

Stima dell'impronta carbonica del settore dei trasporti. Un'analisi geografica sulle rotte marittime e terrestri del porto di Trieste*

Estimation of the carbon footprint of the transportation sector. A geographical analysis on the sea and land routes of the port of Trieste

GIUSEPPE BORRUSO*, ANDREA GALLO**

*Università di Trieste, giuseppe.borruso@deams.units.it, ** Università di Trieste, andrea.gallo3@phd.units.it

Riassunto

La ricerca si concentra sull'analisi delle emissioni inquinanti del settore dei trasporti e della logistica, con particolare riferimento alle catene lunghe della distribuzione, che riguardano il trasporto marittimo e quello terrestre (ferroviario). Attraverso l'analisi del trasporto marittimo e ferroviario da e per il porto di Trieste, nella ricerca si esamina una selezione delle rotte che lo collegano considerando la stima delle emissioni della componente dal lato marittimo e di quella terrestre via rotaia. Il porto di Trieste si caratterizza, infatti, fra quelli italiani, come il principale nodo ferroviario, nonché come quello avente la più elevata vocazione internazionale, in particolar modo collegando l'Estremo Oriente (Far East) con i mercati dell'Europa soprattutto centrale e orientale, garantendo in tal senso più ridotti tempi, costi ed emissioni di trasporto rispetto all'utilizzo delle sole rotte marittime fino al Nord Europa. In tale contesto, si è proceduto a sviluppare un approccio metodologico per la valutazione dell'impronta carbonica per il trasporto marittimo, nonché un primo confronto con le modalità terrestri, con un confronto fra diverse tipologie di stimatori esistenti e proponendo delle apposite simulazioni e metodologie. Nell'analisi viene adottato un approccio geografico ricostruendo, da un punto di vista cartografico, le principali tracce di percorrenza e in avvalendosi di piattaforme GIS e di geovisualizzazione per le analisi e per la rappresentazione.

Parole chiave

Trasporto marittimo, Trasporto ferroviario, Logistica, Emissioni, GIS.

Abstract

The research focuses on the analysis of pollutant emissions in the transportation and logistics sector, with particular reference to long supply chains, which include maritime and land transport (rail). By analyzing maritime and rail transport to and from the port of Trieste, the analysis examines a selection of routes connecting the port estimating the emissions attributed to the sea component, and the from the land side. The port of Trieste, in fact, is characterized, among Italian ports, as the main railway port, as well as the one with the highest international vocation, connecting the Far East with the markets of central and eastern Europe. In this context, an ad hoc carbon footprint estimator was developed for maritime transport, as well as a comparison between land modes, comparing different types of estimators already available online, as well as using specific simulations and methodologies. A geographical approach to the analysis is adopted in the analysis, reconstructing, from a cartographic point of view, the main routes and in making use of GIS and geovisualization platforms for analysis and representation.

Keywords

Maritime Transport, Rail Transport, Logistics, Warehouse Gases, GIS.

* Il lavoro è frutto di una riflessione e di un'elaborazione comune, nella stesura a Giuseppe Borruso sono da attribuire i paragrafi 1, 3 e 7; ad Andrea Gallo i paragrafi 2,4,5 e 6.

1. Introduzione

Le interazioni tra trasporti e sostenibilità ambientale rappresentano un tema centrale nell'ambito della geografia dei trasporti in quanto, se da un lato il trasporto rappresenta una componente fondamentale per i processi economici che si sviluppano su un territorio sempre più articolato, dall'altro gli impatti della logistica e dei trasporti sui sistemi ambientali sono sempre più evidenti (McKinnon, 2018).

Nel lavoro si analizza l'impatto delle emissioni inquinanti nel settore dei trasporti e della logistica, con un focus sulle catene di distribuzione intra-adriatiche e continentali che includano i segmenti del trasporto marittimo e di quello terrestre, con particolare riferimento al trasporto ferroviario. Nello specifico, l'obiettivo è l'analisi del trasporto marittimo e ferroviario che utilizzano il Porto di Trieste come principale *hub* di interscambio modale, ovvero il nodo di raccordo tra le diverse modalità di trasporto e di interfaccia tra i flussi marittimi e quelli terrestri (Tadini, 2021; Borruso, 2022). In questo contesto, la proposta è quella di quantificare le emissioni di anidride carbonica (di seguito chiamate emissioni) attribuite sia alla componente lineare dei trasporti, definibile come lo spostamento da un punto di origine ad una destinazione finale, sia a quelle puntuali, imputabili ai diversi punti in cui le merci vengono manipolate analizzando quindi le emissioni generate direttamente per le attività in banchina delle navi, considerando le diverse catene logistiche e utilizzando le rappresentazioni cartografiche a supporto dell'analisi proposta. Tali analisi richiedono una definizione accurata delle diverse componenti e dei diversi impatti del sistema dei trasporti nei contesti di riferimento. In questa prima fase, una particolare attenzione è posta alla stima delle emissioni dal 'lato nave', diversificando i momenti relativi alla navigazione e alle manovre in prossimità della terraferma. Si diversifica, infatti, la componente puntuale (con effetti 'areali', riferiti al porto e alla città a questo connessa) da quella lineare, con la prima a produrre importanti effetti di emissioni soprattutto nel contesto locale. Dalle analisi sulle emissioni relative alle infrastrutture di trasporto, prodotti dalle Autorità di Sistema Portuale presenti nei documenti di sostenibilità (AdSPMAO, 2018) risulta, infatti, che la quota principale di emissioni locali è

legata 'al lato nave', che rappresenta quindi la quota di principale apporto alle emissioni locali provocate dalle operazioni di trasporto e logistica. La componente terrestre presenta, diversamente, altre dinamiche, legate sia alla componente puntuale (porti, interporti, città), sia a quella lineare, nei diversi percorsi, stradale e ferroviario. Si farà un riferimento alle emissioni su queste altre componenti (soprattutto ferroviaria), relative soprattutto alle principali tratte ferroviarie dal porto verso le destinazioni terrestri. L'analisi si basa, quindi, sulla ricostruzione cartografica delle principali rotte marittime e tratte ferroviarie terrestri in ambiente GIS mediante tecniche di visualizzazione spaziale per l'analisi e la rappresentazione dei dati relativi ai principali profili di emissioni per le differenti modalità di trasporto.

L'analisi congiunta dell'impronta carbonica (*carbon footprint*) logistica per le differenti modalità di trasporto utilizzando una visualizzazione cartografica appare utile e funzionale per comprendere l'impatto ambientale del trasporto merci e le opportunità di riduzione (Yachai *et al.*, 2021; Karountzos *et al.*, 2023) delle emissioni di gas effetto serra, evidenziando la stima delle emissioni carboniche delle differenti catene logistiche, circoscrivendo questa analisi ai traffici intra-adriatici dei traghetti Ro-Ro¹, ovvero l'insieme di traghetti dedicati al trasporto di mezzi su gomma, quali autotreni, semirimorchi e, in generale, carichi che possono essere movimentati con motrici su ruota, tra la Turchia e Trieste ed al trasporto ferroviario con le diverse destinazioni raggiunte dal porto di Trieste. Il porto di Trieste, infatti, rappresenta, per la sua forte vocazione internazionale, il fulcro di catene logistiche che collegano i traffici commerciali tra il Far East ed i mercati dell'Europa centrale e orientale (Robiglio, 2011).²

Il testo del presente contributo è organizzato come segue. Dopo l'Introduzione nel paragrafo 1, il paragrafo 2 ospita una trattazione su trasporti, territorio e rappresentazione cartografica. Nel paragrafo 3 descrive il porto di Trieste, e l'inquadramento dell'area di studio.

1 Roll On - Roll Off, sistema di movimentazione 'a rotolamento' (autoarticolati, semirimorchi, mezzi meccanici su ruote, ecc.)

2 Fonte: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale - <https://www.porto.trieste.it/ita/statistiche>; consultato in data 16/01/2023

Nel paragrafo 4 sono invece presentati i dati e la metodologia adottati nella ricerca, mentre nel paragrafo 5 vengono discussi i risultati ottenuti. Il paragrafo 6 ospita le conclusioni al lavoro svolto, mentre nel paragrafo 7 vengono anticipati gli sviluppi futuri della ricerca.

2. Trasporti, territorio, rappresentazione cartografica

Il trasporto è un'attività che per definizione si articola nella sua dimensione spaziale, coniugando quindi diversi aspetti di carattere geografico ed economico (Vallega, 1984; Vallega, 1996; Vallega 1997; Vígarié, 1992). Le infrastrutture logistiche, i nodi e le reti rivestono un ruolo estremamente centrale nello spazio e costituiscono la base di un sistema spaziale complesso (Mazzarino, 2021). In ambito geografico, i flussi commerciali su scala globale si basano fortemente su un sistema di trasporti, con diversi livelli di integrazione, caratterizzato da rendimenti di costo decrescenti per lunghe distanze. Queste considerazioni hanno accompagnato, ove non stimolato direttamente, logiche di localizzazione, delocalizzazione, e, più recentemente, rilocalizzazione. In quest'ottica, nel contesto produttivo locale, possiamo notare come vi siano differenti correnti di sviluppo: da un lato, l'articolazione di catene del valore estremamente lunghe e frammentate che hanno portato a fenomeni come quello del gigantismo navale per sfruttare profittevolmente le economie di scala, d'altro canto, la tendenza in atto è quello di accorciare le filiere logistiche, avvicinando di fatto i mercati finali ai luoghi di produzione, in maniera tale da limitare possibili criticità legate ai diversi sistemi di trasporto. In tal senso, possiamo notare come la portacontainer Evergreen incastrata nel canale di Suez nel 2021, l'andamento del costo del nolo dei container avvenuto in anni recenti, il blocco dei porti cinesi a seguito della pandemia di Covid-19 e la congestione dei porti Nord-Americani avvenuta nel 2022 rappresentano solo alcuni degli eventi che hanno influenzato le scelte di rilocalizzazione e riorganizzazione delle attività produttive, articolate su catene di approvvigionamento e distribuzione più corte (Rodrigue, 2020; Notteboom *et al.*, 2021). Queste considerazioni richiamano alla memoria le logiche christalleriane (Christaller, 1933) le-

gate alle località centrali, nonché quelle weberiane sul ruolo organizzatore dei costi di trasporto nella localizzazione delle attività manifatturiere (Hoover, 1948). Ciò grazie allo sviluppo di reti di trasporto e logistiche sempre più articolate e distribuite nella loro dimensione spaziale. A ciò si aggiunge l'approccio multiscalare che vede i diversi sistemi di trasporto integrabili nelle tre dimensioni geografiche: globale, regionale e locale (Rodrigue, 2020). La dimensione globale, in particolare, riflette le dinamiche dei sistemi di trasporto sul commercio mondiale, in cui vi sono dei nodi fondamentali che assumono il ruolo di *gateway* regionali (ovvero porti che si caratterizzano come interfacce mare-terra, in cui convergono flussi marittimi e si dipartono flussi terrestri) o *hub* internazionali (ovvero porti che sono prevalentemente collegati ad altri porti tramite rotte marittime, più che con collegamenti terrestri), a loro volta nodi fondamentali nelle relazioni alle scale regionale e locale (Borruso, 2022). È innegabile che il sistema dei trasporti, ossatura delle interazioni fisiche tra luoghi e attività antropiche, sia responsabile di una quota importante di emissioni inquinanti, sia lungo le connessioni fra i diversi luoghi, sia, soprattutto, nei luoghi di interscambio. A conferma di ciò, i nodi logistici e di trasporto principali rappresentano luoghi importanti di concentrazione di emissioni (Notteboom *et al.*, 2021). Le esternalità negative prodotte nell'ambito del contesto portuale trovano ampi punti di contatto con lo studio delle relazioni tra città e porto (Vallega, 1996), focalizzando l'analisi sull'organizzazione degli spazi urbani e costieri.

3. Il porto di Trieste e i flussi commerciali adriatici

Il porto di Trieste, situato all'estremità settentrionale del Mar Adriatico, rappresenta un *hub* logistico estremamente importante per i flussi commerciali intramediterranei e di interscambio strategico tra l'Europa centro-occidentale e i mercati del Medio Oriente (Fig. 1). Primo porto italiano per merci movimentate nel 2022³, con oltre 57 milioni di tonnellate di merci (il 65%

³ Fonte: Assoport, movimentazioni complessive per le diverse autorità portuali nell'anno di riferimento 2022. https://www.assoporti.it/media/12508/adsp_movimenti_portuali_annuale_2022.pdf Consultato in data 09/11/2023

delle quali rinfuse liquide, ovvero prodotti petroliferi), negli anni più recenti, il porto di Trieste sta vivendo una fase di crescita e intensificazione dei flussi commerciali, mettendo a frutto i tradizionali vantaggi geografici (naturali ed antropici), come il fondale marino di circa 18 metri, l'articolata rete ferroviaria, connessa all'*hinterland* internazionale dei nodi logistici dell'Europa Centrale e Orientale (Fig. 2), e il regime di Punto Franco in grado di fornire vantaggi doganali e procedurali di carattere operativo, amministrativo, finanziario e commerciale (Roletto, 1941; Borruso G., Borruso G., 2012; Pigliucci 2019). Ciò viene tradotto, soprattutto, in un aumento della movimentazione di contenitori, passata dai 470.000 TEU⁴ nel 2015 agli oltre 875.000 nel 2022 oltre a un estremamente importante incremento di autoarticolati, su traghetti Ro-Ro da e verso la Turchia lungo una delle "Autostrade del Mare", ovvero un collegamento diretto (agevolato dall'assenza del contingentamento grazie al regime di Punto Franco) con oltre 300.000 unità (fra semirimorchi e casse mobili) movimentati per il Porto di Trieste nel 2022 (+9,6% rispetto al 2021)⁵. Il Porto di Trieste svolge un'importante funzione di *hub* (con la quota di trasbordo pari al 32% per il trasporto containerizzato puro) nonché di *gateway* continentale, con una componente rilevante del traffico che viaggia su rotaia (Sellari, 2013; Tadini e Borruso, 2021; Borruso 2022): anche i treni assemblati nel porto di Trieste sono passati dai circa 6.000 nel 2015 ai 9.300 treni del 2021 con una proiezione per l'anno 2022 di oltre 10.000 treni assemblati, per un totale di oltre 230 treni settimanali (Adriafer, 2021). Le connessioni intermodali dello scalo giuliano sono rappresentate dai nodi logistici internazionali dell'Europa Centrale e Orientale, in particolar modo con Austria e Germania, seguite da Slovacchia, Repubblica Ceca, Ungheria e Lussemburgo attraverso una rete di collegamenti capillare ed efficiente in grado di catalizzare i traffici eurasiatici con gli scali del nord Adriatico. La collocazione strategica del porto di Trieste, che rappresenta lo scalo più settentrionale del Mar Adriatico ed estremamente interconnesso al sistema logistico

dell'Europa centro-orientale determina che questo si configuri come una piattaforma logistica intermodale in grado di catalizzare flussi commerciali tra il *Far-East* e l'Europa Centro-Orientale.

4. Dati e Metodologia

Il lavoro di ricerca svolto si è focalizzato sulla quantificazione delle emissioni nelle diverse componenti della catena logistica, considerando in particolare i diversi segmenti della rotta lato mare assieme, ovviamente, al contesto puntuale dei nodi di interscambio (il porto in questo caso), operando quindi una opportuna configurazione delle reti di trasporto coinvolte. Al fine della quantificazione è risultato importante ottenere una stima la più vicina possibile alla realtà delle distanze percorse, oltre a una localizzazione dei medesimi percorsi, al fine della loro rappresentazione cartografica.

4.1 I dati

Si è proceduto ad analizzare empiricamente i dati relativi al trasporto marittimo Ro-Ro lungo l'autostrada del mare⁶ fra la Turchia e il porto di Trieste, studiando in maniera dettagliata i principali traghetti utilizzati, in termini di capacità di carico, durata della rotta, velocità di percorrenza, e, successivamente il consumo di carburante totale, finalizzato alla stima delle emissioni del segmento navale. Si è proceduto altresì ad analizzare i flussi ferroviari in partenza dal porto di Trieste, evidenziando i principali corridoi logistici verso l'Europa Centro-orientale che sfruttano lo scalo come *gateway* (Tadini, Borruso, 2022), sempre nell'ottica di definire l'impatto ambientale del trasporto su rotaia (Tadini, Violi, 2011).

6 Secondo la definizione del Regolamento UE n. 1315/2013, all'art.21, un'autostrada del mare è una delle "rotte marittime a corto raggio, porti, attrezzature e infrastrutture marittime connesse, nonché impianti, come anche in formalità amministrative semplificate che permettono il trasporto marittimo a corto raggio o servizi mare-fiume tra almeno due porti, incluse le connessioni con il retroterra". Nella fattispecie, a partire dalle guerre che hanno portato alla dissoluzione della Ex Jugoslavia, un collegamento fisso, regolare per mezzo di traghetti Ro-Ro, collega quotidianamente diversi porti turchi (fra cui Cesme, oggetto del presente studio) con Trieste. https://www.ramspa.it/sites/default/files/allegati/rapporto-adm_anteprema.pdf

4 TEU Unità equivalente a venti piedi (Twenty equivalent foot), rappresenta l'unità di misura standard dei container.

5 Fonte: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale - <https://www.porto.trieste.it/ita/statistiche>; consultato in data 16/01/2023

FIGURA 1 - Il porto di Trieste nel contesto europeo e mediterraneo.

FONTE: Elaborazione da dati Marineregions.org (Autore: Giuseppe Borruso, 2023)

FIGURA 2 - Le principali destinazioni e connessioni ferroviarie del porto di Trieste

FONTE: Elaborazione da dati Adriafer per le destinazioni ferroviarie, da dati Ecotransit per le tracce ferroviarie (Autore: Giuseppe Borruso, 2023)



FIGURA 2 - Le principali destinazioni e connessioni ferroviarie del porto di Trieste

FONTE: Elaborazione da dati Adriafer per le destinazioni ferroviarie, da dati Ecotransit per le tracce ferroviarie (Autore: Giuseppe Borruso, 2023)



Per ricostruire la rete delle interconnessioni logistiche sono stati presi in analisi i diversi sistemi di trasporto. Attraverso una successiva rappresentazione per mezzo di cartografia tematica in ambiente GIS, sono state inserite le rotte seguite e le infrastrutture necessarie a formare un sistema integrato e intermodale (Robiglio, 2011). Successivamente, è stato rappresentato anche l'impatto ambientale dei trasporti, sia per quanto concerne la componente prettamente puntuale, limitatamente alle emissioni prodotte all'interno del contesto portuale, che in riferimento agli inquinanti prodotti lungo le differenti rotte per le differenti modalità di trasporto. Questo ha comportato la realizzazione di diversi strati informativi relativi alla catena logistica. Nella fattispecie, si è provveduto a ricostruire le destinazioni ferroviarie e le connessioni dirette e indirette dal porto di Trieste verso l'entroterra nonché stimare i percorsi effettivi dei convogli su rotaia⁷ (Tadini e Borruso, 2022). Ciò è stato reso possibile tramite il ricorso alla piattaforma Ecotransit⁸, un software per il calcolo del consumo energetico, degli inquinanti atmosferici e dei costi esterni per le differenti modalità di trasporto. Questo strumento è stato utilizzato tracciare i percorsi tra diversi nodi logistici europei lungo la rete ferroviaria. Si è ricostruita inoltre una delle rotte dell'autostrada del mare, dal porto turco di Çeşme a quello di Trieste (Fig. 3). La decisione di orientare l'analisi sullo studio di una rotta Ro-Ro è riconducibile all'importanza e all'influenza che i traffici commerciali hanno sull'asse Trieste-Turchia ed al contempo per la cadenza settimanale di questa rotta nel porto di Trieste. La rotta marittima è stata estratta dalla piattaforma Marinetraffic⁹, ricostruita grazie al tracciamento collegato al sistema di bordo AIS (*Automatic Identification System*), che consente di visualizzare la traccia digitale e la posizione delle navi in tempo reale, compresi tempi di percorrenza, velocità media in navigazione, durata dello scalo e altre informazioni.

7 i reali percorsi ferroviari sono difficilmente ricostruibili in modalità precisa, in quanto percorsi e collegamenti fino alle destinazioni finali possono variare a seconda degli operatori coinvolti e alle esigenze di operatività.

8 <https://www.ecotransit.org/en/>; Consultato in data 10/01/2023

9 <https://www.marinetraffic.com/>; Consultato in data 26/12/2022

I dati sono stati integrati da stime relative alle emissioni inquinanti dal lato mare secondo la metodologia successivamente indicata, e collegate ai singoli punti di rotta marittima.

4.2 La metodologia

Per la quantificazione estimativa delle emissioni ci si è concentrati prevalentemente sulle caratteristiche dei traghetti Ro-Ro (Psaraftis *et al.*, 2009; Gallo, 2022), e seguendo un approccio di calcolo basato sulla potenza erogata dai motori¹⁰. Tale stima considera le emissioni totali (E_{tot}) in tre momenti differenti: in navigazione (E_{nav}), in manovra (E_{man}) e durante le operazioni in banchina (E_{ban}), secondo la formula seguente:

$$E_{tot} = E_{nav} + E_{man} + E_{ban}$$

Conoscendo il tempo di percorrenza del vascello (T), la potenza erogata (P), quella richiesta (L) i fattori di emissioni (E) e il loro *global warming potential* (GWP)¹¹, è possibile quantificare le emissioni totali, esprimendole in termini di CO₂ equivalente secondo la formula:

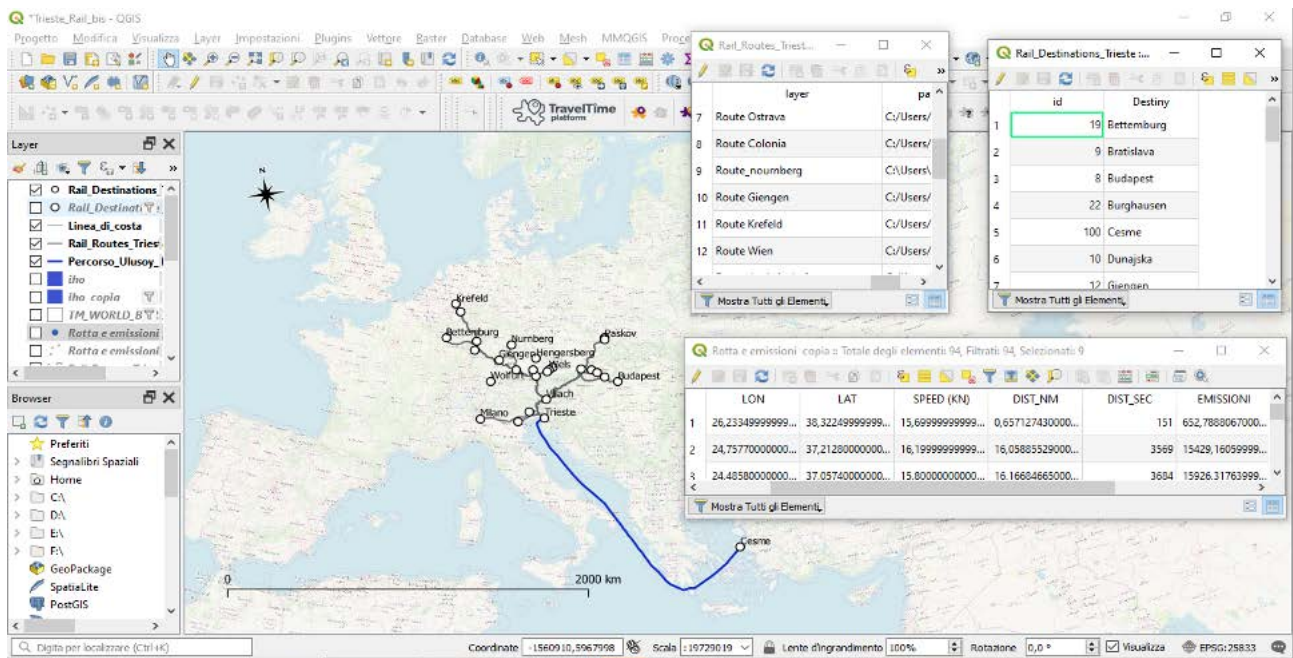
$$E_{tot} = \sum (T \cdot P \cdot L \cdot E \cdot GWP)_{E_{nav}, E_{man}, E_{ban}}$$

Per convenzione, la potenza erogata dai motori sarà pari all'80% del totale durante il percorso in navigazione, ovvero l'ottimizzazione della capacità per i motori (SENES, 2004), al 20% durante le operazioni di manovra ed al 5% in banchina durante le operazioni di logistica portuale, con i fattori di emissione come in tabella 1.

10 Un altro approccio che considera il consumo del carburante effettivo non è stato qui seguito; Seddiek, 2014; Ammar *et al.*, 2017, a causa della bassa attendibilità dei dati a nostra disposizione.

11 Il potenziale di riscaldamento globale (GWP, dall'inglese "Global Warming Potential") è una misura di quanto calore un gas serra trattiene nell'atmosfera in un determinato periodo di tempo, rispetto all'anidride carbonica. Viene utilizzato per confrontare l'effetto di riscaldamento di diversi gas ed è espresso in termini del numero di volte in cui un gas trattiene più calore del biossido di carbonio in un determinato periodo di tempo. Moltiplicando quindi le emissioni di un singolo gas per il suo GWP otterremo le emissioni espresse in termini di anidride carbonica equivalente (CO₂ eq) (Eckaus 1992).

FIGURA 3 - Strati informativi geografici realizzati per l'analisi: Destinazioni ferroviarie; Connessioni ferroviarie; Rotta marittima selezionata (Çeşme – Trieste).



FONTE: Elaborazione da dati Adriafer per le destinazioni ferroviarie, EcoTransit per le tracce ferroviarie (Autore: Giuseppe Borruso) e da dati Marinetraffic per la rotta Çeşme -Trieste (Autore: Andrea Gallo, 2023).

TABELLA 1 - Fattori di emissioni per traghetti Ro-Ro.

Fattore d'emissione: (g/kWh)	CO2	CO	CH4	NOx	N2O
In crociera	646,1	1,1	0,2	13,2	0,03
In manovra e sosta in banchina	869,1	4,3	0,2	11,9	0,03
Global Warming Potential (GWP)	1	1,9	25	33	298

FONTE: Ammar, Seddiek (2017). Eco-environmental analysis of ship emission control methods: Case study Ro-Ro cargo vessel. Ocean Engineering 137, 166-173 – Elaborazione degli autori.

L'approccio usato lega le emissioni alla potenza erogata dai motori e alla durata / lunghezza delle rotte, come definite precedentemente. Il calcolo della potenza effettiva del motore è basato su un'approssimazione da un campione di 224 traghetti Ro-Ro: con una stazza lorda media di 18.214,6 t e una potenza dei motori principali media pari a 17.722 kW (IMO, 2020). Tutti i suddetti dati geografici reperiti ed elaborati sono stati sistematizzati in ambiente GIS. Per la stima delle emissioni attribuibili al trasporto merci su rotaia, l'analisi si è basata su treni di una lunghezza massima pari a 560 metri e 28 vagoni, con carico massimo di 44 t per carro, un dimensionamento totale di 1.230 t: tali caratteristiche di limiti dimensionali sono dovute alle caratteristiche del porto di Trieste ed i limiti di carico dei diversi carri ferroviari. In questo caso, la stima delle emissioni ferroviarie prodotte per t/km è stata valutata pari a 26,5 (ORR, 2021).

Le emissioni ferroviarie sono stimate moltiplicando il peso complessivo del treno espresso in tonnellate (W) per la distanza da percorrere in chilometri (D) e per la stima delle emissioni (E_f), come dalla formula: $= (W D E_f)$. Anche le direttrici ferroviarie da Trieste verso l'entroterra sono state rappresentate cartograficamente (Fig. 2).

Per il trasporto ferroviario sono noti i dati sul peso del treno in tonnellate (W), distanza in chilometri (D) per la stima delle emissioni (E_f). Per i traghetti Ro-Ro sono noti tutti i dati necessari per la stima dell'impronta carbonica in navigazione, mentre per il tempo di permanenza in banchina dei traghetti ci si rifà ai dati di posizione presenti sulla piattaforma Marinetrassic¹² già citata, dall'analisi dei tempi di permanenza di alcuni traghetti Ro-Ro, questo si stima in media di 18 ore¹³. Tale stima risulta utile per quantificare l'impatto ambientale delle operazioni portuali, anche nell'ottica dello sviluppo di innovazioni infrastrutturali volte a mitigare gli impatti inquinanti della logistica portuale (es. *cold ironing* delle banchine; Piccoli *et al.*, 2021).

5. Risultati

La metodologia illustrata in precedenza ha permesso di quantificare l'impatto ambientale da emissioni di CO₂ per le due differenti modalità di trasporto prese in analisi. In particolare, l'impronta carbonica per il segmento navale raggiunge mediamente le 958,77 tonnellate di anidride carbonica equivalente.

Nelle figure 4 e 5 presentate in seguito è stata riprodotta la rotta del vascello Ro-Ro Ulusoy 16 partendo dalle informazioni rese disponibili dal sistema di tracciamento integrato (AIS) dal sito Marinetrassic. Questo vascello, infatti, copre la rotta Trieste-Cesme con cadenza quotidiana, ed è stato utilizzato come campione ideale per l'analisi di una delle principali rotte dell'Autostrada del Mare, e rappresentativo di una varietà di simili vascelli - traghetto dedicati al traffico di semirimorchi, autoarticolati e simili. Per l'elaborazione della cartografia tematica sono state utilizzate 94 differenti coordinate puntuali, dove, utilizzando i dati forniti in termini di velocità, tempo di percorrenza e emissioni espresse in kWh, è stato possibile quantificare l'impronta carbonica per i differenti segmenti spaziali che dividono due coordinate adiacenti. La rotta è stata quindi scomposta in differenti segmenti, per ognuno dei quali si è proceduto a quantificare i diversi profili di emissione. Ai fini della rappresentazione e della stima, si è poi proceduto ad attribuire i singoli valori di emissione ai singoli vertici dei segmenti. Ciò ha consentito, successivamente, di operare sia delle stime puntuali di emissione, sia di rappresentare la concentrazione in prossimità dei nodi infrastrutturali puntuali.

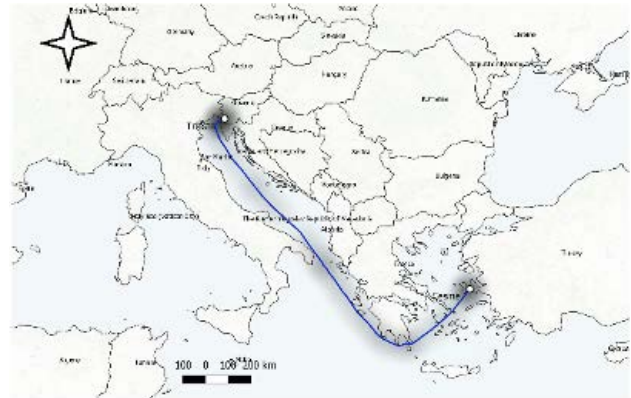
¹² Consultato in data 03/01/2023

¹³ Osservazioni su <https://www.vesselfinder.com/> dei traghetti "Ulusoy 16", "Cappadocia Seaways", "Paqize", "Ulusoy 15" e "Pergamon Seaways" in servizio fra i porti di Cesme (Turchia) e Trieste (andata e ritorno) con osservazione del tempo di permanenza media in porto. Ultima osservazione: 09/11/2023

FIGURA 4 - La rotta Cesme – Trieste e le emissioni in atmosfera lungo la rotta a) puntuali e lineari; b) lineare e con mappa di densità delle emissioni.



A)



b)

Fonte: Elaborazione da dati Marinetraffic per le coordinate puntuali e la rotta lineare Cesme-Trieste (Autori: Giuseppe Borruso, Andrea Gallo; 2023).

Le rappresentazioni cartografiche proposte in precedenza (Fig. 4, Fig. 5) rappresentano le emissioni del traghetto Ro-Ro Ulusoy 16 lungo la rotta che collega il porto di Cesme a quello di Trieste (Fig. 4) e la manovra di approdo finale alle banchine dei terminal Ro-Ro¹⁴ del porto di Trieste (Fig. 5): le etichette rappresentano le quantità di CO₂ emessa nel segmento compreso tra la coordinata precedente e quella successiva espressa in chilogrammi. Infine, risulta importante sottolineare come, per le operazioni in banchina, i motori dei differenti vascelli restano in moto, generando quindi un flusso costante in termini di emissioni, quantificabile come 1,14 tonnellate di CO₂ equivalente l'ora.

L'elaborazione cartografica è stata realizzata sulla base delle emissioni puntuali, sia provvedendo a sviluppare delle mappe di densità, particolarmente significative soprattutto con riferimento alle aree in prossimità dei porti di origine e destinazione, dove le emissioni non possono essere 'diluite' dalla navigazione stessa, ma si sommano alle emissioni inquinanti già presenti nelle aree urbane e portuali, divenendo, quindi, una componente aggiuntiva al locale inquinamento. La figura 4 illustra la rotta e le emissioni nel loro complesso, mentre lo zoom in figura 5

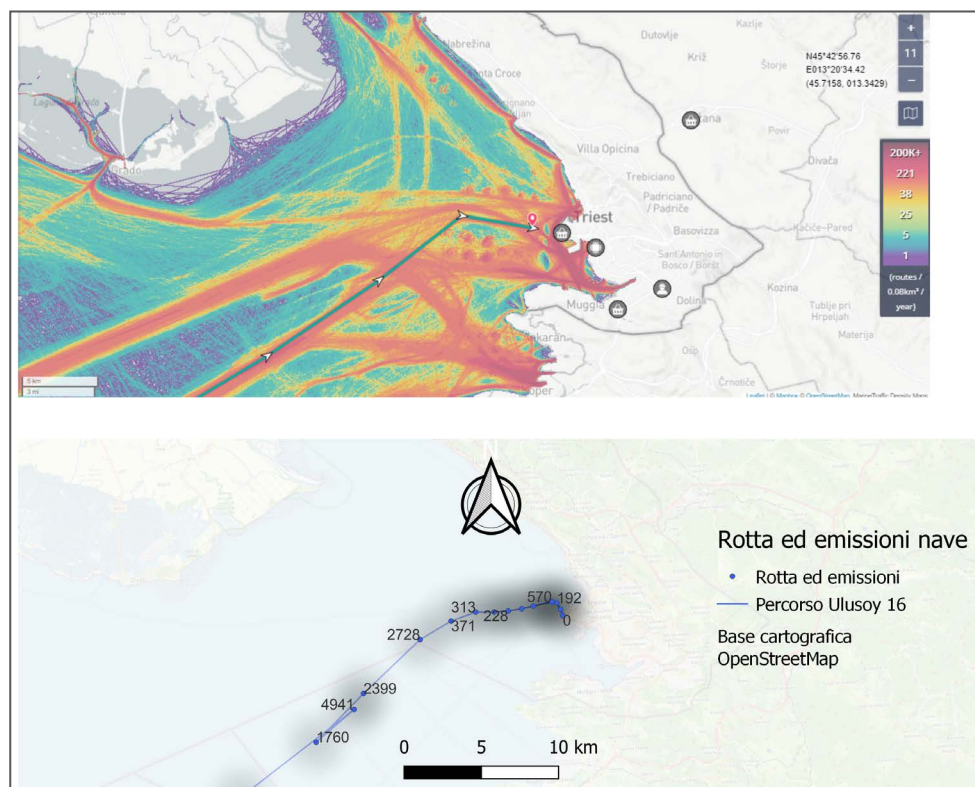
si focalizza sull'area antistante il porto e la città di Trieste, evidenziando la densità del traffico marittimo desunta dal sito web Marinetraffic, oltre che la reale rotta del Ro-Ro Ulusoy 16, nonché il profilo delle emissioni di quest'ultimo nell'approciare l'ormeggio presso il terminal di arrivo.

Con riferimento all'impatto ambientale generato dal settore ferroviario, possiamo osservare come le emissioni rappresentino una funzione lineare della distanza in quanto i locomotori utilizzati per la movimentazione del traffico ferroviario siano alimentati da motori elettrici che prendono direttamente corrente dalla linea aerea (ad eccezione delle movimentazioni interne al porto). Di conseguenza, per valutare l'impatto ambientale del trasporto ferroviario andrà valutata l'energia elettrica impiegata lungo la linea ferroviaria elettrificata, che risulta costante: all'aumentare della distanza, quindi, aumenteranno direttamente anche le emissioni di anidride carbonica generate. In particolare, possiamo osservare come per le destinazioni a lungo raggio quali Bettembourg (Lussemburgo) e Koeln (Germania) verranno prodotte oltre 35 tonnellate di anidride carbonica equivalente. Appare evidente che la posizione strategica del porto di Trieste, coadiuvata dall'efficiente infrastruttura logistica che si sviluppa in maniera estremamente articolata lungo differenti direttrici dell'Europa continentale de-

¹⁴ L'ormeggio di Riva Traiana, i moli V e VI sono deputati alle movimentazioni Ro-Ro e multipurpose del porto di Trieste.

FIGURA 5 - Operazioni di Manovra e Emissioni per il traghetto Ro-Ro Ulusoy 16

FONTE: Elaborazione da dati Marinetraffic delle coordinate di manovra nel porto di Trieste (Autori: Giuseppe Borruso, Andrea Gallo; 2023).



termini che l'*hub* intermodale giuliano si definisca come una piattaforma logistica integrata nelle dinamiche dei flussi commerciali tra il Medio-Oriente, e in particolare la Turchia con i paesi dell'Europa Centro-Orientale. La capacità di convogliare una componente maggioritaria delle merci che transitano per il porto di Trieste su rotaia, riducendo così il traffico di autoarticolati su strada, rappresenta uno dei fattori di successo in risposta alle esigenze di carattere ambientale ed in termini di economicità ed efficientamento dei trasporti. Possiamo infatti notare dalla figura 2 (Fig.2) come il bacino di riferimento (*hinterland*) del traffico ferroviario del porto di Trieste si estenda su un'area estremamente ampia, che coniuga destinazioni nazionali e internazionali: in quest'ottica, l'ampio utilizzo del trasporto ferroviario è incentivato per la maggior sostenibilità ambientale di questa modalità e per il decongestionamento del traffico stradale.

Appare, infatti, evidente come il trasporto su rotaia risulti come la modalità di trasporto meno impattante per quanto riguarda l'impronta carbonica (McKinnon, 2018), in quanto le emissioni prodotte da questa moda-

lità di trasporto risultino prevalentemente dall'approvvigionamento di energia elettrica alla rete dell'infrastruttura ferroviaria. In tal senso, possiamo notare che il trasporto ferroviario si articola in due momenti distinti: la manovra, ovvero le operazioni di assemblaggio e deassemblaggio del treno del treno all'interno dei terminal logistici, in cui la trazione avviene solitamente per mezzo di locomotori alimentati da motori diesel a combustione interna ed il secondo momento che è quello in linea, dove la trazione viene eseguita da locomotori elettrici (Hansen, 2004).

L'analisi dei dati empirici si basa sulla catena logistica articolata attraverso il trasporto marittimo e ferroviario (Mazzarino, 2000), rendendo necessario ricostruire rotte, i punti di origine e destinazione, distanza e tempo di percorrenza (Tabella 2; Tabella 3).

Tali informazioni sono state successivamente utilizzate per quantificare le emissioni totali presentate nelle seguenti tabelle, seguendo la metodologia precedentemente proposta (v. Appendice).

TABELLA 2 - Rotte Autostrada del Mare

Rotte o Autostrade del Mare					
Origine	Destinazione	Tempo di Percorrenza	Distanza Percorsa (in miglia marine)	Distanza Percorsa (in chilometri)	Stima emissioni totali (ton. CO2 eq) ¹⁵
Ambarli	Trieste 37 ore	60 ore	1.156	2.140	959
Mersin		1.301	2.409		
Yalova		1.151	2.131		
Pendik		1.159	2.146		
Çeşme		1.129	2.090		
Durres		516	956	600	

Fonte: Dati forniti da Samer in relazione all'Autostrada del Mare <https://samer.com/agenti-e-broker-marittimi-autostrada-del-mare> - Elaborazione personale.

TABELLA 3 - Emissioni collegamenti ferroviari del Porto di Trieste

Destinazioni trasporto ferroviario Porto di Trieste

Destinazione	Distanza Percorsa (in chilometri)	Stima emissioni totali (ton. CO2 eq)	Destinazione	Distanza Percorsa (in chilometri)	Stima emissioni totali (ton. CO2 eq)
Bettembourg (LU)	1.093	35,63	Milano (IT)	412	13,43
Bratislava (SK)	603	19,65	Monaco (DE)	527	17,18
Budapest (HU)	632	20,60	Ostrava (CZ)	834	27,18
Burghausen (DE)	482	15,71	Padova (IT)	180	5,87
Koeln (DE)	1.123	36,60	Paskov (CZ)	836	27,25
Dunajska (SK)	649	21,15	Pordenone (IT)	128	4,17
Karlsruhe(DE)	842	27,44	Salisburgo (AT)	380	12,39
Komarno (SK)	683	22,26	Villach (AT)	200	6,52
Krefeld (DE)	1.174	38,27	Wels (AT)	477	15,55
Linz (AT)	502	16,36	Wien (AT)	564	18,38
Ludwigshafen (DE)	872	28,42			

Fonte: <https://www.porto.trieste.it/ita/il-porto/collegamenti-ferroviari-intermodali>
Elaborazione dei profili d'emissione degli autori, 2023.

15 Seguendo la metodologia di calcolo proposta in appendice, la stima delle emissioni considera la media delle ore di navigazione (comune per le differenti rotte) e non la distanza. Dalle informazioni fornite dagli operatori marittimi i tempi di percorrenza sono analoghi a fronte di distanze differenti, in quanto i diversi traghetti procederanno a velocità differenti.

6. Conclusioni

Il trasporto rappresenta un argomento estremamente dibattuto per le questioni di carattere ambientale in quanto, se da un lato è indispensabile per soddisfare le esigenze di mobilità di merci e persone, dall'altro genera inevitabilmente esternalità e impatti negativi sull'ambiente. Inoltre, le condizioni ambientali stesse possono influire sulla gestione del sistema di trasporto e sulle differenti reti logistiche.

Con questo studio si è inteso mettere in luce gli impatti ambientali dei trasporti di una catena logistica articolata attraverso due differenti modalità di trasporto: marittimo e ferroviario relativi ai traffici merci di connessione dei mercati del Medio Oriente con l'Europa Centrale sviluppando una metodologia di valutazione dell'impatto ambientale di una catena logistica articolata lungo un corridoio transfrontaliero di importanza fondamentale in riferimento ai flussi commerciali provenienti dalla Turchia in termini di esportazioni che per quanto concerne i mercati finali di destinazione quali la Germania, il Lussemburgo, l'Austria e l'Ungheria.

L'elaborazione proposta non si limita a quantificare le emissioni per le differenti modalità di trasporto ma definisce un metodo per analisi comparative.

Particolare attenzione è stata posta alla componente delle emissioni sul lato 'mare' e gli impatti locali che questo può provocare soprattutto nei contesti territoriali in cui massima è l'interazione, ovvero i porti (anche se le considerazioni potranno essere estese anche alla componente terrestre, gli interporti e gli altri nodi logistici interni, o 'secchi').

Per la sua posizione geografica, localizzato al vertice settentrionale del mar Adriatico, il porto di Trieste si avvale di un vantaggio competitivo estremamente rilevante in riferimento ai mercati dell'Europa centro-orientale, con un risparmio di oltre 3500 chilometri e oltre 4 giorni di navigazione (a una velocità media di 20 nodi) rispetto ai principali porti del Nord Europa. In tal senso il porto di Trieste si pone come *gateway* tra reti logistiche sia lato mare e sia lato terra, alternativo, secondo diversi punti di vista, ai porti del Mare del Nord che per anni hanno rappresentato i principali punti di penetrazione verso il continente europeo dalle rotte marittime. Ciò, con importanti ripercussioni per quanto riguarda le questioni di carattere ambien-

tali mare-terra. In particolare, la gestione dei traffici intermodali, convogliando larga parte del traffico su rotaia, rappresenta un fattore strategico di successo per perseguire gli obiettivi di sostenibilità ambientale nell'ambito della mitigazione delle emissioni e l'efficientamento della logistica.

Negli anni recenti, infatti, si è assistito ad un interesse via via crescente per quanto concerne la sostenibilità ambientale per i trasporti: la mitigazione delle esternalità negative dei trasporti ha assunto un ruolo cardine per quanto concerne la logistica. Questo implica quindi che i trasporti debbano essere pianificati e progettati anche con l'intento di ridurre al minimo l'impatto ambientale, utilizzando le migliori tecnologie e le risorse nella maniera più efficiente. La sostenibilità dei processi logistici ha assunto quindi un ruolo chiave per la pianificazione e la gestione della domanda di trasporto a livello globale, influenzando i flussi commerciali nelle differenti scale di interazione geografiche: locali, regionali e globali.

7. Sviluppi e questioni aperte

La ricerca sviluppata è parte di un più ampio dibattito scientifico riguardante il ruolo dei sistemi di trasporto e logistica nel ridurre l'impatto ambientale e migliorare la sostenibilità ambientale della movimentazione di merci (Notteboom, Haralambide, 2023; McKinnon, 2018; Tadini, Borruso 2022). Le profonde trasformazioni intervenute negli ultimi anni, infatti, hanno modificato profondamente il modo in cui si costruiscono le catene logistiche, e la considerazione separata delle modalità di trasporto ormai risulta anacronistica, in una logica, appunto, di rete unica della movimentazione mercantile. L'approccio multiscalare ai trasporti comporta il considerare le rotte globali, le questioni locali e gli *hinterland* regionali, tutti contesti in cui la componente ambientale pesa in modo diverso. Mezzi di trasporto diversi con caratteristiche di impatto (emissioni in atmosfera in particolare) differenti si interfacciano, infatti, con contesti molto vari e articolati. Le emissioni in navigazione hanno un impatto molto diverso da quelle 'locali', puntuali che avvengono in prossimità degli scali, dove si sommano, appunto, alle altre fonti di emissioni e generano impatti su una popolazio-

ne residente e presente spesso di numeri significativi. Diverso, ancora, il considerare l'impatto delle rotte terrestri, dove l'autotrasporto e la ferrovia attraversano, soprattutto nel contesto europeo, ambiti ampiamente antropizzati o in ogni caso caratterizzati da un contesto ambientale fragile. Diverso ancora, quindi, è l'impatto prodotto da queste modalità, in cui, ovviamente, quella ferroviaria, specie se basata su trazione elettrificata, può risultare vincente in termini di riduzione delle emissioni.

Le future evoluzioni della ricerca cercheranno di mettere a sistema questi aspetti, evidenziando e differenziando gli impatti locali puntuali (nei porti di partenza, arrivo e transito, in quelli di destinazione, nei porti e terminal interni o 'secchi'), quelli lineari marittimi e quelli lineari terrestri, evidenziando sia le tematiche di impatto complessivo, cercando quindi di rispondere alla domanda su quante siano le emissioni di un certo collegamento internazionale, ma provando, altresì, a vedere quali siano gli impatti locali delle diverse alternative. Le considerazioni di sostenibilità ambientale dovranno quindi prendere in analisi le catene di distribuzione 'lunga', attribuibile alla scelta di una rotta invece di un'altra, o considerazioni proprie alla modalità di trasporto più consona da utilizzare ed al contempo andranno confrontate con gli aspetti 'corti', o puntuali, ovvero sul possibile impatto locale di scelte alternative di percorso. Una rotta più sostenibile dal punto di vista delle emissioni complessive potrebbe, infatti, risultare più impattante in un contesto locale fragile e delicato. Se, infatti, è localmente, nei ridotti ambiti portuali urbani, periurbani e regionali in cui avviene la movimentazione puntuale delle merci che si concentrano le emissioni e le frizioni locali, è qui che sarà soprattutto necessario intervenire con soluzioni tecnologiche, quali l'elettrificazione delle banchine, e azioni di *policy* mirate, che necessitano, in ogni caso, di più accurate informazioni e quantificazioni del fenomeno inquinante. In questo contesto rientrano le recenti normative relative ai combustibili meno inquinanti da utilizzare in prossimità degli scali portuali, il sistema di scambio delle quote di emissioni (*Emission Trading System*) oppure le cosiddette *carbon tax* sulle emissioni prodotte (Chen *et al.*, 2023).

Appendice

Calcolo impronta carbonica segmento navale partendo dalla seguente formula espressa in tonnellate di anidride carbonica equivalente:

$$E_{tot} = \Sigma (T \cdot P \cdot L \cdot E)_{(E_{nav}, E_{man}, E_{ban})}$$

Abbiamo osservato che il transit time (T) è pari a 60 ore, le attività di manovra richiedono 30 minuti per la partenza e 30 per l'ormeggio (stimati per mezzo degli AIS) e la sosta operativa in banchina è pari a 18 ore. La potenza media dei motori (P) è pari a 17.722 kW, il carico dei motori (L) è pari all'80% per la navigazione in crociera, al 20% per la manovra ed al 5% per le operazioni in banchina. I fattori di emissioni sono pari a 1097,71 grammi di CO₂eq in crociera e 1282,34 per le operazioni in manovra ed in banchina.

Le emissioni totali espresse in tonnellate di anidride carbonica equivalente saranno quindi pari a

$$E_{tot} = (60 \cdot 17.722 \cdot 0,8 \cdot 1097,71) + (1 \cdot 17.722 \cdot 0,2 \cdot 1282,84) + (18 \cdot 17.722 \cdot 0,05 \cdot 1282,84) / 1.000.000 = 958,77 \text{ tonnellate di CO}_2\text{eq}$$

Per quanto concerne le emissioni attribuibili al trasporto ferroviario saranno stimate attraverso la formula presentata in seguito, espresse in tonnellate di anidride carbonica equivalente:

$$E_{Train} = (W \cdot D \cdot Ef) / 1.000.000$$

Dove conosciamo il peso medio dei treni assemblati all'interno del porto di Trieste pari a 1.230 tonnellate, la distanza per le differenti destinazioni e il fattore di emissione mediamente pari a 26,5 grammi di anidride carbonica equivalente per tonnellata per chilometro.

Bibliografia

- Ammar N. R., Seddiek I. S. (2017), "Eco-environmental analysis of ship emission control methods: Case study Ro-Ro cargo vessel", *Ocean Engineering*, 137, pp. 166-173.
- Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale (2018), *Analisi della sostenibilità energetico-ambientale del Porto di Trieste*. Relazione tecnica. Trieste.
- Borruso G. (2022), "Port-City relationship in the era of hybridization. A development model", *J-READING Journal of Research and Didactics in Geography*, 11 (2), pp. 125-137.
- Borruso G., Borruso G. (2012), "Il porto di Trieste: analisi del traffico, impatto economico e prospettive di sviluppo", Panaro et al., (a cura di), *Trasporto marittimo e sviluppo economico. Scenari internazionali, analisi del traffico e prospettive di crescita*, SRM, Giannini Editore, Napoli, pp. 235-274.
- Chen, S., Zheng, S., Sys, C. (2023), "Policies focusing on market-based measures towards shipping decarbonization: Designs, impacts and avenues for future research", *Transport Policy*, 137, pp. 109-124.
- Christaller W. (1933), *Le località centrali della Germania meridionale*, FrancoAngeli, Milano 1980.
- Eckaus R. S. (1992), "Comparing the effects of greenhouse gas emissions on global warming", *The Energy Journal*, 13(1), pp. 25-35.
- Gallo A. (2022), "Geographical aspects of the logistic carbon footprint: estimating the environmental impact of freight transport", *J-READING Journal of Research and Didactics in Geography*, 11 (2), pp. 181-194.
- Hansen, I. (2004), "Automated shunting of rail container wagons in ports and terminal areas", *Transportation Planning and Technology*, 27(5), pp. 385-401.
- Hoover E. M. (1948), *The Location of Economic Activity*, McGraw-Hill, New York.
- IMO International Maritime Organization (2020), *Fourth IMO Greenhouse Gas Study, Full Report International Maritime Organization (IMO)*, International Maritime Organization (IMO), London.
- Karountzos O., Kagkeli G., Kepaptsoglou K. (2023), "A Decision Support GIS Framework for Establishing Zero-Emission Maritime Networks: The Case of the Greek Coastal Shipping Network", *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 7(2), 16.
- Mazzarino M. (2000), "The economics of the greenhouse effect: evaluating the climate change impact due to the transport sector in Italy", *Energy Policy*, 28(13), pp. 957-966
- Mazzarino M. (2021), *Geografia dell'innovazione logistica nel Nord-Est*, Associazione Italiana di Cartografia, Studi Monografici, Trieste.
- McKinnon A. (2018), *Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in Low Carbon World*, Kogan Page Ltd, London.
- Notteboom T., Haralambides H. (2023), "Seaports as green hydrogen hubs: advances, opportunities and challenges in Europe", *Maritime Economics and Logistics*, 25(1), pp. 1-27.
- Notteboom T., Pallis A., Rodrigue J. P. (2021), *Port Economics, Management and Policy. A comprehensive analysis of the port industry*, Routledge, New York.
- Piccoli T., Fermeglia M., Bosich D., Bevilacqua P., & Sulligoi G. (2021), "Environmental Assessment and Regulatory Aspects of Cold Ironing Planning for a Maritime Route in the Adriatic Sea", *Energies*, 14(18), 5836.
- Pigliucci M. (2019), *Zone economiche speciali nel mezzogiorno d'Italia*, Nuova Cultura, Roma.
- Psaraftis H. N., Kontovas C. A. (2009), "CO2 emission statistics for the world commercial fleet", *WMU Journal of Maritime Affairs*, 8(1), pp. 1-25.

- Robiglio C. (2011), "Infrastrutture terrestri nella logica delle reti internazionali di trasporto merci. Opportunità e sviluppi nell'area del Nord Est e collegamenti marittimi", *Geotema*, 40, pp. 69-73.
- Rodrigue J. P. (2020), *The Geography of Transport Systems*, Routledge, New York.
- Roletto G. (1941), *Il porto di Trieste*. Zanichelli, Bologna.
- Sellari P. (2013), *Geopolitica dei trasporti*. Laterza Editori, Bari.
- SENES (2004), *Review of Methods Used in Calculating Marine Vessel Emission Inventories*. Environment Canada, Pollution Data Branch, Consultants Limited and Air Improvement Resource. Inc. Gatineau, Québec, Canada.
- Tadini M. (2021), "Intermodalità ferroviaria e assetto territoriale dei porti gateway: il caso di La Spezia", *Rivista Geografica Italiana*, (4), pp.105-136.
- Tadini M., Borruso, G. (2022), "Sea-rail intermodal transport in Italian gateway ports: a sustainable solution? The examples of La Spezia and Trieste", in Gervasi O., Murgante B., Misra S., Rocha A.M.A.C., Garau C. (a cura di), *Computational Science and Its Applications – ICCSA workshop 2022*, LNCS 13381, Springer-Verlag, Cham, pp. 156-172.
- Tadini M., Violi C. (2011), "Logistica, Cartografia Tematica e Territorio", *Bollettino Associazione Italiana di Cartografia*, 143, pp. 245-259.
- Vallega A. (1984), "Nodalità e centralità: relais tra teoria regionale e teoria dei trasporti", *Studi Marittimi*, 6 (19-20), pp. 33-35.
- Vallega A. (1996), "Cityports, coastal zones and sustainable development", in Hoyle, B.S. (Ed.), *Cityports, coastal zones and regional change*, John Wiley & Sons Ltd., Hoboken (New Jersey), pp. 295-306.
- Vallega A. (1997), *Geografia delle strategie marittime. Dal mondo dei mercanti alla società transindustriale*, Mursia, Milano.
- Vigarié A. (1992), *Economia marittima e geostrategia degli oceani*, Mursia, Milano.
- Yachai K., Kongboon R., Gheewala S. H., Sampattagul S. (2021), "Carbon footprint adaptation on green supply chain and logistics of papaya in Yasothon Province using geographic information system", *Journal of Cleaner Production*, 281, 125214, pp. 1-17.