizzontale e verticale del pennacchio per una sorgente puntiforme, sono rappresentati nei grafici seguenti in funzione della distanza sottovento, della categoria di stabilità secondo Pasquill e dell'opzione "rural" o "urban" mode.



Il modello gaussiano adottato è un modello analitico, determina cioè in maniera esatta la concentrazione d'inquinante al suolo sulla base della formula presentata. Non avendo quindi da risolvere numericamente equazioni differenziali in un dominio discreto, non è affetto dall'incertezza numerica che deriva, nel caso di modelli avanzati, dalla risoluzione del dominio discreto adottato. Tuttavia, la risoluzione del grigliato di calcolo delle concentrazioni e la larghezza delle sorgenti stradali influenzano le concentrazioni massime calcolate, in quanto introducono una distanza minima recettore - sorgente tanto maggiore quanto maggiore è il passo di griglia: in questo senso, permane una incertezza numerica nel calcolo delle concentrazioni massime, incertezza che si riduce rapidamente con la distanza dalla sorgente.