

# Il processo di transizione energetica nell'industria dei trasporti marittimi

di Paolo Gallorini

29-01-2022

Le spedizioni via mare risultano la modalità di trasporto più efficiente per la movimentazione di merci su lunghe distanze e assumono un ruolo cruciale all'interno delle dinamiche del commercio internazionale. L'attuale crisi globale delle catene di fornitura, causata dalle restrizioni attuate per fronteggiare la diffusione della pandemia Covid-19, sta evidenziando la centralità di questo settore, sensibilizzando l'opinione pubblica circa l'essenzialità del servizio offerto.

Allo stesso tempo, l'industria dello shipping è responsabile della generazione di considerevoli esternalità negative, tra le quali figurano l'inquinamento atmosferico, marino e acustico. Complessivamente, il trasporto marittimo produce il 2,89% delle emissioni di anidride carbonica a livello mondiale [1].

L'inquinamento provocato rappresenta una grave minaccia per le popolazioni che risiedono in prossimità delle aree portuali. Ad esempio, è stato stimato che tali emissioni provochino ogni anno la morte di circa 400.000 persone per cancro ai polmoni o per malattie cardiovascolari, oltre che 14 milioni di casi di asma infantile [2]. Altri studi hanno evidenziato come l'inquinamento marittimo favorisca l'incremento di casi prematuri di demenza, come il morbo di Alzheimer [3].

Le organizzazioni internazionali sono sempre più attente a promuovere regolamentazioni per contenere gli impatti negativi provocati da questo settore. Per rispondere a tali normative, in parallelo alla progressiva esplorazione delle digital technologies analizzate nel precedente contributo (La rivoluzione digitale e le nuove frontiere del trasporto marittimo), i protagonisti dell'industria dello shipping stanno orientando ricerca ed investimenti a soluzioni volte a garantire maggiore sostenibilità ambientale.

Il presente articolo si sofferma sull'analisi dei processi di regolamentazione promossi dalle organizzazioni internazionali, in materia di contenimento delle emissioni inquinanti. Sono inoltre approfondite alcune delle green technologies emergenti, tra le quali gli armatori sono chiamati a scegliere per orientare il proprio business verso la transizione energetica.

## IMO2020: regolamentazione dei combustibili inquinanti

Quella shipping è un'industria energy intensive, essendo caratterizzata da un significativo dispendio di energia per il compimento di molteplici attività. Per abilitare la transizione green è quindi necessario agire sulle soluzioni energetiche impiegate in ambito marittimo, in particolare sui propellenti delle navi.

Per lungo tempo, il bunker ad alto contenuto di zolfo, anche detto High Sulphur Fuel Oil (HSFO), è stato il combustibile più utilizzato per la propulsione delle grandi imbarcazioni [4]. L'HSFO è un prodotto petrolifero di scarto, un olio combustibile pesante contenente elevate percentuali di ossido di zolfo (SOx), ossidi di azoto (NOx) e particolati (PM10), risultando così estremamente inquinante.

Le ragioni che spingono gli armatori ad utilizzare questa tipologia di carburante risiedono nella sua economicità rispetto alle altre opzioni disponibili. I costi di bunkeraggio [5], infatti, rappresentano una componente primaria della struttura di costo di una compagnia di navigazione, ammontando a circa il 45-50% dei costi operativi della nave [6].

Nel corso degli ultimi anni, l'International Maritime Organization (IMO), il maggiore organismo internazionale delle Nazioni Unite specializzato nella regolamentazione del trasporto marittimo, ha

introdotto misure sempre più stringenti per limitare l'utilizzo dei carburanti HSFO.

Tra gli interventi più significativi figura l'istituzione dell'International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), la quale mira a prevenire e minimizzare l'inquinamento provocato dalle navi, sia a causa di eventi accidentali sia a causa di routine operativa. Di rilevanza sostanziale, risulta il suo Sesto Annesso, o Annex VI, entrato in vigore nel 2005, riguardante l'inquinamento atmosferico e volto alla riduzione delle emissioni di ossidi di zolfo (SOx), ossidi di azoto (NOx) e composti organici volatili (VOCs). Un primo strumento previsto dall'Annex VI è la designazione di Emission Control Areas (ECAs). Si tratta di aree di mare e oceano in cui valgono dettami particolarmente stringenti in materia di emissioni inquinanti. Attualmente, sono state istituite quattro ECAs a livello mondiale: Mar Baltico, Mar del Nord, Nord America e Mar dei Caraibi [7].

La normativa vigente all'interno delle ECAs è stata progressivamente aggiornata. La sua ultima modifica risale al 2015 prevedendo che le navi operanti in tali aree non possano utilizzare combustili marini aventi tenore di zolfo superiore allo 0,10% m/m (mass by mass). La Figura 1 rappresenta le aree ECAs fino ad oggi formalmente costituite.

[caption id="attachment\_23556" align="alignnone" width="1320"] Figura 1: Emission Control Areas (ECAs) attualmente istituite. Fonte: elaborazione dell'autore su dati IMO./[caption]

L'inasprimento delle limitazioni dei carburanti inquinanti non è comunque un processo destinato ad interrompersi. Non a caso, è aperto un dibattito internazionale sull'istituzione di nuove Emission Control Areas, a salvaguardia dei mari e delle popolazioni costiere.

L'Italia, in particolare, è promotrice di un negoziato per la designazione di un ECA nel Mar Mediterraneo. Si tratta di un progetto avente una valenza geopolitica considerevole, dal momento che risultano coinvolti 3 continenti (Europa, Asia e Africa), 21 Paesi [8] e 450 milioni di abitanti. Il bacino del Mediterraneo risulta un'area strategica per il trasporto marittimo mondiale. Il 13% del traffico internazionale transita nelle sue acque, per un totale di circa 30.000 navi ogni anno. L'ultima fase della discussione circa l'istituzione della "MED ECA" si è tenuta nel dicembre del 2021, in occasione della Barcelona Convention COP22 ad Antalya in Turchia. Gli esponenti dei 21 Paesi partecipanti si sono espressi a favore dell'istituzione di una zona a basse emissioni inquinanti nel Mediterraneo. L'iter procedurale per l'approvazione ufficiale della MED ECA è attualmente in capo all'IMO, da cui si attende una delibera entro il 2025.

Anche la Cina ha costituito alcune aree all'interno delle quali è possibile navigare solamente utilizzando carburanti aventi una percentuale di zolfo non superiore allo 0,10% m/m. Tali zone riguardano sia porzioni di acque interne, con fiumi Yangtze e Xi Jiang, sia di acque costiere, con l'isola di Hainan, a partire dal 1 gennaio 2022.

Un ulteriore provvedimento definito dall'Annex VI è la normativa IMO2020, che ha introdotto il Global Sulphur Cap per i mari e gli oceani non sottoposti a regimi ECAs. IMO2020, entrata in vigore a partire dal 1 gennaio 2020, ha infatti ridefinito i limiti di contenuto di zolfo presente nei carburanti delle navi, passati da un massimo di 3,5% m/m a 0,5% m/m. Si è trattato di un cambiamento epocale per l'industria dello shipping poiché l'intera flotta mondiale ha dovuto adeguarsi alla nuova normativa.

Il grafico seguente mette in evidenza le progressive restrizioni dei limiti di contenuto di zolfo (SOx) presenti nei combustibili marini degli ultimi 17 anni (2005 - 2021), sia in aree ECAs, sia nel resto del mondo (dati espressi in percentuali di zolfo mass by mass). Le percentuali a destra delle linee indicano le contrazioni dei valori di zolfo consentiti all'interno dei carburanti marini rispetto ai valori massimi precedenti.

[caption id="attachment\_23557" align="alignnone" width="2495"] Figura 2: Limiti emissioni di zolfo (SOx) nell'industria dei trasporti marittimi. Fonte: elaborazione dell'autore su dati IMO[/caption]

Inoltre, nel 2018, l'International Maritime Organization ha individuato formalmente la sua strategia per la progressiva riduzione di gas a effetto serra generati dalle navi, denominata Green House Gas strategy (GHGs). L'obiettivo finale risulta quello di abbattere del 50% le emissioni inquinanti entro il 2050, rispetto ai livelli del 2008 [9]. Si tratta di un traguardo audace, seppur necessario per il contributo del settore alla salvaguardia del clima.

Nel 2023 è atteso un importante aggiornamento della GHGs da parte dell'IMO. Sarà un momento determinante per l'intera industria dello shipping, poiché verranno stabilite nuove regolamentazioni e target obbligatori da perseguire.

Il trade-off tra utilizzo di nuovi carburanti, l'adozione di scrubber e nuovi fonti energetiche

L'entrata in vigore di regolamenti quali IMO2020 e la progressiva istituzione delle ECAs hanno posto le compagnie di navigazione di fronte ad una decisione strategica complicata. Per potersi conformare alle nuove normative gli armatori hanno dovuto scegliere tra il passaggio a combustibili a basso tenore di zolfo (I), l'investimento in sistemi di pulizia dei gas di scarico (II) o l'impiego di nuove soluzioni energetiche (III).

Ogni opzione porta con sé una serie di benefici e svantaggi, in termini di extra-costi e di rischi derivanti dall'andamento del mercato e della curva di sviluppo tecnologico, di cui di seguito è proposta un'analisi.

#### I) Adozione dei Low Sulphur Fuel Oils (LSFO)

I Low Sulphur Fuel Oils (LSFO) sono combustibili a basso contenuto di zolfo e rappresentano la scelta più semplice da praticare per conformarsi alle nuove regolamentazioni, dal momento che per poterli utilizzare non è necessario apportare particolari modifiche ai propulsori convenzionali. Tuttavia, queste tipologie di carburanti risultano generalmente più onerose rispetto agli High Sulphur Fuel Oils (HSFO), impattando negativamente sul costo del trasporto.

Inoltre, gli analisti sottolineano che, con il termine della pandemia Covid-19, il differenziale di prezzo tra le due tipologie di propellente potrebbe aumentare, a causa dell'incremento della domanda di prodotti LSFO da parte di altre industrie, come quella aerea [10], rendendo potenzialmente meno conveniente questa opzione, sebbene più sostenibile.

#### II) Installazione di Marine Wet Scrubber

I Marine Wet Scrubber, anche detti Exhaust Gas Cleaning Systems (EGCS), sono apparecchiature che consentono di abbattere le sostanze inquinanti presenti nei gas di scarico delle navi attraverso reagenti disciolti in acqua nebulizzata.

Gli scrubber rappresentano una soluzione ingegneristica per poter continuare ad utilizzare gli economici oli combustibili pesanti HSFO e allo stesso tempo rientrare nella regolamentazione IMO2020.

Leader nella produzione di scrubber per l'industria marittima sono società nord-europee quali Wartsila (Finlandia), Alfa Laval (Svezia), Clean Marine e Yara Marine Technologies (Norvegia), AER Maritime (Paesi Bassi). Altre società capofila in questo business sono le americane Dupont, attraverso la controllata Belco Technologies e CR Ocean Engineering (USA) e le asiatiche Fuji Electric (Giappone) e Pruyier e Blue Soul (Cina).

L'installazione degli scrubber presenta, tuttavia, problematiche dovute ai significativi costi di investimento iniziale, alla scarsa disponibilità di spazio a bordo e ai contraddittori effetti sull'ambiente provocati dal loro utilizzo. Infatti, il loro impiego è criticato per via della conversione dell'inquinamento atmosferico in inquinamento marino, derivante dalle acque reflue del sistema di filtraggio degli impianti, incrementando l'acidificazione dei mari e degli oceani [11]. Inoltre, per le stesse motivazioni, alcuni porti non permettono l'utilizzo di scrubber all'interno delle loro aree.

Per quanto concerne i costi, Wartsila stima spese per gli armatori all'interno di un range compreso tra 1 milione di USD e 5 milioni di USD, a seconda della tipologia di nave considerata [12]. I tempi di installazione, invece, possono variare da un minimo di due a un massimo di quattro settimane, anche se le grandi navi da crociera possono necessitare di tempistiche maggiori per il completamento dell'impianto.

Gli analisti di Clarksons Research [13] hanno stimato le seguenti percentuali di adozione degli scrubber per comparto dell'industria dello shipping, durante la prima parte del 2021 [14]:

Container liner operators, il 67% della flotta esistente delle Ultra-Large Container Ships (ULCS - navi con capacità di carico almeno pari a 15.000 TEUs [15] adibite al trasporto di carichi containerizzati) ha installato scrubber, il 5% li sta adottando e il 74% degli ordinativi di nuove navi ne prevede la dotazione.

Tanker operators, il 40% della flotta esistente delle Very-Large Crude Carrier (VLCC - navi petroliere aventi tonnellate di stazza lorda comprese tra le 200.000 e le 320.000 DWT [16]) dispone di scrubber, il 2% li sta installando e il 42% dell'orderbook li prevede.

Dry bulk operators, il 42% della flotta esistente delle navi Capesizes (navi adibite al trasporto di carichi alla rinfusa, non liquidi e non unitizzati, come minerali di ferro o carbone, aventi tonnellate di stazza lorda superiore alle 100.000 DWT) ha adottato sistemi EGCS, l'1% sta svolgendo operazioni di retrofitting [17] per installarli e il 41% degli ordinativi di nuove navi ne prevede l'adozione.

### III) Conversione a soluzioni energetiche alternative.

L'impiego di nuovi combustibili e vettori energetici rappresentano le opzioni di medio-lungo termine più interessanti in termini di sviluppo sostenibile. Nel corso degli ultimi anni sono emerse numerose tecnologie che ambiscono a sostituire i tradizionali combustibili marini. Tra di esse spiccano il Liquefied Natural Gas (LNG), le batterie agli ioni di litio, gli e-fuel e la propulsione assistita dal vento. Queste soluzioni sono caratterizzate da livelli di maturità tecnologica e di impatto ambientale differenti.

Gli armatori sono attualmente impegnati nello studio e sperimentazione di queste innovazioni, al fine di individuare le soluzioni più idonee al proprio business. Sono infatti significativi gli investimenti in R&D e il numero di progetti pilota avviati negli ultimi anni, al fine di individuare benefici e limiti propri di ogni tecnologia.

Nel successivo contributo, intitolato I carburanti delle navi del futuro: le sfide della decarbonizzazione, sarà proposta un'analisi dettagliata delle green technologies citate all'interno di questo paragrafo.

### Sostenibilità portuale e sviluppo del cold ironing

Per rispondere alle sfide imposte dall'emergenza climatica, lo shipping internazionale sta elaborando soluzioni tecnologiche che non si limitano alla riduzione delle emissioni prodotte durante la navigazione, ma anche a quelle generate nei periodi di sosta in porto delle imbarcazioni.

All'interno di questo ambito emerge la tecnologia del cold ironing, la quale consente l'alimentazione delle navi da terra mentre si trovano ormeggiate.

In generale, durante il periodo di sosta della nave, i propulsori principali vengono spenti. Tuttavia, per garantire il funzionamento degli impianti e l'erogazione dei vari servizi di bordo è necessario

impiegare i motori diesel ausiliari, responsabili della generazione di esternalità negative considerevoli, in termini di inquinamento atmosferico, acustico e marino.

Il cold ironing, anche detto on-shore power supply, consiste in un articolato sistema che permette di alimentare le navi attraccate in porto attraverso energia elettrica fornita da terra. In questo modo, viene meno la necessità di dover utilizzare i propulsori ausiliari per il corretto funzionamento della nave in fase di sosta, migliorando sensibilmente l'impatto ambientale.

Per l'installazione di un sistema cold ironing sono necessari importanti interventi sia per le società proprietarie dei terminal, sia per gli armatori [18].

In primo luogo, è necessario procedere all'elettificazione delle banchine. È dunque condicio sine qua non avere a disposizione una rete ad alto voltaggio in area portuale, la presenza di trasformatori e convertitori di frequenza e di tensione, oltre che pannelli di controllo, sistemi avvolgicavo e connettori. Tali interventi presentano costi che possono variare molto a seconda dei fruitori dell'impianto (in base alle dimensioni delle navi) e della posizione geografica del porto. A fini esemplificativi, gli studi di fattibilità del Porto di Rotterdam stimano costi pari a 4 milioni di USD per l'adeguamento tecnologico di ogni molo.

Viceversa, anche gli armatori devono a loro volta adeguare le proprie flotte per poter fruire del cold ironing. In particolare, gli interventi riguardano l'installazione di trasformatori, di power distribution systems, di pannelli di controllo, di sistemi avvolgicavo e di connettori.

Alcune navi risultano già predisposte per l'alimentazione cold ironing, mentre altre necessitano di alcune operazioni di retrofitting. I costi per l'installazione degli impianti a bordo necessari al cold ironing sono compresi tra i 300 mila USD e i 2 milioni di USD.

Questa soluzione consente di abbattere completamente le emissioni inquinanti in porto se l'energia elettrica fornita dalla terraferma proviene da fonti rinnovabili come quella solare o eolica. Inoltre, attraverso il cold ironing, anche l'inquinamento acustico subisce un sensibile contenimento, a favore delle comunità locali.

In conclusione, il cold ironing risulta una tecnologia matura in grado di apportare numerosi benefici in termini di riduzione dell'impatto ambientale dell'industria dello shipping. Inoltre, diventa particolarmente interessante per quelle tipologie di navi caratterizzate da elevata frequenza e prolungata permanenza in aree portuali.

La problematica principale che frena il suo sviluppo è il mancato coordinamento tra armatori, Autorità Portuali ed investitori circa l'implementazione della tecnologia: da un lato i porti devono avere la garanzia da parte degli shipowner di avere sufficiente domanda prima della realizzazione delle infrastrutture, dall'altra le compagnie di navigazione non sono propense ad investire in nuovi impianti senza la certezza di trovare il cold ironing disponibile all'interno dei terminal scalati.

#### Slow steaming come tecnica di riduzione dei consumi

Il contenimento dei gas climalteranti non dipende esclusivamente dalle innovazioni tecnologiche portate sul mercato da ingegneri e chimici. Esistono infatti alcune soluzioni dettate dal buon senso che consentono un miglioramento non marginale in termini di risparmio energetico.

Tra di esse spicca lo slow steaming, una tecnica a cui gli armatori hanno fatto abbondante ricorso negli anni successivi alla crisi economica e finanziaria del 2007-2008, al fine di minimizzare i costi di trasporto. Esso consiste nella riduzione della velocità di crociera della nave, comportando un calo significativo del consumo di carburante e quindi dei costi operativi. Questa strategia risulta particolarmente profittevole nei cicli economici caratterizzati da costi elevati del prezzo del petrolio che si riflettono sui costi del bunker, nei periodi caratterizzati da un eccesso di offerta dei servizi di trasporto e nelle fasi di sofferenza del mercato dei noli. La tecnica dello slow steaming è ancora oggi praticata e, rispetto al 2008, la velocità di crociera delle navi è stata ridotta tra il 18% e il 25% [19]. In media, una riduzione del 10% della velocità di una nave comporta un decremento pari al 30% dei

consumi di propellente. Tuttavia, il rischio di adottare questa tecnica in modo esasperato è quello di prolungare i tempi di navigazione, comportando un incremento dei costi di equipaggio e assicurativi, oltre che a danneggiare i propulsori della nave, essendo concepiti per operare su precisi range giri/minuto.

## Conclusioni

Se si considerano le emissioni per tonnellata di merce trasportata prodotte per chilometro percorso, le navi rimangono ampiamente i mezzi di trasporto più efficienti dal punto di vista ambientale. Tuttavia, la continua crescita della domanda di trasporto marittimo genera un aumento considerevole delle esternalità negative provocate dalle imbarcazioni.

Per contenere questo fenomeno, le organizzazioni internazionali stanno delineando strategie volte a rivoluzionare l'industria marittima, promuovendo un percorso incentrato sulla decarbonizzazione.

L'istituzione di Emission Control Areas e l'entrata in vigore del Global Sulphur Cap, sono solo alcune delle iniziative che stanno stimolando l'innovazione tecnologica green in questo ambito, generando potenziali benefici di tipo sociale, economico e ambientale.

Tali cambiamenti si traducono in un aumento di complessità di business per gli armatori. L'emersione del sustainability risk è infatti una variabile che può portare all'uscita dal mercato gli operatori che non adotteranno strategie atte a mitigarlo. In particolare, riuscire ad offrire un servizio di trasporto realmente sostenibile rappresenterà una leva determinante per potersi posizionare come leader nel segmento emergente del green shipping.

L'attenzione dell'opinione pubblica alle tematiche ambientali è crescente. Questo spinge i grandi produttori ad individuare partner commerciali che possano aiutarli a minimizzare l'impatto ecologico dei loro prodotti, in ogni step della catena del valore. Tra queste attività rientrano ovviamente i trasporti. In questi termini, alcuni grandi gruppi quali Amazon, Brooks, Frog Bikes, Ikea, Inditex, Michelin, Patagonia, Tchibo e Unilever si stanno già mobilitando per individuare compagnie di navigazione in grado di offrire servizi di trasporto ad impatto zero entro il 2040 [20].

Inoltre, è verosimile che anche l'accesso al mercato dei capitali possa divenire difficoltoso per quegli operatori che non definiranno strategie green per la gestione delle proprie flotte.

Allo stesso tempo, per le compagnie di navigazione, in un contesto di business mutevole, l'investimento in tecnologie che non hanno ancora raggiunto la maturità comporta un incremento dei rischi, come quello dell'obsolescenza precoce, oltre che ad un aumento dei CAPEX [21] e OPEX [22].

Il tasso di rapidità del processo di transizione energetica dell'industria dello shipping sarà poi fortemente condizionato anche dalle scelte di dotazione infrastrutturale promosse dei porti, nelle varie aree geografiche. I livelli di capillarità circa la disponibilità di impianti cold ironing e di approvvigionamento di nuovi carburanti all'interno degli scali internazionali, saranno elementi determinanti per incentivare gli armatori ad investire in green technologies.

Il 2020 ha segnato un primo importante step nella definizione di un nuovo modello di shipping, incentrato sull'adozione di fonti energetiche sostenibili. Il 2021, seppur contraddistinto dal perdurare della pandemia Covid-19, ha visto il compimento ulteriori progressi in questi ambiti.

Tuttavia, raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione non sarà semplice. Il percorso potrebbe essere scandito da azioni di breve termine, quali lo slow steaming e l'adozione di carburanti di transizione, e da azioni di lungo termine, attraverso la sperimentazione di nuovi e-fuel quali ammoniaca, idrogeno e metanolo.

Per lungo tempo il settore marittimo ha operato all'interno di un contesto scarsamente regolamentato dal punto di vista delle emissioni inquinanti. Oggi, grazie all'istituzione di vincoli ambientali sempre più stringenti e allo sviluppo tecnologico, anche i leader dell'industria dei trasporti oceanici diventano protagonisti nella lotta alla crisi climatica planetaria.

- [1] Faber Jasper, Hanayama Shinichi, Zhang Shuang, Pereda Paula, Comer Bryan, Hauerhof Elena, Schim van der Loeff Wendela, Smith Tristan, Zhang Yan, Kosaka Hiroyuko, Adachi Masaki, Bonello Jean-Marc, Galbraith Connor, Gong Ziheng, Hirata Koichi, Hummels David, Kleijn Anne, Lee David S., Liu Yiming, Lucchesi Andrea, Mao Xiaoli, Muraoka Eiichi, Osipova Liudmila, Qian Haoqi, Rutherford Dan, Suárez de la Fuente Santiago, Yuan Haichao, Perico Velandia Camilo, Wu Libo, Sun Deping, Yoo Dong-Hoon, Xing Hui. "Fourth IMO GHG Study 2020". 2020. IMO.
- [2] Sofiev Mikhail, Winebrake James J., Johansson Lasse, Carr Edward W., Prank Marje, Soares Joana, Vira Julius, Kouznetsov Rostislav, Jalkanen Jukka-Pekka, Corbett James J. "Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs". 2018. Nature Communication.
- [3] Brewer Thomas. "A Maritime Emission Control Area for the Mediterranean Sea? Technological Solutions and Policy Options for a MED ECA". 2020. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration.
- [4] Schnurr E.J. Riley, Walker Tony Robert. "Marine Transportation and Energy Use". 2019. Reference Module I Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier.
- [5] Bunkeraggio, nel gergo tecnico termine utilizzato per definire l'attività di rifornimento delle navi.
- [6] Rodrigue Jean-Paul. "The Geography of Transport Systems". 2020. Routledge, New York.
- [7] In particolare, l'ECA del Mar Baltico, istituita nel 1997, coinvolge le coste di Danimarca, Estonia, Finlandia, Germania, Lettonia, Lituania, Polonia, Russia e Svezia. L'ECA del Mar del Nord, fondata nel 2005, fa riferimento a Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Norvegia, Paesi Bassi, Regno Unito e Svezia. L'ECA del Nord America, avviata nel 2010, comprende la costa atlantica e pacifica di Canada e USA, oltre che ai territori d'oltre mare francesi di Saint Pierre e Miquelon. Infine, la più recente ECA Mar dei Caraibi, istituita nel 2011, coinvolge le acque di Porto Rico e delle Isole Vergini Americane.
- [8] Albania, Algeria, Bosnia-Erzegovina, Croazia, Cipro, Egitto, Francia, Grecia, Israele, Italia, Libano, Libia, Malta, Monaco, Montenegro, Morocco, Slovenia, Spagna, Siria, Tunisia, Turchia.
- [9] AA.VV. "Adoption of the initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships and existing IMO activity related to reducing GHG emissions in the shipping sector". 2018. IMO.
- [10] Sand Peter. "High-sulphur fuel oil sales rebound after pre-IMO 2020 correction". 2021. BIMCO.
- [11] Davin Sam. "The trouble with scrubbers: shipping's emission 'solution' creates new pollution". 2020. WWF.
- [12] Kinch Diana, Fox Jonathan. "Scrubber installation waiting list "very-long" as IMO 2020 kicks in: Wartsila". 2020. S&P Platts.
- [13] Clarksons è uno dei principali fornitori mondiali di servizi di spedizione integrati, avente headquarters a Londra. La società articola il suo business in quattro segmenti: broking, financials, support e research. In particolare, Clarksons Research è uno dei più autorevoli fornitori di servizi di business intelligence per l'industria dello shipping.
- [14] Miller Greg. "What \$70+ oil means to container, tanker and dry bulk shipping". 2021. FreightWaves.
- [15] TEU, Twenty-Foot Equivalent Unit, è l'unità di misura del container.
- [16] DWT, acronimo di Dead Weight Tonnage, o Tonnellate di Portata Lorda, rappresenta la capacità di carico massima trasportabile da una nave, espressa in tonnellate metriche.
- [17] Retrofitting, si tratta di una serie di migliorie svolte su un determinato impianto, macchinario o edificio, in modo da adeguarlo ad una nuova tecnologia.
- [18] AA.VV. "Onshore Power Supply - Investments". 2021. World Sustainability Program.
- [19] Rex Christopher, Hoffmann Jonas, Mullertz Sebastian, Singh Pardeep, Winther Stasia.

"Shipping Market Review - May 2021". 2021. Danish Ship Finance.

[20] AA.VV. "Together we can decarbonize ocean shipping". 2021. Cargo Owners For Zero Emission Vessels.

[21] CAPEX (CAPital EXpenditure), corrisponde alla spesa in conto capitale, ovvero il costo degli investimenti.

[22] OPEX (OPerating EXpenditure), corrisponde ai costi operativi e di gestione.