

Tecnologie e opzioni di investimento “green” nel settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax

Giorgia Morchio*, **Valentina Carozzo†**, **Giovanni Satta‡**,
Bianca Vottero§

Sommario: 1. Introduzione – 2. Letteratura – 3. Metodologia – 4. Risultati – 5. Discussione – 6. Conclusioni – 7. Bibliografia.

Abstract

In a context increasingly oriented towards environmental sustainability and emission reduction, shipping companies are triggered to adopt measures aimed at mitigating the impact of their business activities on climate and environment. In this context, the Ferry, Ro-Ro and Ro-Pax sector deserves particular attention, especially because of the importance of related traffic volumes and the availability of "green" technologies that could be adopted in the sector. The research objective of this study is twofold. First the paper provides a comprehensive taxonomy on the environmental impacts generated by the sample sector through the adaptation to the segment of the taxonomy allocated in the last GRI (Global Reporting Initiative) Standards and in the CDP (ex-Carbon Disclosure Project). Second, the paper analyses the main "green" investment options available to shipping companies, originated from an exhaustive systematic literature review analysis conducted on 350 academic articles.

Key words: green strategies, ferry, environment, energy efficiency.

* **Giorgia Morchio**, PhD Student in Scienze e Tecnologie del Mare, Curriculum of Logistica e Trasporti, Università degli Studi di Genova – Centro Italiano di Eccellenza sulla Logistica, i Trasporti e le Infrastrutture (CIELI); e-mail: giorgia.morchio@cieli.unige.it.

† **Valentina Carozzo**, Studentessa al corso di Laurea Magistrale in Economia e Management Marittimo e Portuale, Università degli Studi di Genova; e-mail: valentina.carozzo@yahoo.it.

‡ **Giovanni Satta**, Professore Associato di Economia e gestione delle imprese nel Dipartimento di Economia, Università degli Studi di Genova; e-mail: giovanni.satta@economia.unige.it.

§ **Bianca Vottero**, PhD Student in Scienze e Tecnologie del Mare, Curriculum of Logistica e Trasporti, Università degli Studi di Genova – Centro Italiano di Eccellenza sulla Logistica, i Trasporti e le Infrastrutture (CIELI); e-mail: bianca.vottero@unige.it.

Arrivato: 13 luglio 2022; accettato: 17 ottobre 2022.

DOI: 10.15167/1824-3576/IPEJM2022.2.1477

1. Introduzione

Per quanto il settore dello shipping, inteso come il settore del trasporto di persone e merci via mare, venga considerato una modalità di trasporto sostenibile, soprattutto se confrontata con le modalità di trasporto alternative, tale business genera comunque significativi impatti ambientali negativi. La recente attenzione alle tematiche concernenti la sostenibilità ambientale ha dato perciò avvio a un processo di trasformazione “green” nel trasporto marittimo allo scopo di mitigare l’impatto ambientale prodotto dalle imprese della filiera tecnologico-produttiva, fino ad arrivare all’obiettivo ultimo dello zero emission¹. Il presente studio, in particolare, si focalizza sul business Ferry, Ro-Ro² e Ro-Pax³ con l’obiettivo di comprendere come le compagnie di navigazione operanti in tale business possano impiegare le proprie risorse in interventi, progetti e investimenti che riguardano tecnologie, strumenti, attrezzature, macchinari ed equipment per la riduzione dell’impatto ambientale.

I principali impatti ambientali riconducibili al settore esaminato riguardano le emissioni atmosferiche, distinte tra emissioni di gas a effetto serra e emissioni di inquinanti atmosferici (SO_x⁴, NO_x⁵, PM⁶, ecc.), l’inquinamento delle acque, lo scarico di rifiuti in mare, l’inquinamento acustico sottomarino, il trasferimento di organismi non autoctoni, ecc. (European Maritime Transport Environmental Report, 2021).

In virtù della crescente attenzione rivolta a livello globale alle tematiche della sostenibilità ambientale e in ragione della maggiore consapevolezza delle istituzioni in merito agli effetti dannosi che gli impatti ambientali generati dal settore sono in grado di provocare, numerose regolamentazioni sono state introdotte e molte altre sono oggi in fase di definizione, sia a livello internazionale che a livello comunitario. Sotto questo profilo è possibile individuare un ampio novero di convenzioni internazionali a tutela della sostenibilità ambientale, quali le regolamentazioni prodotte dall’International Maritime Organization⁷ (IMO) e la normativa dettata dall’UE, comprendente le normative applicate al settore dello shipping proposte nell’ambito del pacchetto di norme conosciuto con il nome di “Fit for 55”, proposto il 14 luglio 2021 ed attualmente in fase di approvazione.

¹ L’obiettivo dello zero emission prevede che la compagnia di shipping, nell’ambito delle sue operations, non emetta nell’atmosfera gas a effetto serra ed inquinanti atmosferici.

² Roll-on/Roll-off, ovvero unità navali progettate per il trasporto con modalità di imbarco e sbarco di veicoli gommati sulle proprie ruote e di carichi, disposti su pianali o in contenitori, caricati e scaricati per mezzo di veicoli senza l’ausilio di mezzi meccanici esterni.

³ Roll-on/Roll-off Passengers, ovvero particolari tipi di Ro-Ro configurate per il trasporto combinato di veicoli gommati e passeggeri.

⁴ Ossidi di zolfo.

⁵ Ossidi di azoto.

⁶ Particulate Matter.

⁷ Agenzia specializzata delle Nazioni Unite volta a promuovere la cooperazione marittima tra i paesi membri e a garantire la sicurezza della navigazione e la protezione dell’ambiente marino.

⁸ Il pacchetto climatico noto con il nome di “Fit for 55” è un pacchetto di 13 proposte legislative adottato dalla Commissione Europea al fine di mettere l’Unione Europea in condizione di raggiungere entro il 2030 gli obiettivi del Green Deal, in particolare la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra del 55% rispetto ai livelli del 1990.

Per ottemperare alle normative sempre più stringenti in tema di sostenibilità ambientale, nonché per ottenere un vantaggio competitivo duraturo e difendibile, le compagnie operanti nel settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax sono chiamate ad adottare diverse strategie finalizzate alla mitigazione delle esternalità negative (c.d. green strategies). Secondo la letteratura, dette strategie green possono essere suddivise in tre categorie fondamentali (Wan et al., 2018; Serra et Fancello, 2020): le soluzioni di carattere tecnologico-tecnico, le soluzioni operative e le soluzioni market-based (Market-Based Measures). Il presente studio si concentra soprattutto sulle soluzioni di carattere tecnologico-tecnico, quali per esempio lo sviluppo di nuovi sistemi di propulsione, l'utilizzo di carburanti alternativi, l'installazione di Exhaust Gas Cleaning Systems, l'Hull Air Lubrication, l'efficientamento del design dei bulbous bow, il Cold Ironing, l'utilizzo di batterie, l'utilizzo di fuel cells, ecc. Infatti, attraverso lo studio condotto, vengono sintetizzate, descritte e proposte differenti tassonomie di soluzioni di carattere tecnologico e gestionale per poi comprendere le scelte strategiche alternative adottabili da parte di compagnie operanti nel settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax.

Il presente studio contribuisce alla letteratura esistente attraverso l'applicazione di un approccio tecnico e pragmatico volto a colmare le lacune sul ruolo delle opzioni di investimento attraverso cui è possibile tradurre in termini gestionali ed operativi le principali strategie “green” nel comparto oggetto di approfondimento. Lo studio, pertanto non solo offre preziosi spunti per managers e decisori politici ma anche utili insights per l'incremento dei livelli di efficienza energetica e la sostenibilità delle operations relative alle compagnie di navigazione operanti nel business Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax. In questo modo il presente studio contribuisce anche al miglioramento dei rapporti tra i molteplici stakeholders coinvolti, quali i porti, le compagnie di navigazione e le comunità locali in una logica di stakeholder relationship management.

I principali driver alla base del vantaggio competitivo nel settore in esame hanno subito nelle ultime decadi drammatiche evoluzioni, e il posizionamento competitivo delle imprese del comparto dipende sempre più spesso da fattori e variabili assai diverse rispetto a quelle che si sono dimostrate critiche in passato (Albrecht, 2013; Pace, 2016). In particolare, secondo parte della letteratura, negli ultimi anni è andata crescendo l'attenzione dei confronti di elementi quali la sostenibilità ambientale, la riduzione delle emissioni (soprattutto di SO_x, NO_x e CO₂) e tutto ciò che concerne l'ambiente naturale e la sua preservazione. Al concetto di sostenibilità vengono correlati i cosiddetti “tre pilastri”, in grado di rendere compatibili lo sviluppo delle attività economiche e la salvaguardia dell'ambiente. Tali pilastri sono costituiti dalla sostenibilità ambientale, rivolta a garantire la disponibilità e la qualità delle risorse naturali, la sostenibilità sociale, per migliorare la qualità della vita, la sicurezza e i servizi per i cittadini e, infine, la sostenibilità economica, volta a garantire efficienza economica e reddito per le imprese.

Con specifico riferimento al settore oggetto di studio, infatti, come riconosciuto in letteratura (Breitling, 2010), le imprese hanno dovuto adeguare le proprie strategie e i relativi progetti di investimento anche al mutato contesto normativo e alle istanze espresse da una molteplicità di stakeholders in ragione delle problematiche connesse

alle esternalità negative riconducibili alla loro operatività. Infatti, le tematiche connesse al cambiamento climatico e all'inquinamento atmosferico, per esempio, hanno dovuto necessariamente guadagnare ampio spazio nella research agenda sia degli accademici sia dei practitioners del settore, soprattutto in virtù delle caratteristiche intrinseche del business, notoriamente energivoro e a forte impatto ambientale. Anche il management di numerose imprese operanti nel settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax ha compreso appieno la rilevanza delle tematiche connesse alla riduzione degli impatti ambientali e al perseguimento di una maggiore efficienza energetica e sostenibilità ambientale, al punto da definire una serie di obiettivi strategici rilevanti per il proprio successo e il posizionamento competitivo, ovvero:

- il miglioramento della reputazione e dell'immagine dell'azienda stessa nei confronti dei clienti, i quali sono diventati sempre più sensibili al “tema green” (cfr. Green Marketing);
- la necessità di ottemperare alle normative sempre più stringenti in tema di sostenibilità ambientale;
- la continua ricerca di nuove soluzioni tecnologiche di tipo green da adottare al fine di mitigare l'impatto delle operations sull'ambiente;
- le nuove opportunità di mercato connesse a clienti B2B e B2C sempre più attenti alle tematiche dell'ambiente e della sostenibilità (Wang, et al., 2016);
- il perseguimento di obiettivi corporate “verdi” e sostenibili mediante la realizzazione di strategie green.

Alla luce di quanto esposto, il presente elaborato si pone un duplice obiettivo. Innanzitutto, lo studio intende fornire una tassonomia esaustiva concernente gli impatti ambientali generati dal settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax. Il secondo obiettivo di ricerca, invece, consiste nella disamina delle principali opzioni di investimento adottabili dalle compagnie operanti nel comparto in esame al fine di perseguire green strategies volte alla riduzione delle esternalità negative.

2. Letteratura

Numerosi studi hanno cercato di approfondire il legame che esiste tra approccio strategico alla Corporate Social Responsibility (CSR) e performance aziendali nel settore del trasporto di passeggeri e merci via mare (si veda tra gli altri: (Knoepfel, 2001; Coady et al., 2013; Drobetz et al., 2014; etc). Secondo Knoepfel (2001) un'impresa che agisce in maniera socialmente responsabile consegue benefici nel medio lungo termine rispetto alla capacità di generazione di ricavi e conseguentemente con riferimento alla valutazione borsistica. In tale contesto, si assiste allo sviluppo di nuovi modelli socioeconomici, di business, e di governo, che richiedono alle imprese del settore di ricalibrare il proprio ruolo e la propria responsabilità verso la società civile e le future generazioni. Esse hanno di fronte a loro una nuova sfida di duplice portata: sul fronte interno sono chiamate ad adottare politiche di CSR (Coady et al., 2013), mentre sul fronte esterno a realizzare progetti e

piani di sviluppo che si configurino come Social Responsible Investments (SRI) (Drobotz et al., 2014). A causa delle crescenti pressioni da parte degli stakeholder, molte compagnie di navigazione hanno introdotto environmental management practices nelle loro strategie di sostenibilità (Alexandrou et al., 2022).

In aggiunta, risulta rilevante sottolineare come le imprese che promuovono la sostenibilità e si preoccupano del proprio impatto ambientale, sociale ed economico, ottengano risultati più affidabili e sicuri per i propri stakeholders di riferimento (Yuen et al., 2018; Belu e Manescu, 2013). Infatti, gli investitori tendono a concentrare i propri investimenti nei confronti di imprese con un elevato livello di sostenibilità, e tale dinamica risulta particolarmente rilevante per quei settori economici che necessitano di ingenti forme di finanziamento, tra cui il settore del trasporto marittimo. In questo contesto è fondamentale sottolineare come la decisione di investimento sia un momento cruciale della vita delle singole compagnie di navigazione (Scarsi, 2007). Infatti, anche in ragione della natura capital intensive del settore, eventuali errori o decisioni sbagliate di investimento comportano impatti particolarmente gravi e durevoli sulle compagnie.

Al fine di analizzare la sempre crescente rilevanza assunta dalle opzioni di investimento green a disposizione delle compagnie di navigazione operanti nel comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax funzionali al contenimento degli impatti ambientali e al perseguimento di strategia di crescita sostenibile, nell’ambito del presente elaborato viene condotta una systematic literature review riguardante 350 contributi accademici dedicati al tema.

Per farlo si è resa necessaria l'individuazione e la quantificazione degli impatti ambientali causati dal trasporto marittimo, in quanto costituiscono essenziali prerogative per poter selezionare e implementare green strategies & nuove soluzioni tecnologiche e gestionali innovative e sostenibili sotto il profilo ambientale. Nonostante la letteratura concernente la valutazione degli impatti ambientali nel trasporto marittimo risulti ad oggi scarsa e limitata (Andersson et al., 2016; Walker et al., 2019), sussistono invece molteplici studi che approfondiscono le conseguenze ambientali determinate dal settore dello shipping, tra cui eventi come fuoriuscite di petrolio (Neuparth et al., 2012), lo scarico di rifiuti e di plastica in mare (Li et al, 2016), il trasferimento di *non indigenous species* attraverso l'acqua di zavorra (Bax et al., 2003), l'utilizzo di pitture antifouling nocive (Konstantinou et Albanis, 2004; Yebra et al., 2004) e la produzione di inquinamento acustico subacqueo (UNEP, 2012; Peng et al., 2015). In questo modo, però, non è possibile addivenire a una valutazione complessiva dell'impatto ambientale generato dalle attività di trasporto marittimo (Jägerbrand et al., 2019).

Infatti, al fine di dare evidenza dei principali impatti ambientali causati specificatamente dal settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, il presente paper si impegna nel valutare l’adattamento della tassonomia adottata negli ultimi GRI (Global Reporting Initiative) Standards e nel CDP (ex Carbon Disclosure Project) per poi applicarla nello specifico ai settori oggetto di analisi. In particolare, mentre gli standard GRI rappresentano le linee guida per creare i rendiconti della performance sostenibile o sociale attraverso struttura modulare e interdipendente per creare al meglio i report in ambito economico, sociale e ambientale, il CDP è un'organizzazione non profit

internazionale che fornisce un sistema di *disclosure* volto ad aiutare il settore privato a comunicare in maniera trasparente le proprie strategie climatiche (tra cui le emissioni di gas a effetto serra, l'impiego di energia e i rischi e le opportunità derivanti dal cambiamento climatico) al fine di consentire il confronto tra aziende a livello internazionale.

La tassonomia proposta (Tabella 1) comprende un insieme eterogeneo di impatti ambientali correlati alle operations giornaliere realizzate dalle compagnie di navigazione operanti nel settore oggetto di analisi (Parola et al, 2020).

Tabella 1. Tassonomia degli impatti ambientali nel comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax.

<i>Impatto ambientale</i>	<i>Descrizione</i>
<i>Air pollutants</i>	SO _x , NO _x , PM e altre emissioni atmosferiche, emissioni derivanti dalla combustione dei rifiuti.
<i>Emissioni gas effetto serra</i>	Emissioni di GHG dirette e indirette; emissione di sostanze che causano una riduzione dello strato di ozono; emissioni di gas a effetto serra derivanti dall'acquisizione di elettricità in porto per l'alimentazione della nave in fase di stazionamento.
<i>Biodiversità</i>	Impatti diretti e indiretti su biodiversità, habitat protetti, ecc.; implicazioni negative sulle specie animali e vegetali marine e non; acque di zavorra.
<i>Energy</i>	Consumo di energia sia a bordo che in banchina.
<i>Light pollution</i>	Inquinamento luminoso sia in mare che in porto che danneggia anche le specie animali e gli altri esseri viventi.
<i>Noise pollution</i>	Emissioni sonore/acustiche, in particolare in porto e in prossimità di zone densamente popolate; emissioni sonore/acustiche sotto il livello del mare.
<i>Materials</i>	Impiego di materiali e risorse (e relativi imballaggi) non rinnovabili e non riciclati.
<i>Effluents and Waste</i>	Consistenti perdite di rifiuti; rifiuti pericolosi; incenerimento dei rifiuti a bordo.
<i>Water and Effluents</i>	Impatti derivanti dagli scarichi idrici; consumo di acqua; prelievo di acqua da diverse fonti; smaltimento delle acque di sentina, acque nere e acque grigie; impiego di acqua potabile.

Fonte: Parola et al, 2020.

3. Metodologia

Per condurre la systematic literature review citata, è stata seguita una procedura in tre fasi, nello specifico: (i) pianificazione, (ii) esecuzione, (iii) reporting, in linea con la metodologia proposta da Tranfield et al. (2002).

Per quanto riguarda la fase di pianificazione (i), si è proceduto a estrarre articoli pubblicati su riviste o conferenze internazionali dal database Scopus, il più grande database di letteratura accademica sottoposta a revisione inter pares, il quale

contiene riviste scientifiche, libri e atti di convegno, eseguendo diverse *queries*⁹ con l'impiego di parole chiave (keywords) coerenti con l'oggetto e le finalità della ricerca.

Per quanto riguarda invece la fase di esecuzione (ii), questa è stata divisa in tre ulteriori fasi: a) definizione dei criteri di selezione iniziali; b) raggruppamento delle pubblicazioni per pertinenza; c) analisi e sintesi.

a) Definizione dei criteri di selezione inizia: il database Scopus è stato esaminato attraverso una ricerca *ad hoc*, utilizzando diverse *keywords*: TITLE-ABS-KEY ("green" OR "sustainability" OR "environment") AND TITLE-ABS-KEY ("ferry" OR "ro-ro" OR "ro-pax" OR "roro" OR "ropax" OR "transport passenger") AND TITLE-ABS-KEY ("emission" OR "energy" OR "impact"). Come risultato sono stati estratti 350 articoli accademici, pubblicati in diverse riviste internazionali, tra cui Quality and Reliability Engineering International, International Journal of Hydrogen Energy, Journal of Cleaner Production, ecc.

b) Raggruppamento delle pubblicazioni per pertinenza: il dataset iniziale è stato poi esaminato per escludere i contributi scientifici troppo datati rispetto all'attuale quadro delle tecnologie green ad oggi disponibili o non pertinenti rispetto all'oggetto di studio. A tale scopo sono stati eliminati dal dataset gli articoli pubblicati prima del 2005, focalizzando l'analisi sui contributi più recenti e aggiornati rispetto alla repentina evoluzione del contesto di riferimento: in questa prima fase sono stati eliminati 54 contributi. Successivamente, l'abstract di ciascun contributo è stato analizzato e gli articoli non rilevanti rispetto alla tematica oggetto di studio sono stati eliminati. Inoltre, siccome per alcuni paper non è stato possibile identificare il testo completo, questi sono stati eliminati dal campione. Come risultato di questa operazione è stata ottenuta un'estrazione di 99 articoli potenzialmente rilevanti. Su questi ultimi è stata poi svolta un'analisi di dettaglio del testo integrale al fine di classificare ciascun manoscritto per categoria di argomento trattato, raggruppando i paper in "impatti", "drivers", "investments and technologies", "green strategies" o una combinazione dei precedenti. Ai fini del presente studio l'attenzione è stata posta esclusivamente sui 70 articoli riconducibili alla categoria "investments and technologies", i quali costituiscono il campione finale (cfr. Annex).

c) Analisi e sintesi: ciascun articolo appartenente al campione finale è stato esaminato secondo una serie di dimensioni analitiche tra cui:

- l'anno di pubblicazione,
- il source title,
- la tipologia di documento (articolo, conference paper, capitolo di libro, business article, note, review),
- il paper type, ovvero se il contributo presenta un'analisi di tipo qualitativo o quantitativo o entrambe, specificando il metodo utilizzato dagli autori, oppure se si tratta di un paper di literature review paper oppure ancora un conceptual paper;
- nell'ambito dei paper di natura empirica vengono inoltre approfonditi i principali risultati / main outcomes che sono stati raggiunti;

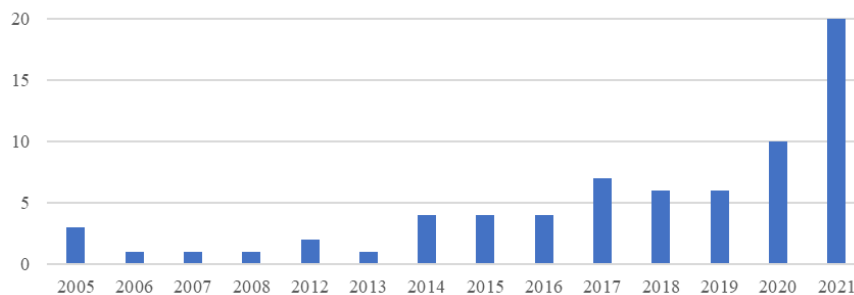
⁹ In informatica il termine query indica l'interrogazione di una base di dati da parte di un utente.

- la soluzione tecnologico-tecnica trattata nell’ambito dello studio (ballast water treatment system, ship propulsion system and alternative fuels, technical solutions for energy and environmental efficiency, ecc.),
- l’area geografica oggetto dello studio condotto da parte dell’autore, se presente.

Dopo aver analizzando a fondo il campione, la fase di reporting (iii) ha consentito di individuare e approfondire i principali risultati della revisione sistematica della letteratura eseguita sui documenti accademici analizzati. In particolare, viene presentata una discussione sui principali risultati relativi alle seguenti questioni: profili spaziali e temporali, prospettiva teorica adottata, aspetti metodologici, insights in merito alle diverse soluzioni tecnologiche e di investimento.

Per quanto riguarda la dimensione temporale delle pubblicazioni accademiche in merito alle soluzioni di carattere tecnico che le compagnie di navigazione operanti nel settore del Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax possono implementare al fine di perseguire gli obiettivi di contenimento degli impatti ambientali, la Figura 1 mostra la crescente importanza che questa tematica ha acquisito negli anni più recenti. Infatti, l’attenzione rivolta a questa tematica è cresciuta esponenzialmente negli ultimi cinque anni: 49 contributi sui 70 esaminati (70% del campione) sono stati pubblicati nel periodo 2017-2021 mentre, 20 articoli (41% del campione) soltanto nel 2021.

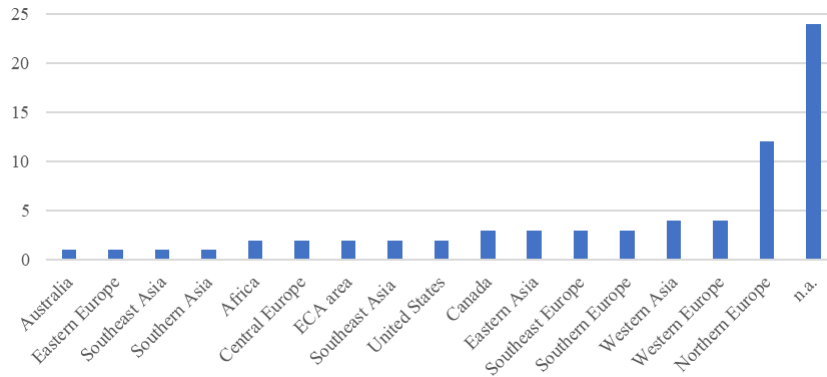
Figura 1. Anno di pubblicazione degli articoli facenti parte del campione finale.



Fonte: elaborazione degli Autori.

Con riferimento alla copertura geografica, una significativa parte degli articoli non prende in considerazione un’area geografica specifica (24 dei 70 articoli del campione). Tra i restanti articoli, l’area geografica maggiormente investigata è stata il Nord Europa con 12 articoli del dataset relativi all’area in oggetto. Questo risultato non sorprende in quanto il Nord Europa è notoriamente molto attento alle tematiche della sostenibilità nell’ambito del trasporto marittimo. Raggruppando in macrocategorie le aree geografiche, 25 articoli si focalizzano sull’analisi delle tecnologie green nel contesto europeo, 11 contributi riguardano l’Asia e soltanto 5 il continente americano. La distribuzione geografica degli articoli facenti parte del campione finale può essere apprezzata in Figura 2.

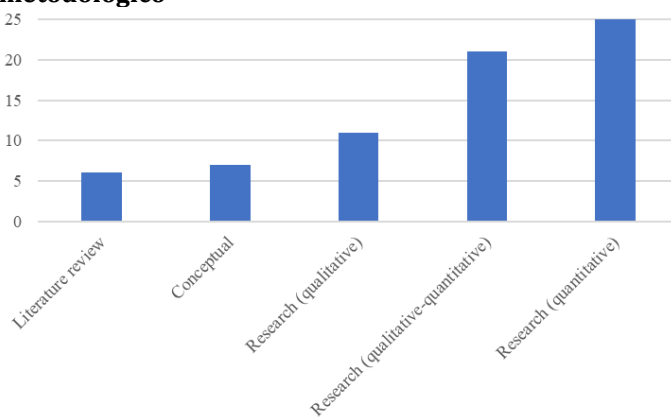
Figura 2. Distribuzione geografica degli articoli facenti parte del campione finale.



Fonte: elaborazione degli Autori.

Con riferimento alla tipologia di paper principalmente impiegata dagli studiosi e dagli accademici nell’ambito del campione, i contributi di ricerca predominano significativamente sulle altre tipologie (81,43% del campione), mentre gli studi di tipo concettuale e di literature review costituiscono una parte residuale dell’intero campione (rispettivamente il 10% e l’8,57%). Tra gli articoli di ricerca si ha una netta prevalenza di approcci *quantitativi* rispetto metodologie di tipo qualitativo (19,30% vs. 3,86%). Inoltre, in 21 contributi (36,84% del campione), gli Autori hanno impiegato metodi combinati di ricerca qualitativa e quantitativa per arricchire i loro studi e indagini (Figura 3). Nello specifico, nell’ambito del presente studio, sono stati esaminati i profili metodologici adottati da ciascun contributo scientifico e accademico ricompreso nel campione. In Tabella 2 è possibile identificarne lo specifico metodo di ricerca condotto nell’ambito dei contributi scientifici.

Figura 3. Distribuzione del campione di contributi scientifici per tipologia e approccio metodologico



Fonte: elaborazione degli Autori.

Tabella 2. Numero di contributi per metodo di ricerca utilizzato

<i>Metodo di ricerca impiegato</i>	<i>#</i>
Research (mixed qualitative-quantitative)	21
Research (quantitative: comparative analysis)	11
Research (qualitative: case study analysis)	9
Research (quantitative: case study analysis)	3
Research (quantitative: LCA analysis)	2
Research (quantitative: regression analysis)	2
Research (quantitative: feasibility analysis)	2
Research (quantitative: simulation analysis)	2
Research (qualitative: stochastic analysis)	1
Research (quantitative: failure mode, effects and criticality analysis - FMECA)	1
Research (quantitative: dynamic process simulation model)	1
Research (qualitative: comparative study)	1
Research (quantitative: data driven design approach)	1
Research (quantitative: calculation methodology)	1

Fonte: elaborazione degli Autori.

Attraverso l’analisi di letteratura condotta è stato possibile individuare i contributi scientifici aventi come oggetto lo studio e l’implementazione di soluzioni sostenibili di carattere tecnico-tecnologico e le green investment options nel settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax. In virtù della metanalisi condotta, alcune tecnologie e sistemi appaiono più risolutivi per le aziende del settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax in quanto consentono di ridurre l’impatto ambientale senza determinare stress sulle performance economico-finanziarie. Infatti, sulla base di quanto riportato nei contributi scientifici esaminati, il presente studio propone una categorizzazione delle soluzioni tecnologiche e di investimento di tipo green implementabili nel comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax. Tale categorizzazione consente di individuare e mappare le soluzioni tecniche per l’efficientamento energetico, i sistemi di propulsione ed impiego di combustibili alternativi, i ballast water treatment systems. In ragione dell’analisi dei contributi scientifici, si è notata una netta predominanza della sottocategoria “technical solutions for energy and environmental efficiency”, comprendenti le soluzioni tecniche per l’efficientamento energetico. Infatti, essa rappresenta il 60% del campione. A seguire la sottocategoria “ship propulsion system and alternative fuels”, comprendente i nuovi sistemi di propulsione e i carburanti alternativi, la quale rappresenta il 47.14% della categoria “investment and technologies” nel suo complesso. Nell’ambito del campione esaminato sussiste la presenza di sei studi (rappresentanti l’8.57% della categoria in esame) cui sono state assegnate entrambe le sottocategorie “ship propulsion system and alternative fuels” e “technical solutions for energy and environmental efficiency” in quanto tali contributi concentrano gli studi non su un solo tipo di tecnologie ma forniscono un’overview delle soluzioni di investimento di tipo green maggiormente adottabili nel comparto in esame (Tabella 3).

Tabella 3. Sottocategorie di tecnologie e investimenti trattate nel campione.

Tecnologie e opzioni di investimento	N° papers*
Technical solutions for energy and environmental efficiency	42
Ship propulsion system and alternative fuels	33
Ballast water treatment systems	1

* Per ogni studio può essere selezionata più di una sottocategoria.

Fonte: elaborazione degli Autori.

La soluzione di carattere tecnologico-tecnico che più risulta promettente per il futuro del comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, in ragione del consistente numero di investigazioni condotte negli studi esaminati, è costituita dagli interventi di elettrificazione, anche sfruttando tecnologie estremamente all'avanguardia e caratterizzate da un elevatissimo livello di innovazione quali le batterie, le fuel cells, i sistemi fotovoltaici e il Cold Ironing che permettono di ridurre drasticamente le emissioni nocive riconducibili alle operations della nave. Per quanto tali tecnologie risultino ancora in una fase embrionale e necessitino di un'ulteriore fase di ricerca e sviluppo per la piena applicazione al mondo dello shipping nel suo complesso, per il settore del Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, in virtù delle caratteristiche peculiari che lo contraddistinguono, rappresentano già oggi una soluzione concreta (Berntsen et al., 2021, Chou et al., 2021).

Citando alcune delle soluzioni di carattere tecnologico-tecnico maggiormente investigate nell'ambito degli studi esaminati, le batterie sono dei dispositivi che consentono di trasformare l'energia chimica in energia elettrica attraverso una reazione elettrochimica di ossidoriduzione (Buiutelaar, 2014). Prendendo in considerazione le batterie ricaricabili, quelle che ad oggi mostrano il maggiore potenziale di applicazione nel comparto del Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax risultano essere le batterie agli ioni di litio, in quanto possiedono specifiche tecniche¹⁰ particolarmente adatte all'applicazione in campo di propulsione marittima (Ruggiero, 2021). I principali limiti legati all'impiego di batterie agli ioni di litio riguardano l'elevato costo di acquisto (più di 600\$/kWh per batteria), nonché alcuni problemi di sicurezza causati dall'instabilità degli elettrodi quando esposti ad elevate temperature (Mutarraf et al., 2018). L'impiego di batterie come fonte di energia risulta già oggi una soluzione concretamente implementabile dalle compagnie di navigazione operanti nel comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax (Rafiei et al., 2021). Sotto questo profilo, esempi di notevole rilevanza riguardano la compagnia francese Brittany Ferries, la quale ha recentemente ordinato una nuova nave a propulsione ibrida, alimentata a batteria e a GNL, che consentirà una propulsione a emissioni ridotte sia durante lo stazionamento in porto che durante la navigazione, e il Gruppo Grimaldi che, con l'installazione di batterie al litio a bordo delle navi gemelle Cruise

¹⁰ Un nominale di voltaggio di ciascuna cella pari a circa 3,7 volt, contro i 1,2 volt delle batterie NiCd, una maggiore energia specifica e una maggiore densità energetica rispetto alle batterie precedentemente illustrate, un numero di cicli di vita pari a circa 5.000 e un'efficienza particolarmente alta, che varia tra il 95% e il 98%.

Roma e Cruise Barcelona ha conseguito, nel 2020, una riduzione delle emissioni di CO₂ nell’atmosfera portuale di più di 1.000 tonnellate.

Per quanto l’impiego di batterie rappresenti una soluzione particolarmente interessante sotto il profilo della riduzione dei consumi della nave e delle emissioni nocive riconducibili alla stessa, allo stato attuale il loro utilizzo come unica fonte di energia risulta essere piuttosto complicato, in quanto si determinerebbe una perdita dell’efficienza complessiva della nave in ragione del peso non trascurabile delle batterie, e sarebbe altresì difficile garantire la ricarica completa delle stesse durante le soste in porto (Sæther and Moe, 2021). Pertanto, risulta fondamentale accompagnare il loro utilizzo ad altre tecnologie capaci di soddisfare il fabbisogno energetico della nave a fronte di minori impatti ambientali (Koumentakos, 2019). Sotto questo profilo, i contributi esaminati hanno evidenziato un diffuso utilizzo congiunto delle batterie e delle celle a combustibile, conosciute come fuel cells (Banaei et al., 2020). Si tratta di celle elettrochimiche in grado di convertire l’energia chimica di un carburante (spesso l’idrogeno) e di un agente ossidante (spesso l’ossigeno) in energia elettrica, attraverso reazioni di ossidoriduzione. Tra le differenti tipologie fuel cells, trovano particolare rilevanza le Proton-Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) in quanto risultano la tipologia maggiormente indicata per la propulsione delle navi appartenenti al settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax (Letafat et al., 2020), in quanto possono operare a basse temperature senza perdita elettrolitica, sono caratterizzate da un ciclo di vita piuttosto lungo, presentano un’energia specifica significativamente alta e sono in grado di offrire fino a 500kw di potenza (Wu and Xie, 2021). Entro la fine del 2022 diventerà operativa la più grande Ferry al mondo alimentata a idrogeno liquido mediante l’impiego di fuel cells di tipo Proton-Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), ovvero l’unità MF Hyfra della compagnia di navigazione Norled A/S. Più in particolare, la nave potrà trasportare fino a 300 passeggeri e 80 auto e sarà alimentata da due moduli fuel cell da 200 kW ciascuno forniti dalla società Ballard Power Systems Inc.

Per le compagnie operanti nel settore del Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax una delle soluzioni più promettenti per conseguire un’effettiva riduzione dei propri consumi e, di conseguenza, delle emissioni di sostanze inquinanti, consiste nel cosiddetto Cold Ironing (Mutarraf et al., 2020), tecnologia innovativa fortemente investigata nei contributi esaminati nell’ambito della systematic literature review condotta. Il cold ironing permette di alimentare la nave ferma in porto attraverso energia elettrica prodotta a terra tramite l’utilizzo di un cavo elettrico, consentendo il prosieguo delle operazioni di carico/scarico della nave e mantenendo attivi a bordo tutti i servizi per i passeggeri nonostante la nave si trovi in ormeggio con i motori spenti (Letafat et al., 2020). Attraverso l’utilizzo del Cold Ironing è possibile, durante la sosta della nave in porto, spegnere i motori principali impiegando soltanto i motori ausiliari per fornire alla nave l’elettricità necessaria all’illuminazione, al riscaldamento, all’acqua calda etc. In questo modo è possibile ridurre il consumo di carburante, la produzione di fumi di scarico nonché di rumori e vibrazioni dannosi non solo per l’ambiente, ma anche per la salute dei lavoratori portuali e degli abitanti delle zone limitrofe al porto (Zis, 2019). In Europa, una delle prime infrastrutture necessarie per l’impiego del Cold Ironing è stata installata nel porto di Gothenburg (Svezia), dove due terminal dedicati

all'attracco di navi Ferry e Ro-Ro sono stati equipaggiati con le connessioni elettriche necessarie ad effettuare le operazioni di Cold Ironing. L'Autorità Portuale del porto di Gothenburg riferisce una riduzione di 80 tonnellate metriche di NOx, 60 tonnellate metriche di SOx e 2 tonnellate metriche di PM all'anno per le navi che utilizzano il Cold Ironing messo a disposizione dal porto (Zis, 2019). Con specifico riferimento all'Italia, il Fondo Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) ha destinato 700 milioni di euro a investimenti legati al Cold Ironing sul territorio nazionale. In particolare, tali risolve finanziarie consentiranno l'introduzione del Cold Ironing in 34 porti italiani, di cui 32 appartenenti alla rete TEN-T, tra i quali si annoverano il Porto di La Spezia, il Porto di Civitavecchia, il Porto di Napoli, il Porto di Salerno, il Porto di Taranto, il Porto di Ancona, il Porto di Ravenna, il Porto di Venezia e il Porto di Trieste (PNRR, 2021). In tal senso, appare opportuno specificare come il Porto di Genova si sia configurato come precursore, avendo già provveduto all'elettrificazione di parte delle infrastrutture e avendo altresì predisposto appositi piani per la completa elettrificazione dei terminal passeggeri e merci.

Con riferimento alla propulsione ad opera di fonti di energia rinnovabili, soluzione interessante per il settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, l'esame della letteratura evidenzia numerose investigazioni sull'impiego di forme di propulsione eolica e solare (Sargada et al., 2017). Per quanto attiene l'impiego di energia eolica come fonte di propulsione marina, sono stati realizzati numerosi studi aventi per oggetto l'elaborazione di nuovi metodi e tecnologie per l'utilizzo della stessa nel comparto in esame (Aboud et al., 2021). Sotto questo profilo, particolarmente interessante lo studio condotto dal Transportation Sustainability Research Center dell'Università di Berkeley, che ha provveduto all'installazione di una vela alare in fibra di carbonio su un traghetto di 14 metri operante nella baia di San Francisco: in seguito al monitoraggio continuativo dei dati per tre mesi, è emerso che l'impiego di questa tecnologia può garantire una riduzione dei consumi di carburante che varia dal 25 al 40% a seconda delle condizioni del vento, con una riduzione direttamente proporzionale dei GHG e degli inquinanti atmosferici emessi nonché dei costi per il carburante (Lipman e Lidicker, 2019). Con riferimento invece all'impiego dell'energia solare come fonte di propulsione, la tecnologia ad oggi più matura è rappresentata dai sistemi fotovoltaici, impianti elettrici costituiti essenzialmente dall'assemblaggio di più moduli fotovoltaici che sfruttano l'energia solare per produrre energia elettrica (Faturachman et al., 2021). La produzione di energia mediante i pannelli fotovoltaici è completamente priva di emissioni inquinanti sia sotto il profilo ambientale (Wang et al., 2019) sia sotto il profilo acustico, pertanto è considerata “environmentally friendly”. Allo stato attuale, vi sono due principali modalità di integrazione dei sistemi fotovoltaici nella rete elettrica della nave, ovvero “off-grid” e “grid-connected” (Wang, 2021). Il sistema fotovoltaico “off-grid” non è direttamente connesso alla rete elettrica della nave in quanto, dopo aver catturato le radiazioni solari, trasforma direttamente l'energia solare in energia elettrica che viene conservata in dispositivi di accumulo di energia, generalmente rappresentati da batterie agli ioni di litio. Al contrario, il sistema fotovoltaico “grid-connected” converte l'alimentazione in corrente continua (DC) generata dal sistema in alimentazione in corrente alternata, la quale viene direttamente integrata nella rete elettrica della nave (Wang, 2021).

Dalla systematic literature review condotta nell’ambito del presente contributo è possibile affermare che numerosi studiosi hanno investigato la ricerca di carburanti alternativi maggiormente sostenibili, sia sotto il profilo ambientale sia sotto il profilo economico. Tra questi il Gas Naturale Liquefatto, o Liquefied Natural Gas (LNG), che si configura oggi come la migliore alternativa rispetto al Fuel Oil. Sotto questo profilo, la produzione globale di LNG sta crescendo ad un ritmo del 2,1% all’anno, mentre il suo consumo cresce ad un ritmo del 1,7% (Maricruz, 2019), ed è quindi in grado di soddisfare la domanda di carburante per il trasporto marittimo almeno per i prossimi decenni. Dal punto di vista ambientale, l’impiego di LNG comporta una riduzione del 100% delle emissioni di SOx in quanto l’LNG non contiene zolfo, dell’80-85% delle emissioni di NOx, del 95% delle emissioni di PM e del 20-30% delle emissioni di CO₂ rispetto all’HFO/MDO (Burel et al., 2013). Numerose evidenze empiriche dimostrano inoltre che l’LNG non solo porta a una riduzione delle emissioni atmosferiche, ma permette anche una riduzione dei costi operativi della nave nell’ordine del 35% (Burel et al., 2013). Nonostante l’LNG rappresenti oggi una soluzione particolarmente interessante per le compagnie operanti nel settore, viene considerato un carburante di transizione in quanto la movimentazione e la combustione dello stesso comportano il rilascio di metano (*methane slip*¹¹) (Anderson et al., 2015). Numerose compagnie attive nel comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax hanno effettuato cospicui investimenti per il refitting delle navi della propria flotta o per l’acquisto di navi nuove alimentate a LNG. A titolo esemplificativo, sono recentemente state ordinate dalla compagnia Stena RoRo tre Ro-Pax dotate di un sistema di propulsione ibrido alimentato da LNG, due delle quali saranno altresì dotte di batterie dalla capacità di 11.5 MWh, che saranno noleggiate alla compagnia di navigazione Brittany Ferries. Anch’essi intensamente investigati nei contributi esaminati, i biocarburanti, o biofuels, rappresentano un’alternativa al carburante tradizionale in quanto sono prodotti a partire da biomasse quali piante, alghe o rifiuti animali e, conseguentemente, permettono una consistente riduzione delle emissioni di NOx, SOx e GHG (Burel et al., 2013). Tutti i biocarburanti contengono quantità trascurabili di zolfo e producono emissioni di NOx e PM consistentemente inferiori rispetto al MGO (Wei et al., 2018). Inoltre, i biocarburanti sono biodegradabili, caratteristica che rappresenta un grandissimo vantaggio rispetto ai combustibili fossili per quanto riguarda gli sversamenti accidentali. Inoltre, in alcuni casi, essi possono essere utilizzati come “drop in” fuel, richiedendo limitate alterazioni al motore già in uso e di conseguenza bassi costi di conversione (IEA, 2017). Mentre i biocarburanti di prima generazione (straight vegetable oil, hydrotreated vegetable oil, fatty acid methyl ester, bioetanolo, ecc.) possono potenzialmente essere prodotti in grandi quantità¹², ma l’utilizzo di questi è limitato da convenzioni internazionali in quanto la loro produzione rappresenta una minaccia all’approvvigionamento alimentare e alla biodiversità, i

¹¹ Si tratta di un gas a effetto serra con un potenziale di riscaldamento globale 28 volte superiore alla CO₂ in un periodo di 100 anni e 84 volte superiore in un periodo di 20 anni; pertanto, il rilascio di metano nell’atmosfera può diminuire i vantaggi ambientali complessivamente apportati dall’utilizzo dell’LNG.

¹² Anche se la relativa produzione minaccia non solo la biodiversità ma anche l’approvvigionamento alimentare di una popolazione che cresce sempre di più.

biocarburanti avanzati, ossia quelli ottenuti tramite la lavorazione di materiali (quali legno, colture, materiali di scarto) mostrano un potenziale di riduzione delle emissioni superiore senza presentare le problematiche riscontrate per i biocarburanti di prima generazione¹³. Infatti, i biocarburanti avanzati che più risultano adatti all’impiego nel settore dello shipping sono il Fischer-Tropsch diesel (FT-Diesel), il pyrolysis oil, il Ligno-Cellulosic Ethanol (LC Ethanol), il biometanolo e il bio-LNG (Balcombe et al., 2019). La grande barriera all’utilizzo dei biocarburanti riguarda il differenziale di prezzo fra questi ultimi e i carburanti tradizionalmente impiegati, quali l’HFO e il MDO. Meno investigato nei contributi esaminati risulta, invece, il metanolo che, nonostante rappresenti un’interessante soluzione per la riduzione dell’impatto ambientale negativo riconducibile alle operations delle navi (Cucinotta et al., 2021), osserva, nell’ambito dell’intera sua supply chain, consistenti emissioni generate. Al contrario, il suo impiego come fonte di propulsione consentirebbe una sostanziale riduzione delle emissioni di CO₂ nonché degli altri inquinanti atmosferici rispetto ai carburanti tradizionalmente impiegati con specifico riferimento all’HFO e al MDO. Gli studi condotti in letteratura analizzano le emissioni nocive generate lungo tutto il ciclo di vita del metanolo, consentendo di affermare che, nonostante la riduzione delle emissioni connesse all’espletamento delle operations della nave rispetto a quelle emissioni generate con l’impiego di HFO o MDO, le emissioni prodotte durante l’intero ciclo di vita del metanolo risultano essere superiori del 10% rispetto all’HFO o al MDO (Balcombe et al., 2019).

Un carburante alternativo che risulta essere particolarmente investigato da studiosi e ricercatori per le sue applicazioni in campo marittimo è l’idrogeno (H₂) (Tinsley, 2021), in ragione della sua capacità di azzerare le emissioni di anidride carbonica (CO₂) e di ossidi di zolfo (SO_x) connesse alla propulsione della nave e di condurre ad una notevole riduzione delle quantità di ossidi di azoto (NO_x) e di particolato (PM) (Alternative Fuels Data Center, 2022) emesse nell’atmosfera. Entrando più nello specifico, l’idrogeno può essere sfruttato come carburante attraverso il ricorso a diverse tecnologie, quali le già citate fuel cells o attraverso motori a combustione a idrogeno come sostituto del tradizionale HFO (Lindstad et al., 2015). La produzione dell’idrogeno può avvenire a partire dal Gas Naturale attraverso la gassificazione del carbone che parimenti genera consistenti emissioni di CO₂, oppure attraverso metodi più sostenibili quali l’elettrolisi dell’acqua (Koroneos et al., 2004).

Tra i contributi scientifici esaminati con focus sul comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, numerosi di essi hanno investigato l’adozione di nuove tecnologie e strumenti innovativi che contribuiscono all’efficientamento energetico e alla riduzione dei consumi (Ang et al., 2015). Tra le soluzioni tecniche rivolte all’efficientamento energetico e alla riduzione dell’impatto ambientale nell’ambito del trasporto marittimo, ovvero i sistemi che consentono una notevole riduzione dei consumi e delle emissioni, in particolare di CO₂, ne sono state studiate alcune (Kunicka and Litwin, 2019). Tra tali strumenti, in letteratura vengono frequentemente citati l’Air

¹³ Nonostante la produzione di biocarburanti di seconda generazione avvenga utilizzando solamente terreni degradati o biomassa residua, senza quindi danneggiare terreni agricoli e foreste, la maggior parte di essi può ancora essere utilizzata in quanto sono ancora in fase di ricerca e sviluppo.

Lubrication System, conosciuto anche come Bubble Technology, ovvero un sistema innovativo che permette di ridurre la resistenza tra lo scafo della nave e l'acqua attraverso la generazione di bolle d'aria con un conseguente aumento dell'idrodinamicità che comporta un effettivo risparmio energetico e una conseguente riduzione dei costi operativi nonché delle emissioni inquinanti.

Sempre con riguardo al miglioramento dell'efficienza energetica della nave, molteplici studi esaminati nell'ambito del presente studio hanno condotto ricerche con riferimento alle pitture cosiddette “anti-fouling”, particolari vernici atte a contenere l'accumulo di biofouling sulle superfici della nave (microrganismi, piante alghe o animali sulle superfici della nave a contatto con l'acqua) che risulta responsabile di un significativo abbassamento delle performance idrodinamiche della nave (Guardiola et al., 2012). Sotto questo profilo, numerosi studi hanno dimostrato che l'accumulo di biofouling può portare ad un incremento dell'attrito della nave con l'acqua in misura pari al 40% (Dahlbaj et al., 2010), il che determina la necessità di utilizzare più energia per spingere la nave nell'acqua, con un conseguente aumento del consumo di carburante e quindi dei costi operativi nonché delle emissioni. Per molti anni la sostanza più usata come biocida nelle pitture anti-fouling è stata il tributilstagno, ma a causa della sua elevata tossicità per l'ecosistema marino il suo utilizzo è stato proibito dall'IMO tramite l'International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships e, a livello comunitario, tramite la Regulation 782/2003. L'industria dello shipping ha dunque provveduto, di concerto con l'intera comunità scientifica, allo sviluppo di pitture anti-fouling alternative che potessero essere meno tossiche ma altrettanto efficaci (Silva et al., 2021): attualmente le più utilizzate comprendono composti di rame, come l'ossido rameoso o il tiocianato di rame, e un biocida booster (Guardiola et al., 2012).

Le green investment options riconducibili alle categorie di Exhaust Gas Cleaning Systems (EGCS or scrubber) e di Ballast Water Treatment System (BWTS) sono state investigate, nell'ambito della letteratura esaminata, in modo residuale rispetto alle altre tecnologie. Con riferimento agli scrubber, tali strumenti sono investigati meno ampiamente all'interno del campione soprattutto a causa dell'estrema diffusione di tali strumenti a bordo di navi Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, soprattutto poiché condizionate dall'IMO Low Sulphur Cap (Jang et al., 2020). Al contrario, le contenute investigazioni circa i BWTS sono giustificabili nel settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax poiché tale soluzione tecnica viene impiegata principalmente per le petroliere durante i relativi viaggi in ballast. Gli Exhaust Gas Cleaning Systems, più comunemente chiamati scrubber, sono sistemi di depurazione che permettono di rimuovere gli ossidi di zolfo e il particolato contenuti nei gas di scarico dei motori e delle caldaie delle navi, con una conseguente riduzione delle emissioni in atmosfera di queste sostanze (Philipp, 2020). Attraverso l'impiego di questa tecnologia, è possibile conformarsi con la riduzione delle emissioni di zolfo a 0,5% prevista dalla normativa IMO 2020 pur continuando ad usare l'HFO, con conseguenti risparmi in termini di costo del bunker, in quanto non devono essere utilizzati carburanti a basso contenuto di zolfo come il VLSFO o l'ULSFO offerti al mercato ad un prezzo nettamente maggiore (Jang et al., 2020). Come accennato in precedenza, sono numerose le compagnie operanti nel comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax che hanno installato sistemi di depurazione dei gas di scarico sulle

proprie navi, e tra queste si annoverano anche compagnie leader del settore quali Stena Line, Grandi Navi Veloci, Onorato Armatori e il Gruppo Grimaldi.

Come riportato in Annex, nell’ambito del presente studio sono stati esaminati anche i principali risultati conseguiti nell’ambito delle diverse indagini scientifiche oggetto di approfondimento (*main outcomes*) raggiunti dai paper di natura empirica. Lo studio congiunto dei contributi osservati nell’ambito della presente ricerca ha consentito di fornire un’innovativa chiave di lettura degli stessi che si è rivelata considerevolmente esaustiva al fine di comprendere nel dettaglio i *main outcomes* e le *implications* riconducibili alle diverse tipologie di green investment options.

4. Risultati

L’analisi condotta nell’ambito del presente paper offre una panoramica dei principali drivers che hanno dato avvio al processo di trasformazione “green” che sta interessando l’intera shipping industry con particolare attenzione al business del Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, dando anche evidenza dei principali impatti ambientali generati da tale comparto. Attraverso una systematic literature review condotta su molteplici contributi accademici dedicati al tema delle tecnologie e delle opzioni di investimento green nel settore oggetto di approfondimento è stato poi possibile identificare e analizzare nel dettaglio le alternative ad oggi tecnicamente ed economicamente disponibili per i principali attori del settore, al fine di ottemperare alle normative vigenti nonché di perseguire innovative strategie green che prescindono i limiti imposti dalla legge e sono al contrario guidate da logiche etiche e di mercato.

Come riportato in Annex, nell’ambito del presente studio sono stati esaminati anche i principali risultati conseguiti nell’ambito delle diverse indagini scientifiche oggetto di approfondimento (*main outcomes*) raggiunti dai paper di natura empirica. Circa il 60% dei contributi empirici ha condotto i relativi autori a valutazioni conclusive estremamente concrete e quantificabili, evidenziando gli impatti di una o più tra le tecnologie green puntualmente esaminate; particolare attenzione sotto questo profilo hanno ricevuto i tempi dei costi operativi, delle emissioni e dei consumi di bunker. Circa il 12% dei contributi in esame concentra le proprie ricerche sui principali insights utili al confronto tra differenti tecnologie trattate, al fine di selezionare quella più adatta al caso di riferimento. Inoltre, il 9% degli articoli di natura empirica produce come risultato un esaustivo elenco degli elementi in grado di influenzare lo sviluppo della tecnologia esaminata nell’ambito dello studio. Altrettanti paper si concentrano, invece, sull’ottimizzazione dell’impiego delle tecnologie adottate nell’ambito del caso in esame.

Attraverso lo studio congiunto dei contributi oggetto di analisi condotto nell’ambito della presente ricerca è stato possibile fornire un’innovativa chiave di lettura degli stessi che si è rivelata considerevolmente esaustiva al fine di comprendere nel dettaglio i *main outcomes* e le *implications* riconducibili alle diverse tipologie di green investment options.

5. Discussione

Alla luce delle analisi condotte, emerge come le soluzioni di carattere tecnologico-tecnico che risultano maggiormente interessanti per perseguire strategie green volte alla riduzione delle esternalità negative riconducibili alle compagnie operanti nel comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax riguardano l’elettrificazione di navi e banchine, con particolare riferimento alle soluzioni riguardanti l’impiego di batterie, di fuel cells e del Cold Ironing. Altresì emerge il chiaro potenziale delle soluzioni tecniche attinenti alla propulsione marina da fonti di energia rinnovabile, con particolare riferimento all’energia eolica e all’energia solare, che tuttavia richiedono allo stato attuale ancora non trascurabili investimenti in Ricerca & Sviluppo. Al contrario, lo state of the play dimostra come, ad oggi, l’adozione di forme di propulsione navale che faccia ricorso a carburanti alternativi (quali LNG, biocarburanti, metanolo e idrogeno) costituiscano una valida alternativa immediatamente disponibile sul mercato atta a contemperare le esigenze di concretezza e intervento celere per rendere più green le operations aziendali, dispiegando effetti positivi anche sulla brand identity e sull’impronta sostenibile delle imprese del settore. Sempre focalizzandosi sul breve termine, assumono notevole rilevanza anche le soluzioni tecniche per l’efficientamento energetico, con particolare riguardo ai sistemi di Hull Air Lubrication, ai nuovi design dei bulbi e dello scafo e alle pitture anti-fouling, gli Exhaust Gas Cleaning Systems e i Ballast Water Treatment Systems.

È possibile affermare che in ragione della normativa internazionale e comunitaria sempre più stringente, e delle ambiziose green strategies che le compagnie operanti nel comparto oggetto di analisi del presente paper stanno perseguendo, il volume degli investimenti green effettuati dalle compagnie di navigazione del comparto Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax nonché il numero e il livello di maturità delle tecnologie sottostanti tali investimenti sono cresciuti notevolmente negli ultimi anni e sono destinati a crescere sempre di più in futuro, soprattutto considerando i recenti orientamenti a livello europeo, le specifiche condizioni della concorrenza e i nuovi needs espressi dal mercato.

Le analisi condotte sugli studi e i contributi dedicati al tema, nel complesso, fanno emergere la necessità per il management delle compagnie di shipping che operano nel settore Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax di pianificare in modo ragionato e programmatico il progressivo passaggio dall’impiego di asset tradizionali a flotte maggiormente green oriented, e quindi sostenibili, ragionando in logica di portafoglio di investimenti che costituiscano un mix di soluzioni e tecnologie anche molto variegata e consentano di fissare obiettivi strategici e orizzonti temporali di investimento sia di breve che di lungo termine, al fine di coniugare le diverse esigenze operative e di business che contraddistinguono le suddette opzioni green.

6. Conclusioni

Il presente studio contribuisce alla letteratura esistente applicando un approccio tecnico e pragmatico al fine di colmare alcune lacune in merito al ruolo delle strategie

“green” all’interno del comparto del Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax. L’analisi condotta in merito alle soluzioni di carattere tecnologico-tecnico più promettenti per l’implementazione ad opera delle compagnie di navigazione operanti in tale comparto, oltre a fornire preziosi spunti per managers e decisori politici, fornisce utili insights per l’aumento dei livelli di efficienza energetica afferenti alle operations delle navi Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, contribuendo dunque al miglioramento dei rapporti che intercorrono tra i porti, le compagnie di navigazione e le comunità locali.

Attraverso l’analisi approfondita delle diverse opzioni di investimento a disposizione delle compagnie operanti nel comparto Ferry-Ro-Ro e Ro-Pax al fine di perseguire green strategies volte alla riduzione delle esternalità negative, il presente studio fornisce altresì utili insights per l’identificazione di specifici KPIs e indici di misurazione delle performance ambientali in grado di consentire comparazioni maggiormente omogenee sia a livello interno sia a livello esterno. Tali indicatori, raggruppati su una dashboard specifica, permetterebbero ai diversi stakeholders di comprendere in che misura una determinata opzione di investimento contribuisce al raggiungimento degli obiettivi di corporate e quelli di sostenibilità dell’impresa nel suo complesso. In questo modo, per ciascuna delle soluzioni tecnologico-tecniche implementabili dalle imprese operanti nel comparto del Ferry, Ro-Ro e Ro-Pax, sarebbe possibile considerare congiuntamente le dimensioni economico-finanziarie e le dimensioni ambientali, permettendo dunque al management aziendale di prendere decisioni più consapevoli e, quindi, più sostenibili.

Bibliografia

- Albrecht, J. N. (2013). Networking for sustainable tourism—towards a research agenda. *Journal Of Sustainable Tourism*, 21(5), 639-657.
- Alexandrou, S. E., Panayides, P. M., Tsouknidis, D. A., & Alexandrou, A. E. (2022). Green supply chain management strategy and financial performance in the shipping industry. *Maritime Policy & Management*, 49(3), 376-395.
- Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., Skatvedt, L., Speirs, J., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management*, 182, 72-88.
- Banaei, M., Rafiei, M., Boudjadar, J., & Khooban, M. H. (2020). A comparative analysis of optimal operation scenarios in hybrid emission-free ferry ships. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 6(1), 318-333.
- Bax, N., Williamson, A., Aguero, M., Gonzalez, E., & Geeves, W. (2003). Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. *Marine Policy*, 27(4), 313-323.
- Belu, C., & Manescu, C. (2013). Strategic corporate social responsibility and economic performance. *Applied Economics*, 45(19), 2751-2764.
- Breitling, U., & Leader, G. T. (2010, August). Sustainable shipping and port development. In *The Fifth Regional Environmental Sustainable Transport Forum in Asia* (pp. 1-9).

- Burel, F., Taccani, R., & Zuliani, N. (2013). Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion. *Energy*, 57, 412-420.
- Cepeda, F. S., Maricruz, A., Pereira, N. N., Kahn, S., & Caprace, J. D. (2019). A review of the use of LNG versus HFO in maritime industry. *Marine Systems & Ocean Technology*, 14(2), 75-84.
- Coady, L., Lister, J., Strandberg, C., & Ota, Y. (2013). The role of corporate social responsibility (CSR) in the international shipping sector. *A phase*, 2.
- Guardiola, F. A., Cuesta, A., Meseguer, J., & Esteban, M. A. (2012). Risks of using antifouling biocides in aquaculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(2), 1541-1560.
- Drobetz, W., Merikas, A., Merika, A., & Tsionas, M. G. (2014). Corporate social responsibility disclosure: The case of international shipping. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 71, 18-44.
- Jägerbrand, A. K., Brutemark, A., Sveden, J. B., & Gren, M. (2019). A review on the environmental impacts of shipping on aquatic and nearshore ecosystems. *Science of the Total Environment*, 695, 133637.
- Knoepfel, I. (2001). Dow Jones Sustainability Group Index: a global benchmark for corporate sustainability. *Corporate Environmental Strategy*, 8(1), 6-15.
- Konstantinou, I. K., & Albanis, T. A. (2004). Worldwide occurrence and effects of antifouling paint booster biocides in the aquatic environment: a review. *Environment International*, 30(2), 235-248.
- Koroneos, C., Dompros, A., Roumbas, G., & Moussiopoulos, N. (2004). Life cycle assessment of hydrogen fuel production processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(14), 1443-1450.
- Letafat, A., Rafiei, M., Ardeshiri, M., Sheikh, M., Banaei, M., Boudjadar, J., & Khooban, M. H. (2020). An efficient and cost-effective power scheduling in zero-emission ferry ships. *Complexity*, 2020.
- LI, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the total environment*, 566, 333-349.
- Lindstad, H., Verbeek, R., Blok, M., Van Zyl, S., Hübscher, A., Kramer, H., ... & Boonman, H. (2015). *GHG emission reduction potential of eu-related maritime transport and on its impacts. (Ref: CLIMA. B. 3/ETU/2013/0015)*. Tech. rep.
- Lipman, T. E., & Lidicker, J. (2019). Wind-assist marine demonstration for ferries: prospects for saving diesel fuel with wind power. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 22(1), 68-83.
- Mutarraf, M. U., Terriche, Y., Niazi, K. A. K., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2018). Energy storage systems for shipboard microgrids—A review. *Energies*, 11(12), 3492.
- Neuparth, T., Moreira, S. M., Santos, M. M., & Reis-Henriques, M. A. (2012). Review of oil and HNS accidental spills in Europe: identifying major environmental monitoring gaps and drawing priorities. *Marine Pollution Bulletin*, 64(6), 1085-1095.
- Pace, L. A. (2016). How do tourism firms innovate for sustainable energy consumption? A capabilities perspective on the adoption of energy efficiency in

- tourism accommodation establishments. *Journal of Cleaner Production*, 111, 409-420.
- Scarsi, R. (2007). The bulk shipping business: market cycles and shipowners' biases. *Maritime Policy & Management*, 34(6), 577-590.
- Serra, P., & Fancello, G. (2020). Towards the IMO's GHG goals: A critical overview of the perspectives and challenges of the main options for decarbonizing international shipping. *Sustainability*, 12(8), 3220.
- Silva, E. R., Tulcidas, A. V., Ferreira, O., Bayón, R., Igartua, A., Mendoza, G., ... & Bordado, J. C. (2021). Assessment of the environmental compatibility and antifouling performance of an innovative biocidal and foul-release multifunctional marine coating. *Environmental Research*, 198, 111219.
- Tsolaki, E., & Diamadopoulou, E. (2010). Technologies for ballast water treatment: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85(1), 19-32.
- Wan, Z., El Makhoulfi, A., Chen, Y., & Tang, J. (2018). Decarbonizing the international shipping industry: Solutions and policy recommendations. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 428-435.
- Wang, K., Wang, S., Zhen, L., & Qu, X. (2016). Cruise shipping review: operations planning and research opportunities. *Maritime Business Review*.
- Wang, S. (2021, March). Research on Marine Photovoltaic Grid-connected System Based on Super Capacitor. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 680, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- Wei, L., Cheng, R., Mao, H., Geng, P., Zhang, Y., & You, K. (2018). Combustion process and NOx emissions of a marine auxiliary diesel engine fuelled with waste cooking oil biodiesel blends. *Energy*, 144, 73-80.
- Wu, J., & Xie, J. (2021, March). The assessment of fuel cell for a 100-seat ferry power application. In *2021 3rd Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)* (pp. 867-873). IEEE.
- Yebra, D. M., Kiil, S., & Dam-Johansen, K. (2004). Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. *Progress In Organic Coatings*, 50(2), 75-104.
- Yuen, K. F., Thai, V. V., Wong, Y. D., & Wang, X. (2018). Interaction impacts of corporate social responsibility and service quality on shipping firms' performance. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, 397-409.
- Zis, T. P. (2019). Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 82-95.

Annex – Literature review

<i>N</i>	<i>Authors</i>	<i>Title</i>	<i>Year</i>	<i>Document Type</i>	<i>Typology</i>	<i>Outcomes related to empirical studies</i>
1	Aboud L., Massoud O.M., Tawfik A.A.	Zero Emissions Ferries Utilizing PV/ Shore Connection Hybrid Power System	2021	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	PV system as a long-term investment and high-quality specificities
2	Aijjou A., Bahatti L., Raihani A.	Influence of keel coolers use on ship energy efficiency: A case study and evaluation	2018	Conference Paper	Conceptual	n.a.
3	Alcaide J.I., García Llave R., Piniella F., Querol A.	New passenger maritime transport system for gulf of Cadiz (ESPOMar PROJECT)	2019	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Ferry optimization to meet the demand for transport and guarantee speed, safety, comfort, emission reduction
4	Ančić I., Šestan A., Vladimir N., Klisarić V.	Influence of new power sources on the attained EEDI	2014	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Urgency for a review of EEDI requirements
5	Ang J.H., Goh C., Li Y.	Key challenges and opportunities in hull form design optimisation for marine and offshore applications	2015	Conference Paper	Literature review	n.a.
6	Anwar S., Zia M.Y.I., Rashid M., De Rubens G.Z., Enevoldsen P.	Towards ferry electrification in the maritime sector	2020	Article	Literature review	n.a.
7	Banaei M., Rafiei M., Boudjadar J., Khooban M.-H.	A Comparative Analysis of Optimal Operation Scenarios in Hybrid Emission-Free Ferry Ships	2020	Article	Research (mixed qualitative-quantitative)	Efficiency, emission reduction with fuel cell system
8	Bassam A.M., Phillips A.B., Turnock S.R., Wilson P.A.	Design, modelling and Simulation of a hybrid fuel cell propulsion system for a domestic ferry	2016	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Efficiency, emission reduction with fuel cell system
9	Berntsen A., Sæther S., Røyrvik J., Biresselioglu M.E., Demir M.H.	The Significance of Enabling Human Consideration in Policymaking: How to Get the E-Ferry That You Want	2021	Article	Literature review	Need for well-designed recharging infrastructure in port
10	Bosich D., Vicenzutti A., Sulligoi G.	Environment-friendliness in Maritime Transport: Designing Smart Recharging Stations in North Adriatic Sea	2020	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Optimize the battery charging
11	Buitelaar H.	Thinking green: Smart automation helps captain to save fuel	2014	Article	Research (qualitative: case study analysis)	
12	Burel F., Taccani R., Zuliani N.	Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion	2013	Article	Research (mixed qualitative-quantitative)	Reduction of operational cost, emission and bunker consumption through the use of LNG
13	Burel F., Taccani R., Zuliani N.	Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion	2012	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Reduction of operational cost, emission and bunker consumption through the use of LNG
14	Cai W., Wu W., Chen K.	Study on the application of all electric vehicle carriers in upper yangtze river of China	2008	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Relation between environmental effects / benefits and ship owners invest capacity

15	Chou C.-C., Hsu H.-P., Wang C.-N., Yang T.-L.	Analysis of energy efficiencies of in-port ferries and island passenger-ships and improvement policies to reduce CO2 emissions	2021	Article	Research (quantitative: comparative analysis)	Energy efficiency of LNG and hybrid ferry
16	Contessi C.	From tugs to FPSO: Gas as the green solution for offshore applications	2015	Conference Paper	Conceptual	n.a.
17	Cucinotta F., Raffaele M., Salmeri F., Sfravara F.	A comparative Life Cycle Assessment of two sister cruise ferries with Diesel and Liquefied Natural Gas machinery systems	2021	Article	Research (quantitative: LCA analysis)	Reduction of operational cost, emission and bunker consumption through the use of LNG
18	de Baere K., Verstraelen H., Willemen R., Meskens R., Potters G.	Taking care of ballast tank coatings = green ballast tanks coatings	2014	Conference Paper	Research (quantitative: regression analysis)	Establishment of criteria for the selection of ballast tanks
19	Dong Z.	Modeling and optimization of green ships using diesel/natural gas/fuel cell hybrid or pure electric propulsions	2020	Conference Paper	Research (quantitative: comparative analysis)	Electrification of ferries is influenced by technical and operational characteristics, geographical and economic conditions
20	Doulgeris G., Korakianitis T., Pilidis P., Tsoudis E.	Techno-economic and environmental risk analysis for advanced marine propulsion systems	2012	Article	Research (qualitative: stochastic analysis)	
21	Durmaz M., Kalender S.S., Ergin S.	Experimental study on the effects of ultra-low sulfur diesel fuel to the exhaust emissions of a ferry	2017	Article	Research (quantitative: comparative analysis)	Electrification of ferries is influenced by technical and operational characteristics, geographical and economic conditions
22	Erto P., Lepore A., Palumbo B., Vitiello L.	A Procedure for Predicting and Controlling the Ship Fuel Consumption: Its Implementation and Test	2015	Conference Paper	Research (quantitative: regression analysis)	Reduction of PM and Sox emissions with ULSFO
23	Faturachman D., Yandri E., Pujiastuti E.T., Anne O., Setyobudi R.H., Yani Y., Susanto H., Purba W., Wahono S.K.	Techno-Economic analysis of photovoltaic utilization for lighting and cooling system of ferry Ro/Ro ship 500 GT	2021	Conference Paper	Research (quantitative: comparative analysis)	Fuel consumption reduction after electrification allows company to claim for carbon credits
24	Fu S., Yan X., Zhang D., Shi J., Wan C., Song Z.	Use of FMECA method for leakage analysis of LNG fueled vessels	2014	Conference Paper	Research (quantitative: failure mode, effects and criticality analysis - FMECA)	Energy produced from PV for lighting and cooling system
25	Gelesz P., Karczewski A., Kozak J., Litwin W., Piątek Ł.	Design Methodology for Small Passenger Ships on the Example of the Ferryboat Motława 2 Driven by Hybrid Propulsion System	2017	Article	Conceptual	n.a.
26	Jang H., Jeong B., Zhou P., Ha S., Nam D., Kim J., Lee J.-U.	Development of Parametric Trend Life Cycle Assessment for marine SOx reduction scrubber systems	2020	Article	Research (mixed qualitative-quantitative)	How to preserve LNG losses
27	Karatzas V., Hjørnet N.K., Kristensen H.O., Berggreen C., Jensen J.J.	The effects on the operating condition of a passenger ship retrofitted with a composite superstructure	2016	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Providing insight into the optimal selection of scrubber systems

28	Kawanami Y., Kudo T., Kawashima H.	Contra-rotating podded propulsor and its full-scale model tests	2005	Conference Paper	Research (qualitative: case study analysis)	Efficiency, CO2 emission reduction with an optimum hull and design of ship
29	Khresna R., Yanuar	Installation of hybrid power system in ro-ro passenger vessel	2019	Conference Paper	Research (quantitative: case study analysis)	Efficiency, CO2 emission reduction with an optimum hull and design of ship
30	Koumentakos A.G.	Developments in electric and green marine ships	2019	Review	Conceptual	n.a.
31	Kunicka M., Litwin W.	Energy Efficient Small Inland Passenger Shuttle Ferry with Hybrid Propulsion - Concept Design, Calculations and Model Tests	2019	Article	Research (mixed qualitative-quantitative)	Energy produced from PV for lighting and cooling system
32	Lepistö V., Lappalainen J., Sillanpää K., Ahtila P.	Dynamic process simulation promotes energy efficient ship design	2016	Article	Research (quantitative: Dynamic process simulation model)	Efficiency, CO2 emission reduction with an optimum hull and design of ship
33	Letafat A., Rafiei M., Ardeshiri M., Sheikh M., Banaei M., Boudjadar J., Khooban M.H.	An Efficient and Cost-Effective Power Scheduling in Zero-Emission Ferry Ships	2020	Article	Research (quantitative: comparative analysis)	Energy efficiency of LNG and hybrid ferry
34	Lipman T.E., Lidicker J.	Wind-assist marine demonstration for ferries: Prospects for saving diesel fuel with wind power	2019	Article	Research (mixed qualitative-quantitative)	High applicability of the hybrid energy system
35	Lümmen N., Nygård E., Koch P.E., Nerheim L.M.	Comparison of organic Rankine cycle concepts for recovering waste heat in a hybrid powertrain on a fast passenger ferry	2018	Article	Research (mixed qualitative-quantitative)	Energy saving with wind propulsion
36	Lutful Kabir S.M., Alam I., Rezwan Khan M., Hossain M.S., Rahman K.S., Amin N.	Solar powered ferry boat for the rural area of Bangladesh	2017	Conference Paper	Research (qualitative: case study analysis)	Energy from waste in batteries for propulsion
37	MacPherson D.M., Bakas I.	Design-side innovation to minimize the environmental footprint of a RO/PAX ferry	2017	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	PV system as a long-term investment and high-quality specificities
38	Martínez-López A., Romero A., Orosa J.A.	Assessment of cold ironing and LNG as mitigation tools of short sea shipping emissions in port: A Spanish case study	2021	Article	Research (quantitative: case study analysis)	Reduction of operational cost, emission and bunker consumption through the use of LNG
39	Mutarrif M.U., Terriche Y., Nasir M., Guan Y., Su C.-L., Vasquez J.C., Guerrero J.M.	A Decentralized Control Scheme for Adaptive Power-Sharing in Ships based Seaport Microgrid.	2020	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Cold ironing has higher environmental improvements except in insularity frameworks where LNG is most effective
40	Ozdemir H., Guldorum H.C., Erdinc O., Sengor I.	Energy management of a port serving fuel cell and battery based hybrid green ferries	2021	Conference Paper	Research (quantitative: comparative analysis)	Cold ironing alimented of power generated only from renewable energy resources for a zero-emission system
41	PACE - Process and Control Engineering	Drive technology for a Green ferry	2007	Article	Conceptual	n.a.
42	Palconit E.V., Abundo M.L.S.	Mapping of the potential sites for electric ferry operation using geographic information system (GIS) for green inter-island transport	2020	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Identification of an energy management algorithm to minimize the cost of energy transactions of the port with the grid

43	Pamucar D., Deveci M., Gokasar I., Popovic M.	Fuzzy Hamacher WASPAS decision-making model for advantage prioritization of sustainable supply chain of electric ferry implementation in public transportation	2021	Article	Literature review	n.a.
44	Peder Kavli H., Oguz E., Tezdogan T.	A comparative study on the design of an environmentally friendly RoPax ferry using CFD	2017	Article	Research (qualitative: comparative study)	CO2 emission reduction with electrification
45	Philipp R.	Blockchain for LBG Maritime Energy Contracting and Value Chain Management: A Green Shipping Business Model for Seaports	2020	Article	Research (qualitative: case study analysis)	Hybrid LNG turbine as most environmentally friendly power option
46	Plessas T., Kanellopoulou A., Zaraphonitis G., Papanikolaou A., Shigunov V.	Exploration of design space and optimization of RoPax vessels and containerships in view of EEDI and safe operation in adverse sea conditions	2018	Article	Research (qualitative: case study analysis)	Contribution of the port in the adaptation of the ships to green regulation
47	Qiu Y., Yuan C., Sun Y., Tang X., Yan X.	Impact of photovoltaic penetration factor on the power quality of the photovoltaic system of ships	2018	Article	Research (qualitative: case study analysis)	Urgency for a review of EEDI requirements
48	Radloff E.	NOx emissions reduction through water injection	2006	Article	Research (quantitative: case study analysis)	PV system as a long-term investment and high-quality specificities
49	Radloff E., Gautier C.	Diesel engine NOx reduction using charge air water injection	2005	Conference Paper	Research (quantitative: feasibility analysis)	NOx emission reduction with water injection system
50	Rafiei M., Boudjadar J., Khooban M.-H.	Energy Management of a Zero-Emission Ferry Boat with a Fuel-Cell-Based Hybrid Energy System: Feasibility Assessment	2021	Article	Research (quantitative: feasibility analysis)	NOx emission reduction with water injection system
51	Ruggiero V.	New approach to the fire risk and firefighting in small ships, as consequence of latest developments in Industry 4.0 for the use of hybrid propulsion.	2021	Conference Paper	Conceptual	Hybrid LNG turbine as most environmentally friendly power option
52	Sæther S.R., Moe E.	A green maritime shift: Lessons from the electrification of ferries in Norway	2021	Article	Research (qualitative: case study analysis)	Electrification of ferries is influenced by technical and operational characteristics, geographical and economic conditions
53	Sargada P.K., Katara R., Suman L.	Reductions in Fuel Consumption by Implementation of Solar Energy on Watercraft	2017	Article	Research (quantitative: comparative analysis)	Energy saving with wind and solar power
54	Symington W.P., Belle A., Nguyen H.D., Binns J.R.	Emerging technologies in marine electric propulsion	2016	Review	Literature review	PV system as a long-term investment and high-quality specificities
55	Tang R., Fang Y., Kong Z.	Research on Topological Structure and MPPT Algorithm of Photovoltaic Array in Large Green Ship	2017	Article	Research (quantitative: simulation analysis)	Electrification of ferries is influenced by technical and operational characteristics, geographical and economic conditions
56	Tarkowski M.	Towards a More Sustainable Transport Future—The Cases of Ferry Shipping Electrification in Denmark, Netherland, Norway and Sweden	2021	Book Chapter	Research (qualitative: case study analysis)	Reduction of operational cost, emission, and bunker consumption using hydrogen

57	Temiz M., Dincer I.	Techno-economic analysis of green hydrogen ferries with a floating photovoltaic based marine fueling station	2021	Article	Research (quantitative: comparative analysis)	Energy efficiency of hydrogen and hybrid ferry
58	Tinsley D.	Hydrogen ferry fits Norwegian green agenda	2021	Article	Research (mixed qualitative-quantitative)	
59	Tzannatos E., Papadimitriou S., Kolioussis I.	A Techno-Economic Analysis of Oil vs. Natural Gas Operation for Greek Island Ferries	2015	Article	Research (quantitative: comparative analysis)	Reduction of operational cost, emission, and bunker consumption using LNG
60	Vicenzutti A., Mauro F., Bucci V., Bosich D., Sulligoi G., Furlan S., Brigati L.	Environmental and operative impact of the electrification of a double-ended ferry	2020	Conference Paper	Research (quantitative: Data Driven Design approach)	Electrification of ferries is influenced by technical and operational characteristics, geographical and economic conditions
61	Vukić L., Guidi G., Jugović T.P., Oblak R.	Comparison of external costs of diesel, LNG, and electric drive on a Ro-Ro ferry route	2021	Article	Research (quantitative: comparative analysis)	Higher total fuel cost savings by switching to LNG compared with electric power
62	Wang H., Oguz E., Jeong B., Zhou P.	Optimization of operational modes of short-route hybrid ferry: A life cycle assessment case study	2018	Conference Paper	Research (quantitative: LCA analysis)	High applicability of the hybrid energy system
63	Wang H., Oguz E., Jeong B., Zhou P.	Life cycle and cost performance analysis on ship structural maintenance strategy of a short route hybrid	2018	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	PV system as a long-term investment and high-quality specificities
64	Wang H., Oguz E., Jeong B., Zhou P.	Life cycle and economic assessment of a solar panel array applied to a short route ferry	2019	Article	Research (mixed qualitative-quantitative)	Reduction of operational cost, emission using PV
65	Wang S.	Research on Marine Photovoltaic Grid-connected System Based on Super Capacitor	2021	Conference Paper	Conceptual	n.a.
66	Winebrake J.J., Wang C.	Optimal fleetwide emissions reductions for passenger ferries: An application of a mixed-integer nonlinear programming model for the New York–New Jersey harbor	2005	Article	Research (qualitative: case study analysis)	Adoption of strategies to reduce emission of NOx and PM
67	Wu J., Xie J.	The Assessment of Fuel Cell for a 100-Seat Ferry Power Application	2021	Conference Paper	Research (quantitative: comparative analysis)	Efficiency, emission reduction with fuel cell system
68	Wu P., Partridge J., Anderlini E., Liu Y., Bucknall R.	Near-optimal energy management for plug-in hybrid fuel cell and battery propulsion using deep reinforcement learning	2021	Article	Research (quantitative: simulation analysis)	Double Deep Q-Network acquired energy management strategy contribute to better reduce cost compared to Double Q-learning agent
69	Yadav S., Van Der Blij N.H., Bauer P.	Modeling and Stability Analysis of Radial and Zonal Architectures of a Bipolar DC Ferry Ship	2021	Conference Paper	Research (mixed qualitative-quantitative)	Zonal architecture is potentially more stable than the radial architecture
70	Zapałowicz Z., Zeńczak W.	The possibilities to improve ship's energy efficiency through the application of PV installation including cooled modules	2021	Article	Research (quantitative: calculation methodology)	Energy produced from PV for lighting and cooling system

Fonte: elaborazione degli Autori.