

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEI MARI TIRRENO MERIDIONALE E IONIO



STIMA DELLE EMISSIONI DI NO_x E SO₂ ASSOCIATE AL TRAFFICO NAVALE DEL SISTEMA PORTUALE

Per la Direzione Tecnica

RUP Ing. Maria Carmela De Maria

Per il supporto tecnico specialistico il Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

ACQUATECNO- ENVIRONMENT PARK- AMBIENTE SPA



Autorità di Sistema Portuale
dei Mari Tirreno Meridionale
e Ionio

*STIMA DELLE EMISSIONI DI NO_x E SO₂ ASSOCIATE AL TRAFFICO
NAVALE DEL SISTEMA PORTUALE*



Sommario

| | |
|--|----|
| Premessa | 5 |
| 1. Gli impatti delle emissioni di NO_x e SO₂ | 6 |
| 2. Metodologia utilizzata | 7 |
| 3. Risultati dell'analisi | 12 |
| 3.1. Stima del consumo di combustibile delle navi per la manovra e lo stazionamento in porto | 14 |
| 3.2. Stima delle emissioni inquinanti generate dalle navi in porto | 16 |
| 3.2.1. L'inquinamento di NO _x - <i>Ossidi di Azoto</i> | 16 |
| 3.2.2. L'inquinamento di SO ₂ - <i>Biossido di Zolfo</i> | 18 |
| 3.3. Stima dei costi marginali associati alle emissioni inquinanti generate dalle navi in porto | 20 |
| 4. Approfondimento sull'impatto generato dalle navi in fase di stazionamento in banchina nel Porto di Gioia Tauro | 23 |
| Bibliografia e sitografia | 26 |
| Indice delle figure | 26 |
| Indice delle tabelle | 26 |



Autorità di Sistema Portuale
dei Mari Tirreno Meridionale
e Ionio

*STIMA DELLE EMISSIONI DI NO_x E SO₂ ASSOCIATE AL TRAFFICO
NAVALE DEL SISTEMA PORTUALE*



Premessa

Nel presente documento si riporta l'approfondimento relativo alla stima delle emissioni di biossido di zolfo (SO₂) e ossidi di azoto (NO_x), associate al traffico navale che interessa i Porti del Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio.

Tale documento è stato realizzato contestualmente alla redazione del Documento di Pianificazione Energetico Ambientale del Sistema Portuale (DEASP) con l'obiettivo di quantificare l'inquinamento atmosferico generato dal traffico marittimo dei Porti di Gioia Tauro, Corigliano Calabro, Crotona e Vibo Valentia e di supportare l'AdSP nella definizione di azioni efficaci a contenere i livelli d'inquinamento atmosferico, nel rispetto, inoltre, dei limiti imposti dalla vigente normativa nazionale e internazionale.

Il settore del trasporto marittimo contribuisce significativamente all'inquinamento atmosferico. Secondo i rapporti dell'EEA, nel 2018 ha prodotto il **24% delle emissioni di NO_x**, il **24 % di quelle di SO_x** e il 9 % delle emissioni di PM_{2,5} rispetto alle emissioni nazionali nell'UE, prodotte da tutti i settori economici. Tra gli inquinanti nocivi emessi dalle navi, quelli che destano maggiori preoccupazioni sono il biossido di zolfo (SO₂) e gli ossidi di azoto (NO_x), entrambi dannosi sia per la salute umana sia per gli ecosistemi. Le navi, stazionando spesso in prossimità di aree urbane, operano in zone fortemente antropizzate impattando quindi sulla qualità dell'aria locale. Inoltre, poiché gli inquinanti possono viaggiare per diverse migliaia di chilometri prima di depositarsi, la rilevanza geografica dell'inquinamento atmosferico causato dal trasporto marittimo risulta amplificata a livelli sovralocali.

La questione del controllo dell'inquinamento atmosferico provocato dal traffico navale è stata discussa in vista dell'adozione della convenzione MARPOL del 1973, il primo strumento internazionale giuridicamente vincolante che ha affrontato il problema su un'ampia base regionale. La vigente normativa in materia di utilizzo di combustibili da parte delle navi (Decreto legislativo 09 novembre 2007, n.205) ha previsto, a decorrere dal 1° gennaio 2010, che le stesse, quando sono allo stazionamento, utilizzino "gasolio marino con tenore di zolfo inferiore allo 0,1%". L'International Maritime Organisation (IMO) e l'Unione europea hanno definito il quadro normativo internazionale volto a vietare, a partire dal 1° gennaio 2020, l'utilizzo di combustibili per uso marittimo con tenore di zolfo superiore allo 0,5% in tutti gli Stati membri.



1. Gli impatti delle emissioni di NO_x e SO₂

Il traffico navale contribuisce in modo significativo all'inquinamento atmosferico e in particolare alle emissioni di NO_x e SO₂, gas che hanno diverse conseguenze sull'ambiente e sulla salute della popolazione, di rilevanza locale e sovralocale. La sigla NO_x indica l'insieme di diversi **ossidi di azoto**, che si distinguono per lo stato di ossidazione dell'azoto. Tra questi, il monossido (NO) e il biossido di azoto (NO₂) sono più temuti a causa dell'inquinamento e dei danni che causano. Gli ossidi di azoto possono avere origine naturale (ad esempio dalle eruzioni vulcaniche), ma soprattutto antropiche, in quest'ultimo caso si formano dai processi di combustione che avvengono ad alta temperatura. Il monossido di azoto è un inquinante primario, che viene cioè emesso direttamente dal processo di combustione, mentre il biossido di azoto è secondario, formandosi in seguito a reazioni chimiche che avvengono in atmosfera. Il **biossido di zolfo** (SO₂) è un gas incolore e un inquinante primario che si forma anch'esso dai processi di combustione per ossidazione dello zolfo che si trova nei combustibili fossili (per tale motivo dal 2020 le navi quando si trovano in porto devono utilizzare combustibili a basso tenore di zolfo). Ha soprattutto origine antropica (da processi industriali) e rappresenta uno degli inquinanti atmosferici più pericolosi.

Gli impatti sulla salute umana

Entrambi questi inquinanti sono dannosi per la salute umana. In particolare, il biossido di azoto (NO₂) è altamente tossico e danneggia l'apparato respiratorio e irrita le mucose degli occhi e del naso, aggravando le condizioni di persone vulnerabili. L'Organizzazione Mondiale per la Sanità raccomanda, al fine di tutelare la salute umana, che la concentrazione media annua in aria non superi il **limite di 40 µg/m³**. L'SO₂, invece, è un gas irritante per gli occhi e per il tratto superiore delle vie respiratorie, a basse concentrazioni, mentre a concentrazioni superiori può dar luogo a irritazioni delle mucose nasali, bronchiti e malattie polmonari. Per questo inquinante esiste un limite di concentrazione oraria da non superare, stabilito dall'OMS per tutelare la salute umana, pari a **350 µg/m³**.

Gli impatti sull'ambiente

Tali inquinanti impattano negativamente sull'ambiente sia in modo diretto sia perché sono alla base della formazione delle cosiddette piogge acide. Gli NO_x e il SO₂, quest'ultimo a basse concentrazioni, rallentano il processo della fotosintesi, quindi la crescita, mentre se il biossido di zolfo in atmosfera aumenta può generare alterazioni fisiologiche tali da portare le piante alla morte.

Gli ossidi di azoto e, in modo rilevante, il biossido di zolfo contribuiscono all'**acidificazione delle precipitazioni** (piogge acide) che danneggiano gli ecosistemi acquatici e terrestri. In particolare, impattano soprattutto sull'ambiente acquatico, abbassando il pH delle acque, che diventano così più acide e inospitali per la vita degli animali. Gli ecosistemi terrestri colpiti dalle piogge acide vanno invece incontro ad un impoverimento del suolo, e ad una riduzione della capacità di assorbimento delle acque da parte delle piante. Inoltre, le piogge acide sono dannose anche per gli edifici, in quanto impattano negativamente sui materiali che possono essere corrosi. Infine, gli NO_x in presenza di radiazione solare reagiscono con l'ossigeno formando l'ozono e contribuendo così allo smog fotochimico.

2. Metodologia utilizzata

L'EMEP/EEA *air pollutant emission inventory guidebook 2019* [7], nel Capitolo dedicato alla navigazione, descrive dettagliatamente le principali fonti di emissione associate al traffico navale ed il contributo emissivo dovuto alle attività connesse al traffico marittimo. La navigazione per via d'acqua provoca emissioni di anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O), così come monossido di carbonio (CO), composti organici volatili non metanici (NMVOC), anidride solforosa (SO₂), particolato (PM) e ossidi di azoto (NO_x). Come riportato nello studio condotto dall'EMEP/EEA, le emissioni di SO₂ e NO_x attribuibili al traffico marittimo possono costituire una porzione importante rispetto al totale delle emissioni nazionali, come riportato nella tabella sottostante.

| Inquinante | Contributo traffico navale su totale emissioni nazionali [%] |
|-------------------|--|
| SO ₂ | 0-80 |
| NO _x | 0-30 |
| NMVOC | 0-5 |
| CO | 0-18 |
| TSP | 0-3 |
| PM ₁₀ | 0-4 |
| PM _{2,5} | 0-5 |

Tabella 1: Range europeo del contributo del traffico navale sulle emissioni totali.

Note:

0 = emissioni calcolate, ma il loro contributo è inferiore allo 0,1%

Le emissioni dei gas di scarico legate al traffico navale derivano da:

- motori utilizzati come motori di propulsione principale;
- motori ausiliari utilizzati per fornire potenza e servizi all'interno delle navi.

Nel presente approfondimento si intende stimare le emissioni degli inquinanti SO₂ e NO_x associate al traffico navale del Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio, per gli ambiti portuali di Gioia Tauro, Corigliano Calabro, Crotone e Vibo Valentia, relativamente alle navi alimentate da combustibili fossili in fase di stazionamento in banchina e manovra, come chiarito nello schema seguente:



Figura 1: Schema delle fasi di consumo ed emissione delle navi in fase di manovra e stazionamento in porto.

La stima delle emissioni di CO_{2eq} associate al traffico navale all'interno del Sistema Portuale è stata effettuata con un approccio bottom-up seguendo la metodologia europea di riferimento descritta nell' "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook" (EMEP/EEA, 2019) [7] per la stima degli inquinanti aeriformi del trasporto navale (Capitolo 1.A.3.d), che riprende la metodologia MEET (Methodology for Estimate air pollutant Emissions from Transport), sviluppata da Carlo Trozzi e Rita Vaccaro, nell'ambito di un progetto finanziato dalla Commissione Europea.

Tale metodologia propone tre modalità di stima delle emissioni navali: attraverso le statistiche di combustibili venduti (Tier 1), attraverso i consumi di combustibili utilizzati dalle navi per tipologia di motore (Tier 2) o in base alla potenza installata dei motori e al tempo speso in ciascuna fase di viaggio dalla singola nave, stazionamento, manovra e crociera (Tier 3). La scelta del metodo dipende principalmente dalla quantità di informazioni disponibili per descrivere l'attività di navigazione.

In questo caso, sulla base dei dati reperiti, si è scelto di utilizzare la **metodologia Tier 3** che, partendo dal tonnellaggio (Gross Tonnage o Stazza Lorda) e dalla tipologia della nave, consente di ricavare la potenza installata dei motori della nave, principale e ausiliari, e dalle ore dedicate alle attività in porto viene calcolato il consumo energetico e le emissioni inquinanti nelle specifiche fasi, manovra, stazionamento e navigazione. Nel presente lavoro sono state considerate le fasi di stazionamento e manovra, poiché sono quelle che interessano direttamente l'area portuale.

La metodologia utilizzata ricorre ad un sistema di classificazione per descrivere gli inquinanti considerati, la tipologia di nave, i combustibili utilizzati e le modalità operative distintive della nave. Queste classificazioni sono riportate nelle tabelle seguenti, come descritte all'interno del documento del MEET nella Sezione "Calculating transport emissions and energy consumption" e dell'EMEP/EEA nel capitolo 1.a.3.d sulla navigazione.

| Codice | Nome |
|-----------------|----------------------------|
| NO _x | Nitrogen oxides |
| SO ₂ | Sulphur oxides |
| CO | Carbon monoxide |
| VOC | Volatile organic compounds |
| PM | Particulate matter |
| CO ₂ | Carbon dioxide |

Tabella 2: Classificazione degli inquinanti

| Codice | Nome |
|--------|-----------------------|
| SB | Solid Bulk |
| LB | Liquid Bulk |
| GC | General Cargo |
| CO | Container |
| PC | Passenger/Ro-Ro/Cargo |
| PA | Passenger |
| HS | High speed ferries |
| SS | Sail ships |
| TU | Tugs |

Tabella 3: Classificazione delle navi



| Codice | Nome |
|------------|-------------------|
| BFO | Bunker fuel oil |
| MDO | Marine diesel oil |
| MGO | Marine gas oil |
| GF | Gasoline fuel |

Tabella 4: Classificazione dei combustibili

| Codice | Nome |
|----------|----------------------|
| C | Cruising |
| M | Manoeuvring |
| H | Hotelling |
| T | Tanker offloading |
| A | Auxiliary generators |

Tabella 5: Fasi operative della nave

La metodologia utilizzata nel presente documento consente di calcolare la potenza installata del motore principale della nave a partire dalla stazza lorda (GT) e dalla tipologia, e di quello ausiliario a partire dalla potenza del motore principale, utilizzando le funzioni riportate nella seguente tabella

| Ship categories | 2010 world fleet | 1997 world fleet | Mediterranean Sea fleet (2006) |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Liquid bulk ships | 14,755*GT ^{0,6082} | 29,821*GT ^{0,5552} | 14,602*GT ^{0,6278} |
| Dry bulk carriers | 35,912*GT ^{0,5276} | 89,571*GT ^{0,4446} | 47,115*GT ^{0,504} |
| Container | 2,9165*GT ^{0,8719} | 1,3284*GT ^{0,9303} | 1,0839*GT ^{0,9617} |
| Generai Cargo | 5,56482*GT ^{0,7425} | 10,539*GT ^{0,6760} | 1,2763*GT ^{0,9154} |
| Ro Ro Cargo | 164,578*GT ^{0,4350} | 35,93*GT ^{0,5885} | 45,7*GT ^{0,5237} |
| Passenger | 9,55078*GT ^{0,7570} | 1,39129*GT ^{0,9222} | 42,966*GT ^{0,6035} |
| Fishing | 9,75891*GT ^{0,7527} | 10,259*GT ^{0,6919} | 24,222*GT ^{0,5916} |
| Other | 59,049*GT ^{0,5485} | 44,324*GT ^{0,5300} | 183,18*GT ^{0,4028} |
| Tugs | 54,2171*GT ^{0,6420} | 27,303*GT ^{0,7014} | |

Tabella 6: Potenza installata del motore principale della nave in funzione della stazza lorda (Gross Tonnage GT) [10] [11].

| Ship categories | 2010 world fleet | Mediterranean Sea fleet (2006) |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|
| Liquid bulk ships | 0,30 | 0,35 |
| Dry bulk carriers | 0,30 | 0,39 |
| Container | 0,25 | 0,27 |
| Generai Cargo | 0,23 | 0,35 |
| Ro Ro Cargo | 0,24 | 0,39 |
| Passenger | 0,16 | 0,27 |
| Fishing | 0,39 | 0,47 |
| Other | 0,35 | 0,18 |
| Tugs | 0,1 | |

Tabella 7: Stima del rapporto medio dei motori ausiliari / motori principali per tipologia di nave [10] [11].

Avendo la potenza dei motori della nave viene stimata la potenza effettivamente impiegata nelle diverse fasi di attività in porto (stazionamento e manovra) applicando specifici coefficienti moltiplicativi (LF load factor). Successivamente viene stimato il consumo di combustibile impiegato per ogni fase, in base alle ore di attività.

| Phase | % load of MCR Main Engine | % time all Main Engine operating | % load of MCR Auxiliary Engine |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Cruise | 80 | 100 | 30 |
| Manoeuvring | 20 | 100 | 50 |
| Hotelling (except tankers) | 20 | 5 | 40 |
| Hotelling (tankers) | 20 | 100 | 60 |

Tabella 8: Carico % stimato di MCR del motore principale e ausiliario per diverse attività navali [10] [11].

Le funzioni riportate in Tabella 6 sono aggiornate prendendo in considerazione l'evoluzione tecnologica che ha caratterizzato la flotta navale in circolazione a livello globale tra il 1997 (anno di riferimento della prima analisi 'Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships') ed il 2010 (anno di riferimento dell'aggiornamento della precedente metodologia).

| Tipologia di nave | Main engine power (kW) | |
|------------------------------|------------------------|------------|
| | 1997 fleet | 2010 fleet |
| Solid Bulk | 8.032 | 4.397 |
| Liquid Bulk | 6.695 | 6.543 |
| General Cargo | 2.657 | 2.555 |
| Container | 22.929 | 14.871 |
| Passenger/Ro-Ro/Cargo | 7.898 | 4.194 |
| Passenger | 3.885 | 10.196 |
| Tugs | 2.059 | 2.033 |
| Fishing | 837 | 734 |
| Other | 2.778 | 2.469 |

Tabella 9: Potenza media stimata dei motori principali per tipologia di navi [10] [11].

A partire dal consumo di combustibile viene stimata l'emissione di inquinanti associata ad una singola nave, utilizzando i fattori di emissione descritti di seguito. L'inquinamento generato dalla nave sarà dato dalla somma del contributo emissivo del motore principale e del motore ausiliario per i rispettivi tempi di utilizzo nelle fasi di stazionamento e manovra in porto.

I fattori di emissione degli inquinanti NO_x e SO₂ utilizzati nella presente analisi sono riportati nelle tabelle seguenti. Tenendo conto del quadro normativo internazionale definito dall'International Maritime Organisation (IMO) e dall'Unione Europea, a partire dal 1° gennaio 2020 è vietato l'utilizzo di combustibili per uso marittimo con tenore di zolfo superiore allo 0,5% in tutti gli Stati Membri. Pertanto, l'analisi ha

associato alle attività di stazionamento e manovra in porto un consumo di combustibile a basso tenore di zolfo. I fattori di emissione utilizzati sono distinti per tipologia di nave e per fase di attività in porto.

| FASE DI STAZIONAMENTO | | SO ₂ (post recepimento IMO) | NO _x |
|-----------------------|-----------------------|---|-----------------|
| Codice | Tipologia di nave | FATTORE DI EMISSIONE (kg/t) | |
| SB | Solid Bulk | 2 | 59,8 |
| LB | Liquid Bulk | 2 | 58,3 |
| GC | General Cargo | 2 | 58,1 |
| CO | Container | 2 | 59,8 |
| PC | Passenger/Ro-Ro/Cargo | 2 | 57,4 |
| PA | Passenger | 2 | 56,5 |
| TU | Tugs | 2 | 50,7 |
| SS | Sail Ship | 2 | 55,6 |
| OT | Other | 2 | 55,6 |

Tabella 10: Fattori di emissione degli inquinanti NO_x e SO₂ per la fase di stazionamento [9].

| FASE DI MANOVRA | | SO ₂ (post recepimento IMO) | NO _x |
|-----------------|-----------------------|---|-----------------|
| Codice | Tipologia di nave | FATTORE DI EMISSIONE (kg/t) | |
| SB | Solid Bulk | 2 | 60,7 |
| LB | Liquid Bulk | 2 | 58,5 |
| GC | General Cargo | 2 | 54,5 |
| CO | Container | 2 | 61,0 |
| PC | Passenger/Ro-Ro/Cargo | 2 | 50,9 |
| PA | Passenger | 2 | 45,7 |
| TU | Tugs | 2 | 43,1 |
| SS | Sail Ship | 2 | 52,0 |
| OT | Other | 2 | 52,0 |

Tabella 11: Fattori di emissione degli inquinanti NO_x e SO₂ per la fase di manovra [9].

I dati reperiti hanno consentito di effettuare l'analisi degli inquinanti emessi nelle fasi di manovra e di stazionamento, per le quali si hanno dati puntuali per le singole navi presenti nei porti del Sistema Portuale MTMI. Le emissioni inquinanti generate all'interno dei singoli porti vengono stimate dunque per ciascuna nave che effettua una toccata, moltiplicando il tempo da essa impiegato in ciascuna fase di navigazione (stazionamento e manovra), per la potenza dei motori e per gli specifici fattori di emissione e di consumo di combustibile, espressi in massa per unità di energia consumata dal motore.

3. Risultati dell'analisi

Nel presente Capitolo vengono riportati i risultati dell'analisi, riferiti all'anno 2022. Per quanto concerne i dati relativi al numero di navi, alla tipologia, al periodo di manovra e stazionamento in porto sono stati forniti direttamente dalle Capitanerie di Porto dei vari ambiti portuali coinvolti nell'analisi. La tabella seguente riporta una sintesi del Sistema Portuale con un dettaglio per Porto dei dati utilizzati per l'analisi.

Si precisa che per i Porti di Gioia Tauro e Corigliano Calabro non sono presenti i numeri delle tocche e i periodi di stazionamento dei rimorchiatori (TU), ma sono invece riportati i valori relativi alla manovra, infatti, per quanto riguarda il Porto di Gioia Tauro sono presenti i rimorchiatori a servizio delle navi per l'entrata e l'uscita dal Porto, i cui dati sui tempi sono stati forniti puntualmente dalla Capitaneria. Per quanto riguarda il Porto di Corigliano, i rimorchiatori a servizio delle navi sono invece forniti da una società che effettua servizio anche nel Porto di Crotona.

| Ambito portuale | Tipo nave | Tocche | Tempi stazionamento | | Tempi manovra | |
|----------------------------------|-----------|--------------|---------------------|-------------|---------------|-------------|
| | | [n°] | [h] | % | [h] | % |
| Gioia Tauro | CO | 1.318 | 49.384 | 66% | 2.896 | 15% |
| | GC | 13 | 1.290 | 2% | 30 | 0% |
| | LB | 356 | 7.777 | 10% | 228 | 1% |
| | PC | 252 | 10.418 | 14% | 628 | 3% |
| | SB | 21 | 6.241 | 8% | 47 | 0% |
| | TU | - | - | - | 16.097 | 81% |
| Totale Gioia Tauro | | 1.960 | 75.110 | 100% | 19.926 | 100% |
| Corigliano Calabro | GC | 48 | 2.953 | 96% | 108 | 51% |
| | SB | 2 | 129 | 4% | 5 | 2% |
| | TU | - | - | - | 101 | 47% |
| Totale Corigliano Calabro | | 50 | 3.082 | 100% | 214 | 100% |
| Crotona | GC | 50 | 1.968 | 16% | 50 | 27% |
| | LB | 2 | 1.048 | 9% | 1 | 1% |
| | OT | 19 | 5.192 | 43% | 12 | 7% |
| | PA | 20 | 200 | 2% | 27 | 15% |
| | PC | 10 | 3200 | 26% | 9 | 5% |
| | TU | 80 | 488 | 4% | 83 | 46% |
| Totale Crotona | | 181 | 12.096 | 100% | 182 | 182 |



| Ambito portuale | Tipo nave | Toccate | Tempi stazionamento | | Tempi manovra | |
|--------------------------------|-----------------|--------------|---------------------|------|---------------|------|
| | | [n°] | [h] | % | [h] | % |
| Vibo Valentia | GC | 8 | 96 | 3% | 8 | 2% |
| | LB | 132 | 1.584 | 48% | 132 | 29% |
| | OT | 4 | - | 0% | 2 | 0% |
| | PA | 2 | 20 | 1% | 3 | 1% |
| | SS ¹ | 327 | - | 0% | 164 | 36% |
| | TU | 147 | 1.584 | 48% | 140 | 31% |
| Totale Vibo Valentia | | 620 | 3.284 | 100% | 449 | 100% |
| TOTALE SISTEMA PORTUALE | | 2.811 | 93.572 | | 20.771 | |

Tabella 12: Sintesi dei dati navali per Porto.

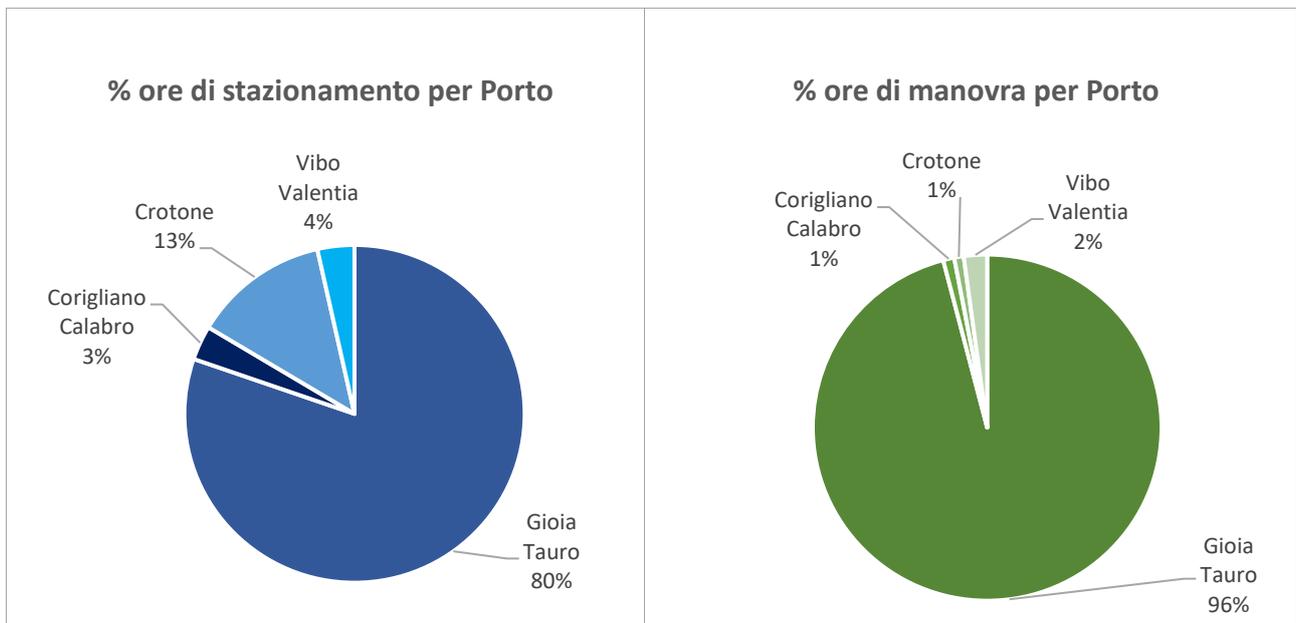


Figura 2: Ore di stazionamento e di manovra per Porto.

Confrontando i Porti emerge che quello di Gioia Tauro è il più rilevante in termini di ore di stazionamento, con l'80% delle ore di ormeggio del Sistema Portuale, segue Crotona con il 13%, mentre Vibo Valentia e Corigliano incidono per meno del 5%. Anche per quanto riguarda le ore di manovra Gioia Tauro è il porto prevalente, mentre Crotona e Corigliano Calabro sono quelli che incidono meno, circa l'1%.

¹ Alla tipologia Sail Ship (SS) sono state associate le tipologie High Speed Ferries e Passenger Cruise.



3.1. Stima del consumo di combustibile delle navi per la manovra e lo stazionamento in porto

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi in cui si è proceduto alla stima del consumo di combustibile delle navi in fase di stazionamento e manovra in banchina. Tale quantificazione è stata effettuata mediante la metodologia esposta nel capitolo precedente.

Si precisa che sono state considerate le navi che in fase di stazionamento sono alimentate da combustibili fossili, nello specifico olio combustibile a basso tenore di zolfo (0,1%), e che quindi contribuiscono all'inquinamento da SO₂ e NO_x.

| Ambito portuale | Tipologia nave | Tempi stazionamento | Tempi manovra | Consumo combustibile | |
|---------------------------|----------------|---------------------|---------------|-----------------------|-----------------|
| | | | | Fase di stazionamento | Fase di manovra |
| | | [h] | [h] | [MWh] | [MWh] |
| Gioia Tauro | CO | 49.384 | 2.896 | 562.221 | 33.548 |
| | GC | 1.290 | 30 | 916 | 48 |
| | LB | 7.777 | 228 | 3.698 | 101 |
| | PC | 10.418 | 628 | 47.490 | 3.091 |
| | SB | 6.241 | 47 | 5.979 | 69 |
| | TU | - | 16.097 | - | 9.493 |
| Totale Gioia Tauro | | 75.110 | 19.925 | 620.304 | 46.351 |
| Corigliano Calabro | GC | 2.953 | 108 | 2.203 | 87 |
| | SB | 129 | 5 | 215 | 7 |
| | TU | - | 101 | - | 51 |
| Totale Corigliano Calabro | | 3.082 | 214 | 2.418 | 145 |
| Crotone | GC | 1.968 | 50 | 1.468 | 40 |
| | LB | 1.048 | 1 | 2.606 | 3 |
| | OT | 5.192 | 12 | 4.358 | 11 |
| | PA | 200 | 27 | 538 | 76 |
| | PC | 3.200 | 9 | 3.973 | 12 |
| | TU | 488 | 83 | 238 | 42 |
| Totale Crotone | | 12.096 | 182 | 13.181 | 184 |



| Ambito portuale | Tipologia nave | Tempi | Tempi | Consumo combustibile | |
|-------------------------|--|---------------|---------|-----------------------|-----------------|
| | | stazionamento | manovra | Fase di stazionamento | Fase di manovra |
| | | [h] | [h] | [MWh] | [MWh] |
| Vibo Valentia | GC | 96 | 8 | 64 | 6 |
| | LB | 1.584 | 132 | 2.072 | 159 |
| | OT | - | 2 | - | 3 |
| | PA | 20 | 3 | 120 | 17 |
| | SS ¹ più sopra ¹ | - | 164 | - | 22 |
| | TU | 1.584 | 140 | 768 | 70 |
| Totale Vibo Valentia | | 3.284 | 448 | 3.024 | 277 |
| Totale Sistema Portuale | | 93.572 | 20.769 | 638.927 | 46.957 |

Tabella 13: Consumo energetico per tipologia di nave ed ambiti portuali.

Dal confronto tra i Porti emerge la rilevanza di Gioia Tauro in termini di consumo energetico, in particolare per la tipologia di nave container, che incidono per il 90% circa del consumo energetico dello specifico porto e circa l'87% del consumo complessivo del Sistema Portuale. Il secondo porto più rilevante per consumo di combustibile è Crotona, dove le navi più incidenti sono le Ro-Ro e quelle che trasportano rinfuse liquide.

3.2. Stima delle emissioni inquinanti generate dalle navi in porto

Dopo aver stimato il consumo di combustibile associato al traffico navale nelle aree portuali, si sono quantificate le emissioni di SO₂ ed NO_x mediante i fattori di emissione descritti precedentemente. Di seguito si riportano i risultati delle analisi suddivise per i due inquinanti, NO_x e SO₂.

3.2.1. L'inquinamento di NO_x - Ossidi di Azoto

Nella tabella seguente si riportano i risultati della stima delle emissioni di NO_x generate dalle navi con una suddivisione per ambito portuale. Sono inoltre stati definiti degli indicatori di efficienza delle navi allo stazionamento e alla manovra, espressi in kg di gas inquinanti emessi per le ore di attività effettuata in banchina [kg/h_{stazionamento e manovra}]. Tali valori forniscono un'indicazione dei quantitativi orari di emissione medi per ciascuna tipologia di nave e possono essere utili a valutare le più impattanti e indirizzare eventuali misure di contenimento delle emissioni.

| Ambito portuale | Tipologia nave | Emissioni NO _x stazionamento | Emissioni NO _x manovra | Indicatore stazionamento | Indicatore manovra | Totale emissioni NO _x |
|----------------------------------|----------------|---|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| | | [kg] | [kg] | [kg NO _x /h] | [kg NO _x /h] | [kg] |
| Gioia Tauro | CO | 2.834.186 | 172.512 | 57 | 60 | 3.006.698 |
| | GC | 4.484 | 221 | 3 | 7 | 4.705 |
| | LB | 18.176 | 499 | 2 | 2 | 18.676 |
| | PC | 229.793 | 13.263 | 22 | 21 | 243.056 |
| | SB | 30.142 | 354 | 5 | 8 | 30.496 |
| | TU | - | 34.489 | - | 2 | 34.489 |
| Totale Gioia Tauro | | 3.116.781 | 221.338 | 41 | 11 | 3.338.120 |
| Corigliano Calabro | GC | 10.790 | 399 | 4 | 4 | 11.190 |
| | SB | 1.084 | 35 | 8 | 8 | 1.119 |
| | TU | - | 187 | | 2 | 187 |
| Totale Corigliano Calabro | | 11.874 | 621 | 4 | 3 | 12.496 |
| Crotone | GC | 7.191 | 185 | 4 | 4 | 7.376 |
| | LB | 12.806 | 15 | 12 | 11 | 12.821 |
| | OT | 20.428 | 47 | 4 | 4 | 20.475 |
| | PA | 2.564 | 293 | 13 | 11 | 2.857 |
| | PC | 19.222 | 52 | 6 | 6 | 19.274 |
| | TU | 1.018 | 154 | 2 | 2 | 1.172 |
| Totale Crotone | | 63.229 | 746 | 5 | 4 | 63.974 |



| Ambito portuale | Tipologia nave | Emissioni NO _x stazionamento | Emissioni NO _x manovra | Indicatore stazionamento | Indicatore manovra | Totale emissioni NO _x |
|--------------------------------|-----------------|---|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| | | [kg] | [kg] | [kg NO _x /h] | [kg NO _x /h] | [kg] |
| Vibo Valentia | GC | 314 | 26 | 3 | 3 | 341 |
| | LB | 10.185 | 784 | 6 | 6 | 10.969 |
| | OT | - | 12 | - | 6 | 12 |
| | PA | 574 | 65 | 29 | 25 | 639 |
| | SS ¹ | - | 98 | - | 1 | 98 |
| | TU | 3.281 | 256 | 2 | 2 | 3.537 |
| Totale Vibo Valentia | | 14.354 | 1.241 | 4 | 3 | 15.597 |
| TOTALE SISTEMA PORTUALE | | 3.206.238 | 223.946 | 34 | 11 | 3.430.187 |

Tabella 14: Stima delle emissioni di NO_x per tipologia di nave e ambito portuale.

3.2.2. L'inquinamento di SO₂ - *Biossido di Zolfo*

Nella tabella seguente si riportano i risultati della stima delle emissioni di SO₂ suddivisi per gli ambiti portuali e per tipologia di nave. Sono inoltre stati definiti degli indicatori di efficienza delle navi allo stazionamento e alla manovra, espressi in kg di gas inquinante emessi per ora di attività effettuata in banchina [kg/h_{stazionamento} e manovra]. Tali valori forniscono un'indicazione dei quantitativi orari di emissione medi per ciascuna tipologia di nave e che possono essere utili a valutare le più impattanti e indirizzare eventuali misure di contenimento delle emissioni.

| Ambito portuale | Tipologia nave | Emissioni di SO ₂ stazionamento | Emissioni di SO ₂ manovra | Indicatore stazionamento | Indicatore manovra | Totale emissioni SO ₂ |
|---------------------------|----------------|--|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| | | [kg] | [kg] | [kg SO ₂ /h] | [kg SO ₂ /h] | [kg] |
| Gioia Tauro | CO | 94.789 | 5.656 | 2 | 2 | 100.445 |
| | GC | 154 | 8 | 0,1 | 0,3 | 162 |
| | LB | 624 | 17 | 0,1 | 0,1 | 641 |
| | PC | 8.007 | 521 | 1 | 1 | 8.528 |
| | SB | 1.008 | 12 | 0,2 | 0,2 | 1.020 |
| | TU | | 1.600 | | 0,1 | 1.600 |
| Totale Gioia Tauro | | 104.582 | 7.814 | 1,4 | 0,4 | 112.396 |
| Corigliano Calabro | GC | 371 | 15 | 0,1 | 0,1 | 386 |
| | SB | 36 | 1 | 0,3 | 0,3 | 37 |
| | TU | - | 9 | | 0,1 | 9 |
| Totale Corigliano Calabro | | 407 | 25 | 0,1 | 0,1 | 432 |
| Crotone | GC | 248 | 7 | 0,1 | 0,1 | 254 |
| | LB | 439 | 1 | 0,4 | 0,4 | 440 |
| | OT | 735 | 2 | 0,1 | 0,2 | 737 |
| | PA | 670 | 13 | 3 | 0,5 | 683 |
| | PC | 91 | 2 | 0 | 0,2 | 93 |
| | TU | 40 | 7 | 0,1 | 0,1 | 47 |
| Totale Crotone | | 2.223 | 31 | 0,1 | 0,1 | 2.253 |



| Ambito portuale | Tipologia nave | Emissioni di SO ₂ stazionamento | Emissioni di SO ₂ manovra [kg] | Indicatore stazionamento | Indicatore manovra | Totale emissioni SO ₂ |
|-------------------------|-----------------|--|---|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| | | [kg] | [kg] | [kg SO ₂ /h] | [kg SO ₂ /h] | [kg] |
| Vibo Valentia | GC | 11 | 1 | 0,1 | 0,1 | 12 |
| | LB | 349 | 27 | 0,2 | 0,2 | 376 |
| | OT | - | 0 | - | 0,2 | 0 |
| | PA | 20 | 3 | 1,0 | 1,1 | 23 |
| | SS ¹ | - | 4 | - | 0,0 | 4 |
| | TU | 129 | 12 | 0,1 | 0,1 | 141 |
| Totale Vibo Valentia | | 509 | 47 | 0,1 | 0,1 | 556 |
| TOTALE SISTEMA PORTUALE | | 107.721 | 7.917 | 1 | 0,4 | 115.637 |

Tabella 15: Stima delle emissioni di SO₂ per tipologia di nave e ambito portuale.

Dal confronto tra i Porti del Sistema Portuale MTMI emerge che il più impattante in termini di emissioni di NO_x e SO₂ è quello di Gioia Tauro, che incide per il 97% per entrambi gli inquinanti. Osservando i dati del Porto di Gioia Tauro emerge che le navi container sono quelle che sia in termini assoluti, sia relativamente alle ore di attività in porto, sono quelle più rilevanti. Tali valori possono costituire un punto di partenza per l'implementazione di un'indagine più approfondita dei reali impatti associati alle operazioni di manovra e stazionamento delle navi in porto e per l'individuazione e definizione di misure più efficaci e puntuali volte alla riduzione delle emissioni inquinanti.

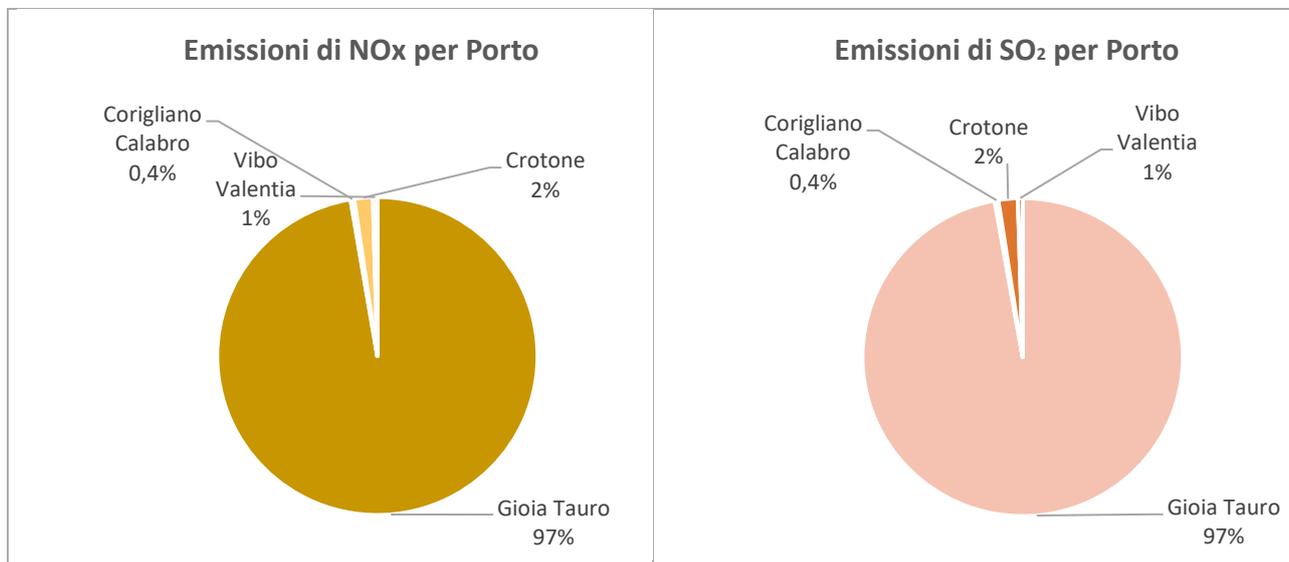


Figura 3: Confronto delle emissioni inquinanti per Porto.



3.3. Stima dei costi marginali associati alle emissioni inquinanti generate dalle navi in porto

Dopo aver stimato le emissioni di SO₂ ed NO_x dovute al traffico navale, si è proceduto ad una quantificazione dei costi marginali associati all'emissione dei due inquinanti in atmosfera. Come esplicitato nelle Linee Guida redatte dal MIT [1], il riferimento metodologico da seguire per la valutazione monetaria dei benefici derivanti dalla riduzione delle emissioni di SO₂ ed NO_x da fonti terrestri poste a livello del suolo o con camini bassi, associati agli interventi energetico-ambientali in porto, è costituito dalla tabella seguente per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche (DM. 300 del 16 giugno 2017). Questa è a sua volta desunta dai valori di danno unitario delle emissioni dei camini a livello del suolo (low high of release) del progetto NEEDS-CASES (2008), riportati dal Manuale della EC-DG MOVE "Update of the Handbook on External Costs of Transport", 2019 [3]. Tali valori sono stati applicati alle emissioni di inquinanti delle navi, in fase di stazionamento in banchina e in manovra in porto.

| Inquinante | €/kg |
|-----------------|------|
| SO ₂ | 9,2 |
| NO _x | 3 |

Tabella 16: Costi marginali delle emissioni inquinanti (€2016 per kg emesso, al costo dei fattori aggiustati secondo la parità di potere d'acquisto)[3].

È bene precisare che come descritto nel capitolo introduttivo, l'inquinamento da NO_x e SO₂ è causa di impatti negativi per la salute umana e l'ambiente e i suddetti costi marginali non comprendono tutti gli impatti che sono originati dalle emissioni inquinanti. Sono infatti inclusi quelli sulla salute, relativamente ai danni causati all'apparato respiratorio e cardiovascolare, sull'ambiente, perdita di biodiversità e delle colture agricole, e i danni materiali causati agli edifici, come la corrosione e danni alle superfici.

Nelle tabelle seguenti si riporta una sintesi della quantificazione monetaria degli impatti causati dalle emissioni di NO_x e SO₂. La stima economica può essere anche tradotta come il valore dei benefici che si avrebbero a seguito di una riduzione dell'inquinamento.



| Ambito portuale | Tipologia nave | Costo marginale NO _x -stazionamento | Costo marginale NO _x - manovra | Totale emissioni NO _x | Totale costo marginale NO _x |
|----------------------------------|-----------------|--|---|----------------------------------|--|
| | | [€] | [€] | [kg] | [€] |
| Gioia Tauro | CO | 8.502.558 | 517.536 | 3.006.698 | 9.020.094 |
| | GC | 13.453 | 663 | 4.705 | 14.116 |
| | LB | 54.528 | 1.498 | 18.676 | 56.027 |
| | PC | 689.378 | 39.789 | 243.056 | 729.167 |
| | SB | 90.426 | 1.063 | 30.496 | 91.489 |
| | TU | | 103.468 | 34.489 | 103.468 |
| Totale Gioia Tauro | | 9.350.343 | 664.018 | 3.338.120 | 10.014.361 |
| Corigliano Calabro | GC | 32.371 | 1.198 | 11.190 | 33.569 |
| | SB | 3.251 | 106 | 1.119 | 3.358 |
| | TU | - | 561 | 187 | 561 |
| Totale Corigliano Calabro | | 35.622 | 1.865 | 12.496 | 37.488 |
| Crotone | GC | 21.573 | 555 | 7.376 | 22.128 |
| | LB | 38.418 | 45 | 12.821 | 38.463 |
| | OT | 61.285 | 140 | 20.475 | 61.425 |
| | PA | 7.692 | 878 | 2.857 | 8.570 |
| | PC | 57.666 | 155 | 19.274 | 57.822 |
| | TU | 3.053 | 462 | 1.172 | 3.515 |
| Totale Crotone | | 189.687 | 2.235 | 63.975 | 191.922 |
| Vibo Valentia | GC | 943 | 79 | 341 | 1.022 |
| | LB | 30.555 | 2.353 | 10.969 | 32.908 |
| | OT | - | 37 | 12 | 37 |
| | SS ¹ | 1.721 | 196 | 639 | 1.917 |
| | PA | - | 294 | 98 | 294 |
| | TU | 9.843 | 768 | 3.537 | 10.611 |
| Totale Vibo Valentia | | 43.062 | 3.727 | 15.696 | 47.789 |
| TOTALE SISTEMA PORTUALE | | 9.618.714 | 672.845 | 3.430.187 | 10.290.560 |

Tabella 17: Costi marginali per emissioni di NO_x per tipologia di nave e ambiti portuali



| Ambito portuale | Tipologia nave | Costo marginale SO ₂ -stazionamento | Costo marginale SO ₂ -manovra | Totale emissioni SO ₂ | Totale costo marginale SO ₂ |
|----------------------------------|-----------------|--|--|----------------------------------|--|
| | | [€] | [€] | [kg] | [€] |
| Gioia Tauro | CO | 872.057 | 52.036 | 100.445 | 924.094 |
| | GC | 1.420 | 75 | 162 | 1.495 |
| | LB | 5.737 | 157 | 641 | 5.894 |
| | PC | 73.662 | 4.794 | 8.528 | 78.456 |
| | SB | 9.274 | 107 | 1.020 | 9.382 |
| | TU | | 14.724 | 1.600 | 14.724 |
| Totale Gioia Tauro | | 962.150 | 71.894 | 112.396 | 1.034.044 |
| Corigliano Calabro | GC | 3.417 | 135 | 386 | 3.552 |
| | SB | 333 | 11 | 37 | 344 |
| | TU | - | 80 | 9 | 80 |
| Totale Corigliano Calabro | | 3.750 | 226 | 432 | 3.976 |
| Crotone | GC | 2.277 | 62 | 254 | 2.340 |
| | LB | 4.042 | 5 | 440 | 4.046 |
| | OT | 6.760 | 17 | 737 | 6.777 |
| | PA | 835 | 118 | 104 | 953 |
| | PC | 6.162 | 19 | 672 | 6.181 |
| | TU | 369 | 66 | 47 | 435 |
| Totale Crotone | | 20.445 | 287 | 2.254 | 20.732 |
| Vibo Valentia | GC | 99 | 9 | 12 | 108 |
| | LB | 3.214 | 247 | 376 | 3.461 |
| | OT | - | 4 | 0 | 4 |
| | PA | 187 | 26 | 23 | 213 |
| | SS ¹ | - | 35 | 4 | 35 |
| | TU | 1.191 | 109 | 141 | 1.300 |
| Totale Vibo Valentia | | 4.691 | 430 | 556 | 5.121 |
| TOTALE SISTEMA PORTUALE | | 991.036 | 72.837 | 115.638 | 1.063.873 |

Tabella 18: Costi marginali per emissioni di SO₂ per tipologia di nave e ambiti portuali

Dall'analisi estimativa emerge un costo marginale pari a **1.063.873 €** derivante dalle emissioni di SO₂ e di **10.290.560 €** per quelle di NO_x, per un totale complessivo di **11.354.433 €** associato al traffico navale all'interno del Sistema Portuale MTMI, relativamente alle aree portuali analizzate in questo approfondimento.



4. Approfondimento sull'impatto generato dalle navi in fase di stazionamento in banchina nel Porto di Gioia Tauro

Dato il livello di dettaglio dei dati forniti dal Porto di Gioia Tauro, e data la rilevanza dell'inquinamento prodotto dalle navi, è stato possibile identificare le imbarcazioni più impattanti, utilizzando il quantitativo delle emissioni di SO₂, desunto dall'analisi precedente. Infatti, tali navi sono quelle caratterizzate da un livello emissivo molto elevato dovuto, in parte alla tipologia di nave ed in parte alle ore di stazionamento in porto. Si precisa, inoltre, che le navi con quantitativi di emissione più elevati non sono necessariamente quelle più inefficienti e che l'analisi effettuata è puramente estimativa.

Il grafico seguente è stato elaborato ordinando dalla più grande alla più piccola (in termini di emissioni assolute stimate di SO₂) le navi che hanno ormeggiato nel Porto di Gioia Tauro nell'anno di riferimento dell'analisi, 2022.

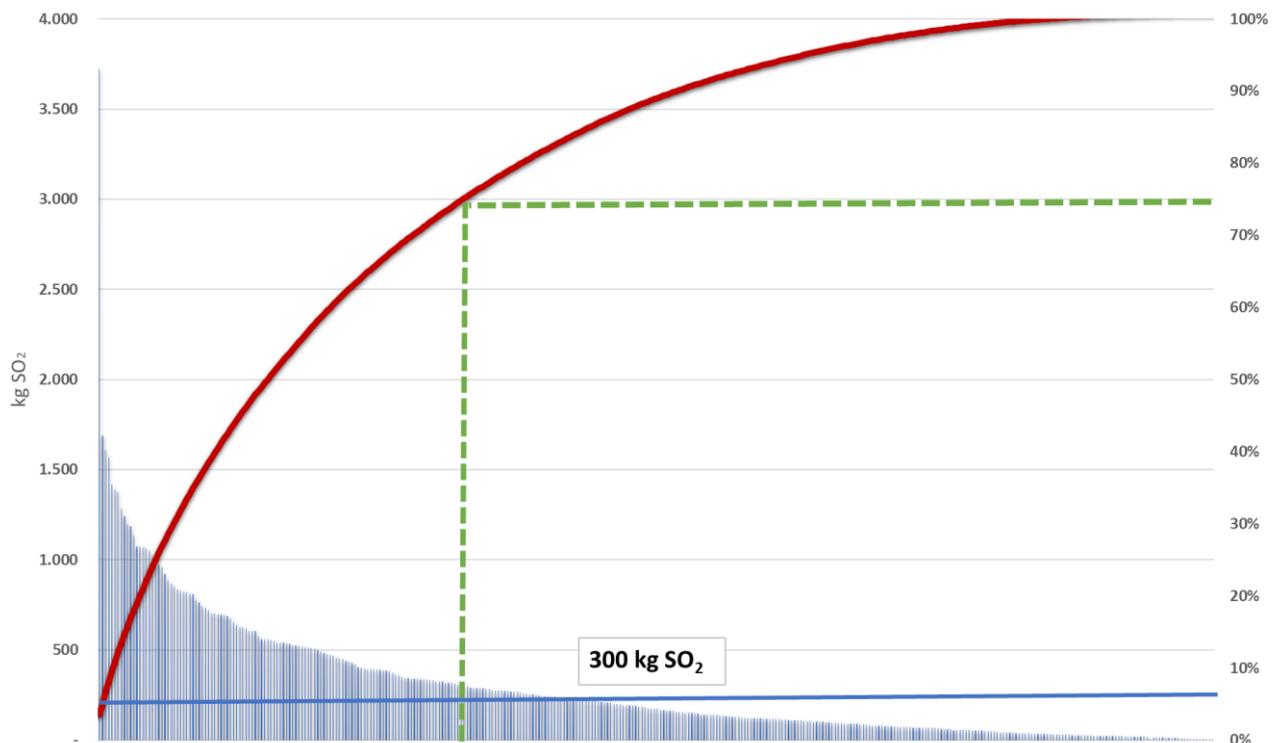


Figura 4: Grafico del 75° percentile delle emissioni di SO₂ relative alla fase di stazionamento delle navi presenti nel Porto di Gioia Tauro nel 2022.

Come si può osservare dal grafico, il 33% delle navi che hanno stazionato nel Porto di Gioia Tauro nel 2022 rappresenta potenzialmente il 75% delle emissioni di SO₂.

Tra le navi maggiormente impattanti a livello assoluto per emissione di SO₂, con un valore superiore ad 1 tonnellata, vi sono MSC CANDICE, JOLLY EXPRESS, MSC BRIDGE, MSC RACHELE, MSC FLORENTINA, MSC TOMOKO, MSC SIXIN, MSC LAURA, MSC MADISON II, MSC LUCY, MSC ANGELA, MSC YOKOHAMA, MSC MAUREEN, MSC AMBRA, MSC DITTE, MSC MARIA SAVERIA, MSC VANCOUVER E MSC JUDITH. Queste

costituiscono il 5% delle navi presenti in Porto e il **24% delle emissioni complessive di SO₂**. Considerando le ore di stazionamento emerge che hanno stazionato per il 18% delle ore totali del Porto di Gioia Tauro. Quest'analisi mette in evidenza le navi su cui si dovrebbe intervenire promuovendo ad esempio l'utilizzo di cold ironing durante la fase di ormeggio.

Un ulteriore approfondimento è stato fatto per il Porto di Gioia Tauro, relativamente alle emissioni di SO₂ delle banchine, in relazione alle ore di stazionamento. La tabella riporta per ogni banchina il valore assoluto delle emissioni di biossido di zolfo e un indicatore di efficienza, riferito alle ore di stazionamento. Le banchine sono ordinate in modo decrescente rispetto a tale indicatore, da cui si evince quali sono quelle su cui occorrerà fare degli approfondimenti per intervenire in modo da ridurre il loro impatto ambientale. Dall'analisi emerge che quelle più rilevanti sono le **due Banchine di Levante**, dedicata alle navi container, che sono quelle più presenti in Porto.

| Banchina | Ore di stazionamento | Emissioni di SO ₂ | Emissioni di SO ₂ /ore di stazionamento |
|-------------------------------|----------------------|------------------------------|--|
| | [h] | [kg] | [kg/h] |
| Banchina di Levante I Tratto | 27.744 | 56.578 | 2,04 |
| Banchina di Levante II Tratto | 28.092 | 42.162 | 1,50 |
| Nuova Banchina Nord | 2.458 | 2.387 | 0,97 |
| Banchina Nord | 1.692 | 1.571 | 0,93 |
| I Tratto Ponente | 6.167 | 1.066 | 0,17 |
| II Tratto Ponente | 1.252 | 192 | 0,15 |
| I Scivolo RORO Ponente | 440 | 44 | 0,10 |
| Marnavi | 3.417 | 305 | 0,09 |
| II Scivolo RORO Ponente | 3.848 | 276 | 0,07 |
| Totale | 75.110 | 104.582 | 1,39 |
| Valore medio | | | 0,67 |

Tabella 19: Emissioni di SO₂, in valore assoluto e per ore di stazionamento, per banchina del Porto di Gioia Tauro.



I grafici seguenti riportano il valore delle emissioni di SO₂ per banchina, sia normalizzato sulle ore di stazionamento, sia in valore assoluto. Dal primo grafico emergono ulteriormente quelle più impattanti e quelle che superano il valore medio di kg SO₂/h_{stazionamento} del Porto di Gioia Tauro, che è pari a 0,67.

Emissioni SO₂/h di stazionamento per banchina

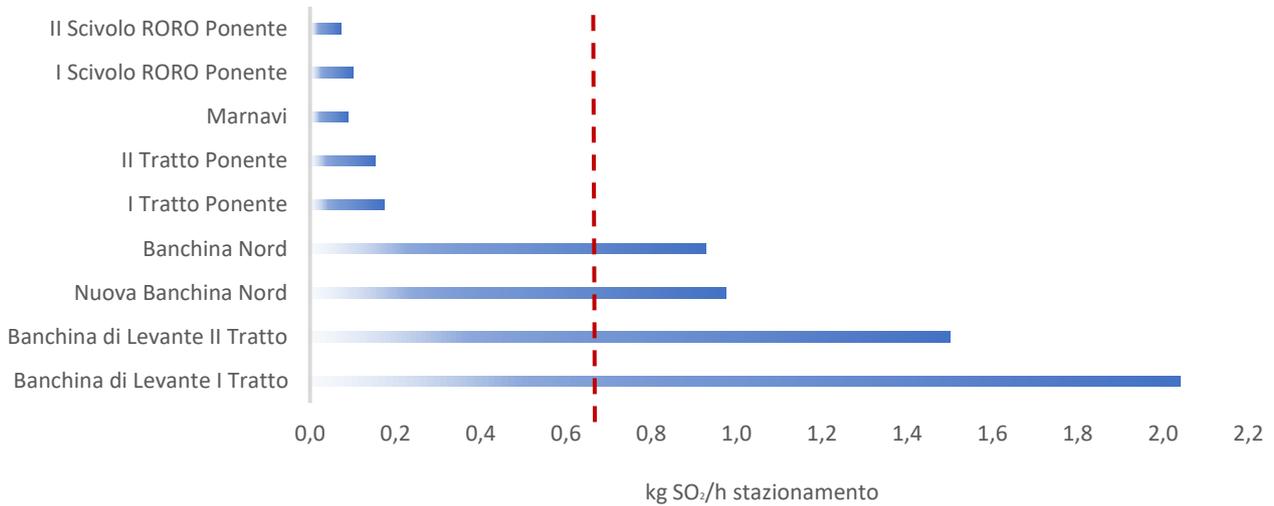


Figura 5: Emissioni di SO₂/h_{stazionamento} per banchina del Porto di Gioia Tauro

Emissioni SO₂ per banchina nell'anno 2022

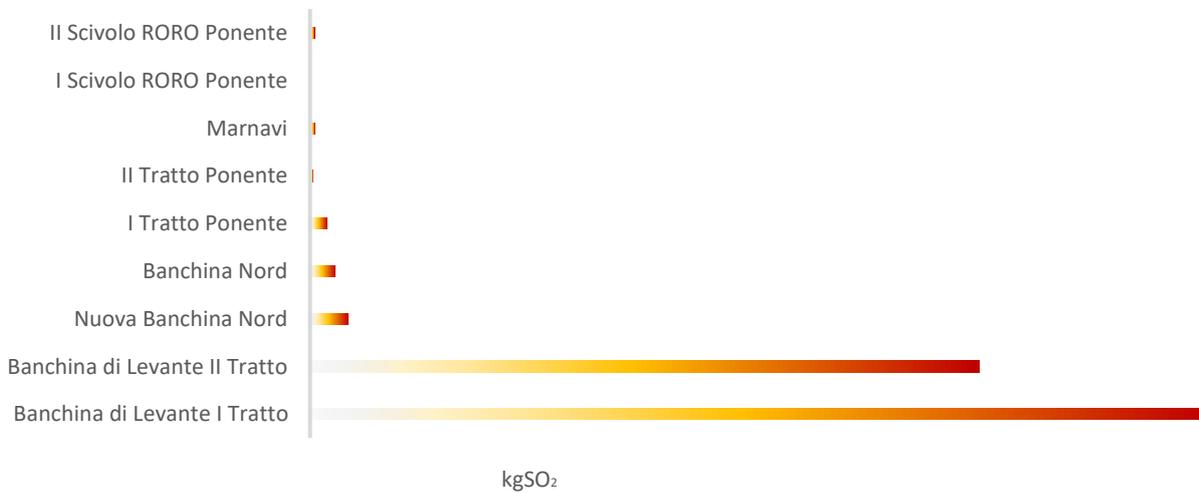


Figura 6: Emissioni totali di SO₂ in fase di stazionamento nell'anno 2022 per banchina del Porto di Gioia Tauro.

Bibliografia e sitografia

- [1] Linee guida per la redazione dei Documenti di Pianificazione Energetica e Ambientale dei Sistemi Portuali (DEASP), D.lgs. 17 dicembre 2018 n.408, Direzione Generale per il Clima e l’Energia (CLE) – MATTM - Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, MIT – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- [2] Fattori di emissione per sorgenti di combustione stazionaria (2019), ISPRA: <http://emissioni.sina.isprambiente.it/serie-storiche-emissioni/>
- [3] DG MOVE, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2019
- [4] International Maritime Organization: <https://www.imo.org/en/>
- [5] TRANSPORT RESEARCH LABORATORY, Project report SE/491/98. Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. Edited by a J Hickman <https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/meet.pdf>
- [6] European Maritime Safety Agency, European Environment Agency. European Maritime Transport Environmental Report 2021. TH-AL-21-004-EN-N doi:10.2800/3525
- [7] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Updated Dec. 2021, Published by EEA Report No 13/2019.
- [8] Emission estimate methodology for maritime navigation Carlo Trozzi, Techne Consulting
- [9] ISPRA: Rapporto 382-2023: Aggiornamento delle modalità di calcolo delle emissioni navali con particolare riferimento all’ambito portuale a livello nazionale e locale
- [10] Trozzi C. (2010). “Update of Emission Estimate Methodology for Maritime Navigation”, Techne Consulting report ETC.EF.10 DD, May 2010.
- [11] Entec UK Limited (2007), “Ship Emissions Inventory – Mediterranean Sea” Final Report for Concawe, April 2007.

Indice delle figure

| | |
|--|----|
| Figura 1: Schema delle fasi di consumo ed emissione delle navi in fase di manovra e stazionamento in porto. | 7 |
| Figura 2: Ore di stazionamento e di manovra per Porto. | 13 |
| Figura 3: Confronto delle emissioni inquinanti per Porto. | 19 |
| Figura 4: Grafico del 75° percentile delle emissioni di SO ₂ relative alla fase di stazionamento delle navi presenti nel Porto di Gioia Tauro nel 2022. | 23 |
| Figura 5: Emissioni di SO ₂ /h _{stazionamento} per banchina del Porto di Gioia Tauro | 25 |
| Figura 6: Emissioni totali di SO ₂ in fase di stazionamento nell'anno 2022 per banchina del Porto di Gioia Tauro | 25 |

Indice delle tabelle

| | |
|---|---|
| Tabella 1: Range europeo del contributo del traffico navale sulle emissioni totali. | 7 |
| Tabella 2: Classificazione degli inquinanti | 8 |
| Tabella 3: Classificazione delle navi | 8 |
| Tabella 4: Classificazione dei combustibili | 9 |



| | |
|--|----|
| Tabella 5: Fasi operative della nave | 9 |
| Tabella 6: Potenza installata del motore principale della nave in funzione della stazza lorda (Gross Tonnage GT) [10] [11]..... | 9 |
| Tabella 7: Stima del rapporto medio dei motori ausiliari / motori principali per tipologia di nave [10] [11]... 9 | 9 |
| Tabella 8: Carico % stimato di MCR del motore principale e ausiliario per diverse attività navali [10] [11]. . 10 | 10 |
| Tabella 9: Potenza media stimata dei motori principali per tipologia di navi [10] [11]. | 10 |
| Tabella 10: Fattori di emissione degli inquinanti NO _x e SO ₂ per la fase di stazionamento [9]. | 11 |
| Tabella 11: Fattori di emissione degli inquinanti NO _x e SO ₂ per la fase di manovra [9]...... | 11 |
| Tabella 12: Sintesi dei dati navali per Porto. | 13 |
| Tabella 13: Consumo energetico per tipologia di nave ed ambiti portuali. | 15 |
| Tabella 14: Stima delle emissioni di NO _x per tipologia di nave e ambito portuale. | 17 |
| Tabella 15: Stima delle emissioni di SO ₂ per tipologia di nave e ambito portuale..... | 19 |
| Tabella 16: Costi marginali delle emissioni inquinanti (€2016 per kg emesso, al costo dei fattori aggiustati secondo la parità di potere d'acquisto)[3]. | 20 |
| Tabella 17: Costi marginali per emissioni di NO _x per tipologia di nave e ambiti portuali | 21 |
| Tabella 18: Costi marginali per emissioni di SO ₂ per tipologia di nave e ambiti portuali | 22 |
| Tabella 19: Emissioni di SO ₂ , in valore assoluto e per ore di stazionamento, per banchina del Porto di Gioia Tauro..... | 24 |