

Oltre la globalizzazione

Transizioni *Transitions*



NUOVA
SERIE
28 / 2025

Memorie
Geografiche

28

MEMORIE GEOGRAFICHE

XIV Giornata di studio "Oltre la globalizzazione"
Firenze, 6 dicembre 2024

Transizioni/ *Transitions*

a cura di
Giulia Chiara Ceresa, Francesco Dini, Lucia Ferrone,
Federico Martellozzo, Filippo Randelli, Patrizia Romei



Transizioni/Transitions è un volume delle Memorie Geografiche della Società di Studi Geografici

<http://www.societastudigeografici.it>

ISBN 978-88-94690187

Numero monografico delle Memorie Geografiche della Società di Studi Geografici
(<http://www.societastudigeografici.it>)

Certificazione scientifica delle Opere

Le proposte dei contributi pubblicati in questo volume sono state oggetto di un processo di valutazione e di selezione a cura del Comitato scientifico e degli organizzatori delle sessioni della Giornata di studio della Società di Studi Geografici

Comitato scientifico:

Fabio Amato (Università di Napoli L'Orientale, Consiglio SSG), Valerio Bini (Università di Milano, Consiglio SSG), Giulia Chiara Ceresa (Università di Firenze), Cristina Capineri (Università di Siena, Consiglio SSG), Egidio Dansero (Università di Torino, Consiglio SSG), Domenico de Vincenzo (Università di Cassino, Consiglio SSG), Francesco Dini (Università di Firenze, Consiglio SSG), Lucia Ferrone (Università di Firenze), Michela Lazzeroni (Università di Pisa, Consiglio SSG), Mirella Loda (Università di Firenze, Consiglio SSG), Federico Martellozzo (Università di Firenze), Monica Meini (Università del Molise, Consiglio SSG), Andrea Pase (Università di Padova, Consiglio SSG), Filippo Randelli (Università di Firenze, Consiglio SSG), Patrizia Romei (Università di Firenze).

Comitato organizzatore:

Giulia Chiara Ceresa (Università di Firenze), Matteo Dalle Vaglie (Università di Firenze), Francesco Dini (Università di Firenze, Consiglio SSG), Lucia Ferrone (Università di Firenze), Federico Martellozzo (Università di Firenze), Eva Marchigiani (Università di Firenze), Filippo Randelli (Università di Firenze, Consiglio SSG), Patrizia Romei (Università di Firenze), Francesca Zagli (Università di Firenze).



Creative Commons Attribuzione – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale

© 2025 Società di Studi Geografici
Via San Gallo, 10
50129 - Firenze

CLARA DI FAZIO*, STEFANIA PALMENTIERI**, MARIA PARADISO*

TRASPORTO MARITTIMO E CARBURANTI ALTERNATIVI. ALCUNI ESEMPI DI PORTI VIRTUOSI DEL MEDITERRANEO

1. INTRODUZIONE. – Con una mobilitazione dell'80% delle merci, il trasporto marittimo rappresenta la modalità predominante per il commercio a livello globale (Balcombe *et al.*, 2019; Mallouppas e Yfantis, 2021; Gore *et al.*, 2022). L'efficienza e la sicurezza delle reti di trasporto marittimo sono dunque condizioni imprescindibili per garantire la disponibilità di beni fondamentali per le popolazioni di tutto il mondo (OECD, 2021; Popek, 2024).

In tale contesto, come sottolineato da studi recenti (Di Fazio *et al.*, 2024), l'adozione di combustibili alternativi per ridurre l'impatto ambientale del trasporto marittimo riveste un ruolo di sempre maggiore rilevanza, soprattutto nella prospettiva della transizione energetica. I porti, pilastri del commercio globale, sebbene ancora dipendenti dai combustibili fossili tradizionali, hanno mostrato una crescente attenzione verso l'adozione di fonti energetiche alternative, come il gas naturale liquefatto (GNL), l'ammoniaca e l'idrogeno, che permettono di ridurre le emissioni di gas serra e migliorare l'efficienza energetica, sfruttando sistemi di motorizzazione non molto diversi da quelli attualmente in esercizio che utilizzano combustibili fossili tradizionali (Gilbert *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2024; Bilgili, 2021; Zincir, 2022). Tuttavia, la transizione verso i combustibili alternativi e il conseguente adeguamento delle infrastrutture portuali richiedono investimenti significativi per lo sviluppo di impianti per stoccaggio e distribuzione che garantiscano operazioni in sicurezza e, soprattutto, di poter contare sull'affidabilità delle fonti di approvvigionamento dei combustibili qualora di provenienza estera. La dimensione degli investimenti e la necessità di realizzarli in tempi ragionevolmente brevi esigono, per i privati coinvolti, di poter contare sul supporto finanziario pubblico e su importanti agevolazioni governative. Questi elementi sono stati la chiave del successo di tutte le iniziative a livello globale per la decarbonizzazione in ambito portuale e dei trasporti. L'obiettivo di questo studio, che rappresenta la continuazione di una ricerca che ha messo le basi per il metodo e della quale rappresenta un avanzamento in termini di casistica di porti virtuosi del Mediterraneo che hanno intrapreso la strada della sostenibilità energetica, è dunque quello di presentare degli esempi di buone pratiche, considerando che il settore navale si trova ad affrontare una sfida significativa: per il 2050 le navi, nuove o sottoposte ad azioni di *retrofit*, dovranno essere adeguate ad utilizzare varie fonti energetiche come diesel/biodiesel, metano, metanolo, ammoniaca ed idrogeno, con il conseguente aumento sostanziale della complessità operativa rispetto alle flotte attuali. La conformità alle normative e le considerazioni pragmatiche influenzano la fattibilità delle soluzioni tecnologiche da adottare ed il successo dei combustibili alternativi sui quali tali soluzioni si baseranno.

2. ANALISI COMPARATIVA DEI CARBURANTI ALTERNATIVI. – L'approccio transdisciplinare ha consentito di integrare in questo studio diverse fonti di conoscenza e prospettive, adottando metodologie partecipative che coinvolgono attivamente operatori del settore che valorizzano le competenze locali per giungere a risultati utili a identificare soluzioni di sostenibilità (Kaiser e Gluckman, 2023).

La valutazione comparativa dei vari tipi di carburanti alternativi, analizzati in termini di fattibilità nel contesto del trasporto marittimo, contribuisce al dialogo sulla sostenibilità e sulle prospettive aperte dall'innovazione all'interno dell'industria marittima.

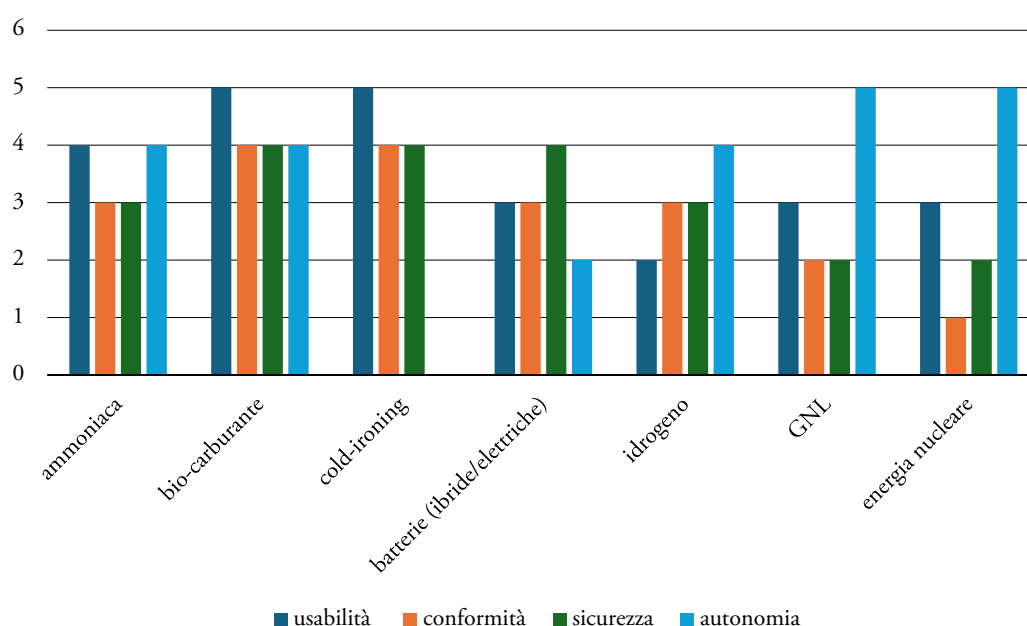
Le interviste e i workshop condotti in varie fasi di una ricerca iniziata tre anni orsono, i cui risultati sono stati via via presentati in diverse occasioni di confronto tra studiosi e ricercatori del settore dei trasporti, della biodiversità marina e della sostenibilità ambientale, hanno permesso di chiarire le dinamiche di mercato, le sfide operative e le prospettive delle parti interessate che influenzano l'adozione di carburanti alternativi nel trasporto marittimo. È emerso il ruolo fondamentale dell'innovazione, come supporto sia all'adozione di soluzioni basate sull'energia elettrica – generata/convertita a bordo o immagazzinata in batterie – sia nell'affrontare le sfide ambientali connesse al gigantismo navale e le implicazioni organizzative, strutturali ed economiche derivanti dall'adozione di carburanti alternativi che impone l'adeguamento delle infrastrutture portuali.



Secondo quanto emerso dalle interviste ad armatori e *stakeholders*, l'adozione di carburanti alternativi, anche se si individuasse la soluzione ideale per tutte le tipologie di navi e di aree geografiche, seppur a fronte di indubbi vantaggi ambientali, presenterebbe una serie di ostacoli e criticità: la possibilità di convertire rapidamente tutta la flotta deve fare i conti con una vita media dell'investimento navale, che supera ampiamente i vent'anni, e con le specifiche esigenze operative delle varie tipologie di navi (autonomia, dimensioni, velocità, rischi connessi con la missione, difficoltà dovute all'area di esercizio, ecc.). Questi elementi rendono difficile poter immaginare una soluzione unica basata su di un unico combustibile alternativo, valida allo stesso modo per tutti i tipi di navi e per tutte le aree geografiche.

Per una disamina dei pro e dei contro di ogni possibile soluzione, è stato elaborato un quadro di valutazione che potrebbe aiutare ad individuare le soluzioni più efficaci e affidabili per contenere i rischi e i danni indesiderati che un cambiamento generalizzato comporterebbe.

Dall'elaborazione delle informazioni raccolte (Fig. 1) è stato possibile confrontare diverse fonti energetiche (ammoniaca, biocarburanti, *cold ironing*, motorizzazioni a batteria o ibride, idrogeno, GNL – Gas Naturale Liquefatto – ed energia nucleare) in base a quattro criteri: usabilità, conformità, sicurezza e autonomia. Ad ogni fonte è stato attribuito un punteggio per ciascuno dei quattro criteri.



Fonte: elaborazione su Di Fazio *et al.*, 2024.

Fig. 1 - Comparazione dei punti di forza e di debolezza dei carburanti alternativi

Il profilo piuttosto equilibrato e l'elevata autonomia dell'ammoniaca mostrano che essa potrebbe rappresentare una fonte di energia versatile ed utile all'indipendenza energetica. Resta tuttavia la sua tossicità ed il carattere energivoro della sua produzione.

I bio-carburanti hanno ottenuto punteggi alti in usabilità e conformità; ciò potrebbe riflettere la loro facilità di integrazione con le infrastrutture esistenti e il loro potenziale per ridurre le emissioni di gas serra. Restano però preoccupazioni sulla sostenibilità della loro produzione di massa che prevede la conversione di vaste aree dedicate alle coltivazioni per uso alimentare in monoculture dedicate.

Il *cold ironing*, che consiste nell'alimentare le navi da terra mentre sono in porto, ottiene punteggi alti in usabilità e autonomia che lo rendono una soluzione pratica per ridurre l'inquinamento in porto. Tuttavia, i punteggi bassi in conformità e sicurezza sono indicatori di costi elevati dell'installazione delle infrastrutture e dei rischi associati alla gestione dell'elettricità ad alta tensione.

Le batterie ottengono punteggi alti in conformità e sicurezza ma punteggi bassi in usabilità e autonomia a causa della loro scarsa durata, dei tempi di ricarica e della dipendenza da materiali rari.

L'idrogeno mostra un profilo moderato in tutti i criteri e suggerisce il suo potenziale di fonte di energia pulita e versatile. Tuttavia, è importante considerare che la produzione di idrogeno può essere energivora e che la sua infrastruttura è ancora in fase di sviluppo.

Il GNL ottiene un punteggio alto in autonomia, ma i punteggi bassi in usabilità, conformità e sicurezza sollevano preoccupazioni sui rischi ambientali associati alla sua estrazione, trasporto e combustione.

Infine, l'energia nucleare ottiene un punteggio alto in autonomia, il che riflette la sua capacità di fornire energia su larga scala e ridurre la dipendenza dai combustibili fossili, ma i punteggi bassi in usabilità, conformità e sicurezza mostrano le problematiche connesse ai suoi costi elevati, ai rischi di incidenti nucleari e alla gestione delle scorie radioattive.

Nessuna soluzione può dunque dirsi perfetta: ogni fonte di energia ha i suoi punti di forza e di debolezza e la scelta dipende dai compromessi che si è disposti a fare tra usabilità, conformità, sicurezza e autonomia. Certo, l'innovazione tecnologica può contribuire a migliorare le prestazioni delle fonti di energia esistenti e a svilupparne di nuove e più sostenibili, ma è necessario che essa venga supportata da politiche energetiche eque e stabili. Sussistono, infatti, non poche difficoltà legate sia alla complessità della regolamentazione in un contesto che appare estremamente dinamico, sia ai rapidi cambiamenti economici e geopolitici. Il settore marittimo è infatti intrinsecamente legato all'economia globale e alle dinamiche geopolitiche: variazioni nei prezzi del carburante, fluttuazioni valutarie, tensioni commerciali e conflitti regionali possono influenzare significativamente i costi operativi, le rotte commerciali e la redditività delle compagnie di navigazione. In questo contesto, la regolamentazione del settore diventa complessa perché deve adattarsi a queste fluttuazioni, evitando di imporre oneri eccessivi che potrebbero compromettere la competitività delle imprese.

Sussiste poi una generale insoddisfazione degli armatori rispetto alla rapida evoluzione delle normative ambientali che, seppure guidata da obiettivi ambiziosi di riduzione delle emissioni, appare tuttavia caratterizzata da quadri normativi spesso percepiti come inadeguati, quando non affrontano le sfide specifiche del settore, o burocratici, quando richiedono procedure complesse e costose. La mancanza di chiarezza e prevedibilità delle regole può inoltre ostacolare gli investimenti a lungo termine in tecnologie più pulite. Investimenti che sarebbero indispensabili se si considera l'estrema complessità del settore marittimo, un sistema che coinvolge navi, porti, infrastrutture logistiche e una vasta rete di fornitori e servizi. L'adozione dell'ammoniaca o dell'idrogeno prevede, ad esempio, la costruzione di nuove infrastrutture di stoccaggio e rifornimento nei porti, nonché la modifica o la sostituzione delle navi esistenti.

È dunque evidente la necessità di un ambiente normativo stabile e prevedibile che rassicuri le compagnie di navigazione sul fatto che le leggi non cambieranno radicalmente nel corso della vita utile delle loro navi. Quello che si riscontra, invece, è una generale tendenza delle normative a prevedere soluzioni tecniche insostenibili o non ancora disponibili sul mercato: imporre, ad esempio, l'uso di carburanti alternativi quando la produzione è limitata o i costi sono proibitivi potrebbe rendere le operazioni non economiche e spingere le compagnie a violare le leggi o a operare in modo meno trasparente.

Un'altra criticità riscontrata è rappresentata dall'impatto disomogeneo delle regolamentazioni: l'applicazione delle normative ambientali nel settore marittimo è spesso limitata ad una parte del mercato globale, ad esempio in base alla nazionalità della nave, alla bandiera sotto cui naviga o all'area geografica in cui opera. Ciò crea una disparità competitiva tra le compagnie che sono soggette a normative più stringenti e quelle che non lo sono. Se le normative ambientali vengono applicate solo a una parte limitata del mercato globale, i benefici per l'ambiente dell'intero pianeta potrebbero essere scarsi: le emissioni ridotte dalle compagnie che rispettano le normative potrebbero essere compensate dall'aumento delle emissioni delle compagnie che operano in paesi con normative meno stringenti. Le leggi devono dunque essere applicate in modo uniforme a livello globale per evitare distorsioni della concorrenza e garantire che i benefici ambientali siano massimizzati. Esse dovranno anche essere realistiche, dunque basarsi su dati scientifici solidi per avere giusta contezza delle sfide che le compagnie di navigazione devono affrontare per adattarsi ai progressi tecnologici e ai cambiamenti economici.

D'altra parte, in un mercato globalizzato e aperto alla concorrenza, le compagnie di navigazione possono facilmente spostare le loro operazioni in paesi con normative meno stringenti: un fenomeno, noto come *flagging out*, che può ridurre l'efficacia delle regolamentazioni in materia ambientale e portare a una corsa al ribasso proprio in termini di standard ambientali.

3. ALCUNI ESEMPI VIRTUOSI NEL MEDITERRANEO. – L'adozione di carburanti alternativi nel settore del trasporto marittimo rappresenta, come si è detto, un passo imprescindibile verso la riduzione delle emissioni di gas serra e l'inquinamento atmosferico. Nel Mediterraneo, diversi porti si stanno adattando a questa transizione attraverso la costruzione di infrastrutture adeguate, come terminali di rifornimento per GNL e impianti di produzione di idrogeno verde, in modi che rispecchiano le specificità locali come la disponibilità di risorse naturali, le politiche ambientali regionali e la domanda di trasporto marittimo.

A quasi sei anni dalla consegna del primo traghetto italiano alimentato a GNL, l'Italia è vicina all'adozione di un quadro regolatorio per il naviglio a gas grazie alla formulazione di nuove linee guida per il bunkeraggio del GNL nei porti italiani che semplificherebbe i rifornimenti. Le nuove normative entreranno in vigore entro la fine del 2025 e riguarderanno sia il rifornimento *ship to ship* che *truck to ship*, con l'intento di rendere il processo più efficiente, simile a quello degli aerei.

Da Genova partirà a breve il servizio della compagnia GNV di un traghetto a GNL per la linea Genova-Palermo¹. I porti di Genova e Savona puntano inoltre all'implementazione di avanzati sistemi di *cold ironing*: essi hanno recentemente completato importanti aggiornamenti infrastrutturali che includono l'installazione di robusti impianti elettrici progettati per fornire energia alle navi ormeggiate, riducendo la necessità di mantenere i motori in funzione e, di conseguenza, abbattendo le emissioni inquinanti.

Per il porto di Civitavecchia sono stati recentemente annunciati piani per integrare soluzioni digitali e di gestione intelligente delle risorse energetiche per ottimizzare i processi logistici e ridurre ancora di più l'impatto ambientale.

Il porto di Venezia, oltre agli studi di fattibilità per l'uso di idrogeno liquido e ammoniaca verde, sta collaborando con centri di ricerca universitari e istituti internazionali per sviluppare tecniche di produzione di H₂ più efficienti². L'energia eolica e solare della laguna è destinata a sostenere la produzione di idrogeno verde e a pilotare progetti di stoccaggio energetico che possano garantire una fornitura costante e resiliente. La città è dunque sede di un nuovo consorzio di ricerca che include partner internazionali e che punta all'elaborazione di progetti che prevedono la conversione delle infrastrutture portuali e l'ampliamento delle banchine per ospitare navi a propulsione verde e per lo sviluppo di una rete di approvvigionamento integrata. Costa Crociere, un partner chiave in queste iniziative, sta progettando la conversione delle sue navi GNL per incorporare tecnologie a idrogeno, facendo così del porto di Venezia un modello di innovazione sostenibile nel panorama marittimo globale.

Il porto di Barcellona continua a rafforzare la sua posizione strategica come *hub* leader per il GNL nel Mediterraneo attraverso una serie di espansioni infrastrutturali e collaborazioni innovative. Recentemente esso ha annunciato una partnership con un consorzio internazionale di energie rinnovabili per integrare tecnologie avanzate di stoccaggio del GNL, migliorando ulteriormente l'efficienza del bunkeraggio e riducendo i tempi di attesa per le navi attraverso la costruzione di nuovi serbatoi di stoccaggio e l'introduzione di sistemi di monitoraggio in tempo reale per garantire una gestione ottimale delle risorse energetiche³.

Il porto di Marsiglia-Fos ha dato il via ad un ambizioso progetto di espansione che prevede non solo l'aumento della capacità di stoccaggio di GNL⁴, ma anche l'integrazione di tecnologie ibride per alimentare le operazioni portuali con energia rinnovabile. Il porto sta lavorando in sinergia con enti di ricerca e aziende tecnologiche per sviluppare soluzioni di energia solare e eolica che possano essere utilizzate in combinazione con il GNL al fine di ridurre ulteriormente l'impronta di carbonio delle operazioni marittime.

Entrambi i porti di Marsiglia e Barcellona hanno poi intensificato i loro sforzi di collaborazione regionale, partecipando a iniziative congiunte per creare una rete di porti sostenibili attraverso la condivisione di tecnologie e buone pratiche, come l'adozione di programmi di formazione per il personale portuale e campagne di sensibilizzazione per promuovere l'uso di tecnologie pulite tra le aziende di navigazione.

Anche la Grecia, con il porto del Pireo, sta emergendo come un attore chiave nella promozione della sostenibilità nel trasporto marittimo, grazie a una serie di investimenti strategici e collaborazioni internazionali, come l'accordo siglato con un consorzio di aziende europee specializzate in energie rinnovabili per sviluppare una nuova infrastruttura dedicata al bunkeraggio di GNL e idrogeno verde⁵.

4. CONCLUSIONI. – La ricerca, partendo dal recente studio degli stessi autori (Di Fazio *et al.*, 2024) del quale rappresenta un avanzamento, attraverso una metodologia di analisi quantitativa e qualitativa basata anche sulla realizzazione di interviste e workshop, ha definito il ruolo dell'innovazione tecnologica, delle

¹ <https://www.shippingitaly.it/2025/04/14/sono-pronte-le-nuove-linee-guida-per-il-gnl-nei-porti-italiani>.

² <https://trasparenza.port.venice.it/provvedimentidir/pnrr-m3-c2-i-1-1-porti-verdi-interventi-di-energia-rinnovabile-ed-efficienza-energetica-nei-porti-finanziato-dallunione-europea-next-generation-e-gestione-tram>.

³ <https://www.informatorenave.it/news/il-porto-di-barcellona-promuovera-lutilizzo-di-bunker-di-gnl-e-forti-sconti-per-la-riduzione-delle-emissioni-delle-navi>.

⁴ <https://www.ship2shore.it/it/primo-bunkeraggio-di-gnl-per-una-portacontainer-a-marsiglia>.

⁵ https://www.ilnautilus.it/porti/2022-05-25/tecnologie-e-applicazioni-green-al-porto-del-pireo_96968/#google_vignette.

dinamiche di mercato e delle opinioni delle parti interessate rispetto all'adozione di carburanti alternativi nel trasporto marittimo. Si tratta di sfide complesse che prevedono ingenti impegni economici, ad esempio per l'elettificazione di motori e porti e per garantire alle navi l'adeguato approvvigionamento energetico. Sebbene, infatti, il gigantismo navale offra vantaggi in termini di economie di scala, il traffico – in particolare delle grandi imbarcazioni – per essere sostenibile deve affrontare sfide ambientali importanti che richiedono soluzioni tecnologiche avanzate.

L'utilizzo di un mix energetico diversificato, che combini biocarburanti, idrogeno e ammoniaca, appare in generale l'opzione più adeguata per rispondere alle esigenze specifiche delle diverse rotte e tipologie di navi.

La scelta di utilizzare carburanti alternativi è condizionata inoltre da vincoli politici, geografici e tecnologici oltre che da fattori come il tipo di nave e la qualificazione dell'equipaggio. Di qui, la necessità di un approccio integrato che equilibri innovazione tecnologica, fattibilità economica e regolazione al fine di superare le barriere operative, normative e infrastrutturali e rafforzare la cooperazione internazionale, in particolare codificando regolamenti armonizzati che evitino svantaggi competitivi e massimizzino l'efficacia delle iniziative ambientali.

L'utilizzo di piattaforme digitali sta promuovendo una gestione più efficiente e trasparente dell'intera catena di approvvigionamento del carburante marittimo, dal produttore al consumatore finale. Ciò dimostra che le nuove tecnologie aumentano anche la sicurezza e l'efficienza delle transazioni e contribuiscono a garantire una gestione più sostenibile del settore. Dall'analisi poi di alcuni porti "virtuosi" del Mediterraneo, emerge come ciascuno di essi stia intraprendendo percorsi distintivi per integrare soluzioni sostenibili, combinando innovazione tecnologica e pratiche di gestione ecologica. I casi dei porti di Genova e di Venezia dimostrano che l'implementazione di soluzioni come il GNL e l'idrogeno verde può effettivamente concretizzarsi in contesti locali ben definiti, favorendo l'adozione di tecnologie pulite e la promozione di infrastrutture dedicate.

RICONOSCIMENTI. – Questo lavoro è stato sostenuto dal National Biodiversity Future Center. Ente finanziatore: Progetto finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU – Piano Nazionale Resilienza e Resilienza (PNRR) – Missione 4 Componente 2 Investimento 1.4 – Avviso N. 3138 del 16 dicembre 2021 rettificato con D.D. n. 3175 del 18 dicembre 2021 del Ministero dell'Università e della Ricerca; Codice progetto CN_00000033, Decreto Direttoriale MUR n. 1034 del 17 giugno 2022 di concessione del finanziamento, CUP Unina: E63C22000990007, titolo progetto National Biodiversity Future Center – NBFC. Si ringraziano gli intervistati per la loro assistenza nella raccolta dei dati: SRM (Capo Servizio Area Ricerca), Propeller Club (Presidente) e Rimorchiatori Napoletani (Presidente). Tutti gli intervistati hanno fornito un consenso esplicito per la raccolta, l'elaborazione e l'utilizzo dei loro dati personali ai fini della ricerca, in conformità con le leggi e i regolamenti in materia di protezione dei dati.

Clara Di Fazio è autrice del paragrafo 3, Stefania Palmentieri dei paragrafi 2 e 4 e Maria Paradiso del paragrafo 1.

BIBLIOGRAFIA

- Balcombe P., Brierley J., Lewis C., Skarvedt 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.
- Bilgili L. (2021). Comparative assessment of alternative marine fuels in life cycle perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144: 110985.
- Di Fazio C., Palmentieri S., Paradiso M. (2024). A transdisciplinary approach for assessing alternative fuels in shipping. *Geoprogess Journal*, special issue, 11(1): 49-63.
- Gilbert P., Walsh C., Traut M., Kesieme U., Pazouki K., Murphy A. (2018). Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. *Journal of Cleaner Production*, 172: 855-866.
- Gore K., Rigot-Müller P., Coughlan J. (2022). Cost assessment of alternative fuels for maritime transport in Ireland. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 110: 103416.
- Kaiser M., Gluckman P. (2023). *Looking at the Future of Transdisciplinary Research*. Paris: International Science Council (ISC)-Centre for Science Futures.
- Lee H., Lee J., Roh G., Lee S., Choung C., Kang H. (2024). Comparative life cycle assessments and economic analyses of alternative marine fuels: Insights for practical strategies. *Sustainability*, 16: 2114.
- Mallouppas G., Yfantis E. (2021). Decarbonization in shipping industry: A review of research, technology development, and innovation proposals. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9: 415.
- OECD (2021). *Prospettive dei trasporti, Forum internazionale dei trasporti*. Paris: OECD Publishing.
- Popek M. (2024). Alternative fuels. Prospects for the shipping industry. *TransNav*, 18(1): 25-33.
- Zincir B. (2022). Environmental and economic evaluation of ammoniade as a fuel for shortsea shipping: A case study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(41): 18148-18168.

RIASSUNTO: L'adozione di carburanti alternativi nel trasporto marittimo è una sfida rilevante nel contesto della transizione energetica globale. Nonostante la dipendenza attuale dai combustibili fossili, cresce l'interesse per soluzioni come GNL, ammoniaca, idrogeno ed energia nucleare, utili per ridurre le emissioni e migliorare l'efficienza. La scelta dipende da vincoli politici, geografici e tecnologici, nonché dal tipo di nave e dalle competenze dell'equipaggio. Serve un approccio integrato che concili innovazione, fattibilità economica e regolamentazione per superare le barriere esistenti. La ricerca analizza esempi virtuosi di porti mediterranei che investono in carburanti alternativi, offrendo modelli replicabili per una maggiore sostenibilità del trasporto marittimo.

SUMMARY: *Maritime transport and alternative fuels. Some examples of virtuous Mediterranean ports.* The adoption of alternative fuels in maritime transport is a key challenge in the global energy transition. Although fossil fuels dominate, interest in LNG, ammonia, hydrogen, and nuclear energy is growing. Fuel choice depends on political, geographical, and technological factors, as well as ship type and crew qualification. An integrated approach, balancing innovation, economic feasibility, and regulation is needed to overcome barriers and foster international cooperation. This study analyses Mediterranean ports investing in alternative fuels, offering models for sustainable maritime transport.

Parole chiave: trasporto marittimo, carburanti alternativi, porti, Mediterraneo, sostenibilità

Keywords: maritime transport, alternative fuels, ports, Mediterranean, sustainability

*Università degli Studi di Napoli Federico II e National Biodiversity Future Center – FBC, Dipartimento di Studi Umanistici; clara.difazio@unina.it; maria.paradiso@unina.it

**Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Studi Umanistici; palmenti@unina.it