
**UNIVERSITA' DI UNIGE
SCUOLA DI SCIENZE SOCIALI
DIPARTIMENTO DI ECONOMIA**



Tesi di laurea magistrale in
Economia e Management
Marittimo e Portuale

Cold Ironing e transizione energetica portuale: un caso studio sul Porto di Barcellona

Relatore: Hilda Ghiara

Candidato: Benedetta Bona

**Anno accademico
2024/2025**

*Caminante, son tus huellas
el camino, y nada más;
caminante, no hay camino,
se hace camino al andar.
Al andar se hace camino,
y al volver la vista atrás
se ve la senda que nunca
se ha de volver a pisar.
Caminante, no hay camino,
sino estelas en la mar.*

(Antonio Machado, *Proverbios y cantares*,
XXIX, in *Campos de Castilla*, 1912)

Indice

Indice.....	3
I Introduzione	5
1.1 Abstract.....	5
1.2 Abstract (English version).....	6
1.3 Contesto	7
1.4 Obiettivi della ricerca	8
1.5 Metodologia	11
1.6 Descrizione dei capitoli.....	14
1.7 Quadro teorico di riferimento.....	17
II Il Business Portuale: Contesto e Dinamiche di Mercato.....	20
2.1 Analisi economica dell'industria marittima	20
2.1.1 Shipping come industria capital-intensive.....	20
2.1.2 Il rapporto con il commercio globale	23
2.1.3 Dinamiche evolutive dell'industria marittima.....	26
2.1.4 Il nodo portuale.....	28
2.2 I porti nell'era della Blue Economy.....	30
2.2.1 Oltre la retorica.....	30
2.2.2 Il valore strategico dei porti moderni	32
2.3 L'assetto economico del mercato portuale.....	35
2.3.1 Struttura della domanda.....	35
2.3.2 Struttura dell'offerta	39
2.3.3 Equilibrio di mercato	41
2.3.4 Nuovi paradigmi competitivi.....	43
2.4 La governance come leva strategica del sistema portuale.....	46
2.4.1 Autorità Portuale e stakeholder	46
2.4.2 I modelli di governance portuale	48
III Sostenibilità nel Settore Portuale: Inquinamento Marino e Regolamentazioni... 1	51
3.1 Fonti principali di inquinamento nei porti.....	51
3.1.1 Inquinamento atmosferico portuale.....	53
3.1.2 Inquinamento acustico portuale.....	58
3.2 Quadro normativo internazionale: il ruolo dell'IMO	61
3.2.1 La Convenzione MARPOL e l'Allegato VI per la tutela della qualità dell'aria	63
3.2.2 Le Aree di Controllo delle Emissioni (ECAs).....	66
3.2.3 Il framework IMO per la riduzione delle emissioni GHG.....	75
3.2.4 Metodologia GLEC	77

3.3	La cornice normativa europea per la sostenibilità portuale	80
3.3.1	European Green Deal e pacchetto “Fit for 55”	82
3.3.2	L'estensione dell'EU ETS al trasporto marittimo	85
3.3.3	Il Regolamento FuelEU Maritime	89
IV	<i>La Transizione Energetica nei Porti: il ruolo del Cold Ironing</i>	92
4.1	L'innovazione nel settore marittimo-portuale.....	92
4.1.1	La dicotomia tra ricerca accademica e industria marittima	93
4.1.2	La transizione energetica: dal contesto globale al sistema portuale	95
4.1.3	Il porto come hub energetico	97
4.2	Il Cold Ironing.....	100
4.2.1	Definizione e funzionamento tecnico	100
4.2.2	Sfide implementative ed economiche.....	103
4.2.3	Efficacia ambientale e valutazione socioeconomica	106
4.3	Il chicken-and-egg dilemma	108
4.4	Spinta Normativa e Governance	111
4.4.1	Dalla Direttiva AFID al Regolamento AFIR	112
4.4.2	Il nuovo ruolo delle Autorità Portuali.....	115
V	<i>Case Study: Implementazione del Cold Ironing nel Porto di Barcellona.....</i>	118
5.1	Il quadro dell'innovazione sostenibile nel sistema portuale spagnolo.....	118
5.2	Il Porto di Barcellona.....	121
5.2.1	Contesto e caratteristiche.....	121
5.2.2	Struttura funzionale e rilevanza strategica.....	124
5.2.3	Politiche ambientali adottate	126
5.3	Strategia “Nexigen”: roadmap zero-emissioni entro il 2050.....	128
5.3.1	Implementazione del cold ironing	128
5.3.2	Le infrastrutture OPS nel Porto di Barcellona: una panoramica	130
5.3.3	Gestione energetica e specifiche tecniche: verso un mix rinnovabile	135
5.4	Risultati e impatti del progetto Nexigen	139
5.4.1	Valutazione della fase pilota BEST	139
5.4.2	Prospettive future.....	141
	<i>Conclusioni.....</i>	143
	<i>Bibliografia</i>	147
	<i>Sitografia.....</i>	160
	<i>Ringraziamenti.....</i>	161

I Introduzione

1.1 Abstract

La transizione energetica portuale rappresenta una sfida cruciale per la decarbonizzazione dell'industria marittima. Il cold ironing emerge come tecnologia abilitante per ridurre le emissioni nelle aree portuali urbane. Tuttavia, la ricerca accademica sul tema risulta frammentata, focalizzata su aspetti tecnici isolati senza integrare dimensioni regolatorie, economiche e di governance. L'assenza di una matrice teorica condivisa ostacola la generalizzazione delle esperienze e perpetua il divario tra conoscenza e applicazione industriale. La ricerca adotta un approccio multidisciplinare basato sulla revisione sistematica di paper accademici e report di settore, con struttura a imbuto dal generale allo specifico. L'incrocio delle fonti identifica nessi causali tra le dimensioni analizzate, sviluppando un'analisi empirica sul Porto di Barcellona.

L'indagine evidenzia come il cold ironing permetta alle navi ormeggiate di eliminare le emissioni da motori ausiliari collegandosi alla rete elettrica portuale. Il caso Barcellona conferma la fattibilità su larga scala, identificando elementi replicabili quali il framework ESG, la governance collaborativa multi-stakeholder e la raccolta sistemica dei dati attraverso un monitoraggio continuo.

I risultati evidenziano il “chicken-and-egg dilemma” come principale ostacolo e l'evoluzione dei porti in hub energetici integrati. Tale trasformazione richiede alle autorità portuali competenze di energy management per coordinare flussi complessi. Emergono tre archetipi di governance e una tendenza al consolidamento multi-porto per sostenere i costi della transizione. Si rileva inoltre come l'industria anticipi sistematicamente la ricerca accademica, che interpreta dati consuntivi senza produrre framework predittivi.

La presente tesi identifica nel modello di governance collaborativa e nell'approccio sistemico gli elementi chiave per superare lo stallo implementativo.

1.2 Abstract (English version)

The port energy transition represents a critical challenge for the decarbonisation of the maritime industry. Cold ironing emerges as an enabling technology for reducing emissions in urban port areas. However, academic research on this subject remains fragmented, focusing on isolated technical aspects without integrating regulatory, economic, and governance dimensions. The absence of a shared theoretical framework hinders the generalisation of experiences and perpetuates the gap between knowledge production and industrial application.

This research adopts a multidisciplinary approach grounded in a systematic review of academic papers and industry reports, employing a funnel structure progressing from general to specific. The cross-referencing of sources identifies causal linkages among the analysed dimensions, culminating in an empirical analysis of the Port of Barcelona.

The investigation demonstrates that cold ironing enables berthed vessels to eliminate auxiliary engine emissions by connecting to the port's electrical grid. The Barcelona case study confirms large-scale feasibility, identifying replicable elements such as the ESG framework, collaborative multi-stakeholder governance, and systematic data collection through continuous monitoring.

The findings highlight the “chicken-and-egg dilemma” as the primary implementation barrier and underscore the evolution of ports into integrated energy hubs. This transformation requires port authorities to develop energy management competencies for coordinating complex flows. Three governance archetypes emerge, alongside a trend towards multi-port consolidation to sustain transition costs. Furthermore, industry is observed to systematically outpace academic research, which interprets historical data without generating predictive frameworks.

This thesis identifies collaborative governance and a systemic approach as key elements for overcoming the implementation deadlock.

1.3 Contesto

Il settore marittimo-portuale si trova oggi al centro di una sfida ambientale. Il trasporto via mare, pur essendo considerato la modalità più efficiente in termini di tonnellate-miglio, è responsabile di una quota significativa delle emissioni globali di gas serra: secondo i dati più recenti dell'UNCTAD, le emissioni del settore shipping sono cresciute del 5% nel 2024, evidenziando un trend ancora lontano dagli obiettivi di decarbonizzazione. A livello mondiale, appena l'8% del tonnellaggio della flotta è attualmente predisposto per l'utilizzo di combustibili alternativi, mentre i tassi di riciclaggio delle navi restano contenuti¹. Tale scenario esercita una pressione crescente sulle infrastrutture portuali, chiamate non soltanto a gestire i flussi commerciali, ma anche a guidare la transizione verso modelli operativi più sostenibili.

I costi legati all'adeguamento ambientale stanno ridefinendo l'economia del trasporto marittimo. L'International Maritime Organization (IMO) sta elaborando il Net-Zero Framework, che prevede l'introduzione di uno standard globale sui combustibili e di un meccanismo di pricing delle emissioni a partire dal 2028. Parallelamente, l'UNCTAD avverte che la decarbonizzazione del comparto comporterà investimenti rilevanti per il rinnovo della flotta, l'adattamento delle infrastrutture portuali e lo sviluppo di reti di approvvigionamento per combustibili alternativi.

In questo contesto, i porti sono chiamati a investire in operazioni più pulite ed efficienti, assumendo un ruolo di primo piano nella transizione energetica. La sfida ambientale si configura così come il principale driver di trasformazione del settore: non più un vincolo esterno da subire, ma un elemento strategico capace di ridefinire competitività e sostenibilità del sistema portuale nel lungo periodo.

¹ UNCTAD. (24 settembre 2025). Stormy seas for global shipping: UNCTAD warns of uncertainty, volatility and rising costs. UNCTAD/PRESS/PR/2025/010.

1.4 Obiettivi della ricerca

La presente ricerca si propone di indagare la transizione verso la sostenibilità nel settore portuale, con particolare focus sul cold ironing (o Onshore Power Supply - OPS) come tecnologia abilitante per la riduzione delle emissioni inquinanti nelle aree portuali.

La domanda di ricerca principale che mi sono posta è la seguente:

In che modo la tecnologia cold ironing contribuisce alla transizione energetica portuale e quali fattori - normativi, economici, tecnologici e di governance - ne condizionano l'implementazione?

L'indagine si sviluppa attraverso un percorso analitico strutturato in cinque dimensioni complementari così articolate:

1. Inquadramento del contesto economico-strategico:

La ricerca muove dall'analisi del business portuale come sistema complesso inserito nella più ampia industria marittima, esaminando le dinamiche di mercato, il ruolo strategico dei porti nella Blue Economy e i paradigmi competitivi emergenti che rendono la sostenibilità una leva di vantaggio competitivo.

2. Mappatura del quadro normativo:

Viene analizzato l'ecosistema regolamentare multilivello, dalle convenzioni IMO (MARPOL, ECAs) al framework europeo (Green Deal, Fit for 55, EU ETS, FuelEU Maritime) che sta accelerando la transizione del settore, creando sia vincoli che opportunità per gli operatori portuali.

3. Innovazione e dicotomia tra ricerca e industria:

L'analisi esplora il rapporto tra ricerca accademica e industria marittima, evidenziando una storica divergenza tra approccio scientifico retrospettivo e orientamento pragmatico del settore. La transizione energetica impone oggi il superamento di questa dicotomia, richiedendo una convergenza tra produzione di conoscenza e esigenze operative del mercato

4. Approfondimento tecnologico sul cold ironing:

Il cuore della ricerca esamina il cold ironing come soluzione tecnica per l'elettrificazione delle banchine, analizzandone il funzionamento, le sfide implementative ed economiche, l'efficacia ambientale e il cosiddetto “chicken-and-egg dilemma” che ne rallenta la diffusione.

5. Validazione empirica:

L'analisi teorica viene rafforzata da un caso studio sul Porto di Barcellona e la sua strategia “Nexigen”, che rappresenta un esempio concreto di roadmap verso le zero-emissioni entro il 2050, permettendo di valutare risultati, impatti e lezioni apprese.

La complessità del fenomeno oggetto della ricerca ha richiesto un approccio metodologico progressivo, che procede per gradi successivi di approfondimento. Affrontare la transizione sostenibile del settore portuale senza una preliminare comprensione del contesto economico-strategico, del quadro normativo e delle dinamiche di innovazioni rischierebbe di produrre un'analisi parziale. Per questa ragione, ciascuna dimensione della ricerca è guidata da specifiche domande intermedie, che consentono di costruire una base conoscitiva solida su cui innestare le analisi successive. Tale approccio *step-by-step*, garantisce coerenza interna, permettendo di cogliere le interconnessioni tra i diversi livelli di analisi dal macro al micro, fino alla validazione empirica del caso studio.

Le domande intermedie suddivise in base al campo di applicazione sono le seguenti:

Dimensione 1 - Contesto economico-strategico:

- Quali paradigmi competitivi emergenti rendono la sostenibilità una leva strategica per i porti contemporanei?
- Come si struttura il mercato portuale contemporaneo e quali dinamiche competitive ne caratterizzano l'evoluzione verso modelli di business sostenibili?

Dimensione 2 - Quadro normativo:

- In che modo il framework regolamentare internazionale (IMO, MARPOL, ECAs) ed europeo (Green Deal, Fit for 55, EU ETS, FuelEU Maritime) orienta le strategie di decarbonizzazione portuale?

- Quali vincoli e opportunità genera l'attuale ecosistema normativo per gli operatori del settore?

Dimensione 3 - Innovazione e dicotomia ricerca-industria:

- Quali fattori spiegano la storica divergenza tra approccio scientifico e orientamento pragmatico dell'industria marittima?
- In che modo la transizione energetica può favorire una convergenza tra produzione di conoscenza accademica ed esigenze operative del mercato?

Dimensione 4 - Approfondimento tecnologico sul cold ironing:

- Come si spiega il “chicken-and-egg dilemma” che ostacola la diffusione del cold ironing e quali fattori contribuiscono a perpetuarlo?
- Quali sono le principali sfide implementative, economiche e ambientali legate all'elettificazione delle banchine?

Dimensione 5 - Validazione empirica:

- Attraverso quali fasi e meccanismi il Porto di Barcellona ha implementato la strategia “Nexigen” per il raggiungimento delle zero-emissioni entro il 2050?
- Quali risultati, impatti e lezioni apprese emergono dall'esperienza del porto e in quali sono le tendenze per il futuro?

1.5 Metodologia

Tra le ragioni che mi hanno condotto a trattare il tema della sostenibilità portuale piuttosto che un altro, potrei innanzitutto considerare la mia curiosità verso le innovazioni tecnologiche e un interesse verso l'efficacia dei sistemi complessi, a tratti contraddittori.

Queste inclinazioni hanno trovato naturale convergenza in un ambito, come quello portuale, in cui la sfida ambientale si intreccia con l'esigenza di ripensare modelli operativi consolidati, aprendo spazi significativi per soluzioni tecnologiche innovative.

A queste motivazioni personali si affiancano considerazioni di carattere accademico e scientifico. Lo studio si concentra sulla transizione energetica del settore portuale e, più concretamente, sulla tecnologia del cold ironing (Onshore Power Supply, OPS), argomento che si articola lungo cinque direttrici principali.

Sul piano ambientale, i porti rappresentano fonti rilevanti di inquinamento da SO_x, NO_x e particolato, con conseguenti impatti sulla salute delle comunità costiere.

Sul piano economico-strategico, l'analisi delle strutture di mercato nei settori ad alta intensità di capitale, quale quello marittimo-portuale, permette di comprendere le dinamiche competitive e le strategie di creazione del valore in un contesto caratterizzato da elevate barriere all'ingresso e significativi investimenti infrastrutturali. Dal punto di vista della governance, emerge il ruolo centrale delle Autorità Portuali quali attori chiave nella pianificazione e nell'implementazione di progetti di transizione energetica, chiamate a bilanciare interessi pubblici e privati. Sul versante finanziario, l'analisi degli investimenti in tecnologie OPS solleva interrogativi rilevanti, tra cui il cosiddetto *chicken-and-egg dilemma*: l'interdipendenza tra domanda e offerta che rischia di rallentare l'adozione della tecnologia in assenza di una spinta coordinata.

Sul piano normativo, la ricerca esplora il complesso quadro regolamentare multilivello che orienta la transizione verde del settore. A livello internazionale, l'analisi si sofferma sul ruolo dell'IMO, dalla Convenzione MARPOL e l'Allegato VI per la tutela della qualità dell'aria, alle Aree di Controllo delle Emissioni (ECAs) fino al framework per la riduzione delle emissioni di gas serra. A livello europeo, vengono esaminate le principali iniziative che stanno ridisegnando il contesto normativo della sostenibilità portuale: l'European

Green Deal, il pacchetto “Fit for 55”, l'estensione dell'EU ETS al trasporto marittimo e il Regolamento FuelEU Maritime.

Infine, sul piano scientifico, la letteratura evidenzia una carenza di studi che integrino analisi di mercato, quadro normativo e valutazioni tecnico-economiche per progetti di OPS nell'area mediterranea.

La presente tesi si avvale di un approccio mixed-methods che combina strumenti qualitativi e analisi documentale per affrontare la complessità del tema trattato.

Nello specifico, la metodologia combina una componente qualitativa prevalente con elementi descrittivo-quantitativi. La dimensione qualitativa si articola nella revisione sistematica della letteratura scientifica e tecnologica, nell'analisi di documenti istituzionali, rapporti di policy e normative internazionali ed europee ed interpretazione delle fonti normative, nonché nello sviluppo di uno studio di caso incentrato sul Porto di Barcellona. Questa modalità mi ha permesso di comprendere in profondità i processi, i contesti decisionali e le dinamiche che caratterizzano la transizione energetica portuale, in modo tale da poter delineare il quadro teorico di riferimento e posizionare la ricerca all'interno del dibattito accademico.

A questa componente si affiancano elementi quantitativi di natura descrittiva, quali dati relativi ai volumi di traffico portuale, alle emissioni inquinanti, agli investimenti infrastrutturali e ai risultati misurabili dell'implementazione della tecnologia Cold Ironing in termini di benefici. Tali dati, rappresentati tramite grafici e tabelle, forniscono un supporto empirico essenziale per contestualizzare e validare le osservazioni qualitative.

L'integrazione di queste due componenti risponde alla necessità di confrontare le fonti informative, compensando i limiti intrinseci di ciascun metodo e garantendo una visione multidimensionale del tema. La transizione energetica portuale, infatti, rappresenta un oggetto di studio intrinsecamente complesso, che richiede l'adozione di prospettive multiple di tipo economiche, ambientali, tecnologiche e politiche, per essere compreso nella sua interezza.

In linea con l'approccio mixed-methods descritto, che integra analisi qualitativa, elementi descrittivo-quantitativi e triangolazione delle fonti è opportuno chiarire la natura delle fonti impiegate nelle diverse fasi della ricerca. La tesi ha infatti adottato un criterio

metodologico basato sulla distinzione tra fonti primarie e secondarie, la cui selezione è stata misurata di volta in volta sulla base delle esigenze specifiche di ciascun capitolo.

Le fonti primarie, quali materiali originali e diretti, privi di intermediazione interpretativa, comprendono documenti normativi e legislativi (regolamenti UE, convenzioni IMO, direttive europee), report istituzionali contenenti dati originali (UNCTAD, EMSA, ESPO, IPCC, WHO), documentazione ufficiale del Porto di Barcellona (piani strategici, report annuali, comunicati stampa, dati tecnici del progetto Nexigen) e articoli scientifici con risultati di ricerca empirica originale.

Queste fonti sono state determinanti nei Capitoli III, IV e V; nel Capitolo III hanno fornito la base normativa e i dati ambientali per l'analisi dell'inquinamento marittimo e delle regolamentazioni vigenti; nel Capitolo IV hanno permesso di esaminare direttamente il quadro legislativo che disciplina il cold ironing e la transizione energetica nei porti; nel Capitolo V, dedicato al case study sul porto di Barcellona, la documentazione prodotta Autoritat Portuària de Barcelona (APB) ha costituito il nucleo empirico dell'analisi, consentendo di verificare le ipotesi di ricerca sulla base di dati e risultati di prima mano.

Le fonti secondarie, ovvero materiali che interpretano, analizzano o sintetizzano le fonti primarie, includono manuali accademici e libri di testo, articoli di revisione sistematica e di analisi, nonché report di organizzazioni internazionali a carattere interpretativo e comparativo. Il loro impiego è stato centrale soprattutto nel Capitolo II, dove hanno permesso di costruire il quadro teorico sul business portuale, l'economia marittima, la Blue Economy e i modelli di governance, sintetizzando decenni di letteratura accademica.

In sintesi, le fonti primarie hanno garantito l'originalità e la verificabilità dell'analisi empirica e normativa, mentre le fonti secondarie hanno fornito la cornice teorica e interpretativa necessaria a inquadrare la ricerca nel dibattito scientifico esistente. Questa articolazione rispecchia la logica stessa dell'approccio mixed-methods adottato. Le due tipologie di fonti non operano in modo isolato, ma si integrano reciprocamente, contribuendo alla verifica incrociata dei dati e alla solidità complessiva dell'argomentazione.

1.6 Descrizione dei capitoli

La tesi è organizzata in cinque capitoli principali che si sviluppano partendo dal quadro teorico per giungere all'analisi empirica, secondo un approccio deduttivo.

Il primo capitolo costruisce le fondamenta economiche e istituzionali necessarie per comprendere il contesto in cui la transizione energetica portuale deve realizzarsi. Si apre con un'analisi dell'industria marittima, esaminandone la natura capital-intensive, il legame indissolubile con i flussi del commercio globale e le dinamiche evolutive che ne hanno ridefinito gli assetti negli ultimi decenni, fino a inquadrare il ruolo del nodo portuale all'interno delle moderne catene logistiche.

Il capitolo prosegue esplorando la posizione dei porti nell'era della Blue Economy, superando gli approcci retorici per indagare il concreto valore strategico che queste infrastrutture rivestono oggi nel panorama economico marittimo. Successivamente viene analizzato l'assetto economico del mercato portuale, approfondendo le dinamiche di domanda e offerta, le condizioni di equilibrio e i nuovi paradigmi competitivi che stanno trasformando il settore.

Infine, l'attenzione si sposta sulla governance come leva strategica del sistema portuale, esaminando il ruolo delle Autorità Portuali, le relazioni tra i diversi stakeholder e i principali modelli di governance adottati a livello internazionale.

Il secondo capitolo affronta il tema della sostenibilità ambientale nel settore portuale, analizzando le problematiche legate all'inquinamento e la risposta a livello normativo internazionale ed europeo.

In primo luogo, vengono identificate le principali fonti di inquinamento nei porti, distinguendo tra inquinamento atmosferico, generato dalle emissioni delle navi e delle attività portuali, e inquinamento acustico, che impatta sulle comunità costiere limitrofe. In seguito a questa indagine, il capitolo affronta quello che è definito come quadro normativo internazionale, con particolare attenzione al ruolo dell'IMO (International Maritime Organization). In tal senso, vengono analizzate la Convenzione MARPOL e il suo Allegato VI per la tutela della qualità dell'aria, le Aree di Controllo delle Emissioni

(ECAs), sia per gli ossidi di zolfo (SECA) che per gli ossidi di azoto (NECA) e il framework IMO per la riduzione delle emissioni di gas serra (GHG).

Per quanto riguarda gli strumenti normativi europei attuati per la sostenibilità portuale, sono esaminate l'European Green Deal e il pacchetto “Fit for 55”, l'estensione del sistema EU ETS al trasporto marittimo e il Regolamento FuelEU Maritime, che introduce nuovi obblighi sull'intensità carbonica dei combustibili navali.

Il terzo capitolo entra nel cuore della tesi, analizzando la transizione energetica portuale con un focus specifico sulla tecnologia del Cold Ironing.

In apertura si pone un problema rilevante nell'innovazione nel settore marittimo-portuale, ovvero la dicotomia tra ricerca accademica e industria, che non procede di pari passo. Viene contestualizzata successivamente la transizione energetica globale per anticipare quella del sistema portuale, delineando il nuovo ruolo del porto come hub energetico.

Il capitolo prosegue con un approfondimento dedicato al Cold Ironing, partendo dalla definizione e dal funzionamento tecnico di questa tecnologia che consente alle navi di spegnere i motori ausiliari durante la sosta in banchina, alimentandosi dalla rete elettrica terrestre. Vengono quindi analizzate le sfide implementative ed economiche che ne condizionano la diffusione, insieme a una valutazione dell'efficacia ambientale e degli impatti socioeconomici in una logica causa-effetto.

In seguito, viene affrontato il cosiddetto “chicken-and-egg dilemma”, ovvero il paradosso circolare che vede i porti riluttanti a investire in infrastrutture senza una flotta pronta a utilizzarle, e gli armatori restii ad adeguare le navi in assenza di banchine elettrificate. Un dilemma che viene percepito come un circolo vizioso in cui nessuno dei due attori riesce a rispondere efficacemente alle esigenze del mercato.

Per affrontare tale dilemma, il capitolo prosegue trattando quelle che possono essere considerate della soluzione per i porti in transizione. In tal senso, si esamina l'evoluzione normativa, dalla Direttiva AFID alla Direttiva AFIR e il nuovo ruolo delle Autorità Portuali di fronte alla sfida della transizione energetica.

Il quarto capitolo presenta un caso studio volto a comprendere, nella realtà dei fatti, come un porto del Mediterraneo si sia adeguato alla tecnologia Cold Ironing, traducendo in

pratica i concetti teorici e normativi esplorati nei capitoli precedenti. Il caso studio ha come oggetto di analisi il Porto di Barcellona.

La prima sezione delinea il profilo del porto catalano, illustrandone il contesto e le caratteristiche distintive. Vengono approfondite l'importanza strategica dello scalo nel panorama mediterraneo, i volumi di traffico movimentati e le politiche ambientali adottate dall'Autorità Portuale. Si prosegue poi analizzando la strategia “Nexigen”, la roadmap che guida il porto verso l'obiettivo zero-emissioni entro il 2050. Vengono esaminate le fasi di implementazione del progetto, le modalità di installazione dell'OPS (Onshore Power Supply), nonché le fonti di finanziamento e gli ostacoli al fine di sostenere l'iniziativa.

Si conclude con una valutazione dei risultati e gli impatti del progetto, misurando la riduzione delle emissioni e i benefici ambientali conseguiti.

La struttura proposta consente di costruire gradualmente la conoscenza del fenomeno studiato, dal contesto settoriale all'indagine focalizzata non solo nel campo della tecnologia del cold ironing, ma anche attraverso l'analisi empirica del Porto di Barcellona.

1.7 Quadro teorico di riferimento

La presente rassegna si propone di mappare criticamente lo stato dell'arte sui temi convergenti nel quesito centrale di questa tesi, ovvero in che misura il cold ironing rappresenta uno strumento efficace di transizione energetica nei porti e in quali condizioni ne determinino il successo implementativo. La selezione delle fonti è stata condotta secondo un approccio sistematico, attraverso la consultazione di database accademici come Scopus, Web of Science e Google Scholar e banche dati istituzionali quali IMO, UE, UNCTAD ed ESPO, utilizzando parole chiave quali cold ironing, onshore power supply, port sustainability, energy transition e green shipping. L'arco temporale coperto si estende dal 2000 al 2026, con particolare attenzione agli sviluppi più recenti in materia normativa e tecnologica.

La ricerca portuale ha percorso una traiettoria evolutiva significativa: da un'analisi prevalentemente economico-infrastrutturale, con i contributi fondativi di Stopford (2009) sull'economia marittima e di Levinson (2006) sulla rivoluzione della containerizzazione, verso una visione multidimensionale che interpreta i porti come nodi di reti globali il cui valore dipende dalla capacità di integrare funzioni commerciali, industriali e ambientali, grazie al contributo di Notteboom, Pallis e Rodrigue (2022).

Sul piano della governance, il dibattito si è spostato dalla tassonomia statica dei modelli portuali (World Bank Port Reform Toolkit, 2007; Baird, 2000) alla consapevolezza che le Autorità Portuali si stanno trasformando da regolatori infrastrutturali a facilitatori della transizione sostenibile (Verhoeven, 2010; Notteboom e Haralambides, 2020). In questo quadro, Acciaro, Ghiara e Cusano (2014) hanno formalizzato l'emergere della gestione energetica come funzione centrale del porto contemporaneo. Il concetto di Blue Economy, pur ancora segnato da ambiguità definitorie (Silver et al., 2015; Smith-Godfrey, 2016), ha trovato nella Comunicazione della Commissione Europea (2021) un ancoraggio operativo alla transizione ecologica, entro cui i porti si configurano esplicitamente come piattaforme di innovazione energetica (Rodrigue e Notteboom, 2022).

La letteratura scientifica ha prodotto evidenze convergenti sull'impatto sanitario e ambientale del trasporto marittimo. Lo studio pionieristico di Corbett et al. (2008) ha

stimato circa 60.000 decessi annui attribuibili alle emissioni navali; Jonson et al. (2020) hanno confermato il contributo significativo di tali emissioni all'inquinamento nelle aree costiere europee; l'analisi aggregata di Chen e Hoek (2020) ha consolidato il nesso causale tra PM_{2.5} e mortalità, mentre Roy e Chakraborty (2024), in una review recente, hanno sintetizzato lo stato delle conoscenze collegando la dimensione scientifica a quella regolamentare.

Sul versante normativo, la letteratura documenta un'accelerazione progressiva: dalla Convenzione MARPOL e le Emission Control Areas, passando per l'IMO Strategy 2023 sulla riduzione dei gas serra, fino al pacchetto europeo “Fit for 55” analizzato da Lloyd's Register (2023), che con l'estensione dell'EU ETS al trasporto marittimo e il Regolamento FuelEU Maritime ha creato per la prima volta incentivi economici diretti all'adozione di tecnologie a basse emissioni nei porti. Come evidenziato dall'International Transport Forum (2018), la decarbonizzazione marittima richiede un mix articolato di interventi tecnologici, operativi e di mercato; tuttavia, la letteratura segnala una tensione irrisolta tra ambizione regolamentare e capacità implementativa concreta.

All'interno di questo scenario, il cold ironing emerge come una delle tecnologie più concrete e immediatamente disponibili per la riduzione delle emissioni portuali. L'analisi più rigorosa sulle sue prospettive rimane quella di Zis (2019), che evidenzia come l'efficacia ambientale netta dipenda strettamente dal mix energetico, poiché qualora l'elettricità provenga prevalentemente da fonti fossili, il beneficio si riduce significativamente. Rolán, Manteca, Oktar e Siano (2019) hanno dimostrato la fattibilità dell'integrazione OPS con fonti rinnovabili specificamente nel Porto di Barcellona, offrendo un contributo empirico di particolare rilevanza per questa tesi. Ennis et al. (2026) hanno esplorato come il passaggio da un regime volontario a uno obbligatorio, introdotto dal Regolamento AFIR, muti sostanzialmente le condizioni di convenienza economica della tecnologia. La systematic review di Koukaki e Tei (2020) ha infine evidenziato il persistente divario tra ricerca accademica e implementazione industriale, mostrando come molte innovazioni studiate in ambito scientifico faticino a tradursi in adozione su larga scala.

Un tema ricorrente e ancora irrisolto è il cosiddetto chicken-and-egg dilemma: gli armatori non investono in assenza di infrastrutture portuali diffuse, mentre i porti esitano

a investire senza una domanda garantita. Questo circolo vizioso, riconosciuto dalla maggior parte degli autori, è stato affrontato normativamente dall'AFIR, ma le sue implicazioni implementative restano insufficientemente indagate dalla letteratura esistente.

Dalla rassegna emergono tre gap principali che motivano il presente lavoro.

Il primo riguarda la scarsità di studi empirici che documentino in modo sistematico l'intero ciclo implementativo del cold ironing in un porto specifico. In tal senso, la mancanza di dati quantitativi affidabili rende difficile generalizzare le esperienze esistenti e costruire framework predittivi applicabili ad altri contesti.

Il secondo gap concerne la separazione tra la dimensione tecnico-ingegneristica e quella economico-gestionale e di governance. I contributi esistenti tendono a trattare le due prospettive in modo isolato, senza offrire una visione integrata della complessità che caratterizza la transizione energetica portuale.

Il terzo gap riguarda la scarsa attenzione dedicata al contesto mediterraneo: la maggior parte degli studi si concentra su porti nordeuropei e asiatici, lasciando sottorappresentata un'area geografica con caratteristiche competitive e infrastrutturali proprie. Sul Porto di Barcellona, i contributi accademici diretti restano limitati ai lavori di Rolán et al. (2019) e Vaca-Cabrero et al. (2025), mentre la documentazione prodotta dall'Autoritat Portuària de Barcelona (Port Vision 2040, programma Nexigen, progetto pilota OPS BEST) non è stata ancora sistematizzata dalla ricerca accademica.

La presente tesi si inserisce in questo spazio, cercando di offrire, attraverso un approccio multidisciplinare e l'analisi del caso del Porto di Barcellona, un contributo utile alla comprensione delle condizioni che rendono possibile e sostenibile la transizione energetica portuale.

II Il Business Portuale: Contesto e Dinamiche di Mercato

2.1 Analisi economica dell'industria marittima

2.1.1 Shipping come industria capital-intensive

L'industria marittima, intesa come filiera integrata di trasporto e attività portuali, rappresenta, da oltre cinquemila anni, una componente imprescindibile dello sviluppo globale. Dagli arsenali delle città marinare medievali alle attuali rotte intercontinentali, questo settore ha agito come motore della globalizzazione, fungendo da principale vettore del commercio mondiale.

In un contesto internazionale segnato dalla frammentazione geografica delle catene del valore, il trasporto via mare non si limita a collegare logisticamente i centri di produzione ai mercati di consumo, ma si configura come un ecosistema complesso capace di influenzare lo sviluppo economico delle nazioni e la stabilità degli scambi intercontinentali. La sua funzione è decisiva nel garantire continuità alle catene di approvvigionamento, sicurezza energetica e accesso alle materie prime, trasformando l'idea di mercato globale in una realtà operativa concreta. Per comprendere appieno le dinamiche che governano questo settore strategico, tuttavia, non basta osservare i flussi fisici o le rotte geografiche: è necessario analizzarne la struttura profonda e i meccanismi economici che ne determinano il funzionamento.

Sotto il profilo macroeconomico, l'industria marittima svolge una funzione di primaria rilevanza, in quanto permette il trasferimento di beni da contesti in cui la loro utilità economica è, parimenti, il valore di mercato risulta relativamente contenuto, verso aree in cui essa è maggiore, in ragione di una domanda più intensa e di superiori capacità di trasformazione produttiva o di più ampie opportunità di impiego.

Attraverso la riduzione dei costi di distanza e l'ampliamento dell'accessibilità ai mercati, lo shipping consente di tradurre in risultati concreti i vantaggi della specializzazione

internazionale, in linea con i fondamenti teorici del vantaggio assoluto, ossia la specializzazione nei beni che un Paese può produrre a costo inferiore rispetto ad altri e del vantaggio comparato, inteso come specializzazione nelle produzioni caratterizzate da un costo opportunità relativamente più basso, anche in assenza di un vantaggio assoluto.

La dimensione macroeconomica del settore è inoltre rafforzata dall'integrazione intermodale. Il tratto marittimo rappresenta spesso la componente principale della tratta internazionale, ma la qualità complessiva del servizio dipende dalla continuità door-to-door, termine che indica la continuità operativa lungo l'intero percorso logistico, dalla presa in carico presso la sede del mittente alla consegna presso la sede del destinatario, ma anche dall'efficienza dei porti e dei terminal, e dalla connessione con la rete ferroviaria e stradale, tratto intermodale che garantisce la continuità operativa descritta. Ne deriva che la competitività di un sistema economico non è determinata soltanto dalla capacità di trasporto in mare, ma dall'intero ecosistema logistico-portuale e dalla sua affidabilità operativa.

Sul piano microeconomico, l'industria marittima presenta un profilo peculiare che incide direttamente sulle strategie operative e sulle decisioni di investimento degli operatori. In primo luogo, il trasporto marittimo si configura prevalentemente come un'attività terziaria di servizio a domanda derivata. In tal senso, la richiesta di trasporto non è autonoma, ma scaturisce dalla necessità di scambiare beni intermedi e finali, nonché risorse energetiche. Questa dipendenza strutturale implica che i cicli dello shipping siano strettamente connessi all'andamento dell'economia reale e, in molti casi, tendano ad amplificarne la volatilità. Ciò avviene attraverso rapide variazioni dei noli, oscillazioni nei tassi di utilizzo della flotta e tempi di aggiustamento della capacità strutturalmente lenti, legati alla rigidità degli investimenti e ai lunghi tempi di costruzione e immissione in servizio delle navi.

Alla luce di questa caratteristica strutturale, la domanda derivata e l'inerzia dell'offerta rendono il settore dello shipping particolarmente esposto a fasi cicliche di espansione e contrazione, con effetti rilevanti sulla redditività attesa, sulle politiche di impiego della flotta e sulle scelte di finanziamento degli investimenti.

La volatilità dei noli, infatti, si trasmette direttamente ai ricavi operativi e quindi ai flussi di cassa, determinando una maggiore incertezza nella capacità di coprire costi fissi e

impegni contrattuali. Tale vulnerabilità risulta ulteriormente amplificata dalla natura fortemente capital-intensive dell'industria. Infatti, gli investimenti in naviglio e infrastrutture richiedono ingenti esborsi iniziali e si caratterizzano per lunghi periodi di ammortamento, rendendo spesso necessario il ricorso a finanziamenti di medio-lungo termine. Ne deriva una struttura finanziaria spesso caratterizzata da leva significativa e da un'esposizione elevata al rischio di rifinanziamento e alle oscillazioni del valore degli asset (come, ad esempio, navi e relative garanzie), con possibili implicazioni su covenant, accesso al credito e costo del capitale lungo il ciclo.

In secondo luogo, lo shipping è un settore ad alta intensità di capitale, caratterizzato da asset costosi e di lunga durata (navi) e da un ecosistema infrastrutturale altrettanto oneroso (porti e terminal). Questa struttura dei costi contribuisce a creare barriere all'ingresso e a favorire, in specifici segmenti e rotte, strutture di mercato che tendono naturalmente verso forme oligopolistiche, ossia caratterizzate dalla presenza di pochi operatori dominanti e da un'elevata concentrazione dell'offerta. Inoltre, la rigidità dei costi fissi orienta gli operatori alla costante ricerca di economie di scala, un principio cardine che ha guidato il gigantismo navale, secondo cui l'aumento della capacità di stiva riduce il costo unitario di trasporto, permettendo la concentrazione dei flussi commerciali.

Infine, l'operatività del settore si regge sulla complessa interazione tra asset fissi e mobili. Esiste una stretta interdipendenza tra la nave (asset mobile) e il terminal (asset fisso), che richiede un coordinamento logistico perfetto. Tale complessità rende l'industria ad alta intensità di transazioni, caratterizzata da una molteplicità di attori, normative sovranazionali e flussi finanziari di ingente valore, necessari per gestire la movimentazione fisica e documentale dei carichi.

2.1.2 Il rapporto con il commercio globale

Analizzare il ruolo strategico dell'industria marittima è preliminare a qualsiasi comprensione profonda delle dinamiche economiche contemporanee. Questo settore non costituisce meramente un'industria di servizio, bensì l'infrastruttura fisica essenziale su cui poggia l'intera struttura della globalizzazione. La sua rilevanza risiede nella capacità unica di connettere mercati di produzione e di consumo su scala planetaria, garantendo la continuità delle catene di approvvigionamento, la sicurezza energetica e la disponibilità delle risorse prime.

In un'economia interdipendente, dove la frammentazione dei processi produttivi richiede un flusso costante e affidabile di merci, lo shipping rappresenta il vettore insostituibile che trasforma il concetto astratto di mercato globale in una realtà operativa tangibile.

Tale integrazione economica è strettamente correlata all'evoluzione tecnologica e al quadro istituzionale che hanno interessato il trasporto marittimo nel tempo. Storicamente, pur in presenza di scambi commerciali relativamente diffusi, i vincoli tecnici hanno reso i traffici a lunga distanza lenti e costosi. La prima svolta fondamentale avvenne all'inizio del XX secolo con l'affermazione della propulsione a vapore, una tecnologia che rese possibili economie di scala prima difficilmente conseguibili. Affinché tali innovazioni si traducessero in una più ampia integrazione dei mercati, fu tuttavia necessario attendere la metà del Novecento, quando il contesto normativo internazionale divenne progressivamente più favorevole.

Se il vapore ha garantito la regolarità dei servizi, la vera rivoluzione industriale dello shipping moderno è coincisa con l'avvento della containerizzazione. Questa evoluzione non ha riguardato solo lo scafo, ma l'intera catena logistica: la standardizzazione dell'unità di carico ha permesso di superare la rottura di carico nei porti, riducendo drasticamente i tempi di stazionamento e i costi operativi.

Ne è derivato un passaggio da un modello prevalentemente “porto-a-porto”, in cui la prestazione di trasporto si esauriva nello spostamento tra due scali, a configurazioni logistiche integrate “porta-a-porta”, nelle quali il servizio è concepito come un flusso

continuo dall'origine del mittente alla destinazione finale del destinatario, favorendo l'intermodalità con le modalità terrestre e ferroviaria.

Un altro fenomeno riconducibile allo stesso periodo è la liberalizzazione degli scambi, che ha progressivamente ridimensionato i vincoli politici e culturali, con un'accelerazione negli anni Novanta in concomitanza con eventi quali il crollo dell'Unione Sovietica e l'apertura economica della Cina. Tali cambiamenti hanno ampliato la base dei consumatori su scala mondiale e hanno inciso sulla struttura della domanda. In parallelo, la riduzione dei costi di trasporto ottenuta grazie alle innovazioni tecnologiche ha attenuato l'incidenza della distanza geografica, aumentando l'importanza della connettività e dell'efficienza delle reti logistiche.

Questa espansione non è stata però sempre lineare. La storia del settore alterna, infatti, fasi di straordinaria crescita, come il boom registrato tra il 2004 e il 2008, a periodi di profonda crisi causati da errori di calcolo negli investimenti e sovradimensionamento della flotta, come accadde durante la crisi petrolifera del 1973. Nonostante tali fluttuazioni cicliche, il trasporto marittimo ha mantenuto intatta la capacità di garantire efficienza, contenendo l'aumento dei costi nel lungo periodo e confermando il ruolo degli oceani come vere e proprie *“autostrade dello sviluppo economico”*.¹

Oggi, in un ecosistema dove globalizzazione della produzione e degli scambi si alimentano a vicenda, lo shipping mantiene un dominio indiscusso, gestendo circa l'80% del volume e il 70% del valore di tutto il commercio internazionale². Sebbene le tecnologie abbiano conosciuto un'evoluzione radicale, le dinamiche fondamentali dell'attività economica mostrano una significativa continuità storica. Le principali preoccupazioni gestionali degli armatori di oggi non differiscono, nella sostanza, da quelle dell'antichità, in un mercato che continua a esercitare una forte pressione al cambiamento e a richiedere un costante adattamento strategico quale condizione di sopravvivenza economica.

La centralità strategica di tale sistema logistico fu teorizzata già nel 1776 da Adam Smith nel più celebre libro intitolato *“La ricchezza delle nazioni”*.

¹ Stopford, M., *Maritime Economics*, 3^a ed., Routledge, London/New York, 2009.

² UNCTAD. *Review of Maritime Transport 2023*. United Nations, Geneva, 2023.

L'economista scozzese individuò nel trasporto via mare la chiave di volta per la prosperità in una società capitalista. Il suo filone di pensiero suggerisce infatti che, affinché la divisione del lavoro e la specializzazione produttiva possano essere considerati sostenibili, è necessario accedere a mercati vasti, che siano superiori alla sola dimensione locale.

In questa prospettiva, il trasporto marittimo offriva un vantaggio determinante, aprendo orizzonti commerciali preclusi al trasporto terrestre. L'analisi di Smith sull'efficienza comparativa dei vettori rimane valida ancora oggi, dimostrandosi sorprendentemente attuale.

Nel terzo capitolo del primo libro dell'opera, l'autore offriva una dimostrazione numerica inconfutabile del differenziale di produttività esistente tra una nave mercantile e un carro:

*“Un carro [...] servito da due uomini e tirato da otto cavalli, trasporta [...] tra Londra ed Edimburgo circa quattro tonnellate di merci [...]. Nello stesso tempo una nave governata da sei o otto uomini [...] trasporta e riporta indietro sovente duecento tonnellate di merci.”*³

Questo differenziale storico si riflette ancora oggi nelle moderne economie di scala, dove una singola nave può trasportare migliaia di container a una frazione del costo e dell'impatto logistico del trasporto su gomma, e questo aspetto garantisce un vantaggio competitivo ineguagliabile rispetto alle altre modalità di trasporto.

³ Smith, A., *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. Libro I, Capitolo III, 1776.

2.1.3 Dinamiche evolutive dell'industria marittima

Comprendere l'industria marittima odierna significa, in primo luogo, analizzare come essa reagisce e si adatta agli stimoli macroeconomici. Il sottocapitolo che segue esamina nel dettaglio le variabili che, agendo simultaneamente, si sono imposte come i motori di un cambiamento istantaneo e repentino: dalla necessità di servire mercati sempre più distanti e interdipendenti, alla corsa verso l'efficienza tecnica, fino alla ristrutturazione degli assetti societari.

Tre le varie trasformazioni che hanno ridisegnato il settore marittimo negli ultimi decenni, vengono analizzate tre principali forze motrici: la globalizzazione economica, l'innovazione tecnologica e la concentrazione organizzativa.

Sul piano economico, l'espansione del commercio internazionale e la diffusione dell'outsourcing hanno esteso le catene di approvvigionamento su scala globale, trasformando i porti in snodi strategici fondamentali per la movimentazione delle merci. La crescita del traffico marittimo registra un dato infatti straordinario: dai 2,6 miliardi di tonnellate trasportate nel 1970 si è passati agli oltre 11 miliardi attuali, con il mare che veicola più dell'80% degli scambi commerciali mondiali in termini di volume⁴.

Questa esplosione della domanda ha generato un incremento parallelo nel traffico di unità intermodali (ITU) e ha incentivato l'utilizzo di navi di dimensioni sempre maggiori, sottoponendo le infrastrutture portuali a una pressione operativa senza precedenti. Sebbene la pandemia da Covid-19 abbia rappresentato una temporanea parentesi di contrazione dei flussi, il trend di lungo periodo rimane orientato alla crescita, ponendo sfide complesse agli operatori: molti scali, infatti, non potendo espandersi fisicamente per limiti spaziali o vincoli di budget, si trovano a fronteggiare un rischio concreto e crescente di saturazione.

L'evoluzione tecnologica ha impresso un'accelerazione altrettanto significativa. La continua ricerca di economie di scala ha generato il fenomeno del gigantismo navale, arrivando a produrre oggi navi portacontainer con capacità superiori ai 24.000 TEU, dimensioni queste di una considerevole portata considerando oltretutto la velocità

⁴ UNCTAD. Review of Maritime Transport 2023. United Nations.2023.

temporale nel raggiungere tale quantità. Contestualmente, l'automazione ha rivoluzionato le operazioni portuali agendo su una duplice direttrice: quella fisica, attraverso l'impiego di gru telecomandate e mezzi a guida autonoma (AGV) per la movimentazione materiale dei carichi, e quella decisionale, affidando a sistemi governati dall'intelligenza artificiale l'ottimizzazione logica dei flussi di piazzale. Questi avanzamenti tecnologici hanno aumentato gli standard di produttività, imponendo ai terminal un costante adeguamento tecnologico per evitare di perdere competitività, e il rischio sarebbe pertanto quello di cadere nel fenomeno dell'obsolescenza.

Sul versante organizzativo, si assiste a una concentrazione del mercato nelle mani di poche grandi alleanze di armatori e operatori terminalistici globali. Attori come MSC, Maersk, COSCO e CMA CGM controllano quote significative sia del trasporto marittimo che della gestione dei terminal, perseguendo strategie di integrazione verticale e orizzontale per ottimizzare l'intera filiera logistica. Tale dinamica ha alterato in modo sostanziale gli equilibri di potere nel settore.

Queste tre forze agiscono in modo sinergico, così da ridefinire continuamente la struttura competitiva dell'industria marittima. Il risultato è un contesto in cui le sfide sono sempre nuove e i sistemi portuali si devono adattare a scenari in rapida evoluzione.

2.1.4 Il nodo portuale

Per definire il ruolo del porto contemporaneo è necessario inquadrarlo come tassello di un mosaico più ampio, ossia l'ecosistema dell'industria marittima. Questo macrosettore, infatti, non si esaurisce nell'attività delle autorità portuali e degli operatori terminalistici, ma comprende una filiera estesa che coinvolge le flotte armatoriali, le reti finanziarie e assicurative, fino ai servizi energetici e alla logistica correlata. Ne deriva un sistema complesso e interconnesso, guidato da una domanda derivata e dalla costante ricerca di economie di scala, necessarie a contenere i costi elevati tipici di un contesto ad alta intensità di capitale.

Sebbene le radici dell'attività portuale risalgano all'alba delle civiltà, fin dalle prime rotte commerciali del Mediterraneo, l'identità dell'infrastruttura portuale ha subito una metamorfosi profonda. Nel tempo si è infatti affermato un cambio di paradigma che ha trasformato il porto da semplice approdo naturale a piattaforma logistica dinamica e integrata, spesso configurata come hub. Oggi il porto non funge più soltanto da rifugio per le navi, ma agisce come nodo strategico delle filiere globali. Non si limita alla movimentazione fisica delle merci, bensì si propone come centro di servizi a valore aggiunto, capace di generare efficienza grazie all'integrazione tra diverse modalità di trasporto secondo una logica di intermodalità.

Questa trasformazione ha ridefinito, e talvolta reso più complessa, la relazione tra il porto e la città ospitante. La progressiva automazione dei terminal, ad esempio, ha ridotto il fabbisogno di manodopera intensiva rispetto al passato. Ne è derivata una discrepanza tra l'aumento dei traffici e la relativa stabilità dei livelli occupazionali diretti, con una dinamica che distingue i porti da altri nodi di trasporto. Parallelamente, si osserva una tendenza alla delocalizzazione di parte delle attività logistiche verso l'entroterra, processo che attenua il legame spaziale immediato tra le operazioni di banchina e il tessuto economico urbano circostante.

Ciononostante, sarebbe errato concludere che i porti abbiano perso rilevanza per i territori. L'utilità degli investimenti infrastrutturali, infatti, non risiede più principalmente nella creazione di occupazione diretta, quanto nella necessità di prevenire la congestione,

in quanto la saturazione di un porto genera colli di bottiglia e i conseguenti ritardi si traducono in costi sistemici difficilmente sostenibili.

In sintesi, il porto contemporaneo opera come interfaccia dinamica tra flussi globali e sistemi territoriali locali, ed è chiamato a bilanciare le esigenze di efficienza imposte dal mercato con le aspettative di sviluppo sostenibile delle comunità che lo ospitano.

2.2 I porti nell'era della Blue Economy

2.2.1 Oltre la retorica

Il concetto di Blue Economy si è affermato negli ultimi decenni come paradigma fondamentale per ripensare il rapporto tra sviluppo economico e risorse marine. Secondo la definizione della Banca Mondiale, essa rappresenta *“l'uso sostenibile delle risorse oceaniche per la crescita economica, il miglioramento dei mezzi di sussistenza e dell'occupazione, preservando al contempo la salute degli ecosistemi marini”*⁵. Tale definizione sottolinea lo stretto legame tra prosperità economica e tutela ambientale che caratterizza questo approccio.

Alla base di questa visione vi è un modello teorico che trae ispirazione dai principi di funzionamento degli ecosistemi naturali. In una prospettiva sistemica, le tradizionali logiche di produzione lineare vengono superate a favore di cicli rigenerativi, nei quali i rifiuti di un processo possono diventare risorse in altre filiere produttive. Emerge quindi un modello economico ispirato all'efficienza naturale, nel quale i residui divengono risorse e il ciclo produttivo genera contestualmente sostenibilità e nuova occupazione.

Accanto a questa lettura prevalentemente normativa e “win-win”, una parte crescente della letteratura accademica ha messo in luce il carattere ambiguo e contendibile del concetto di Blue Economy, mostrando come il termine funzioni sempre più spesso come un “significante fluttuante”⁶, utilizzato da attori diversi - ambientalisti, organizzazioni internazionali, governi e imprese - per veicolare visioni talvolta divergenti sull'uso delle risorse oceaniche e sulla governance degli spazi marini.

In una prospettiva complementare rispetto alle letture più celebrative della Blue Economy, un contributo pubblicato su Maritime Affairs nel 2016⁷ sviluppa un'ampia rassegna comparata delle principali definizioni proposte da istituzioni internazionali,

⁵ World Bank. The potential of the blue economy: Increasing long-term benefits of the sustainable use of marine resources for small island developing states and coastal least developed countries. World Bank. 2017

⁶ Silver, J. J., Gray, N. J., Campbell, L. M., Fairbanks, L., & Gruby, R. L. Blue Economy and Competing Discourses in International Oceans Governance. Journal of Environment & Development. 2015.

⁷ Smith-Godfrey, S. Defining the blue economy. Maritime Affairs: Journal of the National Maritime Foundation of India, 2016.

governi e comunità scientifica, mostrando come il concetto sia caratterizzato da una marcata eterogeneità semantica e dall'assenza di una definizione operativa condivisa. L'autrice del paper sottolinea che questa vaghezza concettuale, se non accompagnata da solidi meccanismi di regolazione, trasparenza e redistribuzione dei benefici, può consentire la riproposizione di tradizionali modelli estrattivi e di sfruttamento intensivo degli spazi marini dietro la retorica della "sostenibilità blu".

La rilevanza economica del settore è confermata dai dati dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), secondo cui l'economia oceanica contribuisce per circa 1.500 miliardi di dollari al valore aggiunto globale, con proiezioni che indicano un potenziale raddoppio entro il 2030⁸. Tra i settori trainanti figurano il trasporto marittimo, la cantieristica, il turismo costiero e, in misura crescente, le energie rinnovabili offshore.

Nel contesto europeo, nel 2021 è stato adottato un nuovo approccio strategico per un'economia blu sostenibile, che pone i porti al centro della transizione ecologica e digitale, riconoscendoli come hub essenziali per la decarbonizzazione dei trasporti e lo sviluppo delle comunità costiere.

⁸ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). The Ocean Economy in 2030. OECD Publishing. 2016.

2.2.2 Il valore strategico dei porti moderni

All'interno di questo quadro macroeconomico, i porti assumono un ruolo di primaria importanza quale infrastruttura cardine della Blue Economy. In tale contesto contemporaneo, infatti, il loro ruolo supera la tradizionale funzione di mero snodo del trasporto delle merci, configurandosi come un fattore determinante della competitività economica dei territori serviti. La disponibilità di infrastrutture portuali efficienti, in grado di assicurare collegamenti frequenti e affidabili con i mercati globali, incide direttamente sulla struttura dei costi delle imprese. Infatti, riducendo l'onere logistico complessivo si assumono scelte di localizzazione produttive verso processi di internazionalizzazione. In quest'ottica, il porto opera dunque come piattaforma di accesso a reti globali di scambio e a standard gestionali avanzati, con ricadute sistemiche sull'intero tessuto economico.

Coerentemente con tale evoluzione, la qualità di un sistema portuale non può più essere valutata esclusivamente in termini di tonnellate movimentate, ma deve essere letta attraverso la complessità, la specializzazione e la diversificazione dei traffici gestiti. In particolare, la capacità di movimentare flussi containerizzati complessi e ad alto valore aggiunto risulta strettamente correlata al grado di complessità dell'economia servita, distinguendosi dal semplice transito di materie prime. Di conseguenza, l'efficienza operativa e la connettività marittima diventano parametri centrali. Un porto in grado di attrarre i principali vettori globali e di ospitare navi di grande capacità conferisce un vantaggio competitivo non solo all'area retroportuale, ma potenzialmente all'intero sistema nazionale.

Nelle economie avanzate, tuttavia, la sola dotazione infrastrutturale non è più condizione sufficiente per sostenere il posizionamento competitivo. Il vantaggio tende infatti a spostarsi verso la capacità del porto di generare innovazione e valore aggiunto immateriale. Considerando questo approccio, gli scali marittimi si trasformano progressivamente in ecosistemi della conoscenza, superando il ruolo passivo di area di banchina per diventare hub di innovazione integrati nelle supply chain globali. Un fattore abilitante è rappresentato dallo sviluppo dei cluster portuali: la concentrazione territoriale di operatori logistici, imprese manifatturiere, fornitori di servizi avanzati e istituzioni

favorisce cooperazione, coordinamento strategico e diffusione di competenze. Attraverso tali sinergie, i porti possono contribuire attivamente alle transizioni in corso, dalla digitalizzazione dei processi alla decarbonizzazione e alla sostenibilità energetica.

Questa trasformazione amplia significativamente anche lo spettro delle funzioni portuali. Nel nuovo contesto, i porti assumono un ruolo polifunzionale. Da un lato supportano attività legate alle risorse biologiche marine, facilitando sia la pesca sia la filiera dell'acquacoltura; dall'altro operano come piattaforme energetiche strategiche. Se in passato hanno ospitato prevalentemente insediamenti petrolchimici, oggi risultano sempre più cruciali per la logistica delle energie rinnovabili, in particolare per l'eolico offshore. Resta comunque centrale la funzione di supporto al commercio marittimo e all'ecosistema logistico correlato, cui si affiancano, in molte città portuali, processi di riqualificazione delle aree waterfront a fini residenziali, turistici e ricreativi.

Alla luce della complessità di tali funzioni e dell'intensità di capitale necessaria per infrastrutture e sovrastrutture, i porti possono essere considerati autentici catalizzatori economici dei territori serviti. Ne consegue l'esigenza di giustificare gli investimenti pubblici e privati mediante una valutazione rigorosa del valore generato. Tale valutazione può adottare, da un lato, un approccio qualitativo, orientato alla rilevanza strategica, al posizionamento competitivo e alle performance di mercato; dall'altro, un approccio quantitativo fondato su parametri misurabili e confrontabili.

In termini operativi, la misurazione dell'impatto economico ricorre a un insieme di indicatori chiave. Il valore aggiunto lordo consente di stimare il contributo del porto al PIL regionale o nazionale, includendo non solo gli effetti diretti dell'attività portuale, ma anche quelli indiretti lungo la filiera. L'analisi dell'occupazione (spesso espressa in equivalenti a tempo pieno) evidenzia la capacità dello scalo di generare lavoro, mentre i volumi commerciali ne qualificano il ruolo negli scambi internazionali, distinguendo tra vocazione all'export e all'import. Sul piano finanziario, la sostenibilità del sistema portuale può essere letta attraverso il gettito delle entrate fiscali, elemento rilevante per legittimare l'impiego di risorse pubbliche, e attraverso la dinamica degli investimenti pubblici e privati, indispensabili per la manutenzione, l'adeguamento tecnologico e lo sviluppo di asset ad alta intensità di capitale.

In conclusione, il contributo di un hub portuale all'economia regionale e sovranazionale non può essere pienamente compreso se circoscritto ai soli indicatori contabili tradizionali, quali il valore aggiunto diretto e l'occupazione. Accanto a questi, infatti, coesiste un "valore strategico" meno tangibile ma cruciale, legato all'attrattività, alla resilienza del sistema logistico-produttivo, alla capacità di innovazione e all'attivazione dell'indotto; evidenze empiriche su primari sistemi portuali europei, come quello belga, dimostrano come il beneficio economico complessivo superi nettamente le stime convenzionali.

Ne deriva la necessità che la pianificazione e la governance assumano il porto non più come semplice infrastruttura di servizio, bensì come asset strategico di politica industriale e territoriale, capace di generare esternalità positive di lungo periodo. È proprio in questo scenario evoluto che si delinea la duplice sfida per i porti contemporanei: da un lato, mantenere la competitività in un mercato globale tecnologicamente avanzato e concentrato; dall'altro, rispondere agli imperativi della transizione ecologica della Blue Economy, conciliando efficienza logistica e sostenibilità ambientale. Un simile approccio, integrando l'uso avanzato delle tecnologie dell'informazione con la tutela delle risorse, non mira solo alla creazione di valore, ma ridefinisce radicalmente le funzioni essenziali delle infrastrutture portuali.

2.3 L'assetto economico del mercato portuale

2.3.1 Struttura della domanda

Il business portuale si fonda essenzialmente sul concetto economico di domanda derivata, in quanto il porto non costituisce quasi mai il fine ultimo dell'attività economica, bensì un nodo infrastrutturale essenziale per esigenze esterne. Tale domanda nasce dalla necessità di trasferire merci dai luoghi di produzione a quelli di consumo e trasformazione, oppure dalla volontà dei passeggeri di raggiungere specifiche destinazioni.

Di conseguenza, l'andamento del traffico portuale è intrinsecamente legato a variabili macroeconomiche e geopolitiche, quali la squilibrata distribuzione globale delle risorse naturali, la stagionalità delle produzioni agricole e i cicli di sviluppo economico delle diverse regioni. A questi fattori si sommano elementi geografici strutturali, come le caratteristiche dell'entroterra e le connessioni terrestri, nonché dinamiche politiche e militari che possono alterare la strategicità di determinati scali portuali.

Sebbene la domanda di questo settore nasca prevalentemente da esigenze esterne, i porti non agiscono come attori puramente passivi, poiché possono fungere da generatori attivi di domanda. Infatti, attraverso lo sviluppo di un vantaggio competitivo basato su infrastrutture all'avanguardia, e grazie all'efficienza gestionale e alla leadership di costo, un terminale è in grado di attrarre volumi di traffico per sottrarli poi ai concorrenti, poiché il contesto concorrenziale segue una dinamica competitiva in cui la crescita di uno si traduce spesso nella perdita di un altro.

La capacità di un porto di generare i flussi commerciali dipende essenzialmente dalla qualità e dalla gamma dei servizi offerti, dalla specializzazione verso determinate tipologie di carico o navi e, in misura sempre maggiore negli ultimi tempi, e dalla sua integrazione con le catene logistiche terrestri.

L'intercezione di domanda è particolarmente evidente nel traffico containerizzato internazionale, che in seguito all'aumento vertiginoso degli scambi commerciali, i porti si sono evoluti da semplici punti di transito a hub logistici capaci di offrire servizi a valore

aggiunto, come può essere lo stoccaggio, l'assemblaggio o il transhipment, anche per merci non destinate all'economia locale immediata.

Sotto il profilo microeconomico, la domanda portuale è modellata direttamente dalle necessità fisiche della merce e dalle logiche della supply chain. In questa dimensione, sono i fattori endogeni a guidare i volumi: la localizzazione geografica della produzione industriale e la tipologia di beni scambiati definiscono cosa il porto deve movimentare. In questa dinamica, il fenomeno della containerizzazione ha ridefinito la domanda di servizi, imponendo agli scali non solo di offrire banchine adeguate al gigantismo navale, ma di garantire un'integrazione fluida con l'entroterra. Di conseguenza, la domanda si concentra sull'efficienza: gli operatori scelgono il porto che minimizza tempi e costi, trasformando la competizione in una sfida basata sulla qualità dei servizi di terminal e sulla connettività intermodale.

Allargando l'orizzonte alla prospettiva macroeconomica, la domanda portuale appare invece subordinata a variabili esogene che sfuggono al controllo del singolo operatore. In questo scenario, i flussi di traffico sono influenzati dal contesto tecnologico, dagli equilibri geopolitici e, soprattutto, dai quadri normativi sovranazionali (come può essere la governance portuale e i regolamenti ambientali).

Non si tratta solo di una questione di efficienza operativa, ma di operare all'interno di un ambiente strategico. Fattori come la stabilità politica, le barriere tariffarie e le tendenze economiche globali determinano il potenziale volume della domanda accessibile. In sintesi, mentre la dimensione macroeconomica stabilisce le regole del gioco e la quantità di merce in circolazione, è la risposta microeconomica a determinare se un porto sarà in grado di intercettare e soddisfare quella specifica porzione di domanda.

Spostando l'analisi su un servizio portuale specifico (come il carico o lo scarico merci), la domanda non appare come un flusso indistinto, bensì come una funzione sensibile a una pluralità di variabili. La determinante primaria è il prezzo del servizio: secondo la teoria economica classica, intrattiene una relazione inversa con la quantità domandata.

(elasticità), per cui, all'aumentare delle tariffe portuali, *ceteris paribus*⁹, la domanda tende a contrarsi.

Questa relazione è influenzata dai prezzi dei servizi sostitutivi (offerta, ad esempio, da porti limitrofi o da modalità di trasporto alternative) e dai prezzi dei servizi complementari (quali lo stoccaggio, le operazioni doganali e la logistica di magazzino), che concorrono a formare il costo totale del passaggio portuale. A tali elementi si affiancano variabili strutturali dell'hinterland, come densità demografica, reddito pro capite (PIL) e prossimità ai centri di produzione, oltre a fattori qualitativi come efficienza operativa e innovazione tecnologica.

Inoltre, nel caso dei servizi sostitutivi sussiste una relazione inversa definita dalla competizione. L'incremento dell'utilizzo di un servizio determina fisiologicamente una contrazione nella domanda dell'altro, poiché l'utente razionale opta per l'alternativa che massimizza l'utilità in termini di costi, efficienza o posizionamento. Tale dinamica regola la competizione sia inter-portuale (tra scali limitrofi che contendono il medesimo hinterland) sia intra-portuale (tra terminal dello stesso porto che offrono prestazioni analoghe).

La capacità di sostituzione, tuttavia, non è assoluta, ma dipende dall'elasticità incrociata e dal livello di specializzazione tecnica. Ad esempio, un terminal dedicato al transhipment puro difficilmente potrà essere sostituito da una struttura progettata per merci miste o traffico locale. Viceversa, i servizi complementari sono caratterizzati da una domanda congiunta: l'aumento nell'uso di un servizio primario innesca la crescita della domanda per i servizi correlati. L'esempio emblematico è costituito dal cluster dei servizi tecnico-nautici necessari all'approdo; le attività di pilotaggio, rimorchio e ormeggio sono intrinsecamente legate all'arrivo della nave e operano in una sinergia obbligata.

Per quanto concerne le prospettive sul futuro della domanda di servizi portuali, queste sono influenzate dall'evoluzione nell'utilizzo delle risorse energetiche, dalle politiche sulle emissioni, dallo sviluppo dei trasporti e dall'innovazione tecnologica.

⁹ *Ceteris paribus** (lett. "stando così le altre cose", ossia "a parità di altre condizioni") indica che l'effetto di una variabile (qui, il prezzo del servizio portuale) sulla quantità domandata è considerato mantenendo costanti gli altri fattori rilevanti. Fonte: Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani.

Secondo le analisi dell'ITF Transport Outlook, il trasporto merci è destinato a triplicare entro il 2050. In questo scenario, il trasporto marittimo manterrà una posizione dominante, gestendo circa il 70% del traffico complessivo, con volumi stimati in 120.000 miliardi di tonnellate-chilometro entro il 2030 e 250.000 miliardi entro il 2050; tale crescita sarà alimentata in particolare dai flussi commerciali diretti verso l'Asia e l'Africa, nonché dagli scambi negli oceani Indiano e Pacifico¹⁰.

¹⁰ International Transport Forum (ITF), Transport Outlook 2019: Transport and Energy, OECD Publishing, Paris, 2019.

2.3.2 Struttura dell'offerta

La definizione dell'offerta di servizi portuali non è una variabile statica, bensì il risultato di un processo decisionale, in larga misura determinato dagli obiettivi strategici dell'ente gestore e dal contesto istituzionale in cui opera.

A livello macroeconomico emerge una distinzione netta tra, da un lato, i grandi hub internazionali, orientati alla massimizzazione del profitto e alla creazione di valore, anche quando la gestione portuale è di natura pubblica o mista e, dall'altro, i porti secondari o insulari, nei quali prevale una funzione di servizio pubblico volta a garantire continuità territoriale e sviluppo regionale, talvolta anche a discapito dell'economicità nel breve periodo. Pur essendo questi ultimi più numerosi, la quota prevalente dei volumi mondiali tende a concentrarsi nei grandi scali hub.

Sul piano economico, la funzione di offerta è vincolata al prezzo dei fattori produttivi, che sono capitale, lavoro, terra e tecnologia. Esiste una correlazione diretta tra l'efficienza di costo e la capacità offerta, poiché un aumento del costo degli input riduce la redditività attesa, causando una contrazione dell'offerta, mentre una riduzione dei costi ne favorisce l'espansione. L'impatto di queste variazioni di costo dipende dall'intensità con cui ogni fattore viene impiegato nel processo produttivo. Inoltre, l'industria portuale sta attraversando una transizione strutturale verso modelli definiti capital-intensive e technology-intensive, evidenziata dalla crescita dei rapporti tra capitale/lavoro e capitale/tecnologia. Un ulteriore elemento caratterizzante è dato dal ruolo attivo dell'automazione e della digitalizzazione nel porto. Questi due risorse riducono progressivamente la dipendenza dal lavoro non qualificato e di conseguenza, l'offerta dei moderni terminal risulta essere molto più sensibile alle fluttuazioni del costo del capitale, come i tassi di interesse sui finanziamenti infrastrutturali e ai costi tecnologici, piuttosto che alle variazioni dei salari della manodopera generica.

Il livello di offerta è inoltre influenzato dalle dinamiche di mercato esterne, ovvero dalla presenza di servizi sostitutivi e dal costo dei servizi complementari.

Per quanto riguarda i servizi sostitutivi, come terminal o porti concorrenti, esiste una relazione diretta: se i costi dei competitor aumentano, la domanda si sposta sullo scalo locale, spingendo gli operatori ad ampliare la propria capacità. Viceversa, tariffe più basse

da parte della concorrenza costringono a una riduzione dell'offerta locale, tranne nel caso di mercati chiusi dove mancano alternative geografiche.

In questa specifica configurazione, il porto assume le caratteristiche di un monopolio di fatto. Essendo l'unico punto di accesso economicamente sostenibile per il proprio retroterra, il porto non subisce la pressione della concorrenza, poiché i costi di trasporto terrestri necessari per raggiungere un'alternativa annullerebbero qualsiasi risparmio tariffario, garantendo all'operatore locale un potere di mercato pressoché assoluto sui propri utenti.

Dinamica opposta regola i servizi complementari, quali l'autotrasporto e la logistica retroportuale, che operano invece in un regime di forte concorrenza. A differenza dell'infrastruttura portuale, questo mercato è caratterizzato da una pluralità di operatori e basse barriere all'ingresso, fattori che spingono naturalmente i prezzi al ribasso. Qui la relazione è sinergica: l'efficienza generata dalla competizione nel trasporto terrestre riduce il costo totale del passaggio portuale, rendendo l'offerta portuale più attraente, in grado di stimolare gli operatori ad aumentare i volumi di servizio. Inversamente, inefficienze o rincari nella catena logistica deprimono la competitività dello scalo, inducendo una riduzione nei livelli di offerta del servizio principale.

2.3.3 Equilibrio di mercato

L'individuazione del punto di equilibrio ottimale nel mercato dei servizi portuali non si esaurisce nella semplice intersezione tra curve di domanda e offerta, ma richiede un riferimento a criteri di efficienza allocativa, trovando il proprio fondamento teorico nel criterio di Pareto, definito anche come ottimo paretiano. In termini microeconomici, un esito è Pareto-efficiente quando non è possibile migliorare la condizione di un soggetto senza peggiorare quella di almeno un altro (ad esempio in termini di prezzi, capacità disponibile, condizioni di accesso o qualità del servizio). Ne consegue che, qualora sia ancora possibile attuare un miglioramento con benefici netti diffusi, ad esempio riducendo inefficienze operative, congestione o tempi di attesa senza trasferire costi aggiuntivi su altri operatori, l'equilibrio osservato deve essere considerato non Pareto-efficiente. Qualsiasi scostamento da un esito Pareto-efficiente, al contrario, comporta inevitabilmente un trade-off distributivo, poiché il beneficio di alcuni si accompagna a un peggioramento per altri.

In questa prospettiva, l'equilibrio non si esaurisce nella determinazione di un prezzo e di una quantità scambiata, ma coincide con una configurazione di prezzo, quantità e livello di servizio che risulti sostenibile rispetto ai vincoli produttivi e coerente con l'obiettivo di efficienza allocativa.

Un equilibrio realmente sostenibile deve bilanciare l'efficienza tecnica, e quindi la massimizzazione dell'output con il minimo impiego di risorse, e l'efficacia del servizio, intesa come la capacità di soddisfare le aspettative dell'utenza in termini di affidabilità e velocità. Questo delicato assetto è costantemente minacciato dal rischio di congestione, in quanto un utilizzo eccessivo delle infrastrutture, pur indicando una domanda elevata, può generare diseconomie esterne che compromettono l'efficienza operativa e innalzano i costi generalizzati per l'utente.

Tuttavia, nella complessa realtà operativa del business portuale, il raggiungimento di una stabilità economica richiede un'analisi multidimensionale che integri variabili qualitative cruciali oltre alle metriche puramente finanziarie.

Infine, l'equilibrio di mercato è influenzato dal quadro istituzionale e sociale. Elementi quali il rapporto tra gestione pubblica e privata e gli effetti sulle comunità locali (che

possono essere considerati positivi in termini di occupazione, ma anche potenzialmente negativi per via delle esternalità ambientali) rappresentano fattori decisivi per la legittimazione e la competitività a lungo termine del sistema portuale.

2.3.4 Nuovi paradigmi competitivi

L'evoluzione del commercio globale ha trasformato radicalmente la natura della concorrenza portuale. Come evidenziato da Notteboom e Pallis, i porti non competono più come entità isolate, bensì come nodi critici all'interno di catene logistiche globali¹¹. Attori coinvolti nella filiera produttiva come caricatori e compagnie di navigazione non selezionano un porto solo per la sua posizione, ma scelgono la catena di trasporto più efficiente nel suo complesso. Di conseguenza, la competitività di uno scalo dipende dalla sua capacità di accogliere navi sempre più grandi e di garantire connessioni efficienti con l'entroterra.

Nello specifico, esiste una suddivisione gerarchica per descrivere la competizione portuale, che si struttura su tre livelli distinti.

Il primo livello è la concorrenza intra-portuale, che avviene all'interno dello stesso scalo tra diversi operatori. Un esempio è il porto di Valencia, dove terminalisti diversi (come MSC e Cosco) competono per attrarre navi. Sebbene questa rivalità aumenti l'efficienza e abbassi i prezzi, essa deve bilanciarsi con la necessità di raggiungere una Scala Minima Efficiente (MES¹²), poiché frammentare troppo il traffico rischia di impedire agli operatori di ammortizzare gli ingenti investimenti necessari per le moderne navi.

Allargando l'orizzonte si trova la concorrenza interportuale, che riguarda porti vicini che condividono lo stesso retroterra. È il caso del Nord Tirreno (Genova, La Spezia, Livorno), i cui scali competono per il carico “footloose” - ovvero quella tipologia di merce non vincolata geograficamente e libera di scegliere l'itinerario più vantaggioso - diretto verso la Pianura Padana; qui la battaglia si gioca sulla qualità delle connessioni ferroviarie e sulla velocità doganale, dato che per il cliente finale i porti sono sostituiti quasi perfetti.

Infine, il livello più elevato della competizione portuale è rappresentato dalla concorrenza inter-range, dove la rivalità non si limita a singoli scali ma coinvolge interi sistemi costieri contrapposti che ambiscono a servire lo stesso mercato interno. Un caso emblematico

¹¹ Notteboom, T., & Pallis, A., "Chapter 9.1 – Inter-Port Competition", in Port Economics, Management and Policy.

¹² La Scala Minima Efficiente (MES) rappresenta la soglia critica di traffico che un operatore portuale deve raggiungere per poter ammortizzare gli ingenti investimenti strutturali necessari ad accogliere le moderne navi.

riguarda la gestione dei flussi merci dall'Asia verso il cuore degli Stati Uniti (nel Midwest): gli operatori logistici si trovano di fronte a un bivio strategico. Possono scegliere la rotta del Pacifico, sbarcando sulla costa occidentale per sfruttare la rapidità dei ponti ferroviari, oppure attraversare il Canale di Panama per raggiungere i porti atlantici. In questo scenario, la decisione finale dipende da un attento bilanciamento tra il risparmio sui costi marittimi e la necessità di ridurre i tempi totali di transito lungo l'intera catena di distribuzione.

Un cambiamento fondamentale è lo spostamento del focus competitivo dal porto (inteso come autorità pubblica) al terminal. La vera battaglia commerciale è combattuta dai Global Terminal Operators (come PSA, DP World, APM Terminals), multinazionali che gestiscono network trasversali in più porti. Mentre le Autorità Portuali si limitano a fornire l'infrastruttura di base (banchine, dragaggi) sono i terminalisti privati a competere su prezzo, velocità di movimentazione e flessibilità.

Un'altra direttrice rilevante da considerare per interpretare come sta cambiando nel tempo la concorrenza portuale è la forte tendenza alla concentrazione verticale. Sempre più spesso sono le stesse compagnie di navigazione ad acquistare e gestire direttamente i terminal portuali. Questo fenomeno determina un'internalizzazione della competizione, dove il vettore non seleziona più il terminal in base al miglior prezzo di mercato, ma scala presso la propria struttura dedicata. Si può ritenere quindi che tale dinamica riduca drasticamente il potere contrattuale delle Autorità Portuali, esponendole al rischio di perdere il controllo strategico sui flussi e relegandole al ruolo di landlord, mentre le decisioni cruciali vengono di fatto centralizzate dai colossi privati della navigazione.

Alla luce di queste considerazioni, un ulteriore profilo di interesse riguarda l'applicazione delle teorie economiche al settore dello shipping, dalla quale emerge una dinamica peculiare riconducibile alla struttura dei costi e ai cicli di investimento. Oltre al modello di concorrenza perfetta, infatti, l'industria è dominata da una strutturale rigidità dell'offerta nel breve periodo. Mentre la domanda di trasporto può variare repentinamente in base agli shock geopolitici o economici, la flotta mondiale richiede anni per adeguarsi (dovuto principalmente dal tempo di costruzione delle navi). Questo disallineamento genera cicli dello shipping, caratterizzati da un'estrema volatilità dei noli.

Per gli operatori della catena logistica, comprendere questa teoria significa saper navigare tra picchi di profitti e fasi di depressione profonda, gestendo il rischio finanziario come una variabile operativa tanto quanto il consumo di carburante.

2.4 La governance come leva strategica del sistema portuale

2.4.1 Autorità Portuale e stakeholder

Il contesto competitivo in cui operano i porti moderni, caratterizzato da catene logistiche globali, integrazione porto-retroporto e crescente concentrazione degli operator, ha messo sotto pressione il ruolo tradizionale delle Autorità Portuali. In particolare, l'aumento del potere contrattuale dei grandi carrier, dei terminal operator globali e degli integratori logistici può ridurre lo spazio d'azione delle istituzioni pubbliche locali, qualora queste non riescano a mantenere adeguate capacità di coordinamento e indirizzo strategico.

Nel corso degli anni si è sviluppata una discussione intensa sulla natura e sulle funzioni delle Autorità Portuali, fino a ipotizzare, anche in termini provocatori, che una gestione pubblica potesse non essere più necessaria in un contesto sempre più guidato da operatori e dinamiche private. Le valutazioni maturate in seguito, però, non hanno descritto tanto un ridimensionamento quanto un cambiamento strutturale: queste istituzioni hanno progressivamente abbandonato il ruolo limitato di apparati amministrativi e gestori del patrimonio demaniale, ampliando in modo significativo il proprio raggio d'azione e le proprie responsabilità.

Nel modello landlord, considerato oggi il riferimento più diffuso nella classificazione tradizionale dei porti, l'Autorità Portuale assume soprattutto un ruolo di indirizzo e controllo. Questa configurazione si occupa della pianificazione e dello sviluppo delle infrastrutture di base, presidia le funzioni di regolazione e sicurezza, governa il sistema delle concessioni e verifica i risultati degli operatori, oltre a svolgere un'attività di raccordo tra i diversi attori coinvolti per rafforzare la competitività complessiva dello scalo. Poiché la capacità competitiva di un porto dipende sempre più dalla qualità dei servizi offerti, dall'efficienza dei collegamenti e dall'affidabilità dell'intera catena logistica, all'Autorità Portuale è richiesto anche di favorire dinamiche collaborative sul territorio, sostenendo logiche di rete e iniziative di integrazione tra imprese portuali e servizi complementari.

Un ulteriore elemento strategico riguarda la capacità dell'Autorità Portuale di creare e distribuire valore all'interno di un ecosistema composto da molteplici attori. Tale prospettiva distingue almeno tre grandi categorie di stakeholder: da un lato quelli di mercato come carrier, terminalisti, spedizionieri e operatori logistici che operano su scala multinazionale, e possono riallocare rapidamente traffici e investimenti; dall'altro gli stakeholder sociali e territoriali, rappresentati soprattutto dalle comunità locali, sempre più attente alle esternalità generate dalle attività portuali, come congestione, emissioni e impatti ambientali; infine, gli stakeholder istituzionali, cioè regolatori e decisori pubblici, che fissano obiettivi, vincoli e indirizzi di riforma della governance.

In questo quadro, la sfida principale della governance è trovare un equilibrio tra crescita e attrattività commerciale, in una logica di mercato, e legittimazione pubblica e sostenibilità invece in un'ottica di interesse pubblico, affinché le Autorità Portuali mantengano capacità di indirizzo e non siano confinate, col tempo, a funzioni marginali in processi decisionali sempre più dominati da player globali.

2.4.2 I modelli di governance portuale

L'analisi dell'assetto organizzativo di un porto moderno impone, anzitutto, di distinguere con chiarezza tra i soggetti che detengono la proprietà delle infrastrutture e quelli che sono responsabili della gestione operativa. La comprensione della governance portuale è strettamente legata al percorso di trasformazione che ha interessato il settore marittimo negli ultimi decenni: l'esigenza di rispondere a una domanda di trasporto sempre più internazionale, l'intensificarsi della competizione tra scali e la pressione verso livelli più elevati di efficienza hanno progressivamente indotto i decisori pubblici a ridefinire il ruolo dello Stato nella gestione dei porti, promuovendo modelli fondati sul partenariato pubblico-privato e su un progressivo trasferimento di funzioni e responsabilità al settore privato.

Per classificare i diversi assetti di governance emersi da questo processo di riforma, la letteratura economica e le istituzioni internazionali, in particolare il *Port Reform Toolkit* della World Bank¹³, adottano una matrice basata su due variabili fondamentali:

1. la proprietà/controllo degli asset (terra, infrastrutture di base e sovrastrutture);
2. la responsabilità delle operazioni (gestione terminalistica, movimentazione, servizi nautici e attività commerciali).

In base a come tali responsabilità vengono ripartite tra l'Autorità Portuale (o altro ente pubblico) e gli operatori privati, si individuano quattro archetipi principali di modello gestionale:

1. Public Service Port:

L'autorità pubblica detiene la proprietà della terra, delle infrastrutture e delle sovrastrutture e gestisce direttamente, con propria manodopera, tutte le operazioni portuali. Si tratta di un modello storicamente diffuso ma oggi sempre meno comune nei grandi scali commerciali, in quanto spesso associato a rigidità amministrative, limitata flessibilità gestionale e scarsa capacità di attrarre investimenti.

¹³ World Bank Port Reform Toolkit: Effective Support for Policymakers and Practitioners, Second Edition, Washington, DC. 2017.

2. Tool Port:

L'ente pubblico mantiene la proprietà delle infrastrutture e delle sovrastrutture principali (ad esempio le gru di banchina), mentre le operazioni di movimentazione e i servizi terminalistici sono affidati a imprese private. Questo assetto riduce l'onere degli investimenti iniziali per il settore pubblico, ma può generare conflitti e problemi di coordinamento a causa della frammentazione delle responsabilità, in particolare per quanto riguarda manutenzione e programmazione operativa.

3. Private Service Port

Rappresenta l'estremo opposto rispetto al Public Service Port, in quanto il porto è interamente privatizzato. Un soggetto privato detiene la proprietà della terra, delle infrastrutture e delle sovrastrutture, e gestisce in autonomia tutte le operazioni e i servizi. È un modello diffuso soprattutto in alcuni porti industriali dedicati e in specifici contesti, ad esempio nel Regno Unito.

4. Landlord Port

Si configura come il modello oggi dominante a livello globale e viene generalmente considerato l'equilibrio più efficace tra controllo pubblico ed efficienza privata. In questo scenario, l'Autorità Portuale mantiene la proprietà del suolo e delle infrastrutture di base (banchine, dighe, canali di accesso) e svolge funzioni di regolatore, pianificatore e landlord dell'area portuale, mentre le sovrastrutture (gru, mezzi di piazzale) e le operazioni commerciali sono affidate a terminalisti privati tramite contratti di concessione di lungo periodo.

La scelta del modello di governance non è un mero esercizio amministrativo, ma definisce le leve strategiche con cui l'Autorità Portuale può governare le pressioni dei diversi stakeholder e orientare lo sviluppo dello scalo nel lungo periodo. In particolare, la governance portuale incide direttamente sulla sostenibilità perché determina chi detiene il controllo degli asset, chi assume le decisioni d'investimento e attraverso quali strumenti

è possibile indirizzare i comportamenti degli operatori, internalizzando obiettivi ambientali e sociali nelle dinamiche di mercato.

Tra gli archetipi descritti, il modello landlord rappresenta, in termini comparativi, la soluzione più efficace per conciliare competitività e sostenibilità. Rispetto al public service port, consente di superare rigidità gestionali e vincoli di finanza pubblica, favorendo efficienza operativa, attrazione di capitali privati e capacità di innovazione tecnologica. Al contempo, a differenza del private service port, mantiene un presidio pubblico su elementi strategici come suolo, infrastrutture di base, pianificazione e regolazione, che risultano cruciali per governare esternalità ambientali, conflitti porto-città e interessi collettivi di lungo periodo.

In questa configurazione, l'Autorità Portuale può quindi esercitare un ruolo di indirizzo e coordinamento, definendo regole e priorità di sviluppo che rendono la sostenibilità non un requisito aggiuntivo introdotto a posteriori, ma un criterio strutturante delle scelte infrastrutturali e operative dello scalo.

III Sostenibilità nel Settore Portuale: Inquinamento Marino e Regolamentazioni

3.1 Fonti principali di inquinamento nei porti

L'ambiente marino rappresenta uno degli ecosistemi più complessi del pianeta, svolgendo funzioni ecologiche, economiche e climatiche fondamentali. Tuttavia, gli interventi umani hanno progressivamente compromesso la salute degli oceani, introducendo agenti inquinanti che minacciano la biodiversità marina e il benessere delle collettività.

Se l'inquinamento delle acque marine in mare aperto rappresenta una problematica diffusa, altrettanto rilevante risulta l'impatto ambientale concentrato nelle aree portuali. In questo contesto, i porti costituiscono nodi critici dove convergono e si amplificano molteplici fonti di inquinamento, con effetti diretti sulle comunità urbane circostanti. Infatti, la peculiarità dell'inquinamento portuale risiede nella sua concentrazione spaziale, poiché a differenza delle emissioni in mare aperto, quelle portuali si verificano in prossimità di aree densamente popolate, moltiplicando l'esposizione della popolazione e aggravando gli impatti sanitari. In particolare, vi sono due forme di impatto che risultano rilevanti per le comunità urbane circostanti: l'inquinamento atmosferico e quello acustico.

Sul fronte delle emissioni atmosferiche, le navi ormeggiate costituiscono una fonte significativa di inquinamento. Durante la sosta in banchina, i motori ausiliari rimangono in funzione per alimentare i servizi di bordo, rilasciando ossidi di azoto (NO_x), particolato fine (PM_{2.5} e PM₁₀) e ossidi di zolfo (SO_x). Secondo le stime dell'IMO¹, questi inquinanti incidono considerevolmente sulla qualità dell'aria nelle città portuali, con effetti documentati sulla salute respiratoria e cardiovascolare dei residenti e sull'ambiente marino costiero.

¹ International Maritime Organization (IMO), Fourth IMO GHG Study 2020 - Full Report, IMO, London, 2021.

Parallelamente, l'inquinamento acustico emerge come criticità spesso sottovalutata. Il rumore persistente generato dai motori navali, dalle operazioni portuali e dal traffico veicolare degrada la qualità della vita nelle aree residenziali limitrofe, con conseguenze sanitarie che includono disturbi del sonno, stress cronico e patologie cardiovascolari. Queste due forme di inquinamento, strettamente interconnesse nella loro origine, saranno oggetto di approfondimento nei paragrafi successivi.

3.1.1 Inquinamento atmosferico portuale

Figura 1. Rappresentazione grafica dell'impatto delle emissioni del trasporto marittimo sulla qualità dell'aria nelle aree costiere urbane.



Fonte : Viana M. et al., Atmospheric Environment, 2014

Le infrastrutture portuali costituiscono una fonte rilevante di inquinamento atmosferico, con impatti significativi sulla qualità dell'aria delle zone costiere circostanti e sulla salute delle popolazioni residenti.

Tra le molteplici fonti di emissioni generate nei porti, le navi ormeggiate in banchina rappresentano una sorgente significativa, poiché i motori ausiliari rimangono frequentemente in funzione per garantire l'alimentazione elettrica di bordo. Inoltre, le operazioni di carico e scarico delle merci sollevano polveri dal suolo, generando livelli di particolato (PM_{10} e $PM_{2,5}$) che possono superare quelli causati dalle emissioni navali dirette. Tale problematica assume particolare rilevanza considerando la distribuzione geografica delle emissioni. Infatti, circa il 70% delle emissioni navali avviene entro 400 chilometri dalle coste, determinando un'esposizione diretta delle comunità costiere agli inquinanti rilasciati.

Le emissioni portuali comprendono un ampio spettro di inquinanti atmosferici, ciascuno con caratteristiche e impatti specifici. Il particolato rappresenta una delle principali

criticità nelle aree costiere europee, in quanto le emissioni portuali contribuiscono dall'1 al 7% dei livelli ambientali di PM_{10} e dall'1 al 14% di quelli di $PM_{2,5}$.²

Il biossido di azoto (NO_2) costituisce un altro inquinante critico, con contributi delle attività portuali compresi tra il 7 e il 24% delle concentrazioni ambientali, mentre le emissioni di biossido di zolfo (SO_2) nelle aree portuali fungono da precursori per la formazione di aerosol secondario³ e possono favorire episodi di nucleazione di nuove particelle nelle ore centrali della giornata. Tali fenomeni risultano particolarmente nocivi in quanto le particelle fini possono penetrare nelle vie respiratorie profonde, causando o aggravando patologie cardiorespiratorie.

Ricerche scientifiche hanno esaminato approfonditamente l'impatto delle emissioni navali sulla qualità dell'aria nelle zone costiere europee. Le evidenze emerse dalla letteratura dimostrano che il trasporto marittimo incide significativamente sui livelli di inquinamento atmosferico, contribuendo per il 5-20% alle concentrazioni di solfato non marino e per il 5-30% a quelle di biossido di zolfo nelle regioni costiere europee⁴.

Questa evidenza scientifica trova conferma nei dati più recenti dell'European Maritime Safety Agency (EMSA)⁵, che ha analizzato le concentrazioni medie annue di NO_2 e PM_{10} nel 2021 all'interno delle aree portuali europee rispetto alle regioni circostanti, come dimostrato nel Grafico 1. I dati, elaborati con risoluzione spaziale di 1 km x 1 km, rivelano un pattern consistente: le concentrazioni di inquinanti risultano sistematicamente più elevate all'interno delle aree portuali (evidenziate con le barre in blu scuro) rispetto alle zone non portuali limitrofe (evidenziate con le barre in azzurro).

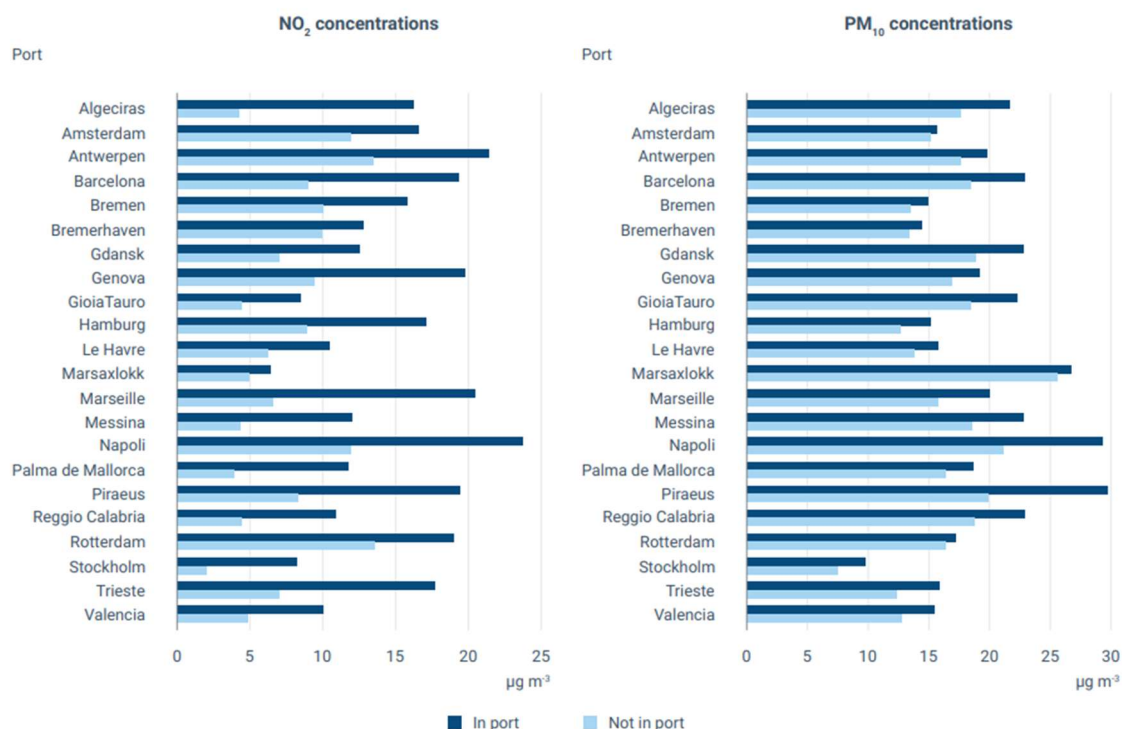
² Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., de Vlieger, I., & van Aardenne, J. Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*. 2014.

³ L'aerosol secondario è costituito da particelle che si formano in atmosfera attraverso reazioni chimiche a partire da gas precursori (come SO_2 e NO_2), anziché essere emesse direttamente dalle sorgenti.

⁴ Cfr. nota 2.

⁵ EMSA, European Maritime Transport Environmental Report 2025.

Grafico 1: Concentrazioni medie annue di NO₂ e PM₁₀ nel 2021 all'interno e in prossimità delle aree portuali rispetto alla regione circostante



Note: Dati provenienti dalle mappe della qualità dell'aria dell'Agenzia europea dell'ambiente con risoluzione di 1 km x 1 km.

Fonte: European Maritime Safety Agency (EMSA).

Per quanto riguarda il biossido di azoto NO₂, i dati EMSA evidenziano differenze significative tra i diversi porti europei. Nel Mediterraneo occidentale, Barcellona emerge come caso emblematico, registrando concentrazioni prossime ai 20 µg/m³ in area portuale, con un differenziale marcato rispetto alle zone limitrofe. Il confronto con Valencia è particolarmente significativo, dato che presenta concentrazioni sensibilmente inferiori, suggerendo differenze nelle politiche ambientali adottate o nelle tecnologie disponibili. Questa variabilità tra porti geograficamente vicini evidenzia come le concentrazioni dipendano non solo dal volume di traffico, ma anche dalle tecnologie adottate e dalle condizioni locali di dispersione atmosferica.

Spostandosi verso il Nord Europa, i grandi hub mostrano valori elevati di biossido di azoto NO₂. Rotterdam, Amburgo e Anversa presentano concentrazioni portuali superiori ai 15 µg/m³, riflettendo l'intensità delle attività navali e logistiche. Tra i porti italiani,

Napoli registra tra i valori più elevati dell'intero campione europeo, mentre Genova e Trieste confermano concentrazioni significative.

Si può notare inoltre che il quadro relativo al PM_{10} presenta alcune differenze rispetto al NO_2 . Marsiglia emerge come il porto con le concentrazioni più elevate, raggiungendo circa $25 \mu g/m^3$, superando anche Barcellona che registra valori prossimi ai $20 \mu g/m^3$. Questa differenza può essere attribuita all'intenso traffico crocieristico e alla conformazione del bacino portuale marsigliese.

Per quanto riguarda i porti italiani, questi mostrano un quadro preoccupante. Napoli, Genova e Trieste presentano concentrazioni di PM_{10} che raggiungono o superano i $25-30 \mu g/m^3$, con differenziali significativi rispetto alle aree non portuali. Anche in questo caso, Valencia si distingue per concentrazioni più contenute rispetto ai porti vicini. Nel Nord Europa, invece, le concentrazioni di PM_{10} risultano generalmente più basse rispetto al Mediterraneo, probabilmente grazie alla combinazione di normative e condizioni meteorologiche più favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

Accanto all'analisi della composizione chimica delle emissioni, è essenziale considerare le implicazioni sanitarie per le popolazioni residenti nelle aree costiere, poiché la presenza di questi inquinanti nell'aria si traduce in significative conseguenze sulla salute delle comunità esposte. Tra questi, gli ossidi di azoto (NO_x) contribuiscono alla formazione di smog fotochimico, mentre gli ossidi di zolfo (SO_x) sono responsabili delle piogge acide, fenomeno che danneggia ecosistemi, vegetazione e strutture edificate. Il particolato fine ($PM_{2,5}$), significativamente pericoloso per la sua capacità di penetrare in profondità nell'apparato respiratorio, rappresenta una delle frazioni più critiche dal punto di vista sanitario.

Studi specifici condotti nelle aree portuali hanno quantificato il contributo delle emissioni navali alla qualità dell'aria locale. Nelle regioni costiere, le navi sono responsabili del 5-20% delle concentrazioni di solfato non marino e del 5-30% delle concentrazioni di biossido di zolfo.⁶ Queste percentuali possono aumentare significativamente nelle

⁶ Corbett, James & Winebrake, James & Green, Erin & Kasibhatla, Prasad & Eyring, Veronika & Lauer, Axel. Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment. Environmental science & technology. 2008.

immediate vicinanze delle banchine, dove la concentrazione spaziale delle fonti emissive determina picchi di inquinamento.

Gli effetti sanitari degli inquinanti portuali sono ampiamente documentati. Gli ossidi di azoto e di zolfo provocano irritazioni delle vie respiratorie, mentre il particolato fine è stato strettamente correlato all'incremento della mortalità per patologie cardiopolmonari e tumori polmonari. Più in generale, l'esposizione prolungata all'inquinamento atmosferico è associata a numerose patologie, tra cui disturbi respiratori, ictus, malattie cardiovascolari e metaboliche, cancro ai polmoni, nascite premature, ridotta fertilità e mortalità prematura.

Lo studio pionieristico di Corbett e collaboratori ha fornito la prima valutazione globale dell'impatto sanitario delle emissioni navali, stimando che il particolato correlato al trasporto marittimo sia responsabile di circa 60.000 decessi annui a livello mondiale per patologie cardiopolmonari e tumori polmonari.⁷ Nello specifico, la distribuzione geografica di questa mortalità si concentra nelle regioni costiere caratterizzate dalla sovrapposizione di elevate densità di popolazione e intense concentrazioni di PM_{2,5} di origine navale. Ne risulta che le emissioni del trasporto marittimo contribuiscono infatti al 3-8% della mortalità globale attribuibile all'esposizione a particolato fine.

Questi dati evidenziano l'urgente necessità di implementare strategie di mitigazione delle emissioni portuali. La tutela della salute delle comunità costiere richiede un approccio integrato che combini normative più stringenti, innovazione tecnologica e una pianificazione urbana consapevole della prossimità tra aree residenziali e infrastrutture portuali.

⁷ Ibidem.

3.1.2 Inquinamento acustico portuale

Accanto alle emissioni atmosferiche, l'inquinamento acustico costituisce un'altra dimensione rilevante dell'impatto ambientale delle attività portuali, spesso trascurata nel dibattito pubblico ma dalle conseguenze significative per le comunità costiere.

Gli impatti alla salute dell'inquinamento acustico, pur differendo nella loro natura da quelli atmosferici, presentano analogie significative. L'esposizione prolungata al rumore portuale è stata correlata a disturbi del sonno, stress cronico, ipertensione e patologie cardiovascolari. Questi effetti, combinati con quelli delle emissioni atmosferiche che includono disturbi respiratori, cardiovascolari e metabolici delineano un quadro di pressione ambientale sulle popolazioni costiere.

È ormai scientificamente accertato che l'esposizione prolungata al rumore può influire sulla salute umana sia direttamente che indirettamente. Gli effetti diretti, che possono causare danni permanenti all'udito, si verificano quando i livelli di pressione sonora superano i 75 dB(A). Al di sotto di questa soglia, tuttavia, possono manifestarsi effetti indiretti altrettanto rilevanti in caso di esposizione prolungata, come la difficoltà di apprendimento dovute alla ridotta intelligibilità del parlato, ipertensione, patologie cardiovascolari, disturbi del sonno e stati di irritabilità rappresentano le principali conseguenze indirette dell'inquinamento acustico sulla salute.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha riconosciuto che qualsiasi modificazione delle proprietà naturali dell'ambiente, inclusa quella acustica, costituisce una forma di inquinamento con ripercussioni sulla salute umana. Circa il 91% della popolazione globale risiede in regioni dove gli standard di qualità ambientale superano i criteri stabiliti dall'OMS⁸. Questo dato risulta ancor più significativo nel contesto delle comunità limitrofe alle zone portuali, dove l'esposizione agli inquinanti atmosferici si accompagna a quella al rumore ambientale.

Sul piano normativo, la regolamentazione del rumore portuale presenta significative lacune rispetto ad altre infrastrutture di trasporto. La Direttiva Europea sul Rumore Ambientale (END - 2002/49/EC), principale riferimento legislativo in materia, richiede

⁸ WHO, WHO Global Air Quality Guidelines, Geneva, 2021.

agli Stati membri l'elaborazione di mappe acustiche strategiche per le principali infrastrutture di trasporto, ma non prevede una valutazione specifica e separata per le aree portuali. Anche l'aggiornamento della Direttiva da parte della Commissione Europea nel 2015 non ha colmato questa lacuna: i porti continuano a essere classificati genericamente come sorgenti industriali all'interno degli agglomerati urbani, senza un trattamento dedicato.

Tale marginalizzazione normativa ha prodotto conseguenze rilevanti. L'assenza di politiche di controllo specifiche ha favorito nel tempo la proliferazione di strutture rumorose nelle vicinanze degli scali portuali, mentre l'espansione territoriale di alcuni porti ha determinato uno sviluppo urbano eccessivamente prossimo ad ambienti acusticamente critici. Queste carenze regolatorie rappresentano una delle principali cause delle frequenti lamentele da parte dei cittadini residenti nelle aree limitrofe. Solo negli ultimi anni la comunità scientifica ha iniziato ad affrontare sistematicamente questa problematica, avviando studi e progetti specifici sull'impatto acustico portuale.

Un aspetto interessante da considerare per l'analisi sull'inquinamento acustico nei porti è dato dal fatto che il rumore è difficile da esaminare, poiché la complessità della valutazione acustica portuale deriva dall'elevato numero di sorgenti sonore e infrastrutture coinvolte contemporaneamente, sia in movimento che stazionarie. Treni, veicoli pesanti, navi e macchinari industriali emettono suoni in momenti differenti, con durate variabili e su diverse bande di frequenza, rendendo estremamente difficoltoso isolare e quantificare il contributo di ciascuna fonte. A ciò si aggiunge il fatto che molte sorgenti presentano dimensioni considerevoli e non possono essere testate in ambiente controllato, mentre le operazioni dei terminal portuali non possono essere interrotte durante le campagne di misurazione.

Come evidenziato da Bocanegra e collaboratori⁹, in uno studio condotto presso il porto di Genova, il rumore portuale presenta due elementi di criticità fondamentali: la presenza simultanea di molteplici sorgenti sonore con un forte effetto di sovrapposizione e l'impossibilità di avvicinarsi alle fonti emissive per effettuare misurazioni accurate mediante tecniche tradizionali.

⁹ Bocanegra, J. A., Borelli, D., Gaggero, T., Rizzuto, E., & Schenone, C. A novel approach to port noise characterization using an acoustic camera. *Science of The Total Environment*, 2021.

Considerando il contesto specifico, le fonti di rumore nelle aree portuali sono molteplici e interconnesse. Le navi rappresentano la principale sorgente sonora tipica dei porti, producendo livelli di rumore differenti e con diversa direttività a seconda della tipologia e dell'operazione svolta. Il rumore a bassa frequenza emesso dai motori delle navi ormeggiate produce un impatto maggiore durante le ore notturne, quando il livello di rumore di fondo è ridotto, propagandosi anche a lunghe distanze. Il rumore impulsivo generato dai veicoli pesanti in transito risulta invece particolarmente impattante durante il giorno, quando il rumore di fondo è più elevato. Le emissioni acustiche portuali, peraltro, non si limitano all'area portuale: il traffico terrestre indotto diffonde l'inquinamento sonoro nell'intero ambiente urbano circostante.

La caratterizzazione, il monitoraggio e il controllo del rumore portuale costituiscono questioni aperte di rilevante importanza, con implicazioni dirette sulla salute, la sicurezza e il comfort sia dei lavoratori portuali che dei cittadini residenti nelle aree limitrofe. Pertanto, l'adozione di strategie integrate di mitigazione dell'inquinamento acustico rappresenta una sfida prioritaria per garantire uno sviluppo portuale sostenibile e compatibile con la qualità della vita delle comunità residenti.

3.2 Quadro normativo internazionale: il ruolo dell'IMO

Il trasporto marittimo costituisce la spina dorsale del commercio globale, movimentando oltre l'80% delle merci mondiali in termini di volume. Tale centralità nel sistema economico internazionale si accompagna tuttavia a un significativo impatto ambientale: secondo i dati dell'International Maritime Organization (IMO), il settore navale è responsabile di circa il 2,5% delle emissioni globali di gas serra, contribuendo in misura rilevante all'inquinamento atmosferico nelle zone costiere attraverso il rilascio di ossidi di zolfo (SOx), ossidi di azoto (NOx) e particolato fine.¹⁰

Le conseguenze sulla salute pubblica e sull'ecosistema marino precedentemente analizzate rendono imprescindibile l'adozione di un quadro normativo internazionale armonizzato, capace di garantire standard uniformi in materia di sicurezza operativa e protezione ambientale.

In tale contesto, l'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) riveste un ruolo preminente quale agenzia specializzata delle Nazioni Unite responsabile della regolamentazione del settore. Istituita con la Convenzione di Ginevra del 1948 e operativa dal 1959, l'Organizzazione persegue la missione di promuovere una navigazione sicura, efficiente e sostenibile dal punto di vista ambientale, rappresentando con i suoi 176 Stati membri il principale forum internazionale per l'elaborazione di convenzioni, codici e linee guida vincolanti per l'industria marittima globale.

Sul piano della decarbonizzazione, intesa come processo di transizione verso sistemi energetici e produttivi a basse o nulle emissioni di carbonio finalizzato alla mitigazione dei cambiamenti climatici, l'IMO ha definito nel 2023 una Revised Greenhouse Gas Strategy¹¹ che stabilisce una traiettoria di riduzione delle emissioni mediante obiettivi indicativi, calcolati su base Well-to-Wake - ovvero considerando l'intero ciclo di vita del carburante, dall'estrazione della materia prima fino alla combustione a bordo della nave,

¹⁰ IMO. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. International Maritime Organization, London.

¹¹ La Revised Greenhouse Gas Strategy (Strategia Riveduta sui Gas Serra), adottata nel luglio 2023 dalla 80ª sessione del MEPC, aggiorna la strategia iniziale del 2018 e prevede obiettivi di riduzione delle emissioni del 20% entro il 2030, del 70% entro il 2040 (rispetto ai livelli del 2008) e il raggiungimento delle emissioni nette zero entro il 2050.

rispetto ai livelli del 2008. La sfida appare significativa considerando lo stato attuale del settore: nel 2022, le navi impiegate nel trasporto marittimo internazionale hanno emesso 706 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente, mentre il 98,8% della flotta mondiale continua a fare affidamento su combustibili fossili inquinanti, quali olio combustibile pesante o gas naturale liquefatto (GNL).¹²

Le tappe intermedie definite dalla Strategia IMO 2023 prevedono entro il 2030 una riduzione delle emissioni di gas serra del 20-30% rispetto al 2008, accompagnata dall'adozione del 5-10% di combustibili e tecnologie a zero o quasi zero emissioni; entro il 2040 una riduzione del 70-80%; ed entro il 2050 il raggiungimento di emissioni nette zero dal trasporto marittimo internazionale¹³. Per tradurre tali obiettivi indicativi in misure vincolanti, il Marine Environment Protection Committee (MEPC)¹⁴ ha negoziato regolamenti obbligatori la cui implementazione è prevista entro il 2027, come il Net-Zero Framework approvato nell'aprile 2025.

In sintesi, la Strategia IMO 2023 segna un punto di svolta nella governance ambientale del trasporto marittimo, tracciando un percorso concreto verso la neutralità climatica attraverso strumenti progressivamente vincolanti. Tuttavia, il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica richiede l'implementazione di politiche specificamente progettate per le attività portuali, nodi strategici nella catena della prevenzione dell'inquinamento marino.

Le sezioni successive saranno pertanto dedicate all'analisi degli strumenti normativi sviluppati dall'IMO, con particolare attenzione alle misure di prevenzione dell'inquinamento portuale.

¹² Cfr. nota 10.

¹³ Ibidem.

¹⁴ Il Marine Environment Protection Committee (MEPC) è l'organo tecnico dell'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) responsabile dell'elaborazione e adozione di regolamenti internazionali per la prevenzione dell'inquinamento causato dalle navi.

3.2.1 La Convenzione MARPOL e l'Allegato VI per la tutela della qualità dell'aria

Tra gli impegni più significativi dell'Organizzazione Marittima Internazionale si annovera l'istituzione della Convenzione Internazionale per la Prevenzione dell'Inquinamento causato dalle Navi (Marine Pollution da cui la sigla MARPOL), il cui scopo consiste nel minimizzare l'inquinamento provocato dal naviglio, sia di natura accidentale sia derivante da operazioni ordinarie e ripetitive.

Al fine di disciplinare tale obiettivo, la Convenzione MARPOL si costituisce di sei allegati tecnici. È opportuno sottolineare come la Convenzione ponga in capo agli Stati contraenti l'obbligo di garantire nei propri porti la disponibilità di impianti di ricezione adeguati alle esigenze delle navi che vi fanno scalo, senza che ciò comporti indebiti ritardi alle operazioni commerciali. Tale previsione evidenzia il ruolo strategico delle infrastrutture portuali quali nodi fondamentali nella catena della prevenzione dell'inquinamento marino, chiamate a fungere da interfaccia tra il sistema normativo internazionale e la sua concreta attuazione.

Tra i sei allegati è di sostanziale rilevanza l'Allegato VI, adottato nel settembre 1997 ed entrato in vigore il 19 maggio 2005, che costituisce lo strumento normativo internazionale di riferimento per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico generato dal trasporto marittimo. Sebbene le emissioni navali non producano effetti immediati paragonabili a quelli di uno sversamento di idrocarburi, esse esercitano un impatto cumulativo sulla qualità dell'aria, contribuendo all'insorgenza di patologie respiratorie nelle popolazioni costiere e al fenomeno delle piogge acide.

L'Allegato disciplina i principali inquinanti contenuti nei gas di scarico delle navi, in particolare SO_x e NO_x, e vieta le emissioni deliberate di sostanze lesive dello strato di ozono. La normativa regola inoltre l'incenerimento a bordo e le emissioni di composti organici volatili provenienti dalle navi cisterna.

Per quanto concerne i limiti sul tenore di zolfo nei combustibili navali, l'Allegato VI ha previsto una progressiva riduzione del limite globale, passato dal 4,50% al 3,50% a partire dal 1° gennaio 2012, fino a raggiungere lo 0,50% dal 1° gennaio 2020. Quest'ultima soglia, comunemente denominata “IMO 2020”, è stata effettivamente implementata a

seguito della verifica di fattibilità completata nel 2018, che ha confermato l'adeguata disponibilità di combustibili conformi sul mercato globale¹⁵. Per adeguarsi al nuovo limite, gli operatori navali possono optare per l'utilizzo di combustibili a basso tenore di zolfo, l'installazione di sistemi di depurazione dei gas di scarico (scrubber) o l'impiego di combustibili alternativi come il gas naturale liquefatto.

L'Allegato VI della Convenzione MARPOL introduce un sistema progressivo di standard emissivi per i motori diesel marini, articolato in tre livelli di crescente rigore, concepito per ridurre gradualmente l'impatto atmosferico del trasporto marittimo¹⁶.

Lo standard Tier I si applica ai motori installati tra il 1° gennaio 1990 e il 31 dicembre 1999, previa certificazione da parte dell'amministrazione competente, e rappresenta la baseline di riferimento per le successive riduzioni emissive.

Lo standard Tier II, più stringente, è obbligatorio per i motori installati a partire dal 1° gennaio 2011 e si applica a livello globale, imponendo una riduzione delle emissioni di NOx pari a circa il 15-20% rispetto al Tier I.

Lo standard Tier III rappresenta il livello più rigoroso, imponendo riduzioni emissive dell'ordine del 75-80% rispetto al Tier I. A differenza dei precedenti livelli, tale standard presenta una duplice condizionalità: temporale e geografica. Sul piano temporale, si applica ai motori installati a partire dal 1° gennaio 2016; sul piano geografico, è obbligatorio esclusivamente per le navi operanti nelle ECA specificamente designate per gli ossidi di azoto (NECA). Questa architettura normativa rende la designazione di nuove NECA uno strumento fondamentale per l'estensione progressiva della tutela ambientale rafforzata, oggetto di approfondimento nel sotto capitolo 3.2.2.2

La Convenzione MARPOL è oggetto di continui emendamenti volti ad adeguarne le disposizioni all'evoluzione tecnologica e alle crescenti esigenze di tutela ambientale. L'IMO, perseguendo l'obiettivo di "mari puliti e sicuri", intensifica gli sforzi di controllo e supervisione attraverso le attività di audit e le ispezioni Port State Control, al fine di verificare l'effettiva conformità delle navi agli standard prescritti.

¹⁵ International Maritime Organization, IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions. 2020.

¹⁶ IMO, MARPOL Annex VI, Regulation 13; NOx Technical Code 2008, Resolution MEPC.177 (58), 2008.

In sintesi, l'Allegato VI della Convenzione MARPOL rappresenta il pilastro normativo internazionale per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico marittimo, disciplinando le emissioni di SOx, NOx e VOC attraverso limiti progressivamente più stringenti e standard emissivi per i motori navali. Tra gli strumenti più rilevanti introdotti dall'Allegato figurano le Aree di Controllo delle Emissioni (ECAs), oggetto di approfondimento nel sottocapitolo seguente.

3.2.2 Le Aree di Controllo delle Emissioni (ECAs)

L'Allegato VI della Convenzione MARPOL prevede la possibilità di designare specifiche zone marittime quali Aree di Controllo delle Emissioni (ECAs - Emission Control Areas), nelle quali si applicano standard emissivi più rigorosi rispetto ai limiti globali. Tale strumento consente di garantire una protezione rafforzata per le aree particolarmente vulnerabili o caratterizzate da elevata densità di traffico navale, riducendo l'impatto delle emissioni sulla qualità dell'aria delle comunità costiere e sugli ecosistemi marini.

In tali zone, il tenore massimo di zolfo consentito nei combustibili navali è stato ridotto dall'1,00% allo 0,10% in massa a partire dal 1° gennaio 2015, imponendo agli armatori l'adozione di combustibili a bassissimo tenore di zolfo o l'installazione di sistemi di abbattimento delle emissioni, quali gli Exhaust Gas Cleaning Systems (scrubber).¹⁷

Le ECAs attualmente operative comprendono:

- l'Area del Mar Baltico, prima ad essere designata e in vigore dal 2005;
- l'Area del Mare del Nord, operativa dal 2007 e comprensiva del Canale della Manica;
- l'Area del Nord America, in vigore dal 2012 ed estesa alle acque costiere di Stati Uniti e Canada fino a 200 miglia nautiche dalla costa;
- l'Area del Mar dei Caraibi USA, operativa dal 2014 per le acque circostanti Porto Rico e le Isole Vergini americane.

L'IMO ha recentemente adottato emendamenti all'Allegato VI che introducono tre nuove Aree di Controllo delle Emissioni, ampliando significativamente la copertura geografica di tale strumento di tutela ambientale. Le nuove aree comprendono il Mar Mediterraneo, designato per il controllo degli ossidi di zolfo, nonché l'Artico canadese il Mare di Norvegia, entrambi designati sia per il controllo degli ossidi di azoto sia per quelli di zolfo. L'inclusione del Mediterraneo risulta particolarmente rilevante, trattandosi di un bacino strategico per il trasporto marittimo mondiale.

¹⁷ Ibidem.

Le disposizioni relative alle ECAs si applicano ad armatori, operatori navali, gestori delle navi e comandanti. Le unità che operano o fanno ingresso in tali aree, a partire dalle rispettive date di entrata in vigore, dovranno disporre a bordo di combustibile conforme con tenore massimo di zolfo dello 0,10% in massa, oppure operare sistemi alternativi di conformità debitamente approvati.

A completamento del quadro normativo, occorre distinguere tra le aree designate per il controllo degli ossidi di zolfo (SECA - Sulphur Emission Control Area) e quelle specificamente istituite per la riduzione degli ossidi di azoto (NECA - Nitrogen Emission Control Area), ciascuna caratterizzata da requisiti tecnici e tempistiche di applicazione differenti.

3.2.2.1 Sulphur Emission Control Area (SECA)

Le Sulphur Emission Control Areas (SECA) costituiscono zone marittime designate ai sensi dell'Annex VI della Convenzione MARPOL, nelle quali si applicano limiti più stringenti sul contenuto di zolfo nei combustibili marini. Mentre a livello globale il limite vigente è pari allo 0,50% dal 1° gennaio 2020, nelle aree SECA il contenuto di zolfo consentito è ridotto allo 0,10%, al fine di limitare le emissioni di ossidi di zolfo (SOx) e particolato, con conseguenti benefici per la qualità dell'aria e la salute delle popolazioni costiere.

Fino a tempi recenti, le aree designate come SECA comprendevano esclusivamente il Mar Baltico, il Mare del Nord, il Canale della Manica e le zone costiere di Stati Uniti e Canada. Il Mar Mediterraneo, nonostante l'intenso traffico marittimo e la prossimità di aree densamente popolate, non beneficiava di alcuno status speciale in materia di controllo delle emissioni atmosferiche.

Tale situazione è mutata il 10 dicembre 2021, quando, in occasione della COP 22 della Convenzione di Barcellona tenutasi ad Antalya (Turchia), 22 governi firmatari hanno raggiunto un accordo per l'istituzione di una SECA nel Mar Mediterraneo¹⁸. La proposta, elaborata nel maggio 2021 dai rappresentanti nazionali designati dagli Stati mediterranei e successivamente approvata dal Mediterranean Action Plan nell'ambito del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), è stata sottoposta per adozione formale al MEPC 78 nel giugno 2022¹⁹. A seguito di tale iter, a partire dal 1° maggio 2025, in tutto il bacino mediterraneo, si impone l'utilizzo di combustibili marini con contenuto di zolfo non superiore allo 0,10.

Al fine di monitorare la conformità alle normative sulle emissioni di zolfo, l'EMSA ha condotto rilevazioni tramite RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) nelle aree SECA e portuali europee. Il Grafico 2 illustra la distribuzione del contenuto di zolfo nei carburanti marittimi rilevato attraverso tali misurazioni aeree nel triennio 2021-2023.

¹⁸ United Nations Environment Programme / Mediterranean Action Plan (UNEP/MAP), 22nd Meeting of the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean and its Protocols, Antalya, Turkey, 7-10 December 2021.

¹⁹ International Maritime Organization, Marine Environment Protection Committee (MEPC 78), 6-10 June 2022.

Grafico 2: Distribuzione delle emissioni di zolfo ottenute tramite RPAS aereo misurazioni acquisite nelle aree SECA e portuali nel corso del 2021, 2022 e 2023



Note: La distribuzione è suddivisa in 26 classi. Per il 2021 e il 2022 i valori vanno dall'1% FSC, per il 2023 i valori salgono dello 0,94% FSC, il valore più alto misurato in quell'anno.

Fonte: Elaborazione EMSA su dati interni e rilevazioni RPAS, 2024.

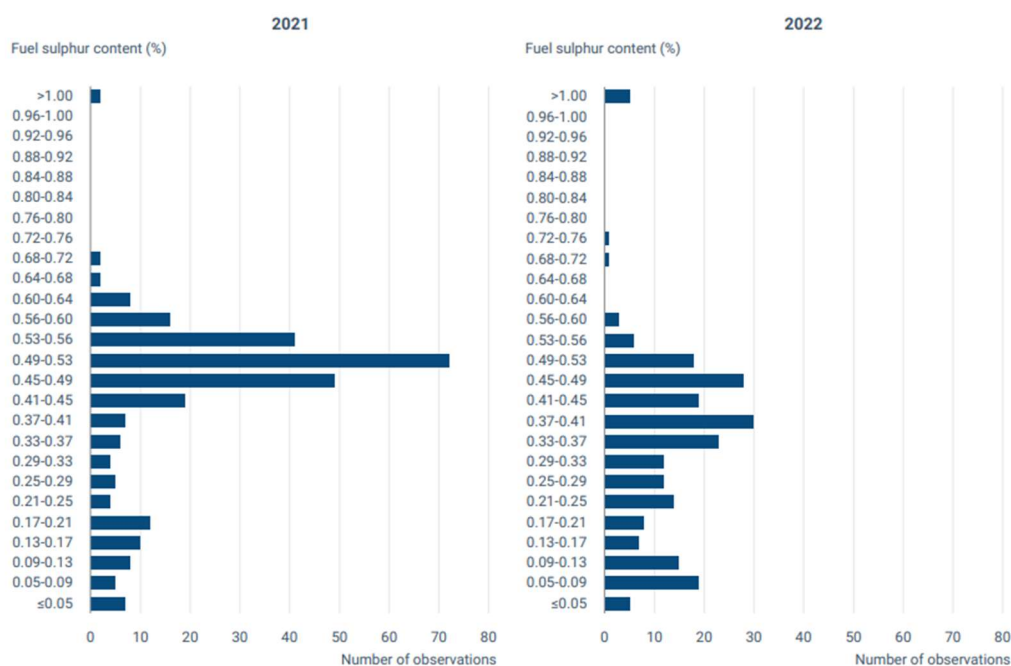
I dati evidenziano un elevato livello di conformità alle normative vigenti. Infatti, la grande maggioranza delle osservazioni si colloca al di sotto dello 0,10% FSC (Fuel Sulphur Content), in linea con i limiti imposti dalla Direttiva (UE) 2016/802 per le aree SECA e le acque portuali europee²⁰. Si osserva inoltre un progressivo miglioramento nel corso del periodo analizzato, con una concentrazione crescente delle rilevazioni nelle fasce più basse nel 2023.

Questi risultati testimoniano l'efficacia del quadro normativo europeo in materia di emissioni di zolfo e l'importanza dei sistemi di monitoraggio innovativi, come i droni, nel garantire il rispetto delle disposizioni ambientali nel settore marittimo-portuale.

²⁰ Direttiva (UE) 2016/802 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 maggio 2016, relativa alla riduzione del tenore di zolfo di alcuni combustibili liquidi.

Il grafico 3, invece, presenta la distribuzione del contenuto di zolfo nei carburanti marittimi rilevato mediante sistemi RPAS nelle aree situate al di fuori delle zone SECA e delle aree portuali europee, per gli anni 2021 e 2022, mentre per il 2023 non sono stati acquisiti dati in queste aree.

Grafico 3: Distribuzione delle emissioni di zolfo ottenute tramite RPAS aereo misurazioni acquisite al di fuori della SECA e delle aree portuali nel corso del 2021 e 2022



Nota: nessun dato acquisito nelle aree extra-SECA nel 2023.

Fonte: Elaborazione EMSA su dati interni e rilevazioni RPAS, 2024.

A differenza di quanto osservato nelle zone SECA, la distribuzione delle rilevazioni mostra una concentrazione prevalente nelle fasce comprese tra lo 0,33% e lo 0,53% FSC, in prossimità del limite globale IMO dello 0,50% introdotto nel 2020. Si registra tuttavia un numero non trascurabile di osservazioni al di sopra di tale soglia, inclusi alcuni casi di superamento dell'1%, indicativi di violazioni della normativa internazionale.

Nel 2022 si osserva un lieve miglioramento, con un aumento delle rilevazioni nelle fasce inferiori allo 0,45%, sebbene la distribuzione complessiva rimanga significativamente più elevata rispetto alle aree soggette a regolamentazione più stringente.

Le osservazioni RPAS, essendo dotate di riferimenti geografici precisi, hanno consentito di identificare pattern spaziali significativi nella distribuzione delle violazioni dei limiti di emissione. In particolare, l'analisi geografica delle rilevazioni ha evidenziato una correlazione tra la distanza dal confine delle aree SECA e la percentuale di superamenti dei limiti consentiti: entro 500 km dal confine SECA, la percentuale di violazioni è risultata superiore (12-15%) rispetto alle aree più distanti (3-5%).

Tale discrepanza suggerisce che le navi in ingresso nelle aree SECA potrebbero ritardare la procedura di cambio carburante (cosiddetta “change-over procedure”). Le grandi navi dispongono infatti di serbatoi multipli contenenti carburanti con diverso tenore di zolfo. Durante il passaggio dal carburante ad alto contenuto di zolfo a quello conforme ai limiti SECA, residui di combustibile non conforme possono permanere nelle tubazioni del sistema di alimentazione per diverse ore, generando temporaneamente emissioni superiori ai limiti consentiti. Pertanto, se le navi effettuano il cambio carburante troppo tardi rispetto all'ingresso nella zona SECA, le emissioni potrebbero risultare non conformi fino al completamento della transizione.

Non è stato tuttavia possibile determinare se un comportamento analogo si verifichi quando le navi abbandonano le aree SECA, a causa del numero limitato di rilevazioni disponibili in tali condizioni operative. Inoltre, la prossimità di numerose rotte marittime alle aree costiere rende particolarmente rilevante l'analisi della correlazione tra valori di zolfo e distanza dalla costa, considerato l'impatto delle emissioni navali sulla qualità dell'aria nelle zone litoranee. Ulteriori campagne di monitoraggio mirate potranno contribuire a chiarire questi aspetti comportamentali e le relative implicazioni ambientali.

Il confronto tra le due figure conferma l'efficacia del quadro normativo europeo: il differenziale di circa cinque volte tra le concentrazioni medie nelle due tipologie di aree dimostra come la stringenza dei limiti incida direttamente sui comportamenti degli operatori navali. In questa prospettiva, la riduzione dei limiti dallo 0,50% allo 0,10% FSC nel Mar Mediterraneo, prevista a partire dal 1° maggio 2025, potrà contribuire significativamente al miglioramento della qualità dell'aria nelle aree costiere

mediterranee. La combinazione di ispezioni portuali e tecnologie di monitoraggio remoto rappresenta pertanto uno strumento fondamentale per garantire l'applicazione delle normative ambientali nel settore marittimo-portuale.

3.2.2.2 NOx Emission Control Area (NECA)

Le Aree di Controllo delle Emissioni denominate NECA (Nitrogen Emission Control Area), dedicate al monitoraggio degli ossidi di azoto (NOx), costituiscono lo strumento attraverso il quale l'IMO impone l'applicazione dello standard Tier III, il più rigoroso tra i livelli emissivi previsti dall'Allegato VI della Convenzione MARPOL. All'interno di tali zone, le navi dotate di motori diesel marini con potenza superiore a 130 kW sono tenute a conformarsi ai requisiti del NOx Technical Code 2008²¹, il codice tecnico internazionale adottato dall'IMO nel 2008 per regolamentare le emissioni di ossidi di azoto nel settore marittimo, conseguendo riduzioni delle emissioni dell'ordine del 75-80% rispetto allo standard Tier I.

Il quadro delle NECA comprende l'Area del Nord America e l'Area del Mar dei Caraibi USA, entrambe designate contestualmente come aree di controllo per SOx e NOx. A queste si sono aggiunti, a partire dal 1° gennaio 2021, il Mar Baltico e il Mare del Nord, estendendo così la protezione rafforzata alle acque europee maggiormente interessate dal traffico marittimo.

Mediante la Risoluzione MEPC.392 (82)²², l'IMO ha inoltre approvato la designazione dell'Artico canadese e del Mare di Norvegia quali nuove NECA, con entrata in vigore prevista per il 1° marzo 2026. Tale ampliamento rappresenta un significativo rafforzamento della tutela ambientale nelle acque settentrionali, caratterizzate da ecosistemi particolarmente fragili e vulnerabili agli impatti delle attività antropiche.

I requisiti di conformità allo standard Tier III per le nuove aree si applicano secondo tempistiche differenziate in funzione della zona geografica e della fase costruttiva della nave. Per l'Artico canadese, l'obbligo riguarda le unità con chiglia impostata, o in fase costruttiva equivalente, a partire dal 1° gennaio 2025. Per il Mare di Norvegia, i requisiti si applicano alle navi il cui contratto di costruzione sia stato stipulato a partire dal 1° marzo 2026, ovvero, in assenza di contratto, a quelle con chiglia impostata a partire dal

²¹ International Maritime Organization, Resolution MEPC.177 (58) - NOx Technical Code 2008, 10 October 2008.

²² IMO, Resolution MEPC.392(82), 4 October 2024.

1° settembre 2026, nonché a tutte le unità la cui consegna avvenga a partire dal 1° marzo 2030²³.

Tale sistema di applicazione progressiva consente all'industria cantieristica e armatoriale di pianificare gli investimenti necessari all'adozione delle tecnologie di abbattimento richieste, quali i sistemi di Riduzione Catalitica Selettiva (SCR), i sistemi di Ricircolo dei Gas di Scarico (EGR) o la propulsione a Gas Naturale Liquefatto (GNL). Al contempo, la previsione di scadenze certe garantisce la progressiva estensione della protezione ambientale rafforzata a nuove zone marittime, in coerenza con gli obiettivi di decarbonizzazione del settore perseguiti dall'IMO.

In un'ottica di sostenibilità portuale, l'adozione di queste tecnologie assume rilevanza strategica, specie per i porti situati in prossimità o all'interno delle ECA, che diventano nodi cruciali per l'infrastruttura green, dovendo garantire servizi di bunkeraggio GNL, impianti di cold ironing e sistemi di monitoraggio delle emissioni. Questa transizione richiede investimenti coordinati tra autorità portuali, operatori terminalisti e armatori, trasformando gli scali in hub di sostenibilità capaci di attrarre traffici conformi agli standard ambientali più stringenti e di contribuire alla riduzione dell'impatto atmosferico sulle comunità costiere

²³ Ibidem.

3.2.3 Il framework IMO per la riduzione delle emissioni GHG

L'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) riconosce l'importanza e l'urgenza di controllare le emissioni di gas serra a livello mondiale, collocandosi in prima linea nella campagna globale per affrontare quella che definisce la sfida determinante della nostra epoca.

In questa direzione, l'Organizzazione è entrata in una nuova fase di inasprimento normativo. Durante l'83^a sessione del Marine Environment Protection Committee (MEPC 83), tenutasi dal 7 all'11 aprile 2025, sono stati approvati all'unanimità i draft amendments all'Allegato VI della Convenzione MARPOL che costituiscono il nucleo dell'IMO Net-Zero Framework (NZF)²⁴. Tale framework rappresenta il nuovo Capitolo 5 dell'Allegato VI MARPOL e costituisce un pilastro della strategia IMO per la decarbonizzazione del trasporto marittimo, in linea con la Strategia IMO 2023.

Il Net-Zero Framework si fonda su due strumenti principali: il Global Fuel Standard (GFS), che impone limiti progressivi alle emissioni GHG per unità di energia nei combustibili navali considerando l'intero ciclo di vita del carburante, e il meccanismo di tariffazione delle emissioni, che, tramite il pagamento di crediti ambientali per ogni grammo di CO₂ emesso, incentiva l'adozione di tecnologie e combustibili puliti penalizzando quelli più inquinanti.

I regolamenti erano originariamente destinati all'adozione formale nella sessione straordinaria MEPC/ES.2, prevista per ottobre 2025, con entrata in vigore nel 2027 e obbligo di conformità a partire dal 2028. Tuttavia, la riunione straordinaria del MEPC tenutasi dal 14 al 17 ottobre 2025 si è conclusa con il rinvio di un anno dell'adozione formale del NZF²⁵. Gli Stati membri hanno concordato sulla necessità di più tempo per raggiungere un consenso ampio e solido, in un contesto complicato dalla decisione statunitense di osteggiare le linee guida sulla decarbonizzazione del settore, compromettendo le relazioni con gli Stati aderenti secondo uno schema già collaudato da Washington in materia di dazi commerciali. La nuova convocazione è prevista per ottobre

²⁴ IMO, MEPC 83, 7-11 April 2025; IMO, Resolution MEPC.377(80), 2023 IMO GHG Strategy, 7 luglio 2023.

²⁵ IMO, Marine Environment Protection Committee, Extraordinary Session (MEPC/ES.2), 14-17 October 2025.

2026 e diverse associazioni di settore, compagnie armatoriali comprese, hanno lamentato i potenziali danni derivanti dall'assenza di un impianto regolatorio chiaro e condiviso per pianificare gli investimenti nei prossimi anni

Il framework si applica alle navi oceaniche di stazza lorda superiore a 5.000 GT, responsabili dell'88% delle emissioni di CO₂ del comparto marittimo. Inoltre, il sistema di conformità si articola su due livelli basati sull'intensità GHG del combustibile (GHG Fuel Intensity - GFI), calcolata secondo un approccio Well-to-Wake che considera l'intero ciclo di vita del carburante, dall'estrazione all'utilizzo finale.

Il primo livello, denominato Base Target, rappresenta l'obiettivo minimo obbligatorio, che prevede una riduzione iniziale del 4% rispetto alla baseline, destinata a crescere progressivamente fino al 30% entro il 2035. Il secondo livello, il Direct Compliance Target, costituisce un obiettivo più ambizioso rivolto alle navi che adottano combustibili e tecnologie avanzate a basse emissioni, con riduzioni richieste comprese tra il 17% e il 43%. Il framework introduce inoltre un meccanismo di flessibilità basato su crediti ambientali: le unità che raggiungono o superano gli obiettivi maturano Surplus Units, negoziabili sul mercato o accantonabili per gli anni successivi, mentre eventuali deficit devono essere compensati mediante l'acquisto di tali crediti o di Reward Units²⁶ emesse direttamente dall'IMO.

Entro marzo 2027, l'Organizzazione pubblicherà un elenco di Sustainable Fuel Certification Schemes riconosciuti per la verifica dei fattori di emissione dei combustibili.

Tali sviluppi si inseriscono nel solco della Strategia IMO 2023 per la riduzione delle emissioni GHG dalle navi, che fissa obiettivi di riduzione di almeno il 20% entro il 2030 e del 70% entro il 2040, unitamente alla progressiva introduzione di combustibili a zero o quasi zero emissioni. Le misure già obbligatorie dal 2023, quali l'Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) e il Carbon Intensity Indicator (CII), costituiscono la base su cui si innesta il nuovo quadro normativo.

²⁶ Reward Units: Unità premio previste dal meccanismo economico IMO per incentivare l'adozione di combustibili a zero emissioni (e-fuel) nel settore marittimo, finanziando la domanda iniziale di carburanti sostenibili e garantendone la competitività rispetto ai combustibili di transizione. Fonte: Global Maritime Forum, IMO's reward mechanism to drive the energy transition, 24 settembre 2025.

3.2.4 Metodologia GLEC

Il settore del trasporto merci e passeggeri genera circa il 30% delle emissioni globali di gas a effetto serra²⁷. In questo contesto, disporre di metodi condivisi per quantificare, confrontare e verificare le emissioni logistiche non è un'opzione, ma una condizione necessaria per qualsiasi strategia efficiente di decarbonizzazione. Le emissioni di carbonio si sono progressivamente affermate come metrica di riferimento nella dichiarazione della sostenibilità lungo la filiera, consentendo alle imprese di adottarle come indicatori chiave nella pianificazione operativa e nella definizione degli obiettivi di riduzione. La contabilizzazione del carbonio applicata alla logistica resta tuttavia una pratica nuova, resa complessa dalla frammentazione delle catene, dalla molteplicità delle modalità e dalla pluralità degli operatori coinvolti.

Per anni il mercato ha risposto a questa esigenza con metodologie settoriali, tra cui la più influente è stata il GLEC Framework. Coordinato dallo Smart Freight Centre²⁸, esso si presenta come una guida metodologica, piuttosto che come uno standard prescrittivo, che definisce i confini per la rendicontazione, propone metodologie adattabili e orienta l'utente verso il miglior risultato possibile sulla base dei dati disponibili.

Il passaggio da un riferimento consolidato nella prassi a uno standard universalmente riconosciuto richiedeva tuttavia un quadro terminologico più robusto, regole chiare in materia di confini e allocazione delle emissioni, una copertura multimodale coerente e la piena compatibilità con i processi di audit e rendicontazione aziendale.

La pubblicazione della norma ISO 14083 “*Greenhouse gases - Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations*”²⁹ ha risposto a questa esigenza, consolidando l'esperienza degli approcci precedenti in uno standard internazionale. Lo stesso GLEC Framework v3 riconosce che il lavoro ISO si è

²⁷ Lluch, X., Larrea, E., & Martín, N. (2026). Impacto en el cálculo de emisiones de GEI en cadenas de transporte. Revista UNE - La Revista de la Normalización Española, (88)

²⁸ Lo Smart Freight Centre (SFC) è un'organizzazione internazionale senza scopo di lucro dedicata alla riduzione dell'impatto emissivo del trasporto merci globale. Fonte: <https://smartfreightcentre.org/en/>

²⁹ Lluch, X., Larrea, E., & Martín, N. (2026). Impact on the Calculation of GHG Emissions in Transport Chains. Revista UNE - La Revista de la Normalización Española, (88)

sviluppato a partire dal GLEC v2 e che le disposizioni della norma sono state successivamente reintegrate per garantire coerenza metodologica.

La norma introduce quattro innovazioni principali. Innanzitutto, estende i principi di calcolo a merci e passeggeri, includendo i processi nei nodi logistici, quali terminali, magazzini, centri di interscambio. Secondo, sostituisce la terminologia Well-to-Tank/Tank-to-Wheel con i concetti di energy provision (produzione, stoccaggio e distribuzione del vettore energetico) e operation (emissioni da operatività, inclusi combustione, perdite e refrigeranti), più adatti alla varietà dei casi operativi. Terzo, struttura la catena in Transport Chain Elements (TCE), consentendo il calcolo per singolo segmento con piena tracciabilità. Quarto, nelle operazioni miste passeggeri-merci richiede criteri di allocazione fondati sulla realtà fisica, come ad esempio la massa effettiva, incluso il bagaglio, riducendo così l'arbitrarietà che ha storicamente distorto i risultati tra operatori.

Sul piano applicativo, la disponibilità di ISO 14083 ha accelerato la convergenza tra metodologie e piattaforme di calcolo. Il GLEC si è formalmente allineato allo standard, e la logica della norma è progettata per essere implementabile sia in strumenti interni (TMS/ERP) sia in calcolatori esterni.

L'effetto pratico è duplice: migliora la compatibilità tra risultati provenienti da strumenti diversi e sposta il dibattito dalla scelta della metodologia alla qualità dei dati, che è ciò che realmente conta per credibilità e verificabilità.

Sul piano istituzionale, la Commissione Europea ha proposto il framework CountEmissionsEU, basato su EN ISO 14083:2023³⁰, che non impone il calcolo in tutti i casi ma vincola chi comunica emissioni sotto questo schema a rispettarne le regole. La Commissione ha inoltre previsto basi dati pubbliche e uno strumento di calcolo gratuito, abbassando le barriere all'ingresso e innalzando il livello di coerenza richiesto.

La sfida principale resta tuttavia informativa. Per molte organizzazioni il calcolo delle emissioni è stato un esercizio puntuale; la norma e la sua implementazione regolatoria spingono invece verso un processo integrato in approvvigionamento, logistica e gestione

³⁰ Ibidem.

dei fornitori. Anche quando un'impresa conosce massa, origine e destinazione, spesso non dispone di dati essenziali: percorsi reali, fattori di carico, consumi, operazioni di hub.

ISO 14083 affronta questa criticità con una gerarchia esplicita, dando priorità ai dati primari e ricorso a dati secondari solo con giustificazione e trasparenza, ma il vero collo di bottiglia risiede nei sistemi informativi, progettati per movimentare merci, non per registrare emissioni. Superarlo richiede progettazione della raccolta dati dall'origine della spedizione, clausole contrattuali con gli operatori, automazione tramite integrazione ERP/telematica e utilizzo di valori standard solo come soluzione transitoria documentata.

In definitiva, la norma ISO 14083:2023 ha gettato le basi necessarie, fornendo un linguaggio condiviso, regole confrontabili e un'architettura compatibile con la verifica. La sfida che resta da affrontare è tuttavia di natura operativa: integrare stabilmente la raccolta e la gestione del dato emissivo nei processi logistici quotidiani, affinché la dichiarazione delle emissioni non sia più un esercizio straordinario ed impegnativo per le aziende del settore, ma un processo sistematico, affidabile e trasparente.

3.3 La cornice normativa europea per la sostenibilità portuale

Il trasporto marittimo rappresenta da sempre un pilastro fondamentale dell'economia globale, movimentando oltre l'80% del commercio internazionale di merci e costituendo un'arteria vitale per gli scambi commerciali europei³¹. Tuttavia, questo settore strategico contribuisce in misura significativa alle emissioni globali di gas serra, con una quota stimata intorno al 3% del totale mondiale, destinata a crescere in assenza di interventi strutturali³². Per decenni, lo shipping è rimasto ai margini delle politiche climatiche internazionali, beneficiando di una sostanziale esenzione dagli obblighi di riduzione delle emissioni che gravavano su altri comparti industriali.

A partire dal 1° gennaio 2024, il settore marittimo è entrato in una nuova era normativa, diventando soggetto al primo sistema di tariffazione del carbonio al mondo specifico per lo shipping. Questa svolta epocale si inserisce nel più ampio pacchetto Fit for 55, l'ambizioso piano europeo che mira a ridurre le emissioni di gas serra del 55% entro il 2030. Tale svolta si colloca all'interno del più ampio processo di decarbonizzazione del trasporto marittimo.

Due sono i pilastri regolatori che ridisegnano il panorama della navigazione europea e che costituiscono gli strumenti chiave per accelerare questo percorso di transizione. Il primo di questi è rappresentato dall'EU ETS (Emissions Trading System), che estende al settore marittimo il consolidato sistema europeo di scambio di quote di emissione, già operativo da quasi vent'anni in altri comparti industriali ad alta intensità energetica. In virtù di tale estensione, armatori, operatori e noleggiatori saranno tenuti a restituire quote di emissione sufficienti a coprire una quota significativa delle emissioni di CO₂ delle proprie flotte, con l'obbligo di includere anche metano (CH₄) e ossidi di azoto (N₂O) a partire dal 2027.

Il secondo pilastro è costituito dal Regolamento FuelEU Maritime, che persegue un approccio complementare imponendo obiettivi progressivi di riduzione dell'intensità delle emissioni di gas serra dei combustibili utilizzati a bordo delle navi, prevedendo

³¹ UNCTAD, Review of Maritime Transport 2023, United Nations Publications, Ginevra, 2023

³² International Maritime Organization (IMO), Fourth IMO GHG Study 2020 - Full Report, IMO, London, 2021.

sanzioni in caso di mancato rispetto. Dal 2030, le navi portacontainer e passeggeri dovranno inoltre utilizzare l'alimentazione elettrica da terra (OPS) o alternative a zero emissioni durante l'ormeggio nei principali porti europei

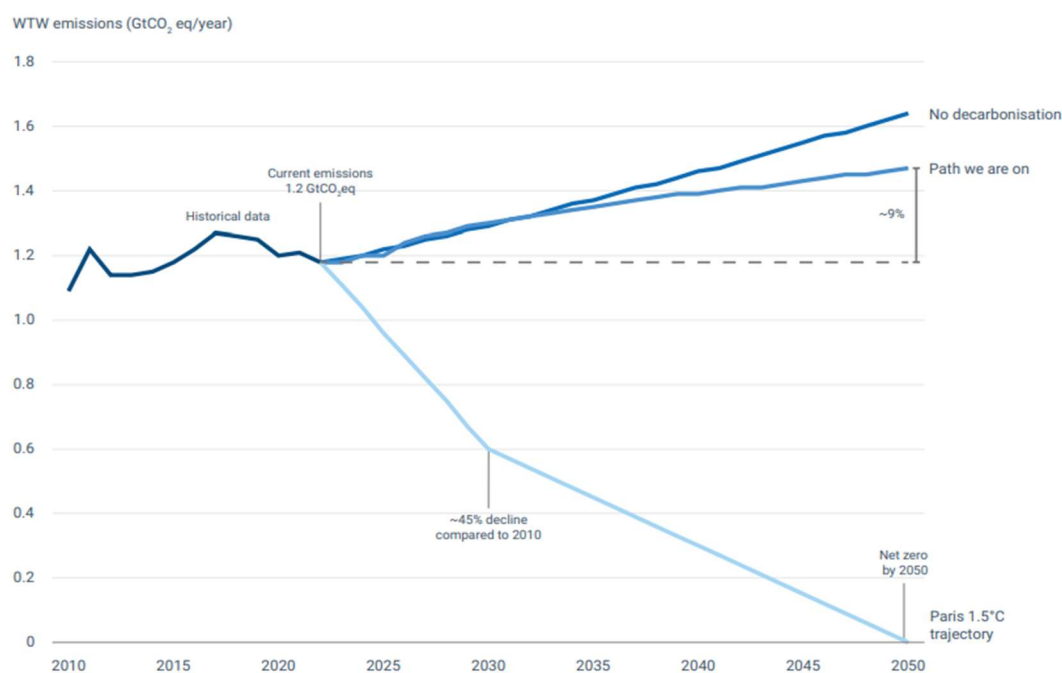
In questo contesto normativo in rapida evoluzione, l'ottimizzazione della compliance ambientale diviene un fattore competitivo di primaria importanza. Gli operatori marittimi sono chiamati ad adottare un approccio strategico e integrato, che contempli simultaneamente la gestione efficiente della flotta, l'ottimizzazione delle rotte, la rinegoziazione degli accordi commerciali e un'attenta strategia di trading delle emissioni sul mercato del carbonio.

Il settore portuale e marittimo è dunque chiamato a svolgere un ruolo centrale nella transizione verso un'economia climaticamente neutra. Il presente capitolo si propone di analizzare le implicazioni della normativa europea sulla sostenibilità portuale, con particolare riferimento ai requisiti introdotti per la decarbonizzazione del trasporto navale.

3.3.1 European Green Deal e pacchetto “Fit for 55”

Il cambiamento climatico e il degrado ambientale rappresentano sfide esistenziali che richiedono risposte coordinate a livello globale. L'Accordo di Parigi del 2015, adottato nell'ambito della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), il principale trattato internazionale in materia di lotta al cambiamento climatico, di cui l'Unione Europea è parte contraente, ha sancito l'impegno della comunità internazionale a contenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali, perseguendo sforzi per limitarlo a 1,5°C.³³

Grafico 3: Traiettorie emissive del comparto marittimo al 2050: analisi comparativa degli scenari IPCC



Note: I valori sono espressi in GtCO₂eq/anno (Gigatonnellate di CO₂ equivalente per anno) secondo la metodologia Well-to-Wake (WtW), che considera le emissioni dall'estrazione del combustibile fino al suo utilizzo finale.

Fonte: European Maritime Safety Agency (EMSA)

³³ United Nations. Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. 2015.

Il grafico 3 illustra le diverse traiettorie di emissione del settore marittimo secondo la metodologia Well-to-Wake (WtW), che considera le emissioni lungo l'intero ciclo di vita del combustibile, dall'estrazione al suo utilizzo finale. Come emerge chiaramente dalla rappresentazione, il raggiungimento della traiettoria compatibile con l'obiettivo di 1,5°C richiede una drastica riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, ovvero circa il 45% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2010, fino al conseguimento della neutralità climatica, indicata nel grafico con il termine net zero, entro il 2050. Il confronto tra i tre scenari evidenzia l'urgenza di interventi strutturali: in assenza di decarbonizzazione, le emissioni del comparto navale raggiungerebbero circa 1,6 GtCO₂eq/anno entro il 2050; mentre con le politiche attuali, rappresentate nello scenario “path we are on”, la riduzione si limiterebbe a circa il 9%. Questi risultati dimostrano che solo attraverso misure incisive e coordinate è possibile allinearsi alla traiettoria dell'Accordo di Parigi. Tale evidenza scientifica costituisce il fondamento dell'azione climatica dell'Unione Europea nel settore marittimo.

Alla luce di queste considerazioni, l'Unione Europea ha assunto un ruolo di leadership attraverso l'adozione, nel dicembre 2019, del Green Deal Europeo, la nuova strategia di crescita dell'Unione che ambisce a trasformare l'Europa nel primo continente a impatto climatico zero entro il 2050.³⁴ Tale programma, di portata trasversale e sistemica, investe tutti i principali settori dell'economia europea, dall'energia ai trasporti, dall'industria all'agricoltura, perseguendo al contempo l'obiettivo di dissociare la crescita economica dallo sfruttamento delle risorse naturali e garantire una transizione socialmente equa attraverso meccanismi di sostegno alle regioni e ai lavoratori più esposti.

Per tradurre tali ambizioni in obiettivi giuridicamente vincolanti, le istituzioni europee hanno adottato, tramite il Regolamento (UE) 2021/1119, la European Climate Law, primo strumento normativo al mondo a sancire per legge il traguardo della neutralità climatica. Tale regolamento, direttamente applicabile in tutti gli Stati membri, impone il raggiungimento di un equilibrio tra emissioni e assorbimenti di gas serra entro il 2050 e stabilisce un traguardo intermedio vincolante al 2030.

³⁴ Commissione Europea, The European Green Deal, COM (2019) 640 final, Bruxelles, 11 dicembre 2019.

Come espressamente sancito dall'articolo 4, paragrafo 1, del regolamento:

“Al fine di conseguire l'obiettivo della neutralità climatica di cui all'articolo 2, paragrafo 1, il traguardo vincolante dell'Unione in materia di clima per il 2030 consiste in una riduzione interna netta delle emissioni di gas a effetto serra (emissioni al netto degli assorbimenti) di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030”³⁵.

Questo obiettivo di riduzione del 55% ha dato origine al pacchetto legislativo denominato “Fit for 55”, un corposo insieme di proposte normative volte ad allineare la legislazione europea in materia di clima ed energia al nuovo livello di ambizione.

La Commissione Europea riconosce altresì il rischio di carbon leakage³⁶ qualora i partner internazionali non condividano analoghe ambizioni climatiche, con conseguente trasferimento della produzione verso Paesi con standard meno stringenti. Per mitigare tale rischio e garantire il rispetto degli obiettivi dell'Accordo di Parigi, l'Unione Europea ha introdotto il meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere denominato Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), disciplinato dal Regolamento (UE) 2023/956. Tale strumento rappresenta una novità nel panorama della politica climatica internazionale e si configura come una vera e propria “tariffa ambientale” sulle importazioni. In sostanza, gli importatori di prodotti ad alta intensità carbonica, come ferro, acciaio, alluminio, cemento, fertilizzanti, idrogeno ed energia elettrica, sono tenuti ad acquistare certificati CBAM il cui prezzo è allineato a quello delle quote del sistema EU ETS, oggetto di approfondita analisi nel sottocapitolo seguente.

In questo modo, le merci importate sono soggette agli stessi costi ambientali delle produzioni europee, garantendo condizioni di parità concorrenziale e disincentivando sia la delocalizzazione delle imprese europee sia le importazioni da Paesi con normative climatiche meno rigorose.

³⁵ Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 giugno 2021, che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 («Normativa europea sul clima»), art. 4, par. 1, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 243, 9 luglio 2021.

³⁶ Con il termine carbon leakage si intende il fenomeno per cui le imprese, al fine di evitare i costi associati alle politiche climatiche, trasferiscono la produzione verso Paesi con standard ambientali meno rigorosi, causando un aumento delle emissioni globali anziché una loro riduzione. Fonte : Commissione Europea, Il Green Deal europeo, COM(2019) 640 final, p. 5.

3.3.2 L'estensione dell'EU ETS al trasporto marittimo

Tra gli strumenti principali del pacchetto Fit for 55 per la decarbonizzazione del settore marittimo figura l'estensione del Sistema di Scambio di Quote di Emissione dell'Unione Europea (European Union Emissions Trading System, in sigla EU ETS) alla navigazione commerciale, con l'obiettivo di regolamentare le emissioni di gas serra generate dalle attività di trasporto marittimo.

Istituito nel 2005, l'EU ETS rappresenta il primo e più ampio mercato del carbonio al mondo, nonché il principale strumento di mercato dell'Unione per la riduzione delle emissioni di gas serra. Per quasi vent'anni, il sistema ha regolamentato le emissioni di settori ad alta intensità energetica quali la produzione di energia elettrica, l'industria manifatturiera e, dal 2012, l'aviazione. Con le modifiche introdotte dalla Direttiva (UE) 2023/959, nel 2023 il trasporto marittimo è entrato a far parte di questo meccanismo, segnando una svolta storica nella governance climatica del settore.

Di conseguenza, a partire dal 1° gennaio 2024, il sistema EU ETS si applica alle emissioni di gas serra di tutte le navi adibite al trasporto merci e passeggeri con stazza lorda pari o superiore a 5.000 GT che fanno scalo nei porti dell'Area Economica Europea, indipendentemente dalla bandiera battente³⁷.

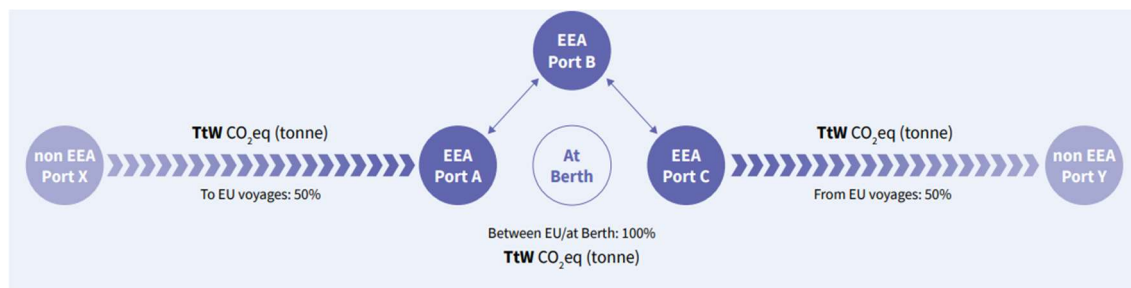
Inoltre, l'estensione dell'EU ETS al settore marittimo copre le emissioni Tank-to-Wake (TTW), ossia quelle generate dalla combustione del carburante a bordo della nave. Per quanto riguarda la copertura geografica, il sistema prevede l'applicazione al 100% delle emissioni per le tratte intra-AEE e durante la permanenza all'ormeggio nei porti dell'Area Economica Europea, mentre per le tratte in entrata e in uscita dai porti AEE, ovvero i viaggi da e verso paesi terzi, la copertura si applica al 50% delle emissioni.

Come illustrato nella Figura 2 a seguire, il sistema EU ETS marittimo adotta una metodologia di calcolo delle emissioni Tank-to-Wake (TtW) coerente con un approccio geografico applicato alla contabilizzazione delle emissioni. Tale sistema di

³⁷ Unione europea (2023). Direttiva (UE) 2023/959 del Parlamento europeo e del Consiglio del 10 maggio 2023. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 130/134.

contabilizzazione proporzionale consente di attribuire equamente la responsabilità delle emissioni tra i viaggi interni all'Area Economica Europea e quelli internazionali.

Figura 2: Percentuale di emissioni di viaggio nell'ambito ETS



Fonte: Lloyd's Register (2023)

La Figura 2 illustra schematicamente tale configurazione attraverso la rappresentazione di un ipotetico itinerario navale. Una nave proveniente da un porto extra-AEE (Port X) che approda in un primo scalo dell'Area Economica Europea (EEA Port A) è soggetta alla copertura del 50% delle emissioni TtW generate durante la traversata. Successivamente, qualora la nave effettui tratte tra porti AEE (verso EEA Port B o EEA Port C) o sostì all'ormeggio (at berth) in tali scali, le emissioni sono computate nella loro totalità (100%). Infine, nel caso di partenza verso un porto extra-AEE (Port Y), si applica nuovamente la copertura parziale del 50%.

Lo schema evidenzia il ruolo centrale dei porti europei nell'architettura del sistema EU ETS marittimo, configurandoli come nodi essenziali nella contabilizzazione delle emissioni del trasporto marittimo.

L'applicazione del sistema EU ETS al settore marittimo prevede un periodo di introduzione graduale, comunemente definito *phase-in*, volto a consentire agli operatori di adattarsi progressivamente ai nuovi obblighi. Durante il primo anno di applicazione, le compagnie di navigazione sono tenute a restituire quote corrispondenti al 40% delle emissioni verificate entro il 30 settembre 2025. Nel secondo anno di applicazione, il 2025, la percentuale di copertura aumenta al 70%, con obbligo di restituzione entro il 30

settembre 2026. A partire dal 2026, il sistema raggiunge la piena operatività, con l'obbligo di restituire quote corrispondenti al 100% delle emissioni verificate.³⁸

Il quadro normativo prevede inoltre ulteriori sviluppi nel medio termine, evidenziando la natura dinamica e progressiva della regolamentazione. A partire dal 2025 entrerà in vigore l'obbligo di rendicontazione MRV per le navi offshore e le navi cargo di dimensioni minori, con stazza lorda compresa tra 400 e 5.000 GT, estendendo così la base informativa disponibile sulle emissioni del settore³⁹. Entro dicembre 2026 è programmata una revisione complessiva del sistema, finalizzata a valutare due aspetti di particolare rilevanza: da un lato, la potenziale inclusione delle navi offshore di stazza pari o superiore a 5.000 GT nell'EU ETS a partire dal 2027; dall'altro, l'eventuale transizione da un approccio Tank-to-Wake a uno Well-to-Wake (WtW), che considererebbe le emissioni lungo l'intero ciclo di vita del combustibile, dall'estrazione alla combustione finale, offrendo una rappresentazione più completa dell'impatto climatico delle diverse opzioni energetiche disponibili per il settore marittimo.

Per quanto concerne i gas regolamentati, dal 2024 il sistema copre le emissioni di anidride carbonica (CO₂). A partire dal 2026 l'obbligo sarà esteso anche al metano (CH₄) e al protossido di azoto (N₂O), con l'inclusione nel sistema MRV già a partire dal 2024 ai fini della rendicontazione nel 2025.

Sul piano operativo, l'EU ETS costituisce uno strumento di mercato basato sul meccanismo cap-and-trade. Il sistema prevede anzitutto la definizione di un tetto massimo (cap) alle emissioni di gas serra che i settori regolamentati possono rilasciare nell'atmosfera. A tale limite corrisponde un numero equivalente di quote di emissione, ciascuna delle quali rappresenta il diritto a emettere una tonnellata di CO₂ equivalente. Le quote, denominate anche come EU Allowances (EUA), possono essere successivamente scambiate tra gli operatori su un apposito mercato (trade), consentendo così una riduzione delle emissioni al minor costo complessivo per il sistema. Le imprese

³⁸ Art. 3 octies bis, par. 1, della Direttiva 2003/87/CE, come inserito dall'art. 1, punto 6, della Direttiva (UE) 2023/959 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 10 maggio 2023, recante modifica della direttiva 2003/87/CE che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nell'Unione, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 130, 16 maggio 2023.

³⁹ Regolamento (UE) 2015/757 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 29 aprile 2015, concernente il monitoraggio, la comunicazione e la verifica delle emissioni di anidride carbonica generate dal trasporto marittimo e che modifica la direttiva 2009/16/CE, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 123, 19 maggio 2015, pp. 55-76.

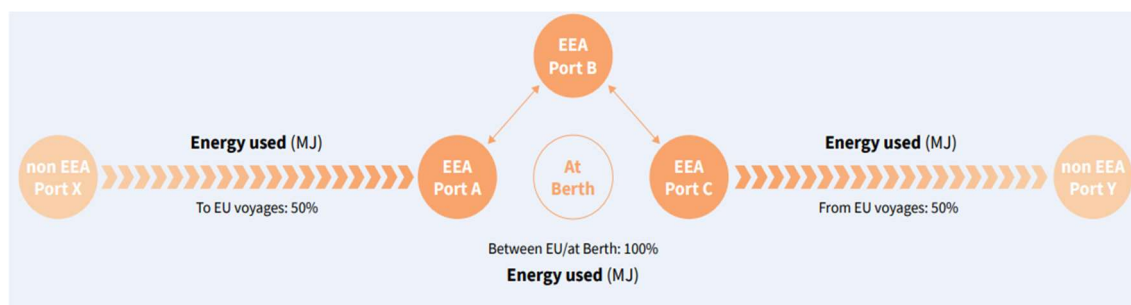
soggette alla regolamentazione sono pertanto tenute a restituire annualmente un numero di quote corrispondente alle proprie emissioni verificate, potendo nel frattempo acquistare o cedere EUA in funzione delle rispettive esigenze operative. Le emissioni eccedenti le quote possedute comportano l'applicazione di sanzioni finanziarie.

In definitiva, tale meccanismo intende incentivare l'efficienza energetica, tramite l'adozione di soluzioni a basse emissioni di carbonio e la riduzione del differenziale di prezzo tra combustibili tradizionali e alternativi, contribuendo così agli obiettivi di decarbonizzazione del settore marittimo e portuale europeo.

3.3.3 Il Regolamento FuelEU Maritime

L'iniziativa FuelEU Maritime, disciplinata dal Regolamento (UE) 2023/1805 sull'uso di combustibili rinnovabili e a basse emissioni di carbonio nel trasporto marittimo, è parte integrante del pacchetto Fit for 55 e mira a consentire all'Unione Europea di ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, nonché di conseguire la neutralità climatica entro il 2050. Sul piano metodologico, il regolamento si distingue dall'EU ETS per l'adozione di un approccio Well-to-Wake (WtW) alla contabilizzazione delle emissioni, che considera l'intero ciclo di vita del combustibile, dalle fasi di estrazione e produzione fino alla combustione a bordo della nave, offrendo così una valutazione più completa dell'impatto climatico delle diverse opzioni energetiche. Il regolamento è entrato in vigore a partire dal 1° gennaio 2025, con l'eccezione degli articoli 8 e 9 relativi ai piani di monitoraggio, operativi dal 31 agosto 2024⁴⁰. Il regolamento si applica alle navi con stazza lorda superiore a 5.000 GT adibite al trasporto di merci o passeggeri per scopi commerciali che fanno scalo nei porti europei, indipendentemente dalla bandiera battente. L'ambito geografico ricalca quello dell'EU ETS: il sistema considera il 50% dell'energia utilizzata nei viaggi da e verso i porti dell'Area Economica Europea e il 100% dell'energia impiegata nelle tratte intra-AEE e durante la sosta all'ormeggio.

Figura 3: Copertura geografica del consumo energetico nell'ambito FuelEU Maritime, in funzione della tipologia di tratta e della localizzazione dei porti di scalo.



Fonte: Lloyd's Register (2023)

⁴⁰ Regolamento (UE) 2023/1805 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 settembre 2023, sull'uso di combustibili rinnovabili e a basse emissioni di carbonio nel trasporto marittimo e che modifica la direttiva 2009/16/CE, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 234, 22 settembre 2023, art. 2 e Considerando (10)-(12).

Come illustrato nella Figura 3, l'ambito di applicazione del regolamento FuelEU Maritime prevede un sistema di contabilizzazione differenziato dell'energia consumata a bordo. Per i viaggi effettuati interamente tra porti dell'Area Economica Europea (AEE) e per le fasi di sosta in banchina (At Berth), il regolamento considera il 100% dell'energia utilizzata ai fini del calcolo dell'intensità di GHG. Per le tratte internazionali che collegano un porto AEE a un porto terzo, sia in ingresso (To EU voyages) sia in uscita (From EU voyages), viene invece computato il 50% dell'energia impiegata. Tale approccio, analogo a quello adottato dal sistema EU ETS per il settore marittimo, garantisce una copertura proporzionale delle emissioni generate dal traffico navale che interessa le acque europee.

Tuttavia, sul piano metodologico, il regolamento si distingue dall'EU ETS per l'adozione di un approccio Well-to-Wake (WtW) alla contabilizzazione delle emissioni, che considera l'intero ciclo di vita del combustibile, dalle fasi di estrazione e produzione fino alla combustione a bordo della nave, offrendo così una valutazione più completa dell'impatto climatico delle diverse opzioni energetiche. Tale approccio comprende non soltanto le emissioni di anidride carbonica (CO₂), ma anche quelle di metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O). È importante sottolineare che esclusivamente i combustibili sostenibili certificati con risparmi di gas serra specificati possono utilizzare i valori effettivi di intensità delle emissioni per la componente Well-to-Tank.

Inoltre, il regolamento stabilisce norme uniformi che impongono due categorie di obblighi fondamentali. In primo luogo, viene fissato un limite massimo all'intensità media annua delle emissioni di gas serra dell'energia utilizzata a bordo delle navi in arrivo, in sosta o in partenza da porti sotto la giurisdizione di un paese dell'Area Economica Europea. La riduzione richiesta dell'intensità delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita dei combustibili segue una traiettoria progressiva rispetto ai livelli di riferimento del 2020: l'obiettivo di riduzione è fissato al 2% per il periodo 2025-2029, sale al 6% per il periodo 2030-2034 e accelera successivamente a partire dal 2035 per raggiungere l'80% entro il 2050.⁴¹

In secondo luogo, è previsto l'obbligo di utilizzare l'alimentazione elettrica da terra (Onshore Power Supply - OPS) o tecnologie a zero emissioni nei porti sotto la giurisdizione di uno Stato membro. Tale obbligo, finalizzato a ridurre l'inquinamento

⁴¹ Ibidem.

atmosferico nelle aree portuali, si applicherà alle navi portacontainer e passeggeri ormeggiate in banchina a partire dal 1° gennaio 2030 nei porti coperti dall'articolo 9 del regolamento AFIR, e dal 1° gennaio 2035 in tutti i porti dell'Unione Europea che svilupperanno capacità OPS. Gli Stati membri possono altresì decidere di anticipare l'applicazione dell'obbligo ai porti non coperti dall'articolo 9 dell'AFIR a partire dal 1° gennaio 2030⁴².

Ogni nave soggetta al regolamento deve disporre a bordo di un piano verificato che descriva la metodologia adottata per il monitoraggio e la rendicontazione dell'energia consumata. Entro il 31 marzo di ogni anno, un rapporto verificato deve essere registrato nel database FuelEU, denominato THETIS-MRV. Successivamente, entro il 30 aprile del medesimo anno, devono essere dichiarate eventuali operazioni relative ai meccanismi di flessibilità previsti dal regolamento.

In conclusione, il regolamento FuelEU Maritime rappresenta uno strumento normativo di primaria importanza per la transizione energetica del settore marittimo europeo. È prevista una revisione del regolamento entro il 31 dicembre 2027, che potrebbe comportare un'espansione dell'ambito di applicazione e l'integrazione di eventuali requisiti adottati dall'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO), consolidando così il ruolo dell'Unione Europea nella governance climatica del trasporto marittimo globale.

⁴² L'articolo 9 del Regolamento (UE) 2023/1804 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 settembre 2023, sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi (AFIR), stabilisce gli obblighi relativi alla fornitura di alimentazione elettrica da terra nei porti marittimi della rete centrale e globale TEN-T. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 234, 22 settembre 2023, pp. 1-4

IV La Transizione Energetica nei Porti: il ruolo del Cold Ironing

4.1 L'innovazione nel settore marittimo-portuale

L'innovazione rappresenta un fattore determinante per l'evoluzione e il successo competitivo dell'industria marittima e portuale. In termini generali, essa può essere definita come l'introduzione di nuovi concetti volti a migliorare una determinata condizione, attraverso l'impiego di soluzioni inedite o la combinazione originale di risorse già esistenti. In tale prospettiva, è opportuno distinguere tra due dimensioni fondamentali: l'innovazione tecnologica, che riguarda lo sviluppo di nuovi mezzi, combustibili e infrastrutture, e l'innovazione organizzativa, relativa all'adozione di nuovi modelli di business e all'ottimizzazione dei processi operativi.

Nonostante il settore marittimo sia stato tradizionalmente considerato conservativo nell'adozione di nuove tecnologie e nello sviluppo di soluzioni di mercato innovative, recenti studi dimostrano che l'innovazione nei settori portuale e dello shipping sta progredendo. Permane, tuttavia, un divario significativo tra i tentativi di innovare e la capacità effettiva di raggiungere gli obiettivi prefissati, specialmente in ambito ambientale. La stessa ricerca accademica in questo campo si presenta frammentata, concentrandosi prevalentemente su casi studio specifici con limitati sforzi di generalizzazione e sistematizzazione dei risultati.

Il presente capitolo si propone, pertanto, di analizzare il rapporto tra ricerca accademica e industria marittima, esaminando il passaggio fondamentale dalla dicotomia alla convergenza, per poi inquadrare la transizione energetica dalla dimensione globale a quella del sistema portuale.

4.1.1 La dicotomia tra ricerca accademica e industria marittima

L'analisi dell'innovazione nel settore marittimo e portuale rivela l'esistenza di una significativa dicotomia tra l'approccio della ricerca accademica e quello adottato dall'industria. Tale divergenza, documentata nella letteratura scientifica, assume una rilevanza critica nel contesto della transizione energetica portuale.

In tal senso, la ricerca accademica nel settore marittimo tende ad avere un approccio retrospettivo e si limita ad un ruolo di “osservatore”, valutando ex-post i fattori di successo o insuccesso delle soluzioni implementate. Questo approccio classificatorio e teorico, definito come pushed, rischia talvolta di risultare distante dalle stringenti esigenze operative del mercato.

La letteratura scientifica, inoltre, tende a organizzare le soluzioni innovative in categorie tematiche, delineando filoni di ricerca omogenei che, se da un lato agevolano la sistematizzazione teorica, dall'altro rischiano di non intercettare le necessità pratiche più urgenti degli operatori del settore. A ciò si aggiunge la natura prevalentemente frammentaria degli studi esistenti, i quali si concentrano frequentemente sull'analisi di singoli casi empirici senza perseguire in modo sistematico una generalizzazione dei risultati, limitando così la capacità della produzione accademica di influenzare concretamente i processi decisionali a livello industriale.

Al contrario, l'industria marittima manifesta tradizionalmente un approccio marcatamente pragmatico, focalizzandosi quasi esclusivamente su quelle innovazioni capaci di apportare benefici concreti e immediati, come la riduzione dei costi operativi o l'adeguamento normativo a breve termine. Ne consegue una dinamica storica in cui l'innovazione è tipicamente pulling, ovvero trainata dalla domanda di mercato esistente piuttosto che spinta dalla pura scoperta scientifica.

Tuttavia, questa storica dicotomia trova oggi un necessario punto di sintesi nella sfida della transizione energetica. Il processo di decarbonizzazione rappresenta infatti il terreno su cui le due prospettive sono costrette a convergere per fornire una risposta logica e solida alla crisi climatica. Come sottolineato dai recenti report dell'International Chamber

of Shipping (ICS)¹, sebbene il trasporto marittimo costituisca la spina dorsale del commercio globale e sia il mezzo più efficiente in termini energetici, esso dipende ancora pesantemente dai combustibili fossili. L'industria si trova dunque di fronte a un limite fisico, poiché le tecnologie attuali e le misure di efficientamento operativo non sono sufficienti per raggiungere gli ambiziosi obiettivi di riduzione delle emissioni fissati dall'IMO per il 2050.

Di fronte a questo scenario, l'approccio puramente pragmatico dell'industria deve necessariamente evolversi. Le soluzioni richieste per una navigazione a zero emissioni sono ancora in una fase tecnologica embrionale e non pronte per il mercato. Inoltre, il loro attuale livello di maturità tecnologica richiederà massicci investimenti in ricerca e sviluppo, prima che possano essere commercialmente impiegate nel settore. Emerge quindi il ruolo cruciale della ricerca e sviluppo come motore in grado di colmare questo.

L'industria stessa, riconoscendo l'urgenza di un avanzamento tecnologico paragonabile al passaggio dalla vela al vapore, si sta muovendo per finanziare direttamente la ricerca teorica e applicata. Ne è prova la proposta del settore, avanzata dagli armatori presso l'IMO, di istituire un Fondo internazionale per la ricerca e lo sviluppo marittimo (chiamato anche International Maritime Research & Development Board, in sigla IMRB) da cinque miliardi di dollari, finanziato attraverso un contributo obbligatorio sui combustibili navali.

In questo nuovo contesto, la ricerca deve cessare di essere un esercizio intellettuale retrospettivo, per divenire lo strumento fondamentale richiesto e finanziato dal mercato stesso, dove la dicotomia tra mondo accademico e settore industriale cede il passo a un paradigma di collaborazione strutturale, nel quale la produzione di conoscenza scientifica e le esigenze operative del mercato convergono verso obiettivi condivisi.

¹ International Chamber of Shipping. (2020). Catalysing the fourth propulsion revolution: The urgent need to accelerate R&D to deliver zero-carbon shipping by 2050.

4.1.2 La transizione energetica: dal contesto globale al sistema portuale

La transizione energetica si configura oggi come uno dei fenomeni più complessi e determinanti del panorama geopolitico ed economico. Come evidenziato dal Energy Transition Outlook² (DNV, 2024), l'attuale scenario è dominato da un “trilemma” in cui la sicurezza degli approvvigionamenti, le politiche climatiche e la competitività industriale risultano indissolubilmente intrecciate. La decarbonizzazione non è più percepita dai governi esclusivamente come un imperativo ambientale, bensì come una leva strategica per preservare la creazione di valore economico interno e la sicurezza nazionale in un contesto globale sempre più frammentato.

In uno scenario di domanda globale prevista in crescita del 30% entro il 2040, l'elettricità assume un ruolo centrale, trainata dalla progressiva sostituzione dei combustibili fossili con le fonti rinnovabili³. Tuttavia, l'avanzamento della transizione appare asimmetrico: mentre il settore elettrico guida il cambiamento grazie alla maturità tecnologica di eolico e solare, ambiti come il riscaldamento e i trasporti registrano ritardi significativi nella definizione di target specifici.

È necessario, tuttavia, mantenere una prospettiva critica sulla portata effettiva di questa trasformazione. La transizione verso l'energia verde appare, per certi versi, sopravvalutata nelle narrazioni correnti: sul piano empirico, le fonti rinnovabili finora si sono affiancate al sistema di approvvigionamento energetico esistente, anziché sostituire i combustibili fossili.

Nonostante gli obiettivi dell'Accordo di Parigi e gli allarmi dell'IPCC sulla difficoltà di dimezzare le emissioni entro il 2030, i combustibili fossili continueranno a essere fondamentali nel sistema energetico globale ancora per diversi decenni. In particolare, il gas naturale è atteso come il vettore con la crescita più sostenuta, mentre il petrolio, pur raggiungendo un picco prossimo al 2030, manterrà volumi di consumo elevati.

² Rapporto previsionale annuale pubblicato dall'ente indipendente di classificazione e consulenza tecnica DNV, che modella l'evoluzione del sistema energetico mondiale fino al 2050. Fonte: DNV (2024). Energy Transition Outlook 2024: A Global and Regional Forecast to 2050. DNV AS, Høvik, Norway

³ Rodrigue, J.-P., Notteboom, T. e Pallis, A. A. (2024). Port Economics, Management and Policy. New York: Routledge

Questa dinamica duale di espansione delle rinnovabili ma persistenza dei fossili sta ridisegnando la geografia della produzione energetica, spostandola verso ambienti offshore sempre più profondi e complessi. Da un lato si assiste allo sviluppo massiccio di parchi eolici marini e tecnologie per lo sfruttamento del moto ondoso; dall'altro, l'industria estrattiva si spinge verso nuove frontiere come le sabbie bituminose e il gas da argille. Tale evoluzione implica un aumento considerevole della movimentazione e del trasporto internazionale di una nuova varietà di prodotti energetici, come il GNL all'idrogeno o l'ammoniaca, ponendo le infrastrutture portuali al centro della catena del valore.

Infine, la transizione non può essere ridotta a un mero processo tecnologico, poiché genera profondi impatti sociali ed economici. La creazione di nuovi modelli industriali e la contemporanea obsolescenza di altri richiedono una gestione attenta delle ricadute sulle comunità locali in termini di occupazione ed equità. Per colmare il divario nei settori difficili da decarbonizzare, sono dunque indispensabili politiche pubbliche lungimiranti, capaci di garantire certezza regolatoria, incentivare la domanda iniziale e implementare meccanismi di carbon pricing efficaci, ovvero strumenti economici che attribuiscono un costo esplicito alle emissioni di CO₂, come il già discusso scambio di quote di emissione ETS e imposte sul carbonio (carbon tax), trasformando l'incertezza attuale in un percorso di investimento sostenibile.

4.1.3 Il porto come hub energetico

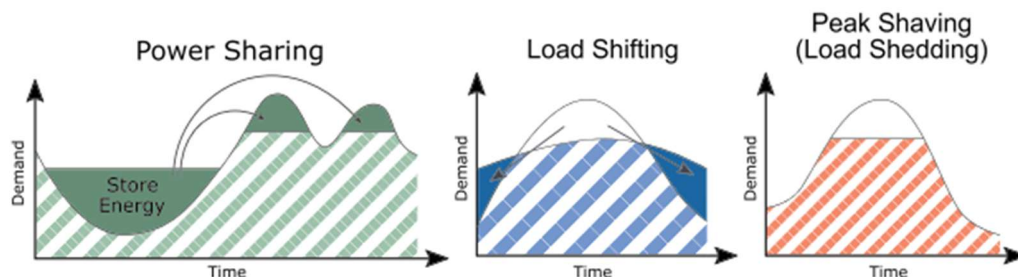
La crescente rilevanza della questione energetica nel settore marittimo-portuale ha progressivamente ridefinito il ruolo del porto, che da semplice nodo logistico di transito e movimentazione delle merci si sta configurando come un vero e proprio hub energetico ad alta complessità gestionale.

In questo complesso contesto globale, il settore marittimo e portuale occupa una posizione peculiare e ambivalente. Da un lato, rientra pienamente tra i comparti strutturalmente resistenti alla decarbonizzazione, caratterizzati da asset di lunga durata, dipendenza da combustibili ad alta densità energetica e una forte esposizione alla concorrenza internazionale. Dall'altro, i porti rappresentano nodi infrastrutturali strategici indispensabili per la raccolta, lo stoccaggio, la trasformazione e la distribuzione dell'energia, configurandosi come potenziali catalizzatori della transizione energetica territoriale. Questa centralità strategica non è più solamente una proiezione teorica, ma si sta traducendo in una realtà industriale tangibile.

In questo quadro, il porto contemporaneo non può più essere concepito esclusivamente come un'infrastruttura di interfaccia tra modalità di trasporto, bensì come un sistema energetico integrato in cui convergono molteplici flussi, tra cui: la generazione di energia da fonti rinnovabili, lo stoccaggio tramite sistemi avanzati di accumulo, la distribuzione intelligente attraverso smart grid e microgrid, l'alimentazione elettrica delle navi in banchina e il consumo energetico delle attrezzature di movimentazione. A ciò si aggiunge la crescente penetrazione di combustibili alternativi, quali GNL, idrogeno e biocarburanti, che amplia ulteriormente la gamma dei vettori energetici gestiti all'interno del porto.

La transizione verso il paradigma del porto come hub energetico presuppone, tuttavia, un profondo ripensamento delle logiche gestionali. A tal proposito, diversi studi hanno evidenziato una correlazione positiva tra efficienza operativa ed efficienza energetica. Infatti, la gestione efficiente dell'insieme delle risorse operative del porto, che comprende le attrezzature di banchina, i mezzi di movimentazione interna, le aree di deposito e i punti di accesso al terminal, genera una riduzione dei tempi operativi che si riflette, in maniera diretta, su una diminuzione del fabbisogno energetico complessivo dello scalo.

Figura 1: Metodi di gestione dei picchi di domanda elettrica nei terminal portuali.



Fonte: Ç. Iris, J.S.L. Lam, *A review of energy efficiency in ports*, 2019.

In questa prospettiva, tra le strategie operative a maggiore impatto sul fabbisogno energetico figura la gestione attiva dei picchi di domanda elettrica, che si articola in tre approcci distinti, rappresentati nella Figura 1. Il primo, denominato *power sharing*, prevede l'accumulo di energia nei periodi di bassa domanda e il suo successivo rilascio nelle fasi di picco, ottenendo un profilo di carico più uniforme senza ridurre l'energia complessivamente consumata. Il secondo approccio, il *load shifting*, consiste nella riprogrammazione delle attività ad alto assorbimento elettrico, quali la ricarica dei reefer container o il funzionamento simultaneo di più gru di banchina, alle ore di punta alle fasce orarie di minore operatività, redistribuendo così la domanda nel tempo. Il terzo metodo, il *peak shaving* (o *load shedding*), opera invece fissando una soglia massima di carico oltre la quale le utenze non critiche vengono temporaneamente disattivate, con una riduzione effettiva della domanda energetica complessiva.

A queste strategie di gestione del carico si affiancano ulteriori approcci orientati all'efficienza, quali il *virtual arrival*, ossia la regolazione della velocità di avvicinamento delle navi al porto al fine di prevenire fenomeni di congestione e l'*energy-aware planning*, ovvero la programmazione delle attività del terminal secondo criteri di consapevolezza energetica. L'effetto combinato di tali misure può determinare, in determinati contesti operativi, riduzioni dei consumi nell'ordine del 25%.⁴

Il porto-hub energetico richiede, inoltre, l'adozione di sistemi intelligenti di gestione dell'energia, capaci di bilanciare in tempo reale domanda e offerta, integrando fonti

⁴ Ç. Iris, J.S.L. Lam, *A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems*, in «Renewable and Sustainable Energy Reviews», vol. 112, 2019, pp. 170-182

rinnovabili intermittenti, sistemi di accumulo e connessione alla rete elettrica nazionale. In tal senso, le tecnologie digitali costituiscono degli elementi essenziali per rendere l'infrastruttura abilitante nel governare la complessità dei flussi energetici portuali.

Il passaggio da un modello portuale ad alta intensità carbonica, strutturalmente dipendente dai combustibili fossili, a un paradigma low-carbon, fondato sull'elettrificazione, sulle rinnovabili e sulla gestione intelligente dell'energia, configura dunque il porto non più come un semplice utilizzatore finale di energia, ma come un attore protagonista della transizione energetica.

4.2 Il Cold Ironing

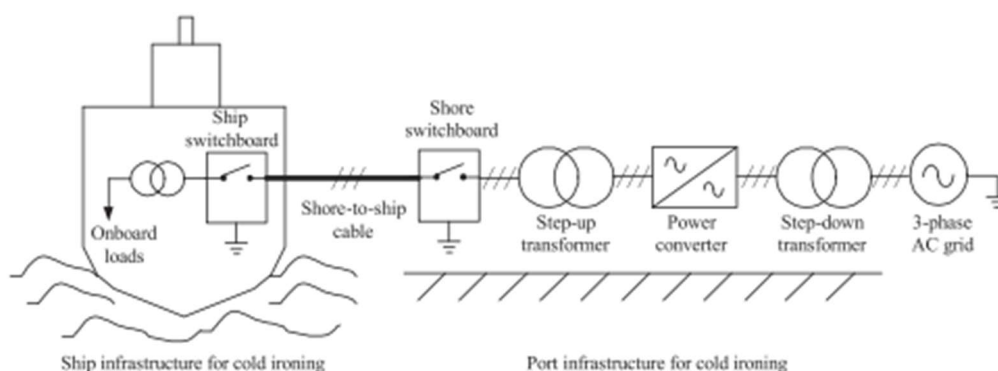
4.2.1 Definizione e funzionamento tecnico

Tra le applicazioni più significative e dibattute della transizione energetica portuale si colloca il cold ironing, noto tecnicamente anche come Onshore Power Supply (OPS), Alternative Maritime Power (AMP) o shore power. Questa soluzione tecnologica consiste nella fornitura di energia elettrica dalla rete terrestre alle navi ormeggiate, permettendo lo spegnimento dei motori principali e ausiliari di bordo e garantendo al contempo la continuità dei servizi energetici necessari durante la sosta.

Il termine, la cui origine è riconducibile alla pratica storica di lasciar raffreddare i motori in ferro delle navi a carbone una volta in porto, identifica oggi una procedura che può avvenire secondo due modalità: da nave a nave (ship-to-ship), tipica delle applicazioni militari, oppure da terra a nave (shore-to-ship). Il principio di funzionamento è concettualmente analogo a quello dei veicoli elettrici: così come l'elettificazione nei trasporti terrestri sposta le emissioni dalla strada alla centrale elettrica, il cold ironing trasferisce l'impatto ambientale dal porto al sito di produzione energetica.

I benefici sono pertanto prevalentemente locali: l'utilizzo dell'OPS elimina alla fonte il rilascio di inquinanti dai fumaioli nell'area portuale urbana (ad eccezione delle caldaie di bordo che talvolta rimangono operative). Tuttavia, la sostenibilità globale del sistema dipende strettamente dall'origine dell'energia. Se la rete elettrica è alimentata da fonti rinnovabili, il beneficio ambientale è massimo; se invece l'elettricità proviene da combustibili fossili, si determina un semplice spostamento delle emissioni verso la centrale di generazione.

Figura 2: Schema dell'infrastruttura di un sistema di cold ironing (shore-to-ship)



Fonte: Rolán et al., Integration of Cold Ironing and Renewable Sources in the Barcelona Smart Port, 2019.

La Figura 2 illustra in forma schematica l'architettura di un sistema di cold ironing nella configurazione shore-to-ship, ossia da terra a nave. Lo schema si articola in due segmenti principali, chiaramente distinti: l'infrastruttura portuale (lato destro) e l'infrastruttura navale (lato sinistro).

Sul versante portuale, l'energia elettrica viene prelevata dalla rete elettrica terrestre trifase e attraversa una serie di dispositivi — trasformatori e convertitori — la cui funzione è quella di adattare le caratteristiche della corrente (tensione e frequenza) ai requisiti specifici dell'impianto elettrico della nave. Questo passaggio è necessario poiché le navi, a seconda della loro tipologia e del Paese di costruzione, possono operare con parametri elettrici differenti rispetto a quelli della rete locale del porto.

Sul versante navale, l'energia così convertita viene trasferita a bordo tramite un cavo di collegamento dedicato (shore-to-ship cable), che connette il quadro elettrico della banchina a quello della nave. Una volta a bordo, l'elettricità alimenta tutti i carichi necessari durante la sosta: illuminazione, climatizzazione, sistemi di refrigerazione e servizi ausiliari.

In sostanza, il sistema consente alla nave di spegnere i propri motori diesel durante l'ormeggio, sostituendoli con una fonte di alimentazione esterna. È proprio in questo meccanismo che risiede il principale beneficio ambientale del cold ironing: le emissioni

inquinanti che sarebbero generate dalla combustione di carburante a bordo vengono eliminate a livello locale, migliorando significativamente la qualità dell'aria nelle aree portuali e nelle comunità costiere circostanti.

Inoltre, si consideri che l'adozione del cold ironing richiede interventi di adeguamento non solo sul fronte dell'infrastruttura portuale, ma anche sul lato nave. Infatti, le imbarcazioni tradizionali devono essere modificate per consentire la connessione al sistema di alimentazione da terra e, in alcuni casi, è necessaria la presenza di personale elettrotecnico certificato per l'alta tensione a bordo.

4.2.2 Sfide implementative ed economiche

L'implementazione efficace del cold ironing trascende la semplice installazione di colonnine in banchina, configurandosi come una complessa sfida sistemica che coinvolge investimenti portuali, interventi di retrofit navale per l'adeguamento delle imbarcazioni e una profonda revisione dei modelli economici di gestione energetica.

Dal punto di vista infrastrutturale, il porto deve dotarsi di punti di connessione elettrica in banchina, sistemi di conversione della frequenza e della tensione, necessari per adeguare i parametri della rete elettrica locale a quelli richiesti dagli impianti di bordo e cablaggi ad alta capacità. La complessità dell'installazione varia considerevolmente in funzione della tipologia di navi servite e della potenza richiesta: i requisiti di potenza spaziano da livelli relativamente contenuti per rimorchiatori e traghetti fino a valori molto elevati per grandi navi da crociera e portacontainer. Lato terra, l'adozione dello shore power impone alle autorità portuali investimenti ingenti per la creazione di queste sottostazioni energetiche. Tuttavia, la disponibilità della tecnologia non ne garantisce l'utilizzo efficiente. Inoltre, un aspetto critico riguarda i tempi operativi di connessione, in quanto in condizioni ideali il collegamento può avvenire in decine di minuti, ma nella realtà operativa le procedure possono richiedere fino a ore. Fattori come la coordinazione tra equipaggio e personale di terra o guasti tecnici possono limitare drasticamente il tempo effettivo di utilizzo dell'impianto.

Il nodo cruciale della diffusione del cold ironing risiede tuttavia nella flotta. L'adozione della tecnologia richiede che gli armatori sottopongano le navi a costosi interventi di retrofit, installando a bordo trasformatori, quadri di commutazione e sistemi di gestione della potenza. La decisione di investire in tale adeguamento non è automatica, ma dipende da una valutazione comparata rispetto ad altre soluzioni disponibili per la compliance ambientale, come l'uso di combustibili a basso tenore di zolfo, come il gasolio marino (MGO) o l'installazione di scrubber⁵. Questi ultimi, pur richiedendo investimenti ingenti,

⁵ Lo scrubber, noto anche come Exhaust Gas Cleaning Systems (EGCS) è un dispositivo installato a bordo delle navi che depura i fumi prodotti dai motori o dai generatori per essere convogliati all'interno di una torre di lavaggio, dove incontrano una corrente d'acqua o una soluzione alcalina, al fine di ridurre le emissioni di ossidi di zolfo (SOx) e particolato prima del loro rilascio in atmosfera. Fonte: <https://www.mdssurvey.com/2025/09/10/scrubber-navale/>

permettono di continuare a bruciare olio combustibile pesante (HFO), ma hanno un'efficacia limitata sugli ossidi di azoto (NOx).

In sintesi, la scelta dell'armatore di investire nel retrofit dipende da una serie di variabili, tra cui la tipologia e la dimensione della nave, le rotte servite, il quadro regolatorio applicabile e i porti di scalo.

Per quanto riguarda gli standard tecnici, la connessione elettrica tra la rete portuale e l'impianto di bordo deve rispondere a rigorosi requisiti di compatibilità in termini di tensione, frequenza e potenza, regolati da standard internazionali emanati da IEC (International Electrotechnical Commission)⁶, ISO (International Organization for Standardization)⁷ e IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)⁸. Tali standard definiscono le specifiche tecniche dei sistemi di connessione, i protocolli di sicurezza, le interfacce elettriche e le procedure operative, garantendo l'interoperabilità tra infrastrutture portuali e navali su scala globale. La standardizzazione tecnica rappresenta un prerequisito essenziale per la diffusione su larga scala del cold ironing, assicurando che le navi dotate di retrofit possano connettersi in modo sicuro e affidabile alle infrastrutture di shore power in diversi porti.

Oltre le barriere tecniche, esiste un paradosso di natura economica. Anche quando l'infrastruttura è disponibile e la nave è attrezzata, bruciare Heavy Fuel Oil (HFO) con i motori ausiliari risulta spesso più economico rispetto all'acquisto di elettricità dalla rete portuale. Di conseguenza, senza un intervento fiscale mirato, come la revisione della Energy Taxation Directive⁹ dell'UE per detassare l'elettricità fornita alle navi, il differenziale di costo disincentiva l'armatore dall'effettuare il collegamento alla rete portuale, operazione comunemente definita plug-in, ossia la connessione fisica della nave

⁶ IEC (International Electrotechnical Commission): organizzazione internazionale che elabora e pubblica standard per tutte le tecnologie elettriche, elettroniche e correlate.

⁷ ISO (International Organization for Standardization): ente internazionale di normazione che sviluppa e pubblica standard tecnici applicabili a livello globale.

⁸ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): associazione professionale internazionale dedicata all'avanzamento della tecnologia, che pubblica standard tecnici ampiamente riconosciuti nel settore elettrico ed elettronico.

⁹ La Energy Taxation Directive (ETD), Direttiva 2003/96/CE del Consiglio del 27 ottobre 2003, costituisce il quadro normativo europeo per la tassazione dei prodotti energetici e dell'elettricità. Nel luglio 2021, la Commissione Europea ha presentato una proposta di revisione della direttiva COM (2021) 563 final, volta a eliminare l'asimmetria fiscale tra i combustibili utilizzati nella navigazione marittima rispetto all'elettricità acquistata da terra.

all'infrastruttura elettrica di banchina, che consente lo spegnimento dei motori ausiliari durante la sosta in porto. Ne risulta che il successo del cold ironing non dipende solo dall'ingegneria, ma dalla capacità del legislatore nel rovesciare l'attuale squilibrio economico, rendendo l'approvvigionamento di energia elettrica da terra economicamente vantaggioso rispetto all'utilizzo dei combustibili fossili a bordo.

4.2.3 Efficacia ambientale e valutazione socioeconomica

Nel panorama delle tecnologie disponibili per la mitigazione dell'inquinamento portuale, il cold ironing si configura come la soluzione più efficace per intervenire direttamente sulla fonte delle emissioni inquinanti durante la sosta delle navi.

Sotto il profilo della qualità dell'aria, l'efficacia dello shore power è stata ampiamente documentata dalla letteratura scientifica. Come evidenziato in uno studio accademico del 2019, il collegamento alla rete elettrica consente di eliminare virtualmente il 100% delle emissioni locali di Ossidi di Azoto (NOx), Ossidi di Zolfo (SOx) e Particolato (PM)¹⁰ durante le fasi di hoteling¹¹. Parallelamente ai benefici atmosferici, la tecnologia agisce anche sull'inquinamento acustico. Infatti, lo spegnimento dei generatori elimina il rumore a bassa frequenza e le vibrazioni trasmesse alle strutture portuali, migliorando significativamente la qualità della vita delle comunità locali, oltre a prevenire il rilascio di calore nelle acque del bacino portuale.

Tali benefici assumono una rilevanza critica alla luce delle evidenze scientifiche sugli impatti sanitari del trasporto marittimo approfondite nel capitolo 2, nella sezione dedicata all'inquinamento atmosferico portuale.

In questa prospettiva, l'analisi costi-benefici dell'OPS non può limitarsi ai soli aspetti finanziari diretti, ma deve necessariamente incorporare la quantificazione dei costi sociali esterni generati dalle emissioni navali durante la fase di sosta in porto.

Tali esternalità negative, pur non essendo immediatamente visibili nei bilanci economici tradizionali, generano costi reali a carico dei sistemi sanitari nazionali e delle comunità esposte, che possono essere stimati attraverso modelli di valutazione economica dell'inquinamento atmosferico basati sulla catena di impatto¹². Questi modelli consentono di stimare l'esposizione della popolazione all'inquinamento proveniente da fonti

¹⁰ Zis, T.P.V. (2019). Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 82-95.

¹¹ Nel contesto del trasporto marittimo, il termine hoteling si riferisce alla fase di sosta della nave in porto, durante la quale i motori principali sono spenti ma i motori ausiliari restano in funzione per garantire i servizi essenziali di bordo.

¹² La catena di impatto è una metodologia analitica utilizzata per quantificare in termini economici gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana. Si articola in una sequenza logica di fasi concatenate.

specifiche e di calcolare i conseguenti costi sanitari esterni, traducendo in termini monetari gli effetti delle emissioni su mortalità, morbidità e qualità della vita.

La quantificazione di tali costi esterni è essenziale per almeno due ragioni fondamentali. In primo luogo, essa consente di superare i limiti di un'analisi puramente finanziaria, restituendo una visione socioeconomica più completa dell'impatto del trasporto marittimo sulle aree portuali e sulle comunità limitrofe. In secondo luogo, la monetizzazione delle esternalità sanitarie permette di confrontare su basi omogenee i costi degli investimenti infrastrutturali necessari per il cold ironing con i benefici derivanti dalla riduzione delle emissioni, dimostrando come i benefici sanitari, quantificabili in decessi evitati, minori ospedalizzazioni e riduzione delle patologie croniche, possano giustificare economicamente gli ingenti investimenti richiesti, specialmente nei porti situati in prossimità di aree densamente popolate.

Tuttavia, mentre l'abbattimento degli inquinanti locali è assicurato indipendentemente dalla fonte di energia, il bilancio globale delle emissioni di CO₂ presenta una complessità maggiore. L'efficacia del cold ironing come strumento di decarbonizzazione è infatti strettamente subordinata al mix energetico della rete che alimenta il porto. Infatti, se l'elettricità prelevata da terra è prodotta da fonti fossili, si rischia un mero spostamento delle emissioni dalla nave alla centrale elettrica; al contrario, il sistema diviene un vero motore di sostenibilità globale quanto più la rete è alimentata da fonti rinnovabili. Tale interdipendenza conferma la necessità di un approccio integrato alla transizione energetica portuale, che non si limiti all'installazione delle colonnine in banchina per il potenziamento energetico dell'infrastruttura, ma proceda di pari passo con soluzioni a basse emissioni di carbonio.

4.3 Il chicken-and-egg dilemma

L'adozione su larga scala del cold ironing è ostacolata da un problema di coordinamento di mercato che la letteratura accademica ha efficacemente descritto come la “*chicken vs egg conjecture*”. La barriera principale non risiede esclusivamente nella complessità tecnica della tecnologia, ma nell'interdipendenza strutturale tra le decisioni di investimento delle due categorie di attori coinvolti: le autorità portuali, chiamate a realizzare l'infrastruttura di terra, e gli armatori, tenuti ad adeguare le proprie navi per ricevere l'alimentazione elettrica dalla banchina. Tale interdipendenza genera una condizione di stallo in cui ciascuna parte subordina razionalmente il proprio impegno finanziario all'iniziativa dell'altra, producendo un equilibrio subottimale caratterizzato dall'immobilismo di entrambe.

Per quanto riguarda il lato dell'offerta, e quindi dal punto di vista delle autorità portuali e degli operatori terminalisti, l'investimento nell'infrastruttura di Onshore Power Supply comporta un esborso di capitale fisso significativo, che include sottostazioni elettriche, sistemi di connessione banchina-nave, adeguamenti della rete di distribuzione interna e apparecchiature di gestione e controllo. Il rendimento di tale investimento dipende tuttavia interamente dal tasso di utilizzazione degli impianti, il quale, a sua volta, è funzione del numero di navi tecnicamente predisposte alla connessione elettrica che effettivamente scalano il porto. Se il numero di navi equipaggiate rimane insufficiente, l'infrastruttura installata rischia di restare largamente inutilizzata, generando costi di ammortamento e manutenzione non compensati da ricavi adeguati. Questo scenario configura il rischio tipico degli stranded asset, ovvero infrastrutture che perdono il proprio valore economico prima della fine della vita utile prevista.

Come evidenziato dall'European Sea Ports Organisation, in uno studio sugli investimenti portuali¹³, le spese di manutenzione sostenute dagli enti di gestione portuale sono spesso rilevanti e, soprattutto, presentano una significativa rigidità rispetto ai volumi di traffico effettivamente gestiti. L'indagine ESPO riporta come i costi di manutenzione, che comprendono, tra l'altro, proprio la manutenzione della rete elettrica portuale, tendano a

¹³ European Sea Ports Organisation (ESPO). Port investments study 2024: The investment pipeline and challenges of European ports. In cooperation with Peter de Langen. Brussels: ESPO.

essere anelastici rispetto ai volumi movimentati: ciò significa che, anche a fronte di un calo del traffico, i costi fissi associati all'infrastruttura rimangono sostanzialmente invariati. Questa rigidità dei costi fissi amplifica il rischio finanziario associato a investimenti in infrastrutture per il cold ironing, poiché un porto che abbia realizzato impianti OPS dimensionati su una previsione di domanda che non si materializza si troverà a sostenere oneri fissi crescenti a fronte di ricavi decrescenti o nulli. Ne consegue che, in condizioni di incertezza sulla domanda, le autorità portuali adottano un atteggiamento prudentiale, preferendo ritardare o ridimensionare gli investimenti, oppure orientandosi verso soluzioni alternative meno capital-intensive, come il rinnovo delle attrezzature di movimentazione o l'adozione di incentivi per l'uso di carburanti a basso tenore di zolfo, come illustrato nella sezione 3.2.2.

La distribuzione del rischio di investimento è ulteriormente complicata dalla varietà dei modelli di gestione portuale. In un porto interamente privatizzato, il proprietario del porto dovrà farsi carico dell'investimento in cold ironing, mentre in un porto pubblico, che opera secondo il modello landlord, la responsabilità può ricadere sull'autorità portuale, sull'operatore terminalista concessionario, o essere ripartita tra i due sulla base degli accordi contrattuali vigenti. In molti contesti portuali, inoltre, la gestione operativa dei terminal è tipicamente affidata a soggetti privati mediante concessioni demaniali, ossia atti con cui l'Autorità Portuale concede l'uso esclusivo di spazi e infrastrutture per un periodo definito. La compresenza di più concessionari, ciascuno con propri incentivi, risorse e strategie, genera una frammentazione decisionale che alimenta dinamiche di attesa reciproca. In tal senso, nessun operatore è disposto a compiere il primo passo senza la certezza che gli altri seguano. Si ripresenta, dunque, il cosiddetto chicken-and-egg dilemma, in cui l'assenza di un'azione coordinata finisce per paralizzare l'intero processo di transizione.

Specularmente, dal lato della domanda, gli armatori si confrontano con un'incertezza tecnologica profonda che scoraggia l'investimento nel retrofit delle flotte. L'adeguamento di una nave per la connessione al Cold Ironing rappresenta un costo rilevante, ma non è l'unica opzione tecnologica nel contesto della decarbonizzazione marittima. Gli armatori si trovano contemporaneamente a valutare investimenti in diverse opzioni tecnologiche disponibili e/o non ancora adottate, come lo scrubber già citato, ma anche nella propulsione a GNL, nelle celle a combustibile a idrogeno, nell'ammoniaca verde e nel

metanolo, ciascuna delle quali presenta profili di costo, maturità tecnologica e prospettive di diffusione assai differenti rispetto il cold ironing.

Inoltre, in una fase in cui non si è ancora affermato un chiaro standard tecnologico di riferimento, la strategia più razionale per un armatore è quella di attendere, evitando di destinare ingenti capitali a una soluzione che potrebbe non imporsi sul mercato. Impegnare milioni per convertire una nave all'alimentazione elettrica da terra, ad esempio, risulterebbe poco prudente qualora l'evoluzione tecnologica prendesse una direzione diversa, rendendo di fatto obsoleto l'investimento sostenuto,

La combinazione di questi fattori alimenta il circolo vizioso esplicitato nel dilemma dell'uovo e della gallina. I porti non investono perché mancano navi predisposte; gli armatori non adeguano le flotte perché mancano le infrastrutture a terra. Ciascun attore ha ragioni economicamente razionali per attendere la mossa dell'altro, e in assenza di un impulso esterno questo stallo rischia di protarsi indefinitamente, trasformando un circolo vizioso in paralisi decisionale.

4.4 Spinta Normativa e Governance

La rottura di questo circolo disfunzionale richiede pertanto un'azione normativa vincolante, in un contesto in cui l'adozione del cold ironing rappresenta oggi una delle sfide più significative per la governance portuale contemporanea. Non si tratta più di un'iniziativa ambientale discrezionale, ma di un obbligo regolamentare vincolante nell'Unione Europea, introdotto dal regolamento FuelEU Maritime e dal regolamento AFIR sull'infrastruttura per i combustibili alternativi. Questa transizione, da adozione volontaria a conformità obbligatoria, modifica radicalmente il quadro entro cui le autorità portuali devono operare, imponendo una riconfigurazione profonda dei modelli organizzativi, delle relazioni con gli stakeholder e delle strutture decisionali.

Tradizionalmente, le autorità portuali hanno operato come gestori infrastrutturali e intermediari tra navi, operatori terminalisti, fornitori di servizi e amministrazioni pubbliche. In questo ruolo consolidato, l'attività portuale si è concentrata sulla regolazione degli spazi, sulla concessione delle aree e sulla supervisione delle operazioni commerciali. Il cold ironing, tuttavia, richiede alle autorità portuali di assumere funzioni che esulano dal perimetro tradizionale: decisioni di investimento in infrastrutture elettriche ad alta intensità di capitale, negoziazione di contratti di fornitura energetica, definizione di strutture tariffarie per il servizio di connessione e coordinamento tecnico con operatori della rete elettrica e gestori della distribuzione.

Questa espansione funzionale configura un passaggio qualitativo: il porto non si limita più a facilitare le attività marittime, ma diventa a tutti gli effetti un nodo del sistema energetico, con responsabilità operative in materia di approvvigionamento, distribuzione e tariffazione dell'elettricità. Si tratta di competenze storicamente estranee all'organizzazione portuale, che sollevano interrogativi rilevanti in termini di capacità istituzionale, trasparenza dei prezzi, accesso non discriminatorio al servizio e tutela della concorrenza.

4.4.1 Dalla Direttiva AFID al Regolamento AFIR

Accanto alle normative sulle emissioni in navigazione, l'Unione Europea ha sviluppato un quadro normativo progressivamente più stringente e articolato per promuovere l'elettrificazione delle banchine portuali, la cui evoluzione riflette una crescente consapevolezza della centralità dei porti nella transizione energetica del settore marittimo.

Il primo strumento normativo organico in materia è stata la Direttiva 2014/94/UE¹⁴, nota come AFID (Alternative Fuels Infrastructure Directive), che ha rappresentato il primo tentativo dell'Unione Europea di definire un quadro per la realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi. Per quanto riguarda il settore marittimo, la direttiva stabiliva che gli Stati membri dovessero valutare la necessità di installare punti di fornitura di elettricità da terra nei porti marittimi e interni, con priorità per i porti della rete centrale TEN-T (Trans-European Transport Network). La direttiva riconosceva esplicitamente il cold ironing come una delle soluzioni più efficaci per ridurre le emissioni atmosferiche e l'inquinamento acustico generato dalle navi durante la sosta in porto. Tuttavia, il carattere non vincolante delle disposizioni relative all'elettrificazione delle banchine ha determinato un'implementazione profondamente disomogenea tra gli Stati membri, con significative differenze nei livelli di infrastrutturazione dei porti europei che hanno di fatto rallentato il processo di transizione verso banchine elettrificate.

La consapevolezza dei limiti strutturali della Direttiva AFID e l'urgenza di accelerare la transizione verso un sistema di trasporti marittimi più sostenibile hanno condotto l'Unione Europea all'adozione del Regolamento (UE) 2023/1804¹⁵, denominato AFIR (Alternative Fuels Infrastructure Regulation), che abroga e sostituisce la precedente direttiva. Il passaggio dallo strumento della direttiva a quello del regolamento rappresenta un cambio di paradigma giuridico di fondamentale importanza: a differenza della direttiva, che necessita di recepimento nella legislazione nazionale di ciascuno Stato membro, con inevitabili margini di discrezionalità e ritardi, il regolamento è direttamente applicabile

¹⁴ Direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 ottobre 2014, sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi.

¹⁵ Regolamento (UE) 2023/1804 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 settembre 2023, sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi, e che abroga la direttiva 2014/94/UE.

in tutti gli Stati membri, garantendo un'implementazione più uniforme e tempestiva degli obblighi previsti.

Il Regolamento AFIR introduce obblighi vincolanti per l'installazione di infrastrutture di cold ironing nei porti europei, scanditi secondo una tempistica precisa e progressiva. Entro il 1° gennaio 2030, i porti marittimi appartenenti alla rete centrale TEN-T dovranno essere in grado di fornire elettricità da terra alle navi portacontainer e alle navi da passeggeri. Tale obbligo si estenderà entro il 1° gennaio 2035 ai porti della rete globale TEN-T, ampliando significativamente la copertura geografica dell'infrastrutturazione elettrica portuale a livello continentale¹⁶. A partire dalle date indicate, le navi portacontainer e le navi passeggeri ormeggiate in questi porti saranno obbligate a collegarsi all'alimentazione elettrica da terra, per soddisfare il proprio fabbisogno energetico durante la sosta, salvo specifiche eccezioni previste dal regolamento stesso per soste di breve durata, situazioni di emergenza o indisponibilità temporanea dell'infrastruttura.

Il quadro regolatorio che emerge dall'analisi delle normative esaminate si configura dunque come un sistema multilivello, nel quale il legislatore, tanto a livello internazionale quanto europeo, ha assunto un ruolo di primo piano nel guidare e accelerare la transizione energetica del settore marittimo-portuale. L'interazione tra la Strategia IMO 2023, il Regolamento FuelEU Maritime e il Regolamento AFIR testimonia la volontà del regolatore di agire simultaneamente su più fronti, dalle emissioni in navigazione a quelle in banchina, imponendo di fatto al settore una trasformazione profonda. È proprio attraverso la definizione di obblighi vincolanti, scadenze temporali precise e standard tecnici armonizzati che il legislatore europeo ha inteso superare le inerzie del mercato e le resistenze degli operatori, creando le condizioni normative affinché il cold ironing non resti una soluzione tecnologica opzionale, ma diventi parte integrante della gestione operativa dei porti e delle flotte.

L'attuazione di tale quadro comporta indubbiamente sfide tecniche e finanziarie considerevoli, che si distribuiscono lungo l'intera catena del valore marittimo-portuale. Tuttavia, è proprio la coerenza e la convergenza di questi strumenti normativi a rappresentare un'opportunità strategica per il sistema portuale europeo. I porti che,

¹⁶ Ibidem.

anticipando le scadenze regolamentari, investono tempestivamente nell'infrastrutturazione per il cold ironing e, più in generale, nella transizione energetica, possono rafforzare la propria competitività nel panorama marittimo internazionale, attrarre traffici da parte di compagnie di navigazione impegnate nella decarbonizzazione delle proprie flotte, migliorare sensibilmente la vivibilità delle città portuali attraverso la riduzione dell'inquinamento atmosferico e acustico nelle aree urbane limitrofe, e posizionarsi come piattaforme energetiche al centro della nuova economia marittima sostenibile.

In questa prospettiva, il cold ironing trascende la dimensione del mero obbligo normativo da ottemperare, configurandosi come un tassello fondamentale di una più ampia visione strategica nella quale il legislatore ha tracciato la rotta e il porto diviene nodo centrale della transizione energetica. Un punto di convergenza tra decarbonizzazione dei trasporti, innovazione infrastrutturale e sviluppo sostenibile.

4.4.2 Il nuovo ruolo delle Autorità Portuali

La transizione dal cold ironing volontario a quello obbligatorio amplifica le tensioni di governance in modo sostanziale. Quando l'adozione era discrezionale, i modelli landlord potevano operare in un contesto di bassa utilizzazione e limitata complessità contrattuale, spesso servendo un numero ristretto di navi o un singolo cliente. L'obbligo regolamentare impone invece la copertura sistematica degli scali portuali eleggibili, con livelli di servizio, affidabilità e trasparenza tariffaria comparabili a quelli di un'infrastruttura pubblica soggetta a vigilanza.

Questa pressione regolamentare interagisce con vincoli strutturali significativi. L'investimento in infrastruttura di cold ironing è ad alta intensità di capitale e caratterizzato da rendimenti incerti, dipendenti dal tasso di utilizzazione effettivo degli impianti. La dipendenza dalla rete elettrica locale introduce ulteriori complessità: i porti rappresentano spesso nodi periferici della rete di distribuzione e l'incremento di domanda associato al cold ironing richiede adeguamenti significativi della capacità di connessione, con tempi e costi non sempre prevedibili. Si aggiungono problematiche di qualità e protezione dell'energia, asimmetrie informative tra porto e operatore di rete, e la necessità di coordinare investimenti distribuiti geograficamente e con orizzonti temporali diversi.

In questo contesto, la risposta dei porti europei all'obbligo di fornire elettricità da terra non è univoca, ma si articola attraverso forme di “imprenditorialità regolatoria”¹⁷. Infatti, le autorità portuali non subiscono passivamente la norma, ma mettono in atto un adattamento organizzativo orientato alla conformità, traducendo i requisiti formali in accordi operativi sostenibili. Già in analisi precedenti, emergeva del resto la necessità per le autorità portuali di sviluppare competenze di energy management: i porti, configurandosi come hub ad alta intensità energetica, non possono più limitarsi alla mera concessione di spazi, ma devono coordinare la generazione di potenza, l'integrazione delle fonti rinnovabili e l'efficienza energetica complessiva del sistema portuale.

¹⁷ Ennis, S. F., Mammassis, C., Markellos, R. N., Prousalidis, J. M., Manos, A., & Loukos, G. (2026). Regulatory and Business Innovation in Uncharted Waters: Mandatory Cold-Ironing. SSRN.

La governance del servizio di cold ironing nei porti europei non segue un modello unico, ma si declina in configurazioni differenti a seconda del grado di coinvolgimento dell'Autorità Portuale. Dall'analisi empirica emergono, a tal riguardo, tre archetipi principali:

1. Standard Intermediary: il porto funge da interfaccia diretta tra la rete elettrica nazionale e la nave, limitandosi a garantire la connessione fisica e la trasmissione dell'energia, senza intervenire attivamente nella gestione operativa o commerciale del servizio.
2. Active Intermediary: il porto assume un ruolo maggiormente proattivo, partecipando alla gestione della rete di distribuzione, alla realizzazione degli investimenti infrastrutturali e alla definizione delle condizioni tariffarie del servizio.
3. Facilitator: il porto predispone le condizioni normative, infrastrutturali e contrattuali affinché soggetti terzi, quali operatori energetici o concessionari di terminal, possano erogare il servizio in regime di autonomia operativa e commerciale.

Questi modelli differiscono per l'allocazione delle responsabilità di investimento, per la titolarità degli asset e per la gestione del rischio tra porto, operatori di rete e compagnie di navigazione. La scelta tra queste configurazioni non è standardizzata, ma dipende dal contesto istituzionale locale, dalla struttura del mercato energetico e dalla necessità di gestire infrastrutture ad alta intensità di capitale in un regime di persistente incertezza della domanda.

La complessità e l'onerosità dei modelli di business appena descritti evidenziano tuttavia i limiti strutturali dei singoli scali portuali. La gestione delle interfacce con la rete elettrica, la pianificazione degli adeguamenti infrastrutturali e la sostenibilità finanziaria degli impianti richiedono una massa critica, di tipo finanziaria, organizzativa e negoziale che il singolo porto di medie o piccole dimensioni spesso non possiede. Il costo dell'infrastruttura di cold ironing, comprensivo di sottostazioni elettriche, impianti di connessione banchina-nave, adeguamenti di rete e sistemi di gestione, rappresenta infatti un onere sproporzionato per quegli scali che non dispongono di volumi di traffico sufficienti a garantire tassi di utilizzazione adeguati e ritorni economici sostenibili.

Questa sproporzione tra scala degli investimenti e capacità dei singoli scali sta alimentando una tendenza strutturale verso il consolidamento della governance portuale,

caratterizzata dall'aggregazione di più porti all'interno di sistemi portuali unitari, gestiti da un unico ente di gestione portuale. Dati recenti dell'European Sea Ports Organisation (ESPO) confermano che un numero crescente di enti gestisce ormai sistemi multi-porto. Esempi emblematici di tale dinamica includono la riforma della portualità italiana, con l'istituzione delle Autorità di Sistema Portuale (AdSP) che accorpano sotto un'unica governance più scali precedentemente autonomi.

La ratio sottostante a tali processi di aggregazione è strettamente legata alla capacità di risposta alle sfide della transizione energetica. Un organismo di gestione che amministra più porti è infatti meglio attrezzato per affrontare le sfide della transizione energetica. In primo luogo, una governance multi-porto consente di generare economie di scala e massa critica finanziaria necessarie per sostenere i costi elevati dell'elettrificazione delle banchine, distribuendo gli oneri infrastrutturali su una base di traffico più ampia. Al contempo, la gestione unitaria di più scali permette di pianificare investimenti infrastrutturali coordinati quali connessioni alla rete ad alta tensione o sistemi energetici condivisi, in grado di beneficiare l'intero cluster portuale anziché il singolo scalo. A ciò si aggiunge la possibilità di centralizzare le competenze tecniche e negoziali, rafforzando la posizione contrattuale nei confronti dei fornitori di energia e degli operatori di rete e riducendo le asimmetrie informative che tipicamente caratterizzano il rapporto tra porto e gestore della distribuzione elettrica.

Questa dinamica di consolidamento istituzionale risponde dunque all'esigenza di costruire la capacità organizzativa e finanziaria necessaria per sostenere i costi della transizione verso un'economia portuale a basse emissioni di carbonio.

In sintesi, la governance della sostenibilità portuale si sta evolvendo attraverso un processo duale. Da un lato, i porti sviluppano modelli di business eterogenei per convertirsi operativamente alla normativa ambientale; dall'altro, il sistema portuale nel suo complesso reagisce aggregandosi in strutture multi-porto per garantire le economie di scala indispensabili a sostenere i costi della transizione energetica.

V Case Study: Implementazione del Cold Ironing nel Porto di Barcellona

5.1 Il quadro dell'innovazione sostenibile nel sistema portuale spagnolo

Il sistema portuale spagnolo occupa una posizione di rilevanza strategica nel panorama internazionale, fungendo da nodo di connessione chiave tra Europa, Africa e America. La crescita degli scambi commerciali e del turismo ha intensificato la necessità di coniugare efficienza operativa e sostenibilità, spingendo verso soluzioni innovative per ridurre l'impatto ambientale e ottimizzare le risorse.

In questo contesto, l'innovazione rappresenta la leva fondamentale per trasformare il settore portuale e marittimo. Attraverso l'implementazione di tecnologie avanzate, processi più efficienti e nuovi modelli gestionali è possibile rafforzare in maniera significativa la competitività e la resilienza del porto.

La digitalizzazione rappresenta un esempio emblematico di come l'innovazione stia trasformando il sistema portuale in chiave sostenibile. Tecnologie quali l'automazione dei terminal, l'utilizzo dell'intelligenza artificiale nella gestione del traffico marittimo e l'integrazione di sistemi Internet of Things (IoT) rendono possibile l'ottimizzazione dei flussi logistici e il miglioramento dell'efficienza operativa. Queste innovazioni non solo riducono i costi operativi, ma contribuiscono anche alla diminuzione del consumo energetico e delle emissioni di gas serra, facilitando la transizione verso un sistema di trasporto marittimo più sostenibile.

Da questa evoluzione nasce il concetto di “Smart Port”, ovvero una strategia che integra smart grid, piattaforme digitali e controlli automatizzati per gestire le risorse in modo più efficiente e adattarsi alle variazioni della domanda. Studi di settore confermano che i porti intelligenti accelerano le operazioni di carico e scarico, riducono i tempi di attesa e limitano l'impatto ambientale grazie all'impiego di energie rinnovabili e al monitoraggio in tempo reale delle emissioni. I risultati di queste ricerche dimostrano inoltre che

l'innovazione nella sostenibilità portuale produce benefici concreti sul fronte ambientale, economico e sociale.

Sul piano ambientale, tecnologie e pratiche sostenibili hanno permesso di abbattere le emissioni di gas serra, migliorare la qualità di aria e acqua e tutelare la biodiversità marina. In ambito economico, l'innovazione ha creato nuove opportunità di business e incrementato l'efficienza operativa, rafforzando la competitività dei porti attraverso l'ottimizzazione delle risorse e la riduzione dei costi a lungo termine. Infine, sul versante sociale, le comunità locali sono state maggiormente coinvolte nei processi decisionali, con ricadute positive sull'occupazione e sulle competenze territoriali. Questo ha consolidato il rapporto di fiducia tra porti e comunità, favorendo uno sviluppo più equo e sostenibile.

Malgrado i risultati raggiunti, il cammino verso la sostenibilità portuale presenta contraddizioni e sfide ancora aperte. L'analisi del paper di Vaca-Cabrero e collaboratori¹ evidenzia alcune criticità rilevanti. La prima riguarda il conflitto tra espansione e sostenibilità, poiché la crescita del traffico marittimo e turistico alimenta lo sviluppo economico, ma al tempo stesso intensifica le pressioni ambientali, rendendo necessari interventi correttivi sempre più complessi. I porti devono quindi bilanciare obiettivi in apparente contrasto e questo significa incrementare volumi e competitività, contenendo al contempo le ricadute ambientali e sociali.

La seconda criticità riguarda il divario tra disponibilità tecnologica e applicazione concreta. Pur esistendo soluzioni tecniche spesso già consolidate, la loro diffusione su ampia scala è ostacolata da vincoli economici, regolamentari e organizzativi. La transizione verso modelli sostenibili implica investimenti consistenti, con ritorni non sempre rapidi, e richiede una trasformazione culturale che coinvolga l'intera filiera logistica.

Infine, si impone la necessità di una visione integrata e di maggiore cooperazione. La letteratura conferma i vantaggi dell'innovazione sostenibile nei porti, sottolineando come l'integrazione delle dimensioni ambientale, economica e sociale favorisca uno sviluppo

¹ Vaca-Cabrero, J., Domínguez Rastrojo, J., González-Cancelas, N., & Camarero-Orive, A. (2025). Enhancing Sustainability in Port Infrastructure Through Innovation: A Case Study of the Spanish Port System. *Sustainability*, 17, 2593

più equilibrato. Tuttavia, per garantire un'implementazione efficace e replicabile a livello globale, occorre adottare un approccio sistemico e rafforzare la collaborazione tra tutti gli attori coinvolti.

Queste considerazioni introducono l'approfondimento sul Porto di Barcellona, caso emblematico per analizzare come tali sfide si traducano in strategie concrete, con particolare attenzione all'implementazione del cold ironing e ai risultati ottenuti nel percorso di decarbonizzazione.

5.2 Il Porto di Barcellona

5.2.1 Contesto e caratteristiche

Barcellona e il suo porto sono legati da un rapporto di reciproca dipendenza consolidatosi nel corso dei secoli. La vocazione marittima e commerciale della città ha reso lo scalo portuale un elemento cardine del suo sviluppo economico, sociale e culturale.

Figura 1: Vista aerea del Porto di Barcellona e dell'interfaccia città-porto



Fonte : Port de Barcelona (2024). Positive Impact : Annual Report 2024. Autoritat Portuària de Barcelona.

Tale relazione si configura come bidirezionale: da un lato, il porto ha conferito a Barcellona rilevanza internazionale, fungendo da motore economico e da snodo strategico per il commercio globale; dall'altro, la posizione geografica privilegiata della città e le sue infrastrutture hanno potenziato l'operatività portuale, garantendo un'efficiente distribuzione delle merci e una solida connettività con i mercati nazionali e internazionali. Questa sinergia ha trasformato Barcellona in un hub logistico di primaria importanza, capace di generare occupazione, attrarre investimenti e favorire la diversificazione economica.

La centralità dello scalo, tuttavia, non si limita alla dimensione commerciale. Nel corso della storia, il porto ha rappresentato un crocevia per il transito di merci, persone e idee tra l'Europa e il resto del mondo, lasciando un'impronta significativa sul tessuto urbano e sull'identità stessa della città. L'architettura, la cultura e lo stile di vita ne portano i segni

distintivi, visibili ancora oggi in quartieri storici come il Barri Gòtic, il Port Vell e Poble-Sec, testimonianze tangibili di questo legame profondo.

Ancora oggi, il Porto di Barcellona continua a svolgere un ruolo determinante come motore economico per la città e per l'intera regione catalana.

All'interno del Porto di Barcellona opera una molteplicità di soggetti che compongono la cosiddetta Port Community, un ecosistema integrato di imprese pubbliche e private impegnate nel garantire la piena operatività dello scalo. L'ampiezza e la complessità di questa rete testimoniano il ruolo strategico del porto, che trascende la mera funzione infrastrutturale per configurarsi come propulsore economico di rilievo per Barcellona, la Catalogna e l'intero bacino territoriale di riferimento. Coordinare una comunità così eterogenea richiede strutture di governance avanzate, in grado di armonizzare interessi plurali attorno a obiettivi condivisi di efficienza operativa, competitività e sviluppo sostenibile.

In questo contesto, l'Autorità Portuale di Barcellona (APB) riveste una funzione centrale. In qualità di ente pubblico, l'APB è responsabile della gestione, amministrazione e controllo dei servizi portuali, della segnaletica marittima e di ogni attività soggetta ad autorizzazione o concessione nell'ambito del demanio portuale.

Tra le competenze principali dell'Autorità figurano: la pianificazione, realizzazione e manutenzione delle infrastrutture; il coordinamento dei servizi per assicurarne efficienza e standard qualitativi elevati; la supervisione in materia di sicurezza e tutela ambientale; la promozione dello scalo e dell'offerta complessiva della Port Community. L'APB agisce pertanto come ente regolatore, coordinatore e promotore, mediando tra le istanze degli operatori privati e l'interesse collettivo.

Accanto alle strutture di governance tradizionali, il Porto di Barcellona ha dato vita a Barcelona Port Innovation, una fondazione privata nata dalla collaborazione con *Aggity*² e *Ackcent*³. L'iniziativa mira ad attrarre competenze qualificate e a trasformare il settore marittimo-portuale in un hub di innovazione intelligente, fondato su conoscenza,

² Aggity è una società spagnola di consulenza specializzata in trasformazione digitale e soluzioni tecnologiche avanzate.

³ Ackcent è un'impresa spagnola operante nel settore della cybersecurity e dell'innovazione tecnologica.

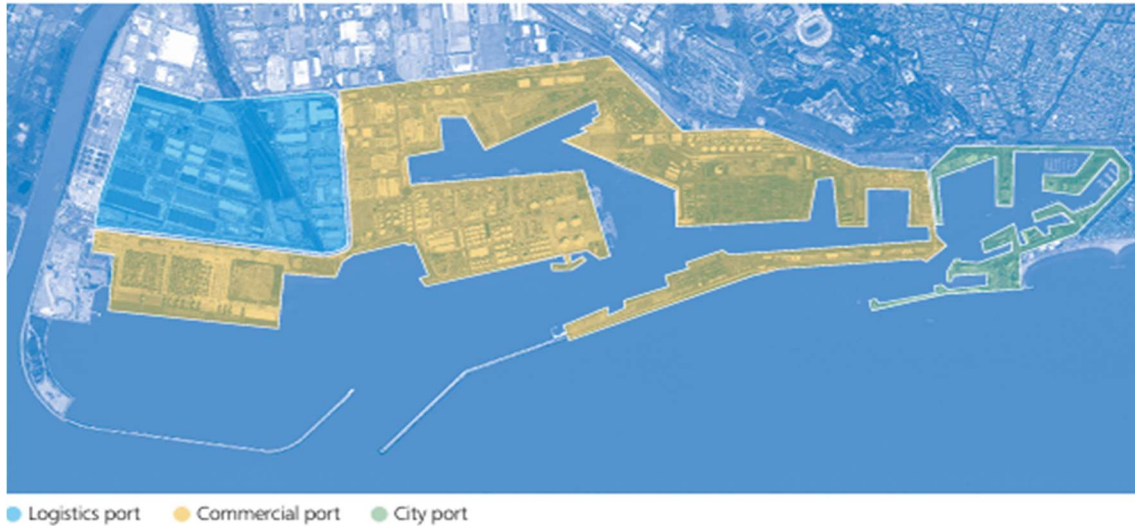
tecnologia e un marcato orientamento alla responsabilità sociale e ambientale, in coerenza con i principi della blue economy.

In conclusione, si può dunque affermare che la struttura di governance del Porto di Barcellona, articolata tra Autorità Portuale, Consiglio di Governance, Gruppi di Lavoro e iniziative come Barcelona Port Innovation, rappresenta un modello avanzato di gestione portuale che integra le dimensioni economiche, sociali e ambientali della sostenibilità, le tre dimensioni fondamentali discusse nel precedente sotto capitolo.

Questo assetto istituzionale risulta particolarmente rilevante nel contesto della transizione energetica del settore marittimo. L'implementazione di soluzioni innovative come l'elettrificazione delle banchine, oggetto di studio del presente capitolo, richiede infatti un elevato livello di coordinamento tra molteplici attori. La governance collaborativa del Porto di Barcellona fornisce il quadro istituzionale necessario per affrontare queste sfide, promuovendo l'adozione di soluzioni condivise.

5.2.2 Struttura funzionale e rilevanza strategica

Figura 2: Suddivisione funzionale delle aree del Porto di Barcellona: porto logistico, porto commerciale e porto urbano.



Fonte : Port of Barcelona, Fourth Strategic Plan 2021-2025 : Port Vision 2040, Autoritat Portuària de Barcelona.

Come illustrato nella Figura 2, il Porto di Barcellona presenta una complessità funzionale che si traduce in una chiara articolazione spaziale. Lo scalo si suddivide in tre macroaree distinte che sono le seguenti: il porto logistico (in blu), dedicato alle attività di stoccaggio, distribuzione e alla ZAL; il porto commerciale (in giallo), cuore pulsante delle operazioni di movimentazione merci e del traffico container e il city port (in verde), corrispondente all'area storica del Port Vell, oggi riconvertita a funzioni urbane, turistiche, ricreative e di innovazione.

Questa tripartizione riflette la natura stessa del porto, che si distende lungo la costa catalana come un organismo vivo, in continua evoluzione. Non si tratta, infatti, di un semplice approdo, bensì di un vero e proprio ecosistema dove convivono scopi e utilità distinte: quella commerciale, quella logistica, quella urbana e quella proiettata verso l'entroterra.

La forza del porto risiede proprio in tale diversificazione. Dalle banchine del porto commerciale transitano merci per oltre 80 miliardi di euro⁴, mentre i terminal specializzati accolgono navi da crociera e traghetti con milioni di passeggeri ogni anno. È un flusso incessante che alimenta l'economia non solo catalana, ma dell'intero Mediterraneo occidentale.

Questa articolazione funzionale costituisce il fondamento di una visione strategica più ampia. Infatti, il Porto di Barcellona ha consolidato nel tempo il proprio ruolo di hub euro regionale nel bacino del Mediterraneo occidentale, affermandosi come nodo di interconnessione con i mercati dell'Unione Europea. Questo posizionamento strategico ha favorito la crescita delle attività logistiche nel territorio circostante, trasformando lo scalo in un punto di riferimento per il modello di logistica port-centric e in un esempio virtuoso di innovazione a livello regionale.

Le conseguenze di questo orientamento strategico sono concrete, tant'è che il flusso del commercio internazionale di transito ha segnato un incremento pari al 50% in confronto al 2019, e l'impatto occupazionale dello scalo ha raggiunto approssimativamente 45.000 lavoratori, con un aumento del 22% se paragonato allo stesso anno base⁵.

Parallelamente, si è intensificata l'osmosi tra porto e città. L'area portuale ospita oggi gran parte delle infrastrutture e dei servizi dedicati alla mobilità elettrica, mentre la ZAL si è consolidata come principale nodo di distribuzione urbana per l'intera area metropolitana. Questo sviluppo dimostra come sostenibilità e competitività possano non solo coesistere, ma rafforzarsi reciprocamente in una logica di crescita integrata.

⁴ Port de Barcelona. (2021). Port of Barcelona Fourth Strategic Plan : Port Vision 2040. Autoritat Portuària de Barcelona.

⁵ Ibidem.

5.2.3 Politiche ambientali adottate

La sostenibilità, intesa come capacità di soddisfare i bisogni del presente senza compromettere quelli delle generazioni future⁶, costituisce il principale driver di sviluppo del Porto di Barcellona. In assenza di pratiche sostenibili, il porto si troverebbe ad affrontare sfide ambientali, sociali ed economiche che potrebbero mettere a rischio non solo il territorio e la collettività, ma anche la sua stessa capacità di operare efficientemente e generare profitti nel lungo periodo.

Tale visione si articola attorno ai tre pilastri del framework ESG (Environmental, Social and Governance), un modello che riconosce come ogni attività umana produca effetti, che possono essere positivi quanto negativi, sull'ambiente naturale, sul tessuto sociale e sul sistema economico. La dimensione ambientale riguarda la riduzione delle emissioni, la gestione efficiente delle risorse e la tutela degli ecosistemi; quella sociale abbraccia le relazioni con lavoratori, comunità locali e stakeholder, includendo sicurezza, inclusione e dialogo con il territorio; la componente di governance, infine, concerne trasparenza decisionale, etica aziendale e integrazione della sostenibilità nei processi strategici.

Il ruolo primario del porto resta quello di facilitare il commercio e connettere regioni su scala globale. Ciò non impedisce, tuttavia, di trasformare le modalità con cui questa missione viene svolta, allineandole ai principi ESG.

In concreto, l'applicazione dei valori ESG nel sistema portuale catalano si traduce nell'implementazione di strategie volte a raggiungere specifici obiettivi sostenibili, declinati secondo le tre dimensioni del framework.

Sul fronte ambientale, l'attenzione si concentra sulla transizione energetica: il porto ambisce a diventare un nodo di riferimento per il Mediterraneo e la Penisola Iberica, puntando sulla decarbonizzazione attraverso elettrificazione delle banchine, promozione di combustibili alternativi, efficienza energetica e produzione di energie rinnovabili.

⁶ La definizione di sviluppo sostenibile è tratta dal Rapporto Brundtland, documento pubblicato nel 1987 dalla Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo delle Nazioni Unite, presieduta da Gro Harlem Brundtland. Fonte: World Commission on Environment and Development (1987). Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.

La dimensione economica mira invece alla competitività. Lo scalo deve continuare a generare ricchezza per il territorio, diversificando le attività e offrendo servizi e infrastrutture che rafforzino le supply chain dei clienti. In un contesto di offerte sempre più omogenee, la differenziazione passa dalla rapida implementazione di innovazioni all'avanguardia.

La componente sociale, infine, si focalizza sul capitale umano: il porto pone le persone al centro, perseguendo la coesione sociale attraverso occupazione diversificata e di qualità, con azioni rivolte ai lavoratori portuali e ai cittadini di Barcellona ed El Prat de Llobregat.

Per rendere operativo questo framework, la governance portuale ha istituito strumenti dedicati di pianificazione e monitoraggio. L'impegno della Port Community si concretizza infatti attraverso il Sectoral Sustainability Plan (PSS), un'iniziativa avviata nel 2014 all'interno del Sustainability Working Group del Consiglio di Governance. Il piano rappresenta un passo significativo verso l'integrazione della responsabilità sociale, ambientale ed economica, riflettendo la consapevolezza collettiva dell'importanza di operare in modo sostenibile e valutare costantemente l'impatto delle attività portuali.

Nel 2023, il PSS si è evoluto nel Positive Impact Plan Port of Barcelona (PI), consolidando uno scopo condiviso, ovvero quello di creare valore distribuito tra tutti gli attori della comunità portuale.

Centrale in questo processo è la raccolta sistematica dei dati, che costituisce il fondamento su cui si basa l'intera strategia di sostenibilità. Attraverso un'indagine annuale, la Port Community monitora lo stato di avanzamento degli obiettivi e misura le proprie performance in modo regolare e strutturato. I dati raccolti confluiscono nel report di sostenibilità, uno strumento che offre una visione trasparente e completa dell'impatto generato e dei progressi compiuti, consentendo al contempo di identificare aree di miglioramento e calibrare le azioni future.

5.3 Strategia “Nexigen”: roadmap zero-emissioni entro il 2050

5.3.1 Implementazione del cold ironing

Nell'ambito della più ampia strategia di sostenibilità ambientale delineata nel Piano Strategico 2021-2025, il Porto di Barcellona ha lanciato Nexigen, un programma ambizioso dedicato all'elettrificazione delle banchine. Questo piano rappresenta una componente fondamentale del percorso di transizione energetica del porto, il cui obiettivo finale è raggiungere la neutralità carbonica entro il 2050.

La strategia Nexigen si fonda su un principio chiaro: consentire alle navi ormeggiate di connettersi alla rete elettrica generale attraverso sistemi di Onshore Power Supply (OPS), eliminando così la necessità di utilizzare i generatori ausiliari di bordo durante la sosta. Il piano contempla un investimento complessivo superiore ai 200 milioni di euro, testimoniando l'impegno significativo dell'Autorità Portuale verso la decarbonizzazione delle operazioni.

Un elemento distintivo del programma è la scelta di garantire che l'energia elettrica fornita alle navi sia certificata al 100% da fonti rinnovabili. Questa decisione strategica massimizza i benefici ambientali della connessione elettrica, poiché la sfida non consiste solo nello spostare le emissioni dal porto alle centrali di produzione, ma di eliminare effettivamente l'impatto carbonico delle operazioni di ormeggio attraverso l'utilizzo esclusivo di energia pulita. Gli obiettivi quantitativi della strategia sono altrettanto impegnativi, con il dimezzamento delle emissioni entro il 2030 e il conseguimento della neutralità carbonica entro il 2050.

Il programma si inserisce coerentemente nell'asse della sostenibilità ambientale definito dal Piano Strategico del Porto di Barcellona, che identifica la transizione energetica come priorità strategica. In particolare, il programma risponde all'obiettivo strategico SSOEN2, per la decarbonizzazione delle attività marittimo-portuali, che individua nell'elettrificazione delle banchine l'azione più importante per ottenere una riduzione sostanziale delle emissioni di gas serra.

L'integrazione del piano Nexigen nella visione complessiva del porto riflette la consapevolezza che la sostenibilità non può essere perseguita attraverso iniziative isolate,

ma richiede un approccio sistemico che coinvolga infrastrutture, tecnologie, governance e collaborazione tra tutti gli attori della comunità portuale. La connessione elettrica delle navi rappresenta infatti solo l'ultimo anello di una catena che include la rete di distribuzione di media tensione, le sottostazioni elettriche, i contratti di approvvigionamento di energia rinnovabile e il coordinamento operativo con le compagnie di navigazione.

Tale strategia posiziona il Porto di Barcellona all'avanguardia nel panorama europeo della decarbonizzazione portuale. L'investimento significativo, gli obiettivi ambiziosi e la scelta di utilizzare esclusivamente energia rinnovabile certificata testimoniano un impegno concreto verso la transizione energetica, coerente con gli obiettivi dell'Unione Europea e con i principi della sostenibilità ambientale, sociale ed economica che guidano la visione strategica del porto.

5.3.2 Le infrastrutture OPS nel Porto di Barcellona: una panoramica

L'implementazione del piano Nexigen si sta concretizzando attraverso l'installazione progressiva di sistemi OPS presso diversi terminal, con l'obiettivo di elettrificare le principali banchine del porto entro il 2030.

Le prime esperienze del Porto di Barcellona con la tecnologia OPS risalgono al 2014, quando presso la Marina Barcelona 92 fu installato il primo punto di connessione destinato ai mega-yacht. Sei anni più tardi, nel 2020, un secondo sistema fu aggiunto nella medesima area. Queste installazioni pionieristiche, pur limitate nella scala, hanno rappresentato dei test decisivi per l'Autorità Portuale, fornendo l'esperienza operativa necessaria per le successive implementazioni di maggiore portata.

Il sistema OPS presso Hutchison Ports BEST segna un avanzamento rilevante, in quanto si tratta del primo impianto di elettrificazione per navi portacontainer installato in un porto del Mediterraneo. Il sistema, operativo dall'estate del 2024 e prodotto dalla azienda danese PowerCon, secondo le specifiche esigenze del porto, eroga energia elettrica rinnovabile al 100%, consentendo alle navi ormeggiate di spegnere i motori e azzerare completamente le emissioni durante la sosta.

I lavori di costruzione dell'impianto si sono svolti contestualmente all'espansione del terminal, prevedendo l'installazione di 3.000 metri di linea elettrica a media tensione estesa fino al limite della banchina. In tale area sono state posizionate tre stazioni di connessione, appositamente progettate per armonizzarsi con le operazioni portuali. Con una capacità erogativa di 8 MW, il sistema permette di alimentare due navi contemporaneamente. L'infrastruttura opera convertendo i 25.000 volt della rete nei 6.600 volt⁷ richiesti dalle portacontainer e regolando la frequenza a 50 o 60 Hz⁸ in funzione

⁷ Port de Barcelona. Energy Transition. Electrical supply to ships.
Sito web: <https://www.portdebarcelona.cat/ca>

⁸ La frequenza della rete elettrica varia a seconda delle aree geografiche: in Europa lo standard è 50 Hz, mentre in Nord America è 60 Hz. Poiché le navi possono essere costruite in continenti diversi rispetto ai porti in cui attraccano, i sistemi di cold ironing devono essere equipaggiati con convertitori di potenza capaci di erogare tensione a entrambe le frequenze. Fonte : Rolán et al., IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 55, n. 6, 2019.

delle specifiche di ciascun natante: una versatilità che ne garantisce l'utilizzo con diverse categorie di navi.

Figura 3: Sistema OPS presso il terminal BEST



Fonte: Port de Barcelona - Electrical supply to ships.

Sito web: <https://www.portdebarcelona.cat/ca>

L'immagine mostra una delle stazioni di connessione dell'impianto di cold ironing installato presso il Porto di Barcellona. Sono visibili i loghi dei partner coinvolti nel progetto: Nexigen, PowerCon e Port de Barcelona. L'infrastruttura è dotata di bracci meccanici e sistemi di cablaggio per la connessione elettrica delle navi ormeggiate. Sullo sfondo si intravedono i container del terminal.

A questa infrastruttura si affianca un secondo impianto, già operativo presso il terminal traghetti. L'entrata in servizio del sistema OPS presso il Grimaldi Terminal Barcelona, sul molo Sant Bertran, completa la prima fase del piano Nexigen. L'impianto alimenta quotidianamente con energia rinnovabile al 100% i traghetti della linea Barcellona-Isole

Baleari, eliminando emissioni e rumore durante gli scali. L'installazione è stata progettata in coordinamento con Grimaldi Logística España per garantire la piena compatibilità con le operazioni del terminal. Sul versante armatoriale, Trasmed che è la compagnia spagnola del Gruppo Grimaldi, ha investito oltre 1,2 milioni di euro⁹ per adeguare le navi Ciudad de Palma e Ciudad de Sóller, che possono ora connettersi alla rete elettrica e spegnere i motori durante la sosta.

Il sistema OPS del terminal Grimaldi combina un'installazione fissa che adatta frequenza e tensione della corrente elettrica alle esigenze specifiche di ciascuna nave, con un sistema mobile che consente la connessione senza interferire con le operazioni di banchina. L'installazione attuale permette la connessione di una singola nave, ma è stata progettata per essere facilmente espandibile, così da consentire la connessione simultanea di due navi presso i due punti di attracco del molo Sant Bertran.

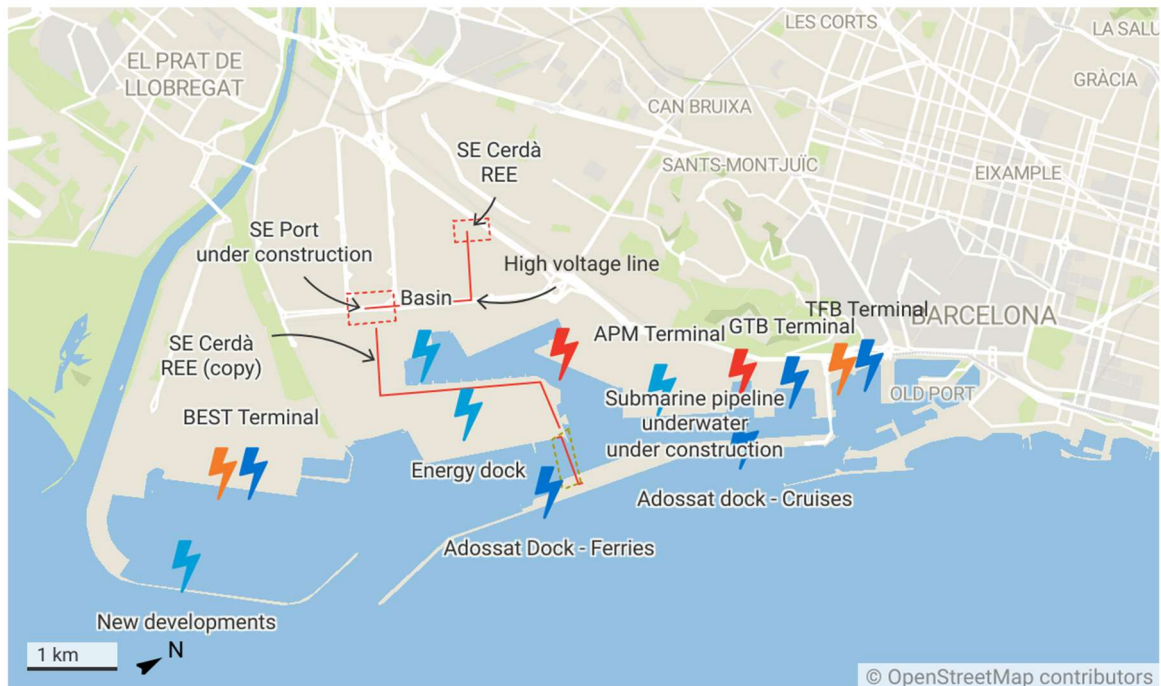
La possibilità di connettere quotidianamente le due navi che coprono la linea Barcellona-Palma moltiplicherà l'impatto positivo del nuovo sistema. Spegnendo i motori durante la sosta nel Porto di Barcellona, queste navi eviteranno di emettere in media 6,14 tonnellate di CO₂ per scalo, eliminando complessivamente 2.090 tonnellate di CO₂ annue¹⁰.

Un aspetto particolarmente significativo riguarda la localizzazione del terminal. Situato accanto alla Plaça de les Drassanes e a meno di 200 metri dalle prime abitazioni del quartiere Poble-sec, il molo Sant Bertran si trova in prossimità diretta del centro urbano. Tale vicinanza amplifica i benefici dell'elettrificazione per i residenti, traducendosi in un miglioramento tangibile della qualità dell'aria e in una sensibile riduzione dell'inquinamento acustico generato dalle operazioni navali.

⁹ Port de Barcelona. (31 marzo 2025). The Port of Barcelona officially opens its first OPS for ferries at Grimaldi Terminal Barcelona. Comunicato stampa. Autoritat Portuària de Barcelona.

¹⁰ Ibidem.

Figura 4: Fasi di elettrificazione delle banchine nel Porto di Barcellona secondo il piano Nexigen (2021-2050)



Electrification planning

-  Electrificación a partir de 2030
-  Electrification contemplated in advanced stages (specific studies required)
-  Submarine pipeline section
-  Electrification between 2021 - 2025 (pilots)
-  Future infrastructure
-  Electrification between 2025 - 2030

Fonte: Port de Barcelona, elaborazione con Datawrapper.

<https://www.portdebarcelona.cat/en/sustainability/environmental-sustainability/energy-transition/electrical-supply-ships>

La mappa evidenzia la distribuzione geografica e temporale degli interventi previsti dal piano Nexigen. La legenda cromatica identifica le diverse fasi. In arancione i progetti pilota del periodo 2021-2025, già attivi presso i terminal BEST e Grimaldi, che hanno

fornito l'esperienza operativa propedeutica alle fasi successive. In blu le elettrificazioni programmate per il quinquennio 2025-2030, che coprono aree strategiche come i terminal APM, GTB e le banchine crociere del Molo Adossat. In azzurro sono raffigurati gli interventi previsti a partire dal 2030 nelle aree di nuovo sviluppo. Infine, in rosso le zone dove l'elettrificazione è contemplata ma richiede ancora studi specifici, come l'Energy Dock. Sono inoltre rappresentate le infrastrutture di rete essenziali, che sono le sottostazioni elettriche SE Cerdà REE e SE Port. Quest'ultima, attualmente in costruzione, alimenterà una rete capillare di media tensione estesa a tutta l'area portuale. Elemento cardine del sistema è infine il condotto sottomarino, tratteggio in ocra/verde. Tale opera conetterà fisicamente il molo Energía al molo Adossat, un intervento indispensabile per abilitare l'elettrificazione dei terminal crocieristici prevista nella fase intermedia del piano.

Come emerge dalla rappresentazione planimetrica, la strategia di elettrificazione segue una logica di progressiva espansione, dai nuclei operativi attuali verso le nuove aree di sviluppo. Nel periodo 2025-2030 l'infrastruttura si estenderà ai principali terminal commerciali e passeggeri, supportata dall'ampliamento della rete di distribuzione. Dopo il 2030, il completamento degli interventi coinvolgerà le aree di nuova espansione portuale a sud del porto, consolidando la transizione energetica dell'intero scalo.

In conclusione, l'implementazione degli OPS nel Porto di Barcellona evidenzia come la transizione energetica non sia solo una sfida tecnologica, ma anche gestionale. Il successo delle iniziative finora intraprese poggia, infatti, su una stretta sinergia tra autorità portuale, operatori terminalisti e compagnie di navigazione, configurandosi come un modello di governance virtuoso e replicabile per altri scali europei impegnati nella sfida della decarbonizzazione marittima.

L'orizzonte strategico è fissato al 2030, anno entro il quale il Porto avrà completato la connessione alla rete nazionale e dotato di sistemi OPS tutte le banchine dedicate alle crociere, in linea con la scadenza imposta dai Regolamenti europei FuelEU Maritime e AFIR. Tale traguardo rappresenta uno dei pilastri fondamentali del Piano di Transizione Energetica, di cui l'obiettivo finale è migliorare la qualità dell'aria nell'area urbana e portuale, consolidando il ruolo dell'elettrificazione come leva principale per la decarbonizzazione del trasporto marittimo.

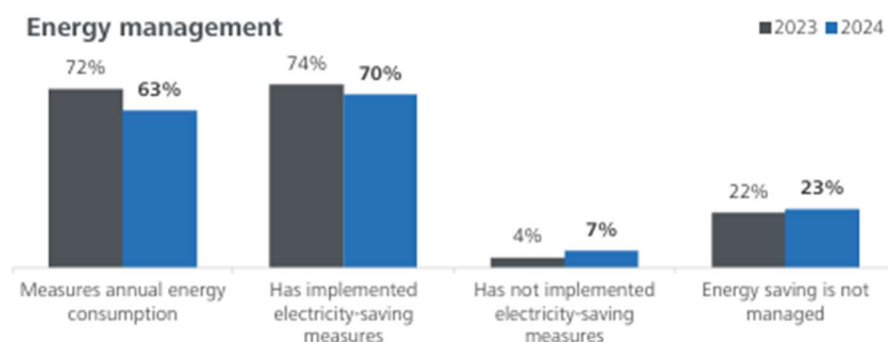
5.3.3 Gestione energetica e specifiche tecniche: verso un mix rinnovabile

Il miglioramento dell'efficienza energetica rappresenta uno degli strumenti più efficaci per ridurre l'inquinamento e le emissioni di gas serra, contribuendo a contrastare il cambiamento climatico e a proteggere la salute del pianeta. Tuttavia, i benefici di un uso più efficiente dell'energia non si limitano alla dimensione ambientale: l'ottimizzazione dei consumi comporta anche una significativa riduzione dei costi economici, traducendosi in risparmi energetici consistenti per le organizzazioni che operano all'interno dell'ecosistema portuale.

L'implementazione di misure di efficienza energetica si configura pertanto come un investimento a lungo termine, capace di generare benefici tanto sul piano della sostenibilità quanto su quello economico. In un contesto caratterizzato da una domanda energetica in costante crescita, l'adozione di pratiche volte a ridurre i consumi diventa non solo auspicabile, ma necessaria per garantire la competitività e la resilienza delle operazioni portuali.

I dati relativi alla gestione energetica all'interno della Port Community di Barcellona evidenziano un quadro articolato, caratterizzato da progressi significativi ma anche da margini di miglioramento ancora ampi.

Grafico 1: Efficienza energetica nel Porto di Barcellona: il trend degli operatori portuali (2023-2024)



Fonte : Port de Barcelona, Positive Impact Annual Report 2024, Figura 52, p. 59.

I dati presentati sono stati raccolti dal Porto di Barcellona nell'ambito del “Positive Impact Annual Report 2024”, un rapporto annuale che monitora le pratiche di sostenibilità ambientale degli operatori portuali attraverso indagini e rilevazioni periodiche condotte sulle aziende attive nell'area, promossa dal Sustainability Working Group del Consiglio di Governance del Porto come evidenziato nel sottocapitolo 5.2.1

Il confronto tra il 2023 e il 2024 evidenzia un trend in leggero peggioramento nella gestione energetica della comunità portuale. Per quanto riguarda il monitoraggio dei consumi, nel 2024 il 63% delle organizzazioni della comunità portuale misura il proprio consumo energetico annuale, un dato che però segna una flessione rispetto al 72% registrato nel 2023. Questa variazione potrebbe riflettere sia cambiamenti nella composizione nell'indagine delle aziende partecipanti alla rilevazione, sia una maggiore consapevolezza delle difficoltà metodologiche legate alla misurazione accurata dei consumi.

Sul fronte dell'implementazione di misure di risparmio energetico, il 70% delle organizzazioni dichiara di aver adottato interventi specifici volti alla riduzione dei consumi elettrici, in lieve calo rispetto al 74% dell'anno precedente. Parallelamente, la quota di organizzazioni che non ha implementato alcuna misura di risparmio è cresciuta dal 4% al 7%, mentre il 23% delle aziende dichiara che il risparmio energetico non rientra tra le proprie priorità gestionali.

Questi dati sottolineano la necessità di intensificare gli sforzi per promuovere un uso più efficiente dell'energia, in linea con gli obiettivi di riduzione delle emissioni e dei costi economici evidenziati dal rapporto. Le lievi flessioni registrate in alcuni indicatori tra il 2023 e il 2024, sebbene non rappresentino inversioni di tendenza significative, segnalano l'importanza di mantenere alta l'attenzione per il management e rafforzare gli strumenti di incentivazione.

In questo contesto di crescente attenzione all'efficienza energetica, la posizione geografica del Porto di Barcellona offre un vantaggio competitivo significativo per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili. Situato a 41°20'42"N e 2°08'30"E, lo scalo catalano beneficia di condizioni particolarmente favorevoli sia sul fronte eolico, con una velocità media giornaliera del vento di 5,28 m/s, sia su quello solare, con un'irradiazione media

giornaliera di 5,64 kWh/m² e circa 5,64 ore di picco solare al giorno¹¹, come evidenziato nella tabella sottostante.

Tabella 1: Risorse eoliche e solari giornaliere nel Porto di Barcellona

Wind resource		Solar resource	
v_w (m/s)*	P_w (kW)	H (kWh/m ²)**	PSH (h)
5.28	944.8	5.64	5.64

*Note: * Dato ottenuto assumendo un'altezza della turbina eolica (WT) di 100 metri;*

*** Dato ottenuto assumendo un'inclinazione dei pannelli fotovoltaici (PV) di 36 gradi.*

Fonte: Rolán, A., Manteca, P., Oktar, R., e Siano, P., "Integration of Cold Ironing and Renewable Sources in the Barcelona Smart Port," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 55, n. 6, pp. 7198–7208, nov./dic. 2019.

Come evidenziato nel rapporto Positive Impact 2024, “l'utilizzo delle energie rinnovabili rappresenta un'alternativa cruciale per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e contrastare il cambiamento climatico”¹². Le fonti rinnovabili come solare, eolico e idroelettrico offrono energia più pulita e sostenibile, senza produrre emissioni inquinanti né contribuire al riscaldamento globale. Inoltre, consentono di diversificare le fonti di approvvigionamento, riducendo la vulnerabilità alle fluttuazioni dei prezzi dei combustibili fossili e contribuendo a un futuro energetico più stabile e sicuro, contribuendo concretamente agli obiettivi di decarbonizzazione del settore marittimo previsti dall'IMO e dal Green Deal europeo.

Queste risorse naturali aprono prospettive concrete per l'alimentazione dei sistemi di cold ironing. Il modello proposto per il Porto di Barcellona prevede un mix energetico bilanciato, in quanto le turbine eoliche offshore coprirebbero il 75% del fabbisogno delle navi in banchina, mentre i pannelli fotovoltaici, dotati di sistemi di accumulo a batterie per compensare le oscillazioni di potenza, fornirebbero il restante 25%. L'integrazione di sistemi di accumulo a batterie non solo stabilizza la rete elettrica portuale, ma permette

¹¹ Rolán, P. Manteca, R. Oktar, and P. Siano, “Integration of Cold Ironing and Renewable Sources in the Barcelona Smart Port,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 55, no. 6, pp. 7198–7208, Nov./Dec. 2019.

¹² Port de Barcelona, Positive Impact Annual Report 2024.

anche di massimizzare l'autosufficienza energetica dello scalo, riducendo la dipendenza dalla rete nazionale e i relativi costi operativi nel lungo periodo.

Tali percentuali derivano dallo studio di Rolán e collaboratori¹³, nel quale il sistema di cold ironing è stato simulato mediante MATLAB-Simulink¹⁴, analizzando la potenza richiesta dalle navi ormeggiate in relazione alle risorse eoliche e solari disponibili nell'area portuale. La ripartizione 75%-25% è stata determinata in base al potenziale energetico locale e alla necessità di garantire un approvvigionamento stabile e continuo. Le simulazioni hanno confermato la fattibilità tecnica di questa configurazione, dimostrando che il sistema risulta stabile e privo di fluttuazioni di frequenza rilevabili, anche grazie alla capacità dell'infrastruttura di operare su due frequenze (50 Hz e 60 Hz), adattandosi così ai diversi requisiti delle navi internazionali.

Occorre tuttavia considerare che le fonti rinnovabili non possono garantire una copertura totale in ogni circostanza, poiché durante le ore notturne l'assenza di irradiazione solare riduce la capacità di generazione, rendendo necessaria la connessione alla rete elettrica principale, la fine di assicurare continuità nell'alimentazione. Proprio per questo motivo, il consolidamento delle pratiche di gestione energetica rappresenta un presupposto fondamentale per il successo delle iniziative di decarbonizzazione più ambiziose. L'elettrificazione delle banchine attraverso sistemi di cold ironing alimentati da rinnovabili richiede infatti non solo infrastrutture adeguate, ma anche una cultura diffusa dell'efficienza energetica tra tutti gli attori dell'ecosistema portuale.

Per Barcellona, questa transizione costituisce un'opportunità strategica per coniugare sostenibilità ambientale e competitività economica, posizionando lo scalo come hub di riferimento nel Mediterraneo per la transizione energetica del settore marittimo.

¹³ Rolán et al., IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 55, n. 6, 2019.

¹⁴MATLAB-Simulink è un ambiente di simulazione e modellazione grafica sviluppato da MathWorks, ampiamente utilizzato in ambito ingegneristico per la progettazione e l'analisi di sistemi dinamici, inclusi quelli elettrici e di potenza. Fonte : <https://it.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

5.4 Risultati e impatti del progetto Nexigen

5.4.1 Valutazione della fase pilota BEST

Al momento dell'avvio della fase pilota, le stime del Porto di Barcellona prefiguravano risultati ambiziosi: circa 92 connessioni nei primi due anni di operatività, con l'eliminazione di 2.500 tonnellate di CO₂ annue, un volume equivalente alle emissioni prodotte da circa 135.000 automobili che percorrono 30 chilometri al giorno per un intero anno¹⁵. Dal terzo anno in poi, le proiezioni indicavano un incremento progressivo delle connessioni e una corrispondente crescita della riduzione delle emissioni.

Il 17 settembre 2025 ha segnato il primo anniversario dalla connessione inaugurale di una nave al sistema OPS del terminal BEST. Questo traguardo rappresenta una tappa fondamentale nell'attuazione del Piano Nexigen, la cui strategia di elettrificazione interesserà progressivamente le principali infrastrutture portuali del territorio con l'obiettivo di migliorare la qualità dell'aria nell'area circostante.

I dati relativi ai primi dodici mesi confermano risultati significativi, sia sul piano ambientale che operativo. Il sistema ha alimentato 30 navi, consentendo loro di spegnere i motori ausiliari durante la sosta e azzerare le emissioni da ormeggio. Complessivamente sono state evitate oltre 2.300 tonnellate di CO₂, a fronte di quasi 3,4 milioni di kWh¹⁶ di energia rinnovabile erogata, proveniente interamente da fonti certificate, massimizzando così i benefici ambientali della connessione.

Sul piano della tipologia di traffico servito, le navi connesse sono state prevalentemente mega-container da 24.000 TEU, sebbene il sistema abbia dimostrato la propria versatilità alimentando anche un'unità da 5.000 TEU. Per quanto riguarda gli armatori, la maggior parte delle connessioni ha coinvolto la flotta MSC, con operazioni estese anche a navi CMA CGM, segnale dell'interesse crescente dei principali operatori del settore verso questa soluzione¹⁷.

¹⁵ Port de Barcelona. Energy Transition. Electrical supply to ships.
Sito web: <https://www.portdebarcelona.cat/ca>

¹⁶ Port de Barcelona. (17 settembre 2025). The BEST OPS cuts ship emissions by more than 2,300 tonnes of CO₂ in its first year. Comunicato stampa. Autoritat Portuària de Barcelona.

¹⁷ Ibidem.

Il primo anniversario del sistema BEST segna anche il culmine del primo dei due anni previsti per la fase pilota. Durante questo periodo, le connessioni hanno consentito all'autorità portuale di raccogliere dati in tempo reale e analizzare le criticità della connessione alla rete elettrica, ottimizzando progressivamente il servizio.

Le trenta operazioni effettuate hanno prioritizzato la massimizzazione del tempo di connessione di ciascuna nave, accelerando le procedure e integrandole con le altre attività di scalo, quali ormeggio, posizionamento delle gru, carico e scarico. La durata media delle connessioni si è attestata a 54 ore, con un picco massimo superiore alle 91 ore.

Completata la fase di roll-out dei progetti pilota presso i terminal BEST e Grimaldi, il Piano Nexigen entra in una nuova fase. Sono già stati avviati i lavori per la realizzazione del primo sistema OPS destinato alle navi da crociera presso il terminal MSC, parallelamente alla costruzione di una nuova rete di media tensione che consentirà di distribuire energia elettrica a tutte le banchine interessate dalle future installazioni.

5.4.2 Prospettive future

L'analisi condotta evidenzia come il Porto di Barcellona si collochi in una posizione di avanguardia rispetto alle traiettorie di sviluppo che caratterizzeranno il settore marittimo-portuale nei prossimi decenni. La transizione energetica in atto non rappresenta un fenomeno contingente, bensì una trasformazione strutturale destinata a ridefinire profondamente il ruolo stesso delle infrastrutture portuali nel sistema economico europeo.

Il percorso intrapreso dal porto con il piano Nexigen risponde coerentemente alle sfide che si sono delineate. Infatti, l'elettificazione progressiva delle banchine, i progetti pilota già operativi presso i terminal BEST e Grimaldi, e la roadmap verso il 2030 testimoniano una visione strategica che anticipa gli obblighi normativi europei e intercetta le tendenze emergenti del settore.

Tre elementi emergono come particolarmente significativi per il futuro dello scalo. In primo luogo, la centralità dell'elettificazione, in quanto il cold ironing si conferma la soluzione più efficace per abbattere le emissioni atmosferiche generate dalle navi in sosta, incidendo direttamente sulla qualità dell'aria nelle aree urbane limitrofe, un aspetto cruciale per un porto come Barcellona, che convive con un tessuto residenziale denso e prossimo alle banchine operative. In secondo luogo, la diversificazione del mix energetico, con la futura integrazione di carburanti alternativi quali idrogeno verde e ammoniacale, amplierà il ventaglio di soluzioni disponibili e trasformerà il porto in un hub energetico multiservizio. Infine, l'innovazione tecnologica trasversale, attraverso l'adozione di sistemi di manutenzione predittiva basati sull'intelligenza artificiale e di soluzioni blockchain per la logistica marittima, completerà il quadro di un'infrastruttura sempre più digitalizzata, efficiente e resiliente.

A queste considerazioni si affianca una dimensione strategica più ampia, legata al posizionamento competitivo del porto nel bacino mediterraneo. L'ambizione dichiarata dal Porto di Barcellona è quella di affermarsi come hub logistico SMART.¹⁸ Tuttavia, come evidenziato dal Piano Strategico 2021-2025, i processi di digitalizzazione, automazione e robotizzazione stanno progressivamente livellando le differenze

¹⁸ Acronimo che sintetizza le qualità di sostenibilità, multimodalità, agilità, resilienza e trasparenza richieste ai porti del futuro.

competitive tra gli scali mediterranei in termini di agilità, flessibilità e costi operativi. In questo scenario di crescente omogeneità, la capacità di differenziarsi dipenderà sempre meno dalle sole infrastrutture fisiche e sempre più dalla qualità delle scelte strategiche adottate, privilegiando gli scenari virtuosi.

Occorre inoltre riconoscere un limite intrinseco all'azione locale. L'evoluzione futura del porto sarà determinata in misura preponderante dai macro-trend globali e regionali del commercio internazionale, rispetto ai quali le decisioni del singolo scalo possono esercitare solo un'influenza parziale. Il settore del commercio estero europeo si trova infatti a un punto di svolta che ridisegnerà l'intero sistema logistico continentale, rendendo ancora più cruciale la capacità di anticipare e adattarsi ai cambiamenti.

In ragione di questa interdipendenza sistemica, il modello di governance adottato nel porto oggetto di studio assume particolare rilevanza. La collaborazione strutturata tra autorità portuale, operatori terminalisti e compagnie di navigazione costituisce un elemento distintivo e potenzialmente replicabile in altri contesti europei. La transizione energetica, del resto, non può essere affrontata in modo frammentario, poiché richiede investimenti coordinati, condivisione dei rischi e allineamento degli obiettivi tra tutti gli attori della catena del valore. In tal senso la struttura del sistema può compensare, almeno in parte, i margini limitati di manovra rispetto alle dinamiche globali.

Alla luce di quanto analizzato, il Porto di Barcellona si presenta come un caso emblematico di come le infrastrutture portuali possano trasformarsi da semplici nodi logistici a protagonisti attivi della decarbonizzazione del trasporto marittimo. Il futuro appartiene a chi saprà coniugare efficienza economica e responsabilità ambientale, anticipando i cambiamenti anziché subirli. Il Porto di Barcellona, con il piano Nexigen e i progetti pilota già operativi, sembra aver intrapreso con determinazione questa direzione, ponendosi come riferimento per l'intero sistema portuale mediterraneo.

Conclusioni

La presente tesi ha analizzato la transizione energetica portuale e il ruolo del cold ironing come leva strategica per la decarbonizzazione del settore marittimo-portuale, collocandoli all'interno del più ampio quadro delle dinamiche economiche, regolamentari e tecnologiche che stanno ridefinendo l'industria dello shipping e il sistema portuale contemporaneo.

Il porto contemporaneo non è più soltanto un nodo di transito merci, ma sta diventando a tutti gli effetti una piattaforma energetica, logistica e digitale al servizio di catene del valore sempre più sostenibili e interconnesse. Questa trasformazione è il riflesso di un sistema marittimo globale in profonda evoluzione. Il trasporto marittimo continuerà a dominare il commercio mondiale, gestendo circa il 70% del traffico complessivo con volumi stimati fino a 250.000 miliardi di tonnellate-chilometro entro il 2050¹⁹. Tuttavia, i porti del futuro dovranno confrontarsi con flussi più frammentati, merci a minor intensità di valore e una competizione crescente con modalità di trasporto alternative, oltre che con le discontinuità introdotte dall'e-commerce, dalla manifattura additiva e dalla digitalizzazione. Come le grandi innovazioni del passato, quali i piroscafi e la containerizzazione, che hanno ridefinito il commercio mondiale, oggi l'interrogativo centrale riguarda la capacità del settore marittimo-portuale di generare innovazioni capaci di rispondere alle sfide dell'era digitale e della transizione ecologica. La risposta a tale quesito determinerà non soltanto la competitività dei singoli scali, ma il ruolo stesso del trasporto marittimo nell'economia del XXI secolo.

In questo scenario, la domanda energetica nei porti rappresenta una delle sfide più critiche e meno dibattute della transizione. L'elettrificazione delle banchine, attraverso il cold ironing o Onshore Power Supply (OPS), richiede un approvvigionamento elettrico stabile, abbondante e preferibilmente proveniente da fonti rinnovabili. Alcune categorie di navi, in particolare le crociere, presentano fabbisogni energetici in banchina particolarmente

¹⁹ International Transport Forum (ITF), Transport Outlook 2019: Transport and Energy, OECD Publishing, Paris, 2019.

elevati, la cui soddisfazione può risultare critica in contesti caratterizzati da reti elettriche non sufficientemente robuste.

Le conseguenze di una mancata copertura del fabbisogno energetico portuale sono molteplici e potenzialmente gravi. Sul piano ambientale e sanitario, l'impossibilità di spegnere i motori ausiliari durante l'ormeggio comporta il mantenimento delle emissioni locali di NO_x, particolato fine (PM2.5 e PM10) e SO_x, con impatti documentati sulla salute delle comunità residenti nelle aree portuali. Sul piano competitivo, i porti privi di infrastrutture OPS adeguate rischiano di perdere attrattività rispetto agli scali concorrenti, sia interni all'Unione Europea sia extra-comunitari. Sul piano regolatorio, l'incapacità di soddisfare il fabbisogno energetico in banchina espone i porti a non conformità rispetto agli obblighi previsti dal Regolamento AFIR e al Regolamento FuelEU Maritime, con possibili sanzioni e perdita di accesso ai fondi europei per le infrastrutture. In ultima analisi, una rete elettrica portuale insufficiente costituisce un collo di bottiglia sistemico che può bloccare l'intera strategia di decarbonizzazione, rendendo inefficaci anche le migliori politiche regolatorie.

Il quadro regolatorio europeo agisce su due leve distinte ma complementari, ovvero l'infrastruttura portuale e la gestione energetica delle navi, entrambe riconducibili al pacchetto climatico “Fit for 55”, presentato dalla Commissione europea nel luglio 2021 con l'obiettivo di ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 e di conseguire la neutralità climatica entro il 2050.

Sul lato infrastrutturale, il Regolamento AFIR (UE) 2023/1804, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale dell'UE il 22 settembre 2023 ed entrato in vigore il 13 aprile 2024, introduce obblighi vincolanti per l'installazione di infrastrutture di cold ironing nei porti europei secondo una tempistica progressiva: entro il 1° gennaio 2030 per i porti della rete centrale TEN-T ed entro il 1° gennaio 2035 per quelli della rete globale TEN-T, con riferimento alle navi portacontainer e da passeggeri.

Sul lato della domanda, il Regolamento FuelEU Maritime (UE) 2023/1805, in vigore dal 1° gennaio 2025, impone agli armatori requisiti progressivamente più stringenti sull'intensità di gas serra dell'energia utilizzata a bordo, dal 2% di riduzione entro il 2025 fino all'80% entro il 2050, e obbliga le navi portacontainer e passeggeri a connettersi

all'OPS quando disponibile in porto, salvo eccezioni per soste brevi, emergenze o indisponibilità temporanea dell'infrastruttura.

La combinazione di questi due strumenti crea un sistema di obblighi reciprocamente rinforzanti. Tuttavia, la sua efficacia dipende dalla capacità concreta dei porti di soddisfare il fabbisogno energetico delle navi all'ormeggio. Senza una rete elettrica portuale adeguata, anche il più ambizioso quadro regolatorio rischia di restare inattuato.

Nonostante la chiarezza del mandato regolatorio, la transizione incontra ostacoli sistemici che ne rallentano l'attuazione. Il più significativo è il cosiddetto chicken-and-egg dilemma, per cui gli armatori esitano a investire in navi predisposte per l'OPS senza la garanzia di trovare infrastrutture adeguate nei porti di scalo, mentre i porti e i produttori di energia attendono una domanda sufficiente per giustificare gli investimenti infrastrutturali. Questo circolo vizioso e paralizzante genera uno stallo che nessun attore singolo è in grado di spezzare autonomamente. I dati sui progetti pilota a zero emissioni confermano la gravità della frammentazione: la partecipazione delle istituzioni finanziarie si attesta ad appena il 5%, evidenziando un anello mancante nella catena degli investimenti. Le preoccupazioni legate al greenwashing e la scarsa chiarezza nelle definizioni di finanza verde costituiscono barriere per quasi il 70% degli investitori, alimentando un divario di trasparenza che frena l'allocazione di capitali verso la decarbonizzazione portuale.

A questa frammentazione si affianca una criticità strutturale di dimensione intellettuale, ovvero la dicotomia tra ricerca accademica e industria. Il settore marittimo anticipa sistematicamente la ricerca, che tende a interpretare dati consuntivi senza produrre framework predittivi capaci di orientare le scelte strategiche degli operatori. La ricerca si presenta frammentata, focalizzata su aspetti tecnici isolati e su casi studio specifici, con limitati sforzi di sistematizzazione. L'assenza di una matrice teorica condivisa ostacola la generalizzazione delle esperienze e perpetua il divario tra conoscenza accademica e applicazione industriale. Colmare questo gap rappresenta una priorità tanto per l'efficacia delle politiche pubbliche quanto per la competitività degli operatori privati. Infatti, senza framework predittivi condivisi, il rischio è che l'innovazione rimanga discontinua e non replicabile.

Superare entrambe le criticità richiede interventi simultanei su più fronti. La leva regolatoria può forzare l'investimento infrastrutturale creando certezza di mercato. Strumenti finanziari dedicati, come green bond portuali, meccanismi di garanzia pubblica, partenariati pubblico-privati strutturati, possono colmare il gap di finanziamento. Modelli di governance collaborativa che riuniscano autorità portuali, armatori, produttori di energia e istituzioni finanziarie in piattaforme di co-investimento appaiono come la via più promettente per allineare gli incentivi dei diversi attori e sbloccare la transizione.

In definitiva, il cold ironing e la transizione energetica portuale non rappresentano meri adeguamenti tecnici, bensì componenti di una ridefinizione strategica dell'identità e della funzione del porto contemporaneo. Il caso di Barcellona, con la strategia Nexigen e la profonda integrazione tra porto e tessuto urbano, dimostra che questa trasformazione è possibile quando si coniugano visione di lungo periodo, cooperazione istituzionale e attenzione concreta ai bisogni delle comunità locali.

Rimangono tuttavia aperti interrogativi che la ricerca futura dovrà affrontare: quale modello di governance risulti più efficace per superare il chicken-and-egg dilemma; come costruire framework predittivi capaci di orientare le scelte strategiche degli operatori, superando l'approccio prevalentemente consuntivo della ricerca attuale; in quale misura l'EU ETS stia effettivamente modificando i flussi commerciali a svantaggio dei porti europei; come declinare operativamente i framework ESG nel contesto portuale; e, infine, come definire in modo univoco e condiviso il concetto di porto sostenibile, traducendolo in metriche e indicatori applicabili a livello internazionale.

Gli strumenti regolatori esistono. I percorsi tecnologici sono identificati. Ciò che serve è la capacità di immaginare con creatività e coraggio i possibili scenari futuri, affinché decisori politici e operatori del settore possano pianificare concretamente la transizione, trasformando l'onere regolatorio in un vantaggio competitivo duraturo per i porti europei e per l'intero sistema marittimo globale.

Bibliografia

Notteboom, T., Pallis, A., & Rodrigue, J. P., Port Economics, Management and Policy, Routledge, New York, 2022. (<https://porteconomicsmanagement.org/>)

Stopford, M., Maritime Economics, 3^a ed., Routledge, London/New York, 2009.

UNCTAD. Review of Maritime Transport 2023. United Nations Conference on Trade and Development, Geneva. 2023. (<https://unctad.org/rmt2023>)

Commissione Europea. Comunicazione su un nuovo approccio per un'economia blu sostenibile nell'UE - Trasformare l'economia blu dell'UE per un futuro sostenibile. Bruxelles.2021.

(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0240>)

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). The Ocean Economy in 2030. OECD Publishing. Paris. 2016. (<https://doi.org/10.1787/9789264251724-en>)

Rodrigue, J.-P. The Geography of Transport Systems. 5th edition. Routledge, New York. 2020. (<https://doi.org/10.4324/9780429346323>)

World Bank. What is the Blue Economy? World Bank Group. 2017. (<https://www.worldbank.org/en/news/infographic/2017/06/06/blue-economy>)

Merk, O. The Competitiveness of Global Port-Cities: Synthesis Report. OECD Regional Development Working Papers, OECD Publishing, Paris. 2013. (<https://doi.org/10.1787/5k40hdhp6t8s-en>)

Notteboom, T., & Haralambides, H. Port management and governance in a post-COVID-19 era: quo vadis? Maritime Economics & Logistics. 2020. (<https://doi.org/10.1057/s41278-020-00162-7>)

Marc Levinson, *The Box: How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger*. Princeton University Pres. 2006.

(https://www.academia.edu/5856573/Marc_Levinson_The_Box_How_the_Shipping_Container_Made_the_World_Smaller_and_the_World_Economy_Bigger_2006)

World Bank, *Port Reform Toolkit: Effective Decision Support for Policymakers, Module 3: Alternative Port Management Structures and Ownership Models*, Washington DC, World Bank Group, 2007.

(https://www.ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/Portoolkit/Toolkit/module3/port_functions.html#2)

Baird, A. J. Port privatisation: Objectives, extent, process and the UK experience. *International Journal of Maritime Economics*, 2000.

(<https://link.springer.com/article/10.1057/ijme.2000.16#preview>)

Brooks, M. R., & Cullinane, K. (Eds.). *Devolution, port governance and port performance* (Vol. 17). Elsevier. 2006.

(<https://www.sciencedirect.com/journal/research-in-transportation-economics/vol/17/suppl/C>)

Acciaro, M., Ghiara, H., & Cusano, M. I. *Energy management in seaports: A new role for port authorities*. Energy Policy. 2014.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514002262>)

De Langen, P. W. *Towards a better port industry: Port development, management and policy*. Routledge, London. 2020.

(<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203797501/towards-better-port-industry-peter-de-langen>)

De Langen, P. W. *Governance in seaport clusters*. Maritime Economics & Logistics. 2004.

(<https://link.springer.com/article/10.1057/palgrave.mel.9100100>)

De Langen, P. W. *The performance of seaport clusters: A framework to analyze cluster performance and an application to the seaport clusters of Durban, Rotterdam and the Lower Mississippi*. Urban Studies. 2004.

https://www.researchgate.net/publication/254804461_The_Performance_of_Seaport_Clusters_A_Framework_to_Analyze_Cluster_Performance_and_an_Application_to_the_Seaport_Clusters_of_Durban_Rotterdam_and_the_Lower_Mississippi)

Merk, O. and T. Dang. "Efficiency of World Ports in Container and Bulk Cargo (oil, coal, ores and grain)", *OECD Regional Development Working Papers*, No. 2012/09, OECD Publishing, Paris. 2012. (<https://doi.org/10.1787/5k92vgw39zs2-en>)

Haezendonck, E., Pison, G., Rousseeuw, P., & Verbeke, A. The competitive advantage of seaports. *Maritime Economics & Logistics*. 2000. (<https://doi.org/10.1057/ijme.2000.8>)

Goss, R. Economic policies and seaports: 3. Are port authorities necessary? *Maritime Policy & Management*. 1990.

https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrLBxkjIn5pHwIAcm3c5olQ;_ylu=Y29sbwNpcjIEcG9zAzQEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1771083555/RO=10/RU=https%3a%2f%2fwww.researchgate.net%2fprofile%2fAlexander-Halliday%2fpost%2fPort-and-terminal-management-operations%2fattachment%2f59d6518c79197b80779aa092%2fAS%253A507785935888384%25401498077009087%2fdownload%2fGoss%2bPort%2bPolicy%2bDiversity.pdf/RK=2/RS=XelfhBZcelRb5ek3f08ynL2dXwo-)

Notteboom, T. E., & Rodrigue, J.-P. Port regionalization: Towards a new phase in port development. *Maritime Policy & Management*. 2005. (https://www.researchgate.net/publication/228876300_Port_Regionalization_Towards_a_New_Phase_in_Port_Development)

Slack, B., & Frémont, A. Transformation of port terminal operations: From the local to the global. *Transport Reviews*. 2005.

https://www.researchgate.net/publication/233015122_Transformation_of_Port_Terminal_Operations_From_the_Local_to_the_Global)

Talley, W. K. *The Blackwell Companion to Maritime Economics*. Wiley-Blackwell. 2012. (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444345667>)

Hummels, D. Transportation costs and international trade in the second era of globalization. *Journal of Economic Perspectives*. 2007.

<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.21.3.131&page=381>)

Smith, A., An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. Libro I, Capitolo III. 1776.

(https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrLAo0RKn5pDgIAU8fc5olQ;_ylu=Y29sbwNpcjIEcG9zAzQEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1771085585/RO=10/RU=https%3a%2f%2fuedf.org%2fwp-content%2fuploads%2f2023%2f06%2fThe-Wealth-of-Nations-Adam-Smith.pdf/RK=2/RS=1ywTehhLz5LRlr_Albwr1Bsx8d4-)

Vierros, Marjo ; De Fontaubert, Charlotte. The potential of the blue economy: increasing long-term benefits of the sustainable use of marine resources for small island developing states and coastal least developed countries. Washington, D.C.: World Bank Group. 2017.(<http://documents.worldbank.org/curated/en/523151496389684076>)

Kavussanos, M. G., & Visvikis, I. D. Derivatives and risk management in shipping. Witherby Seamanship International. 2006.

(https://www.google.it/books/edition/Handbook_of_Multi_Commodity_Markets_and/vy2kBgAAQBAJ?hl=it&gbpv=1&dq=%22Derivatives+and+risk+management+in+shipping%22+Kavussanos+Visvikis&pg=PA398&printsec=frontcover)

Varian, H. R. Intermediate microeconomics: A modern approach. (9th ed.). W. W. Norton & Company. 2014.

(https://www.academia.edu/40718586/INTERMEDIATE_MICROECONOMICS_HAL_VARIAN)

Silver, J. J., Gray, N. J., Campbell, L. M., Fairbanks, L., & Gruby, R. L. Blue economy and competing discourses in international oceans governance. Journal of Environment & Development.2015.(https://www.researchgate.net/publication/276169584_Blue_Economy_and_Competing_Discourses_in_International_Oceans_Governance)

Smith-Godfrey, S. Defining the blue economy. Maritime Affairs: Journal of the National Maritime Foundation of India. 2016.

(https://www.researchgate.net/publication/301673373_Defining_the_Blue_Economy)

Hoyle, B. Global and local change on the port-city waterfront. Geographical Review. 2000. <https://www.jstor.org/stable/3250860?origin=crossref>

Pauli, G. The Blue Economy: 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs. Paradigm Publications, Taos. 2010.

<https://it.scribd.com/document/31490638/The-Blue-Economy-10-years-100-Innovations-100-Million-Jobs>

Verhoeven, P. A review of port authority strategies: A comparative analysis of the port sectors in Europe. Marine Policy, 2010.

<https://ideas.repec.org/a/taf/marpmg/v37y2010i3p247-270.html>

Verhoeven, P. A review of port authority functions: Towards a renaissance? Marine Policy. 2010. https://www.researchgate.net/publication/228343165_A_review_of_port_authority_functions_Towards_a_renaissance

Corbett, James & Winebrake, James & Green, Erin & Kasibhatla, Prasad & Eyring, Veronika & Lauer, Axel. (2008). Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment. Environmental science & technology. https://www.researchgate.net/publication/5650440_Mortality_from_Ship_Emissions_A_Global_Assessment

Atanu Roy, Manashi Chakraborty, A review of ship emissions impacts on environmental, health, societal impacts and IMO's mitigation policies, Regional Studies in Marine Science, Volume 81, 2025, 103964, ISSN 2352-4855, <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103964>.

International Maritime Organization (IMO), Fourth IMO GHG Study 2020 - Full Report, IMO, London, 2021. www.imo.org

Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., de Vlieger, I., & van Aardenne, J. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. Atmospheric Environment, 90, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>

Bocanegra, J. A., Borelli, D., Gaggero, T., Rizzuto, E., & Schenone, C. (2021). A novel approach to port noise characterization using an acoustic camera. Science of The Total Environment, 808, 151903. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151903>

Fredianelli, L., Bolognese, M., Fidecaro, F., & Licitra, G. (2021). Classification of Noise Sources for Port Area Noise Mapping. Environments, 8(2), 12. <https://doi.org/10.3390/environments8020012>

Bolognese, M., Fidecaro, F., Palazzuoli, D., & Licitra, G. (2020). Port Noise and Complaints in the North Tyrrhenian Sea and Framework for Remediation. *Environments*, 7(3), 17. <https://doi.org/10.3390/environments7020017>

European Maritime Safety Agency (EMSA), European Maritime Transport Environmental Report 2025 (EMTER), 2025. <https://www.emsa.europa.eu/emter.html>

European Commission. (2019). The European Green Deal (COM (2019) 640 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>

Transport & Environment (T&E). (2025). Climate policy at the International Maritime Organisation. <https://www.transportenvironment.org/>

Jie Chen, Gerard Hoek, Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis, *Environment International*, Volume 143, 2020, 105974, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>.

Chen et al. (2018); Viana, M., et al. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*, [10.1016/j.atmosenv.2014.03.046](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046)

Roy, A., & Chakraborty, M. (2024). A review of ship emissions impacts on environmental, health, societal impacts and IMO's mitigation policies. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103964>

World Health Organization (WHO), WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide, WHO, Geneva, 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

World Health Organization (WHO), Environmental Noise Guidelines for the European Region, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2018.

<https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>

IMO. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. International Maritime Organization, London. 2023

<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>

Jonson, J.E., Gauss, M., Schulz, M., Jalkanen, J.-P., & Fagerli, H. (2020). Effects of global ship emissions on European air pollution levels. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(19), 11399-11422.

https://www.researchgate.net/publication/346110323_Effects_of_global_ship_emissions_on_European_air_pollution_levels

JOUR, Martinez Marin, Jesus. 2006/08/03 OBJETIVO: EVITAR LA CONTAMINACIÓN: ANÁLISIS DE LA NORMATIVA MARPOL 73/78, SKIPPER

https://www.researchgate.net/publication/229067240_OBJETIVO_EVITAR_LA_CONTAMINACION_ANALISIS_DE_LA_NORMATIVA_MARPOL_7378

Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C., & Spalding, M.D. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(9), 485-492.

<https://doi.org/10.1890/070064>

ESPO Environmental Report 2025, European Sea Ports Organisation – EcoPorts Network (www.ecoport.com)

UNCTAD, Review of Maritime Transport 2023, United Nations Publications, Ginevra, 2023. <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>

United Nations. (2015). Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change

https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf

Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 giugno 2021, che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 («Normativa europea sul clima»), Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 243, 9 luglio 2021, pp. 1-17. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119>

Regolamento (UE) 2023/956 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 10 maggio 2023, che istituisce un meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 130, 16 maggio 2023.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0956>

Unione europea (2023). Direttiva (UE) 2023/959 del Parlamento europeo e del Consiglio del 10 maggio 2023. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 130/134.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32023L0959>

Regolamento (UE) 2015/757 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 29 aprile 2015, concernente il monitoraggio, la comunicazione e la verifica delle emissioni di anidride carbonica generate dal trasporto marittimo e che modifica la direttiva 2009/16/CE, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 123, 19 maggio 2015, pp. 55-76.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32015R0757>

Lloyd's Register. (2023). Shipping and Fit for 55: Managing compliance and optimising operations under the EU's new regime. Lloyd's Register Group Limited. <https://maritime.lr.org/fit-for-55-report>

Unione europea (2023). Regolamento (UE) 2023/1805 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023 sull'uso di combustibili rinnovabili e a basse emissioni di carbonio nel trasporto marittimo e che modifica la direttiva 2009/16/CE. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 234/48. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1805>

Regolamento (UE) 2023/1804 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 settembre 2023, sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi (AFIR), art. 9 – Fornitura di alimentazione elettrica da terra nei porti marittimi. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 234, 22 settembre 2023.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1804>

Spiegelenberg, Femke. "IMO's reward mechanism to drive the energy transition." Global Maritime Forum, 24 settembre 2025. <https://globalmaritimeforum.org/insight/imos-reward-mechanism-to-drive-the-energy-transition/>

International Maritime Organization, IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions. 2020. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME / MEDITERRANEAN ACTION PLAN (UNEP/MAP), 22nd Meeting of the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean and its Protocols, Antalya, Turkey, 7-10 December 2021. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/37121>

International Maritime Organization, Marine Environment Protection Committee (MEPC 78), 6-10 June 2022.

<https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/mepc-78th-session.aspx>

Direttiva (UE) 2016/802 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 maggio 2016, relativa alla riduzione del tenore di zolfo di alcuni combustibili liquidi.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32016L0802>

International Maritime Organization, Resolution MEPC.177(58) - NOx Technical Code 2008, 10
Ottobre 2008. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.177\(58\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.177(58).pdf)

International Maritime Organization (IMO). (2024). Resolution MEPC.392(82): Amendments to MARPOL Annex VI - Designation of the Canadian Arctic and the Norwegian Sea as Emission Control Areas for Nitrogen Oxides, Sulphur Oxides and Particulate Matter, as appropriate. MEPC 82/17/Add.1, Annex 1. London.

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/MEPC.392\(82\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/MEPC.392(82).pdf)

International Maritime Organization (IMO). (2025). Report of the Marine Environment Protection Committee on its Eighty-Third Session (MEPC 83), 7-11 April 2025. MEPC 83/WP.1. London. <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/2023-imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx>

IMO, Press Briefing, "IMO Member States agree to continue work towards adopting mid-term GHG measures", 17 October 2025. <https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/imo-net-zero-shipping-talks-to-resume-in-2026.aspx>

Zis, T.P.V. (2019). Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.003>

Koukaki, T., & Tei, A. (2020). *Innovation and maritime transport: A systematic review. Case Studies on Transport Policy*. Elsevier.

Rodrigue, Jean-Paul, Theo Notteboom, and Athanasios Pallis. 2022. "Ports and Energy Transition." Chapter 3.4 in *Port Economics, Management and Policy*. Routledge. <https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part3/ports-and-energy-transition/>

Economist Impact. (2023). Global Maritime Trends 2050: What does the future of the maritime industry look like? The Economist Group. <https://impact.economist.com/ocean/global-maritime-trends-2050/>

DNV (2024). *Energy Transition Outlook 2024: A Global and Regional Forecast to 2050*. DNV AS, Høvik, Norway. <https://www.dnv.com/energy-transition-outlook/>

PCC (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC. [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://www.ipcc.ch/report/synthesis/)

Ennis, S. F., Mammassis, C., Markellos, R. N., Prousalidis, J. M., Manos, A., & Loukos, G. (2026). *Regulatory and Business Innovation in Uncharted Waters: Mandatory Cold-Ironing*. SSRN.

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5287349

International Chamber of Shipping. (2020). *Catalysing the fourth propulsion revolution: The urgent need to accelerate R&D to deliver zero-carbon shipping by 2050*.

<https://www.ics-shipping.org/press-release/ics-report-reveals-scale-of-challenge-to-decarbonise-shipping/>

European Sea Ports Organisation (ESPO). (2024). *Port investments study 2024: The investment pipeline and challenges of European ports*. In cooperation with Peter de Langen. Brussels: ESPO.

<https://www.espo.be/media/ESPOPortInvestmentsStudy2024.pdf>

Acciaro, M., Ghiara, H., & Cusano, M. I. (2014). Energy management in seaports: A new role for port authorities. *Energy Policy*, 71, 4-12.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.013>

Rodrigue, J.-P., Notteboom, T. e Pallis, A. A. (2024). *Port Economics, Management and Policy*. New York: Routledge <https://porteconomicsmanagement.org>

Rolán, P. Manteca, R. Oktar, and P. Siano, "Integration of Cold Ironing and Renewable Sources in the Barcelona Smart Port," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 6, pp. 7198–7208, Nov./Dec. 2019.

Consiglio dell'Unione Europea, Direttiva 2003/96/CE del Consiglio, del 27 ottobre 2003, che ristruttura il quadro comunitario per la tassazione dei prodotti energetici e dell'elettricità, *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 283, 31 ottobre 2003, pp. 51-70

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex%3A32003L0096>

Commissione Europea, Proposta di Direttiva del Consiglio che ristruttura il quadro dell'Unione per la tassazione dei prodotti energetici e dell'elettricità (rifusione), COM (2021) 563 final, Bruxelles, 14 luglio 2021.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:52021PC0563>

Ballini, F., Bozzo, R., Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold-ironing technology, in "Transportation Research Part D: Transport and Environment", Vol. 45, 2015, pp. 61-76 <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.10.007>

Direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 ottobre 2014, sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 307, 28.10.2014, pp. 1–20.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>

Regolamento (UE) 2023/1804 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 settembre 2023, sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi, e che abroga la direttiva 2014/94/UE. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 234, 22.9.2023, pp. 1–47.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1804>

Iris, Ç., Lam, J.S.L. (2019). A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 170-182.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.069>

UNCTAD. (2025, 24 settembre). Stormy seas for global shipping: UNCTAD warns of uncertainty, volatility and rising costs. UNCTAD/PRESS/PR/2025/010. <https://unctad.org>

Lluch, X., Larrea, E., & Martín, N. (2026). Impacto en el cálculo de emisiones de GEI en cadenas de transporte. Revista UNE - La Revista de la Normalización Española, (88)

Lluch, X., Larrea, E., & Martín, N. (2026). Impact on the Calculation of GHG Emissions in Transport Chains. Revista UNE - La Revista de la Normalización Española, (88)

Smart Freight Centre (2019), Global Logistics Emissions Council Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting, Version 2.0, Smart Freight Centre, Amsterdam.

Vaca-Cabrero, J., Domínguez Rastrojo, J., González-Cancelas, N., & Camarero-Orive, A. (2025). Enhancing Sustainability in Port Infrastructure Through Innovation: A Case Study of the Spanish Port System. Sustainability, 17, 2593. <https://doi.org/10.3390/su17062593>

Port de Barcelona. (2024). Positive Impact: Annual Report 2024. Barcelona: Autoritat Portuària de Barcelona.

<https://www.portdebarcelona.cat/en/know-port/port-community/positive-impact-port>

Port de Barcelona. (2021). Port of Barcelona Fourth Strategic Plan : Port Vision 2040. Autoritat Portuària de Barcelona.

Port de Barcelona. Nexigen: Electrical supply to ships - Energy Transition. Barcelona: Autoritat Portuària de Barcelona. www.portdebarcelona.cat

Port de Barcelona. (17 settembre 2025). The BEST OPS cuts ship emissions by more than 2,300 tonnes of CO2 in its first year. Comunicato stampa. Autoritat Portuària de Barcelona. www.portdebarcelona.cat

Port de Barcelona. (31 marzo 2025). The Port of Barcelona officially opens its first OPS for ferries at Grimaldi Terminal Barcelona. Comunicato stampa. Autoritat Portuària de Barcelona. www.portdebarcelona.cat

Rolán, P. Manteca, R. Oktar, and P. Siano, “Integration of Cold Ironing and Renewable Sources in the Barcelona Smart Port,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 55, no. 6, pp. 7198–7208, Nov./Dec. 2019.

World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.

<https://www.are.admin.ch/it/1987-rapporto-brundtland>

Port de Barcelona. OPS BEST - Nexigen: Electrical supply to ships. Barcelona: Autoritat Portuària de Barcelona. <https://www.portdebarcelona.cat/>

Port de Barcelona. Energy Transition. Electrical supply to ships. Sito web:

<https://www.portdebarcelona.cat/en/sustainability/environmental-sustainability/energy-transition/electrical-supply-ships>

International Transport Forum (2018). Decarbonising Maritime Transport: Pathways to Zero-Carbon Shipping by 2035. Case-Specific Policy Analysis. OECD/ITF, Parigi.

<https://www.itf-oecd.org/decarbonising-maritime-transport>

Sitografia

www.imo.org.

<https://www.dnv.com/>

<https://www.clarksons.com/home/green-transition/>

<https://www.trasporto.europa.it/notizie/marittimo/il-mediterraneo-incluso-nella-normativa-ambientale-seca/>

<https://www.lr.org/en/knowledge/class-news/05-25/>

https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en

https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en#guidance-document

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>

<https://www.maritimenews.com/imo-2030/imo-net-zero-framework-approvals-mepc-83>

<https://www.unep.org/unepmap/meetings/COP22-Antalya>

<https://www.unep.org/unepmap/meetings/reports>

<https://www.bimco.org/news-insights/trending-topics/>

<https://sustainableworldports.org/wpcap/wg-3/our-mission/barcelona/>

<https://piernext.portdebarcelona.cat/en/technology/onshore-power-supply-is-already-a-reality-at-the-port-of-barcelona/>

<https://www.aggity.com/>

<https://www.ackcent.com/>

<https://it.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

<https://www.portdebarcelona.cat/ca>

<https://smartfreightcentre.org/en/>

Ringraziamenti

Desidero ringraziare la Prof.ssa Ghiara per la professionalità e la pazienza con cui ha seguito questo lavoro, per avermi lasciato ampia autonomia nell'elaborazione della tesi e per gli spunti di riflessione che hanno arricchito il mio percorso di ricerca. La ringrazio inoltre per l'empatia dimostrata e per la passione condivisa per Barcellona, che ha reso questo percorso ancora più significativo.

Un ringraziamento speciale va anche all'iniziativa che ha promosso con l'Escola Europea di Barcellona, a cui ho avuto la fortuna di partecipare durante il primo anno di corso e che ha contribuito ad approfondire le mie competenze nello short sea shipping e nella logistica della supply chain, ponendo delle basi per molte delle riflessioni sviluppate in questa tesi.

Vorrei ringraziare anche l'Ufficio Internazionale dell'Università per aver promosso le iniziative di mobilità studentesca nell'ambito del programma Erasmus+, a cui ho avuto l'opportunità di partecipare per due volte nel corso dei cinque anni di studio universitario: prima presso l'Université Lumière Lyon II durante il corso triennale in Economia delle Aziende Marittime, della Logistica e dei Trasporti, e successivamente presso il Tecnocampus di Mataró a Barcellona, durante il secondo anno del corso magistrale in Economia e Management Marittimo e Portuale. Ritengo che esperienze come queste siano profondamente formative, non soltanto per le conoscenze accademiche e culturali che uno scambio europeo offre, ma soprattutto per le competenze che si apprendono durante l'esperienza, come la capacità di adattamento, la flessibilità e il problem-solving.

All'estero ho conosciuto molti studenti come me, in cerca di nuovi significati e propensi a fare incontri armoniosi, per conoscere, per conoscersi, fino al limite del dubbio, e poi oltre.

Tra questi incontri, vorrei ringraziare la mia cara amica Pippi dal cuore immensamente generoso e umano e alla mia amica Ola per la sua visione anticonformista e per la sua intelligenza rompente, vi voglio bene e nonostante la distanza vi custodisco sempre nei miei pensieri.

Agli amici di Barcellona potrei scrivere un capitolo di ringraziamenti, non un paragrafo. E poiché lo spazio e il tempo non me lo permettono, mi lascio trascinare dai ricordi di una città che sa di casa e che non si può dimenticare. Sono grata di avervi incontrato durante questo percorso, ma ancor di più per chi è rimasto.

Grazie agli amici conosciuti nella residenza studentesca Milano Terminus in Via Balbi, quando ancora questo traguardo era fumo misto a sogno e fatica. Siete sempre stati presenti e ho trascorso momenti di pura felicità con voi; non potrò mai ringraziarvi abbastanza per la vostra pazienza, e la vostra lealtà vale più di qualsiasi titolo: è un valore in cui credo molto, e sono immensamente grata che siate parte concreta della mia vita. In qualsiasi luogo del mondo finirò, la mia porta per voi resterà sempre aperta.

Giulia, Bavly, Alessandro, Gjergji, Silvio, Hillary, Giada, Michael, Christian vi voglio bene e vi auguro sempre il meglio.

Grazie anche ad Alessia, conosciuta il primo giorno all'Università. Con te ho condiviso bei momenti e sono cresciuta molto durante questi anni in cui non ci siamo mai perse, mi hai aiutato come poche persone hanno fatto a Genova. Grazie anche a Marina per avermi sempre ospitato a casa sua, per avermi preparato i piatti tipici liguri, avvicinandomi così alla città e alla sua cultura.

Alle mie carissime amiche di Belluno, Clara e Lisa, che hanno sempre creduto in me e mi hanno sostenuta in ogni passo che ho intrapreso, nonostante la distanza. Con voi ho condiviso così tanto che siete diventate parte integrante della mia famiglia; perché quando un legame è sincero e condiviso, la distanza e il tempo sono variabili che perdono ogni potere.

Un pensiero va anche a tutte le persone che ho conosciuto nei mille lavori che ho fatto durante questi cinque anni, in particolare ai baristi del Mentelocale e ai bagnini delle Piscine di Albaro. Con voi il lavoro è stato meno faticoso.

Alla mia famiglia, per avermi sempre sostenuto e per esserci sempre stata nei momenti più significativi della mia vita. Un pensiero va anche a Ettore Dux che mi è rimasto vicino in un periodo molto confuso e ansioso, dimostrandomi quanto sia forte il legame con gli animali.

A mio papà per avermi insegnato a puntare sempre in alto e a crescere in maniera indipendente. Ma anche per ricordarmi quali errori non commettere. E che ognuno raccoglie ciò che semina.

Un pensiero va anche ai miei nonni, Ugo e Pipe, che purtroppo non sono qui ma questo non ha molta importanza perché li sento vicini, sempre.

Alla mia dolcissima mamma Mara, la mia fan numero 1, grande dispensatrice dei consigli più preziosi del mondo. La tua forza e la tua determinazione sono un ruggito potente che stimo profondamente. Mi hai insegnato anche che in certe occasioni bisogna saper dire no, e che essere autentici è la forma più pura dell'amor proprio. Grazie infinitamente per avermi fatto comprendere il mio valore.

Alla mia pazza sorella Giulia, a cui piace dipingere fiori, volti umani aggraziati, corpi sbilanciati dalla gravità, statue fuse con elementi della natura, carpe dai mille colori che volteggiano nell'acqua. La tua creatività è un tempio fertile che stupisce e incanta. Proteggila. Anche in una società che ti dice di non valere perché l'arte non è una forma redditizia, scegli la strada contraria. Ti auguro di trovare un ambiente in cui poter esprimere il tuo estro artistico e, con esso, sentirti in pace con te stessa. La mia razionalità mi limita nel comprendere appieno quanto è grande il tuo cuore, quanto sei generosa con le persone a cui vuoi bene, anche quando questo ti mette all'ultimo posto. Stai costruendo la tua casa nel mondo e questo dovrebbe renderti immensamente fiera, qualunque risultato tu ottenga. Ci stai credendo, e questo è più che sufficiente.

Alla mia super nonna Sandra, la tua forza e il tuo spirito mi ispirano a dare sempre il meglio di me, a credere fino in fondo in quello che sto facendo e a comprendere le persone, anche quando fanno male. D'altronde i tuoi anni insegnano che lasciar andare è la migliore medicina, e che la bontà di cuore è una rarità che va custodita, anche quando la gentilezza non viene ricambiata. Il tuo sorriso e la tua ilarità scaldano le ossa, ed è lì che si trovano le mie radici, che inevitabilmente si intrecciano con te. Ti sei sempre presa cura di me e questo successo non può che essere anche tuo.

La mia vita si è fondata su queste tre donne, che di generazione in generazione mi hanno insegnato che la forza più grande è quella di alzare la voce e seguire il proprio istinto, anche quando fa paura.

Per questo mi sento vicina a tutte le donne che non hanno avuto la mia stessa opportunità di istruirsi e di completare gli studi, in qualsiasi campo avessero desiderato, a causa di barriere culturali, sociali o istituzionali che ancora oggi limitano il loro accesso alla conoscenza. Questo divario è purtroppo ancora profondamente radicato, e mi impegno a sostenere la solidarietà tra donne, soprattutto in quei contesti in cui la nostra presenza fatica ancora ad essere pienamente riconosciuta e valorizzata, nella consapevolezza che il cambiamento richiede tempo, impegno collettivo e rispetto per le complessità di ogni realtà.

Infine, una grossa pacca sulla spalla a me. E anche un abbraccio.