



Effetti delle dimensioni delle navi sulle emissioni delle flotte container e passeggeri

Effects of ships' dimension on emissions of container and cruise fleets

Cristiano MARINACCI (*)
Stefano RICCI (*)
Luca RIZZETTO (*)

Sommario - L'articolo si approccia alle flotte passeggeri e merci, interessate da gigantismo navale, per indagarne gli effetti energetici e ambientali. Tra le tendenze emergenti negli ultimi 20 anni, si osserva infatti l'aumento della potenza installata e, più rilevante, della capacità di trasporto delle navi. Il risultato è quindi una diminuzione della potenza specifica. Nello stesso periodo è in corso un aumento delle prestazioni delle navi in termini di sostenibilità ambientale ed energetica. Un'ulteriore accelerazione in questa direzione potrebbe derivare dall'introduzione di combustibili meno inquinanti e di energie rinnovabili. Si tratta di un pilastro per lo sviluppo di future flotte sostenibili, con rilevanti ed emergenti esigenze di ricerca. In questo contesto, l'articolo propone un approccio sintetico, che combina dimensioni e prestazioni ambientali delle navi, testato su flotte container e crociere in esercizio in località selezionate tra le più frequentate a livello mondiale. I risultati possono essere utili per l'adozione di politiche efficaci, basate sulle tecnologie emergenti e l'attuazione di nuove regole e regolamenti.

1. Introduzione e obiettivi

Il traffico delle flotte container e crociere svolge il ruolo più rilevante dal punto di vista economico nell'attuale contesto del trasporto marittimo. A causa di questa rilevanza economica, negli ultimi 20 anni le flotte corrispondenti hanno sperimentato una rapida evoluzione aumentando sistematicamente le dimensioni e la capacità di carico, fino a 20 volte i valori originali, e, di conseguenza, aumentando la potenza dei sistemi di propulsione con potenziali ripercussioni sul fabbisogno energetico e sulle emissioni gassose. Tuttavia, l'accresciuta capacità delle navi, agisce a favore dell'efficienza del trasporto riducendo l'incidenza dei costi fissi e delle esternalità prodotte, principalmente grazie alla diminuzione della potenza specifica [kW/t]. Questo apre le porte a un

Summary - The paper approaches freight and passengers fleets, affected by naval gigantism, to investigate its energetic and environmental effects. Among the emerging trends, we encounter the increase of the installed power and, more relevantly, of the transport capacity of the ships. The result is a decrease of the specific power, particularly in the last 20 years. In the same period, an increase of the performances of ships in terms of environmental and energetic sustainability is ongoing. A further acceleration in this direction could come from the introduction of less pollutant fuels and renewable energies. It is a pillar for the development of future sustainable fleets, with relevant emerging investigation needs. In this context, the paper proposes a synthetic approach, combining dimensions and environmental performances of ships, tested on container and cruises fleets in operation in selected worldwide most frequented locations. The results could be useful to check effective policies, basing on emerging technologies and implementation of new rules and regulation.

1. Introduction and objectives

Container and Cruise traffic play the most economically relevant roles in the present maritime transport context. Because of this economic relevance, in the last 20 years the corresponding fleets experienced a fast evolution by increasing systematically dimensions and loading capacity, up to 20 times the original values, and, correspondingly, increasing power of propulsion systems with potential repercussions on energy needs and gaseous emissions. Nevertheless, the increased capacity of ships, acts in favor of the efficiency of transport by reducing the incidence of ship fixed costs and the produced externalities, mainly thanks to the decrease of specific power [kW/t]. It opens the doors to a corresponding increase in environmental and energetic sustainability, which could experience a further acceleration by the introduction of less pollutant fuels, such as LNG, bio-

^(*) Sapienza Università di Roma – DICEA.

^(*) Sapienza Università di Roma – DICEA.

corrispondente aumento della sostenibilità ambientale ed energetica, che potrebbe sperimentare un'ulteriore accelerazione con l'introduzione di combustibili meno inquinanti, come il LNG, il bio-diesel e il metanolo, integrati da idrogeno ed energie rinnovabili. Inoltre, l'introduzione di politiche efficaci, basate sulle tecnologie emergenti e nel rispetto di norme e regolamentazioni adeguate, costituisce un pilastro per lo sviluppo di flotte sostenibili.

Il problema che si pone è la qualificazione delle funzioni di *trade-off* che collegano l'aumento delle dimensioni delle navi con le loro prestazioni energetiche e ambientali misurate con indicatori efficaci. Questo problema è particolarmente importante nei settori più intensamente colpiti dal gigantismo navale, cioè i container e le crociere. Queste sono state considerate come casi di studio tipici per verificare l'efficacia della metodologia proposta, che deve essere flessibile e riproducibile abbastanza da essere utile in un ampio set di applicazioni potenziali (ad es. tipologie di flotte diverse) e contesti geografici. L'obiettivo specifico della ricerca in corso è quello di mettere a punto una metodologia idonea a tale scopo che, una volta sperimentata e riconosciuta, possa rappresentare uno strumento trainante per individuare le misure più efficaci da applicare in termini di tecnologie innovative, nonché di politiche, norme e regolamenti che le promuovono o le ostacolano. L'articolo include nella sezione 2 uno specifico stato dell'arte sull'aumento delle dimensioni delle navi e sui problemi operativi correlati, una classificazione dimensionale delle navi e la normativa ambientale in atto per migliorare le prestazioni ambientali ed energetiche delle navi stesse. La sezione 3 descrive la metodologia proposta e la sezione 4 descrive i risultati della sua applicazione, ai container e alle flotte crocieristiche. Le conclusioni e le osservazioni finali figurano nella sezione 5.

2. Lo stato dell'arte

2.1. Letteratura

L'aumento delle dimensioni delle navi commerciali sta alimentando la discussione scientifica da molti anni. Tali discussioni riguardano principalmente le conseguenze previste sulla progettazione delle infrastrutture dei terminali portuali, ben descritte da BAIK [1] e le navi stesse, come già delineato da CAPRACE [2]. Più specificamente, gli aspetti interessati sono le prestazioni di trasporto, gli aspetti operativi durante la navigazione e nei porti, gli effetti sui costi globali di trasporto, come evidenziato dal Forum internazionale dei trasporti dell'OCSE [3] e da HELMY e SHRABIA [4] e infine la sostenibilità energetica e ambientale, scarsamente consolidata in letteratura. Infatti, la questione chiave, sollevata da ACCIARO [5], è quanto la dimensione delle navi continuerà a crescere e a seconda di quali esigenze e obiettivi.

diesel and methanol, integrated by hydrogen and renewable energies. Moreover, the introduction of effective policies, basing on emerging technologies and in compliance with the implementation of appropriate rules and regulation, is a pillar for the development of sustainable fleets. The arising problem is now the qualification of trade-off functions linking the increase in dimensions of ships with their energetic and environmental performances measured by effective indicators.

This problem is particularly important in the sectors more intensively affected by naval gigantism, namely containers and cruises. They have been considered as typical case studies to check the effectiveness of the proposed methodology, which is anyway requested to be flexible and reproducible enough to be useful in a large set of potential applications (e.g. various fleets' typologies), and geographic contexts. The specific objectives of the ongoing research is to setup a methodology suitable for this purpose that, once tested and recognized, could represent a driving tool to identify the most effective measures to apply in terms of innovative technologies, as well as in terms of policies, rules and regulations promoting or hindering them. The paper includes in section 2 a specific state-of-the-art about the increase of ships dimensions and the correlated operational problems, a dimensional classification of the ships and the environmental normative in place to improve the environmental and energetic performances of the ships. Section 3 describes the proposed methodology and section 4 describes the results of its application, to both containers and cruises fleets. Conclusions and final remarks are in section 5.

2. State-of-the-art

2.1. Literature

The increase of dimensions of the commercial ships is feeding the scientific discussion since many years. These discussions mainly concern the expected consequences on the design of port terminals infrastructures, well described by BAIK [1] and ship themselves, as already sketched by CAPRACE [2]. More specifically, concerned aspects are transport performances, operational aspects during navigation and at ports, effects on global costs of transport, as highlighted by OECD International Transport Forum [3] and HELMY and SHRABIA [4] and finally the energetic and environmental sustainability, poorly consolidated in the literature. Indeed, the key question, raised by ACCIARO [5], is how much the dimension of the ships will continue to grow and according to which needs and targets.

2.2. Container ships

The conventional classification of container ships is basing on their dimensions (Fig. 1) with reference to the possibility to navigate in the Panama Channel:

2.2. Navi portacontainer

La classificazione convenzionale delle navi portacontainer si basa sulle loro dimensioni (Fig. 1) con riferimento alla possibilità di navigare nel canale di Panama:

- Prime navi portacontainer: prima generazione composta da navi per rinfuse solide o liquide modificate in grado di trasportare fino a 1.000 TEU. Esse ebbero origine negli anni sessanta (la prima era la Ideal-X, una petroliera convertita nella seconda guerra mondiale), solitamente avevano gru a bordo per il carico e lo scarico in porti non attrezzati e navigavano a velocità abbastanza basse (18-20 nodi). Nei primi anni settanta, la diffusione di tale tipologia di navi fu massiccia e iniziò la produzione di *Fully Cellular Containerships* (FCC), in cui l'intera nave ospitava container e le gru non erano più a bordo grazie allo sviluppo di terminali dedicati nei porti. Nel frattempo la velocità aumentò fino a 20-24 nodi, diventando la gamma di velocità di riferimento nel trasporto dei container.
- *Panamax*: negli anni Ottanta, le economie di scala spingevano ad aumentare le dimensioni. Il processo è diventato un circolo virtuoso che mira a volumi più grandi e costi più bassi. Le dimensioni del canale di Panama (standard Panamax) nel 1985 corrispondevano a navi con una capacità di circa 4.000 TEU. Una nuova serie di navi (Panamax Max), con disegni stretti e lunghi, massimizzarono la capacità di carico entro i vincoli del Canale.
- *Post Panamax I e II*: già nel 1988 è iniziata la produzione di navi sovradimensionate alla dimensione trasversale (32,2 m) del canale di Panama, che nel 1996 hanno raggiunto la capacità massima di 6.600 TEU. Questa nuova classe non è molto più lunga di una Panamax ma è nettamente più larga e raggiunge la capacità di 8.000 TEU con le Post Panamax II, che spesso raggiungono i 13 m di pescaggio, rappresentando già una sfida difficile per molti porti.
- *New-Panamax (NPX)*: sono navi che si adattano esattamente alla dimensione del nuovo canale di Panama inaugurato nel 2016 (Fig. 2): 300 x 49 x 15,2 m (chiuse più piccole: 427 x 55 x 18,3 m), che raggiungono una capacità di 12.500 TEU.
- *Post Panamax III (Post New Panamax) e Triple E*: nel 2006 ha iniziato la produzione di navi di categoria E (VLC), raggiungendo una capacità di 15.000 TEU, ulteriormente superata dall'introduzione di navi di classe EEE (ULCS nel 2013 e MGX-24 nel 2019), in grado di caricare fino a 21.000 e 25.000 TEU rispettivamente, attualmente in navigazione solo tra l'Asia e l'Europa.

Navi sempre più grandi saranno in funzione nel futuro più prossimo, con una capacità di 30.000 TEU, una lunghezza di 470 m, una larghezza di 60 m e un pescaggio di 20 m, note come Malacca Max, a causa delle dimensioni massime che consentono il transito attraverso lo stretto di Malacca (profondità di 25 m in alcune parti).

• *Early containerships*: first generation composed by modified solid or liquid bulk ships capable to carry up to 1,000 TEU. They originated in the sixties (the first one was the Ideal-X, a converted second world war tanker), had normally on-board cranes for loading and unloading in not equipped ports and navigated an almost low speed (18-20 knots). In the early seventies, the diffusion of such typology of ships was massive and the production of Fully Cellular Containerships (FCC) started, with the whole ship hosting containers and the cranes no longer on-board thanks to the development of dedicated terminals in ports. Meanwhile the speed increases to 20-24 knots, becoming the reference speed range in container transport;

- *Panamax*: during the eighties, the economies of scale pushed up the dimensions. The process became a virtuous circle aiming to larger volumes and lower costs. The Panama Channel dimensions (Panamax standard) in 1985 corresponded to ships with capacity of around 4,000 TEU. A new series of ships (Panamax Max), with narrow and long designs, maximize the carrying capacity within the Channel constraints;
- Post Panamax I and II: already in 1988 started the production of ships oversized to the transversal dimension (32.2 m) of the Panama Channel, which in 1996 reached the maximum capacity of 6,600 TEU. This new class is no much longer than a Panamax but definitely larger to reach the capacity of 8,000 TEU with Post Panamax II ships, which often reach 13 m draught, a hard challenge for many ports;
- *New-Panamax (NPX)*: they are ships exactly fitting the dimension of new Panama Channel inaugurated in 2016 (Fig. 2): 300 x 49 x 15.2 m (smallest locks: 427 x 55 x 18.3 m), which reach capacity of 12,500 TEU;
- Post Panamax III (Post New Panamax) and Triple E: in 2006 started the production of category E(VLC) ships, reaching capacity of 15,000 TEU, further overpassed by the introduction of EEE (ULCS in 2013 and MGX-24 in 2019) class ships, capable to load up to 21,000 and 25,000 TEU respectively, presently navigating between Asia and Europe only.

Ever larger ships would in operation in the near future, with capacity of 30,000 TEU, length of 470 m, width of 60 m and draught of 20 m, known as Malacca Max, due to the maximum dimensions allowing the transit through the Malacca Strait (depth of 25 m in some parts).

2.3. Cruise ships

For the Cruise ships, the classification in dimensional classes is not a consolidated standard; nevertheless, in analogy with container ships criteria, an original attempt of dimensional classification is available in Tab. 1.

Classes A and B are compatible with the Panama Channel, as well as classes C and D are respectively corre-

2.3. Navi da crociera

Per le navi da crociera, la classificazione in classi dimensionali non è uno standard consolidato; tuttavia, in analogia con i criteri delle navi portacontainer, un tentativo di classificazione dimensionale è disponibile nella Tab. 1.

Le classi A e B sono compatibili con il canale di Panama, così come le classi C e D corrispondono rispettivamente alle classi di container *Post Panamax* e *Post Panamax II*. La classe E è per le più grandi navi da crociera, corrispondenti alla *New Panamax*. Le classi estreme A ed E hanno oggi solo una presenza limitata nella flotta mondiale.

2.4. Norme ambientali

La regolamentazione delle emissioni dovute al traffico marittimo è disciplinata dalla convenzione MARPOL 73/78 (inquinamento marino) del 1997 dell'Organizzazione marittima internazionale (IMO) e riconosciuta da tutti i paesi che gestiscono le flotte mercantili [7]. Per quanto riguarda le emissioni dei motori diesel, il regolamento riguarda le emissioni di SO_x , NO_x e VOC per le quali persegue i seguenti obiettivi:

- Riduzione del 30% delle emissioni di NO_x dei motori diesel di nuova costruzione rispetto a quelli costruiti negli anni novanta [8] (Fig. 3).
- Limitazione allo 0,1% entro il 2015 della quantità di zolfo nei combustibili grazie all'istituzione di una Area di controllo delle emissioni di zolfo controllate (SECA), comprendente progressivamente il Mar Baltico (2005), il Mare del Nord e la Manica (2006), il Nord America e le Hawaii (2012), Porto Rico e Isole Vergini (2014) e, entro il 2020, Mar Mediterraneo, Alaska, Messico, Giappone, Australia, Singapore e Hong Kong; al di fuori del SECA il limite di zolfo è del 3,5% dal 2012 e dello 0,5% a partire dal 2020, imponendo di

Dimensioni massime delle varie classi di navi da crociera
Maximum dimensions of various classes of cruise ships

Classe Class	Lunghezza max [m] Maximum length [m]	Profondità max [m] Maximum width [m]
A	200	25
B	240	30
C	280	35
D	320	40
E	362	47

sponding to Post Panamax and Post Panamax II container classes. Class E is for the largest navigating cruise ships, corresponding to New Panamax. The extreme classes A and E have today only limited presence in the world fleet.

2.4. Environmental regulations

The regulation of the emissions due to maritime traffic is subject of the MARPOL 73/78 (MARine POLLution) issued in 1997 by the International Maritime Organization (IMO) and recognized by the totality of countries managing merchant fleets [7]. With reference to the emissions of Diesel engines, the regulation deals with the emissions of SO_x , NO_x and VOC pursuing the following objectives:

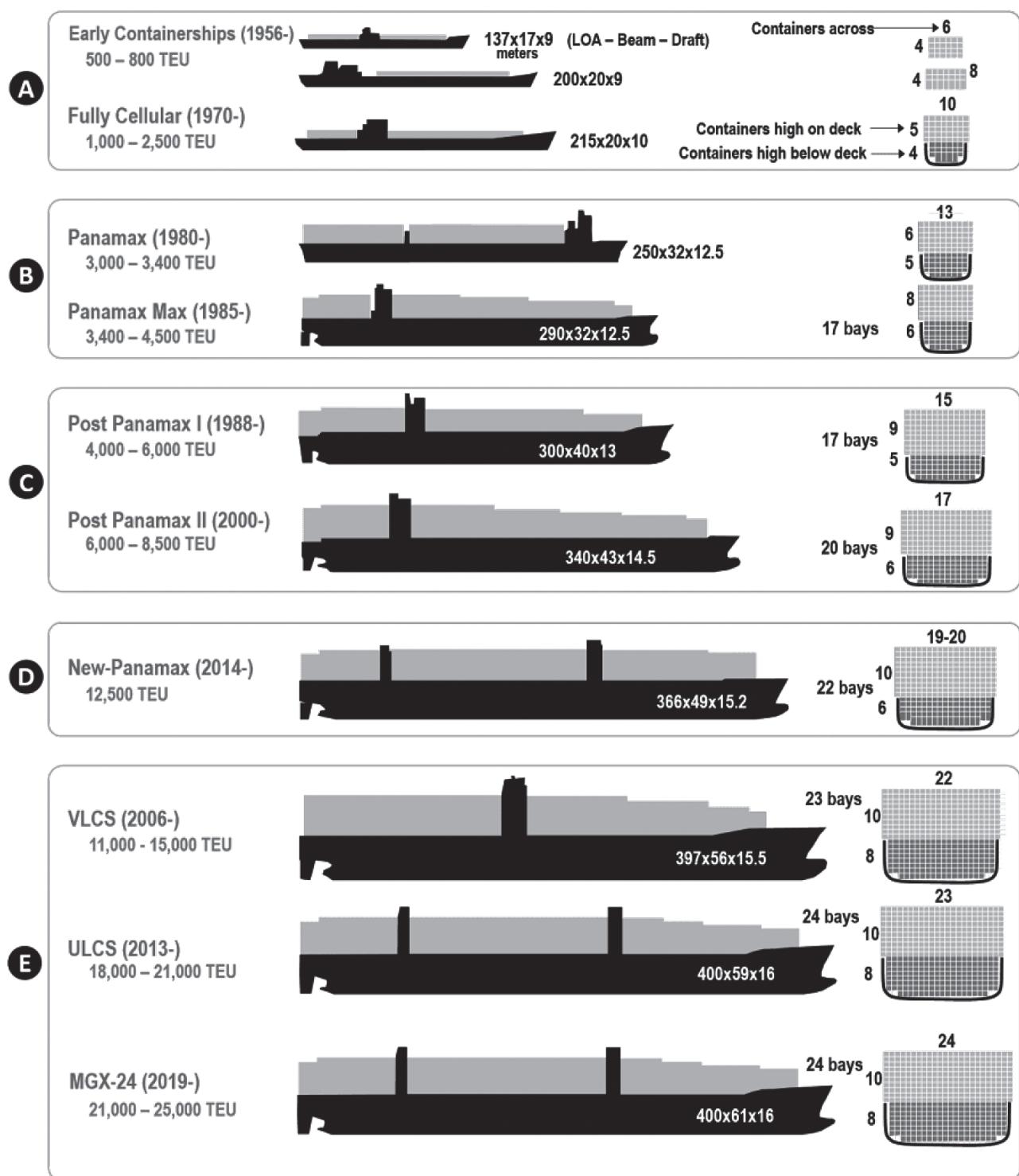
- 30% reduction of NO_x emissions of new built Diesel engines in comparison with those built in nineties [8] (Fig. 3).
- Limitation to 0.1% by 2015 of sulphur quantity in fuels by the institution of a Sulphur Emission Control Area (SECA), progressively including the Baltic Sea (2005), the North Sea and the Channel Tunnel (2006), North America and Hawaii (2012), Porto Rico e Virgin Islands (2014) and, by 2020, Mediterranean Sea, Alaska, Mexico, Japan, Australia, Singapore and Hong Kong; outside SECA the sulphur content limit is 3.5% since 2012 and 0.5% starting from 2020, by factually imposing the use of the Marine Gas Oil (MGO) in substitution of the Marine Diesel Oil (MDO) [9][10] (Fig. 4).
- Ban of emissions in the environment of Hydro-Fluorocarbon (HFC), aggressive for the atmospheric ozone.

A following amendment (October 2008) fixed temporal deadlines for emissions until 2020, management plan of VOC emissions for tanker ships and energetic efficiency of ships (EEDI SEEMP for CO_2). The specific emissions of SO_x [g/kWh] increases by the specific fuel consumption and the sulphur content in it; moreover, the sulphur content in fuel has also an indirect effect on the particulate matter emission. Concerning the NO_x emissions, the technical codes fix the procedures for the certification of marine Diesel engines in compliance with specified emissions limits, the rotation speed and the installation year.

3. Methodology

The scope is to setup a simple and flexible methodology based on reliable and updated data easily collectable from public databases.

The first step is to qualify the navigating fleets by analyzing a significant sampling of them capable to represent the variety of propulsions, engine and navigation features [11]. Therefore, the



(Fonte – Source: [6])

Figura 1 – Dimensioni tipiche delle navi portacontainer [m] (LFT = lunghezza totale).

Figure 1 – Typical dimensions of container ships [m] (LOA = total length).

fatto l'uso del gasolio marino (MGO) in sostituzione del gasolio marino (MDO) [9][10] (Fig. 4).

- Divieto di emissioni nell'ambiente di Hydro-Fluorocarbonio (HFC), aggressivo per l'ozono atmosferico.

Una modifica successiva (ottobre 2008) ha fissato le scadenze temporali per le emissioni fino al 2020, il piano di gestione delle emissioni di VOC per le navi cisterna e l'efficienza energetica delle navi (EEDI SEEMP per la CO₂). Le emissioni specifiche di SO_x [g/kWh] aumentano a causa del consumo specifico di carburante e del tenore di zolfo in esso contenuto; inoltre, il tenore di zolfo nei combustibili ha anche un effetto indiretto sull'emissione di particolato. Per quanto riguarda le emissioni di NO_x, i codici tecnici fissano le procedure per la certificazione dei motori diesel per uso marittimo conformemente ai limiti di emissione specificati, alla velocità di rotazione dei motori e all'anno di installazione.

3. Metodologia

Lo scopo è quello di impostare una metodologia semplice e flessibile basata su dati affidabili e aggiornati, facilmente reperibili dalle banche dati pubbliche.

Il primo passo consiste nel qualificare le flotte di navigazione analizzandone un campione significativo in grado di rappresentare la varietà di propulsioni, motore e caratteristiche di navigazione [11]. Pertanto, lo studio si basa su un'indagine sistematica nei luoghi più frequentati (canali, stretti, capi, arcipelagi e porti) per massimizzare la sua rappresentatività rispetto alla flotta mercantile globale. Per gli stessi scopi, le aree di indagine selezionate hanno una copertura mondiale [12] (Fig. 5, Fig. 6 e Tab. 2).

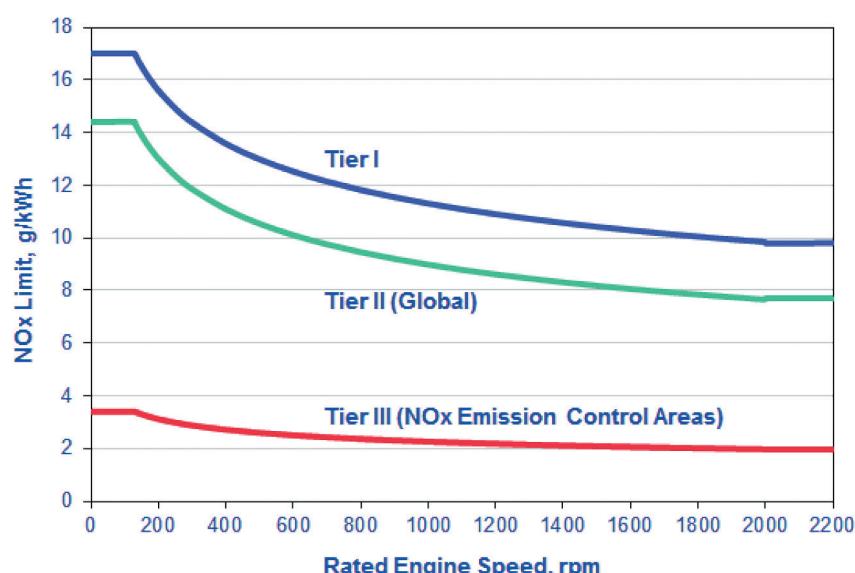
Il processo di rilevamento comprende una raccolta di dati gestita da sistemi di monitoraggio interattivi basati su ricevitori AIS, principalmente *Marinetraffic* (www.marinetraffic.com), opzionalmente integrato da *Vesselfinder* (www.vesselfinder.com). Per ogni nave, la banca dati raccolta comprende: nome, ultimo porto, de-



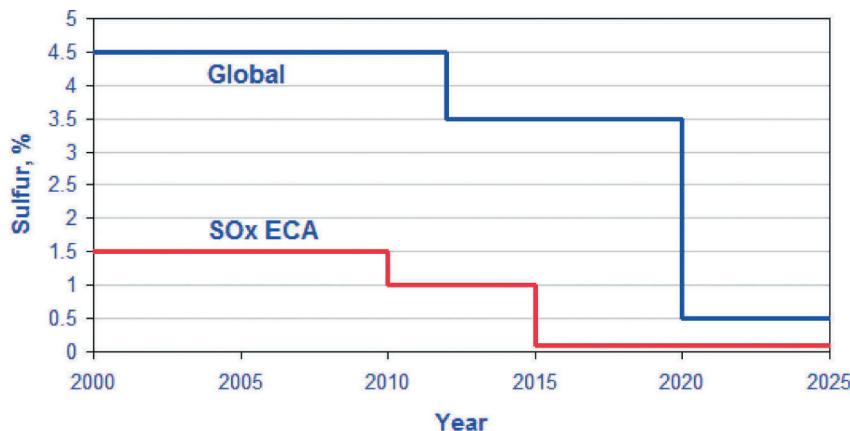
(Fonte – Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Agua_clara_locks_09_2019_0822.jpg)

Figura 2 – Nuovo canale di Panama.
Figure 2 – New Panama Channel.

study is basing on a systematic investigation in the most frequented locations (channels, straits, capes, archipelagos and ports) to maximize its representativeness comparatively to the global merchant fleet. For the same purposes, the selected investigation areas have a worldwide coverage [12] (Fig. 5, Fig. 6 and Tab. 2).



(Fonte – Source: [8])
Figura 3 – Limiti di emissioni di NO_x e velocità di rotazione imposti dalla MARPOL.
Figure 3 – NO_x limits emissions vs. rotation speed imposed by MARPOL.



(Fonte – Source: [9])

Figura 4 – Limitazione progressiva del contenuto di zolfo imposta dalla convenzione MARPOL

Figure 4 – Progressive limitation of sulphur content imposed by MARPOL.

stinazione, bandiera, lunghezza, larghezza, pescaggio, velocità massima di crociera, capacità di carico (TEU, passeggeri, equipaggio), potenza, consumo medio, tipologia di motore, anno di immatricolazione, stazza lorda e netta, spostamento estivo, codice IMO.

Le indagini hanno riguardato un periodo di 15 giorni, con una copertura finale di 300 navi container su 5200 (6%) e 118 navi da crociera su circa 400 (29%). È ovviamente possibile estenderlo nel tempo e nello spazio, anche se l'incremento marginale si ridurrebbe a causa della

The detection process includes a data collection operated by interactive monitoring systems basing on AIS receivers, mainly Marinetrace (www.marinetraffic.com), optionally integrated by VesselFinder (www.vesselfinder.com). For each ship, the collected database includes: name, last called port, destination, flag, length, width, draught, maximum cruise speed, loading capacity (TEU, passengers, crew), power, average consumption, engine typology, matriculation year, gross and net tonnage, summer displacement, IMO code.

The investigations covered a period of 15 days, with a final coverage of 300 containers ship over about 5200 (6%) and 118 cruise ships over about 400 (29%). It is obviously possible to extend it in time and space, though the

marginal increase would decrease due to the higher probability to meet the same ships in a different time or location. Nevertheless, the set target-sampling rate was 5%, therefore the results are both acceptable to proceed with the next step. Moreover, the sampling representativeness is higher than proportional to their number, thanks to the nature of the sampling, based on actual navigating ships detected during navigation. With reference to classes identified in Fig. 1 for container ships and in Tab. 1 for cruise ships, the resulting distribution of samplings is according to Fig. 7.

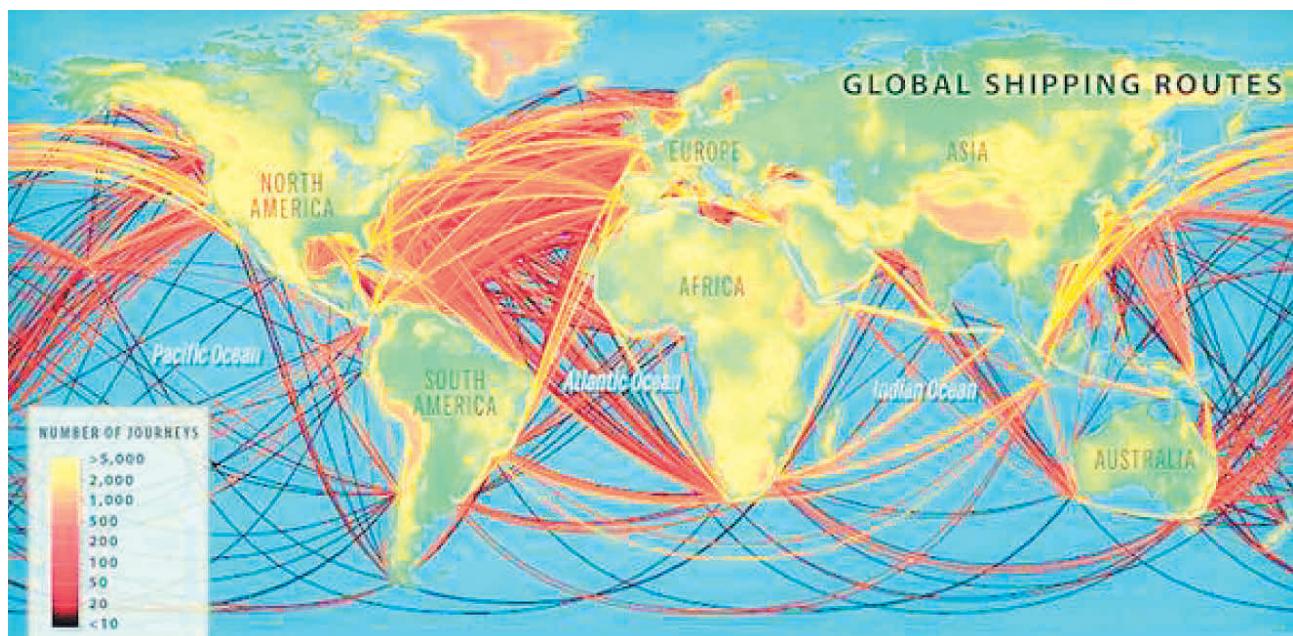
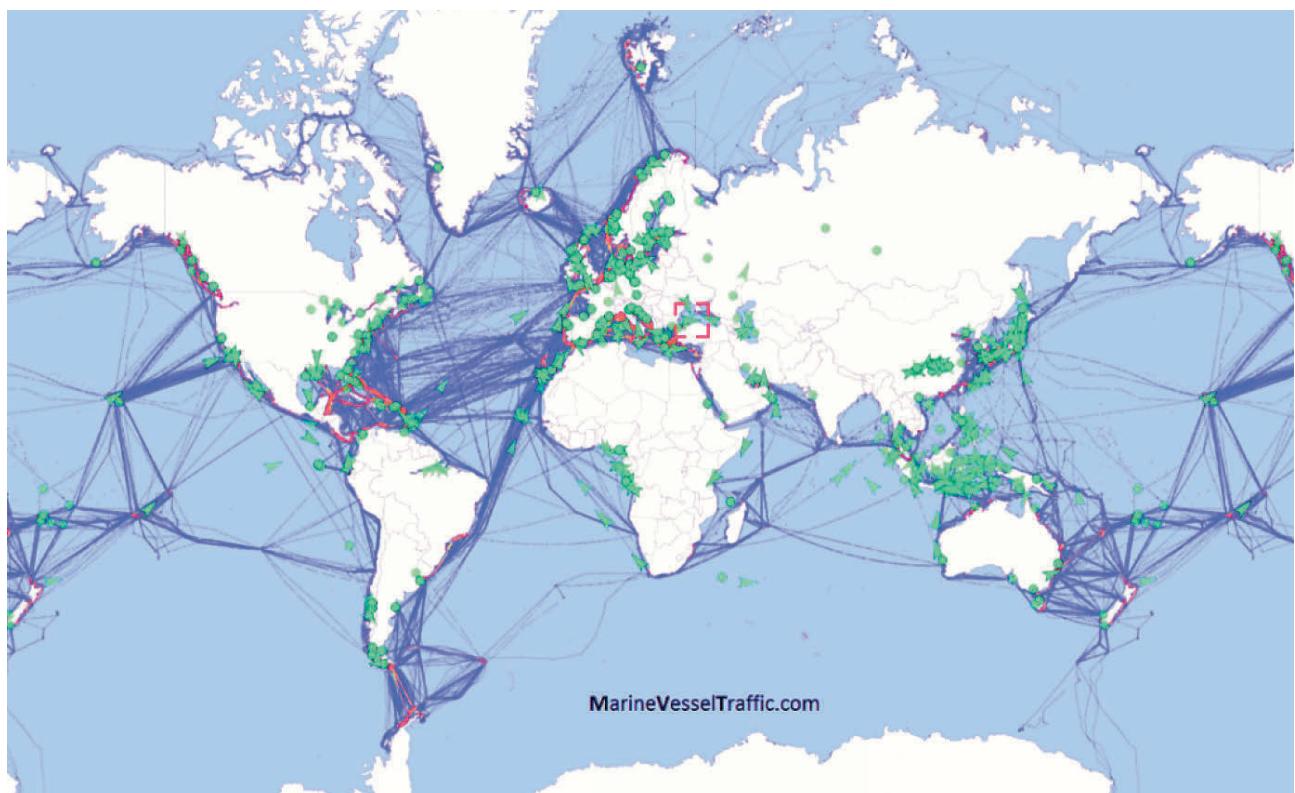


Figura 5 – Schizzo visivo delle rotte navali più frequentate [12] (Licenza: CC BY-NC-ND 4.0).

Figure 5 – Visual sketch of most frequented ships routes [12] (License: CC BY-NC-ND 4.0).



(Fonte – Source: <https://www.marinevesseltraffic.com/2013/06/vessel-cruise-finder.html>)

Figura 6 – Aree più frequentate al mondo da navi da crociera nel luglio 2019.
Figure 6 – Worldwide most frequented cruise ships areas in July 2019.

maggior probabilità di incontrare le stesse navi in tempi e luoghi diversi. Tuttavia, l'obiettivo di campionamento era del 5%, pertanto i risultati sono entrambi accettabili per procedere con la fase successiva. Inoltre, la rappresentatività del campionamento è più che proporzionale al suo numero, grazie alla natura del campionamento, basato sulle navi rilevate durante la navigazione. Con riferimento alle classi identificate nella Fig. 1 per le navi portacontainer e nella Tab. 1 per le navi da crociera, la distribuzione dei campionamenti risultante è conforme alla Fig. 7.

Le seguenti fasi metodologiche comprendono:

- Analisi incrociata tra i parametri rilevanti, con particolare attenzione alla potenza, al carico (tonnellate e passeggeri) e all'anno di immatricolazione.
- Classificazione delle navi in diverse

Tabella 2 – Table 2

Aree di indagine per le navi da container e da crociera
Aree di indagine per le navi da container e da crociera

Navi container <i>Container ships</i>	Crociera <i>Cruise ships</i>
Canale di Panama <i>Panama Channel</i>	Porto di Miami <i>Port of Miami</i>
Stretto di Gibilterra <i>Gibraltar Strait</i>	Porto di Canaveral <i>Port of Canaveral</i>
Canale di Suez <i>Suez Channel</i>	Porto di Cozumel <i>Port of Cozumel</i>
Capo di Buona Speranza <i>Good Hope Cape</i>	Porto di Shanghai <i>Port of Shanghai</i>
Porto di Singapore <i>Port of Singapore</i>	Porto di George Town <i>Port of George Town</i>
Stretto di Hormuz <i>Hormuz Strait</i>	Porto di Southampton <i>Port of Southampton</i>
	Porto di Venezia <i>Port of Venice</i>
	Porto di Sydney <i>Port of Sydney</i>

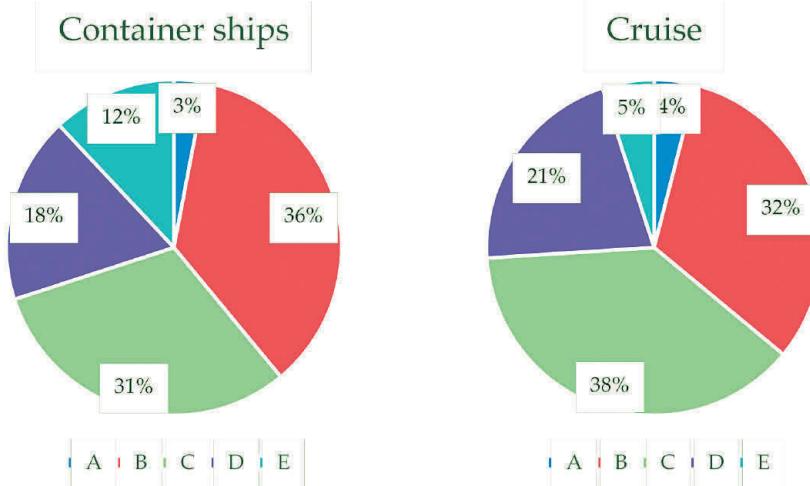


Figura 7 – Distribuzione delle navi monitorate per classe.
Figure 7 – Distribution of monitored ships by classes.

classi qualificate per età media e consumo energetico.

- Equivalenza tra navi di classi diverse in termini di capacità di carico.
- Livelli di emissione per ciascuna classe, sulla base della guida EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook [13] e dei fattori di emissione del terzo studio IMO 2014 sui gas a effetto serra [14].

4. Applicazione del metodo

4.1. Classificazione

Le tendenze emerse dall'indagine evidenziano il progressivo aumento della potenza e della capacità di trasporto, nonché la diminuzione della potenza specifica [kW/t]. Per le navi portacontainer, l'aumento medio annuo nel periodo di 30 anni (date di registrazione delle navi individuate 1986-2016) è di 1600 kW e 400 TEU; nello stesso periodo e per lo stesso insieme di campionamento, la potenza specifica scende da circa 9 kW/TEU (con capacità fino a 6000 TEU) fino a 5 kW/TEU (con capacità superiore a 14000 TEU) (Tab. 3). Per le navi da crociera, la diminuzione rilevata è da 17 kW/persona (con una capacità di circa 700 persone) a 12 kW/persona (con una capacità di oltre 6000 persone) (Tab. 4).

The following methodological steps include:

- Cross analysis among relevant parameters, with specific focus on power, load (tons and passengers) and matriculation year
- Classification of ships in different classes qualified by average age and energy consumption.
- Equivalence among ships of different classes in terms of loading capacity.
- Emissions levels for each class, basing on EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook [13] and emission factors from Third IMO Greenhouse Gas Study 2014 [14].

Tabella 3 – Table 3

Valori medi tipici per classi di navi container
Typical average values by container ship classes

Classe / Ship class	Potenza propulsiva [kW] Propulsion Power [kW]	Capacità [TEU] Capacity [TEU]	Potenza specifica [kW/TEU] Specific power [kW/TEU]
A	5806	623	9.32
B	15811	1838	9.29
C	40180	4323	9.30
D	58869	9215	6.38
E	65596	14415	4.55

Tabella 4 – Table 4

Valori medi tipici per navi da crociera
Typical average values by cruise ship classes

Classe / Ship class	Potenza propulsiva [kW] Propulsion Power [kW]	Capacità [TEU] Capacity [TEU]	Potenza specifica [kW/TEU] Specific power [kW/TEU]
A	11260	678	16.62
B	40420	2671	15.13
C	55683	3514	15.84
D	73145	5325	13.73
E	77690	6383	12.17

In termini di capacità, i confronti tra i valori medi delle classi mostrano il numero equivalente di navi delle classi inferiori richieste per caricare:

- la quantità di TEU della classe superiore: ad es. il valore 23,1 per la classe AE significa che 23,1 navi della classe A sono equivalenti a 1 nave della classe E in termini di capacità TEU (Fig. 8);
- la quantità di persone (passeggeri ed equipaggio) della classe superiore: ad es. il valore 9,4 per la classe AE significa che 9,4 navi della classe A sono equivalenti a 1 nave della classe E in termini di persone (passeggeri ed equipaggio) (Fig. 9).

4.2. Calcolo delle emissioni

L'analisi sopra trattata lascia aperta la questione se le grandi navi abbiano un minore impatto ambientale, unendo livelli di emissioni più elevati con una maggiore capacità di carico. L'analisi si concentra sulle emissioni dei motori principali, che rappresentano la maggior parte dei volumi di emissioni globali, in linea con il livello approssimativo dello studio.

La considerazione di forfait additivi può consentire di tenere conto, se rilevante, delle emissioni prodotte dai motori ausiliari, qualora questi funzionino indipendentemente dai motori principali. Di norma non è il caso delle navi da crociera, a propulsione elettrica, in cui la produ-

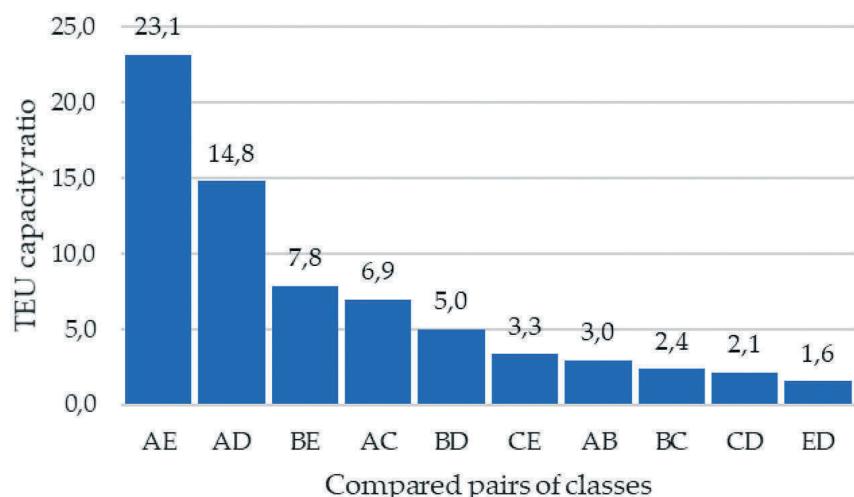


Figura 8 – Rapporto tra la capacità media delle navi portacontainer in TEU per coppia di classi.

Figure 8 – Ratio among average capacity of container ships in TEU by pair of classes.

4. Methodology application

4.1. Classification

The trends emerging from the investigation highlight the progressive increase of power and transport capacity, as well as the decrease of specific power [kW/t]. For the container ships, the average annual increase in the 30 years' period (detected ships' registration dates 1986-2016) is 1600 kW and 400 TEU; in the same period and for the same sampling set, the specific power falls down from about 9 kW/TEU (with capacity up to 6000 TEU) to 5kW/TEU (with capacity over 14000 TEU) (Tab. 3). For the cruise ships, the detected decrease is from 17 kW/person (with capacity of about 700 persons) to 12 kW/person (with capacity over 6000 persons) (Tab. 4).

In terms of capacity, the comparisons among the average values of the classes show the equivalent number of ships of the lower classes required to load:

The quantity of TEU of the higher class: e.g. the value 23,1 for the AE class means that 23,1 ships of class A are equivalent to 1 ship of class E in terms of TEU capacity (Fig. 8);

The quantity of persons (passengers and crew) of the higher class: e.g. the value 9,4 for the AE class means that 9,4 ships of class A are equivalent to 1 ship of class E in terms of persons (passengers and crew) (Fig. 9).

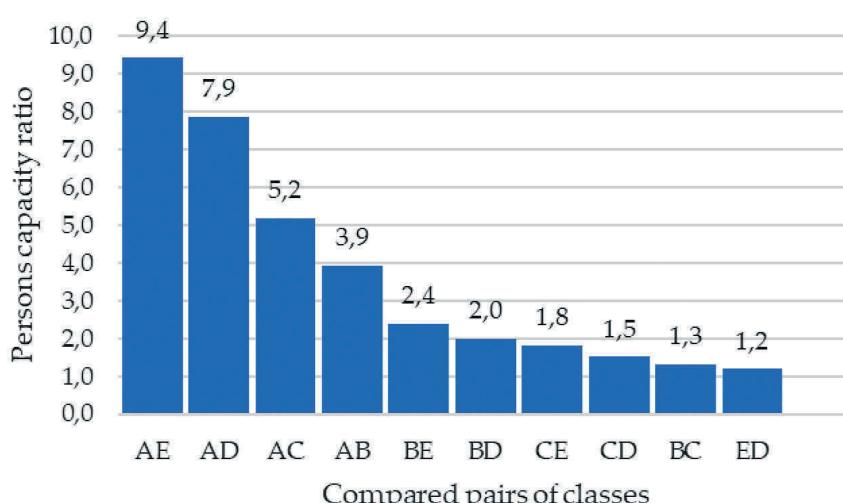


Figura 9 – Rapporto tra la capacità media delle navi da crociera in persone per coppia di classi.

Figure 9 – Ratio among average capacity of cruise ships in persons by pair of classes.

Tabella 5 – Table 5

Fattori di emissione differenziati per inquinanti e regimi motore
Emission Factors differentiated by pollutants and engine regimes

EF degli inquinanti <i>EF of pollutants</i>		[kg/t]	Unità delle flotte indagate <i>Units in the investigated fleet</i>	
CO ₂		3114.00		
NO _x	Livello I (costruite dopo il 2000) <i>Tier I (built after 2000)</i>	65.12	212	74%
	Livello II (costruite dopo il 2011) <i>Tier II (built after 2011)</i>	60.47	69	24%
	Livello III (costruite dopo il 2016) <i>Tier III (built after 2016)</i>	52.09	5	2%
SO _x		52.78		
PM		6.65		

zione di elettricità è simultanea per gli ausiliari e la propulsione stessa.

I dati di partenza per il calcolo delle emissioni sono la potenza installata e il consumo di carburante secondo la guida EMEP/EEA *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* [14], recentemente aggiornata. I fattori di emissione (EF) derivano dal terzo studio dell'IMO sui gas a effetto serra [13], ulteriormente elaborato nel [15].

La Tab. 5 fornisce il rapporto tra le quantità emesse di principali inquinanti e la quantità di combustibile consumato [kg/t] a seconda delle velocità di crociera tipiche (lenta, media e alta) e della tipologia del combustibile stesso.

La formula applicata è:

$$E(y) = EF(\text{main}) \cdot C(x)$$

Dove:

- $E(y)$: Emissioni della sostanza inquinante y [kg/giorno].
- EF (principale): fattori di emissione [kg/t] per i motori principali.
- $C(x)$: consumo giornaliero di combustibile per x nave [t/giorno].

Per quanto riguarda le emissioni di NO_x, le EF sono diverse perché la normativa MARPOL 73/78 impone limiti di emissione in funzione della velocità di rotazione dei motori installati e del loro anno di installazione, in coincidenza con l'entrata in servizio delle nuove navi. Le flotte considerate nel presente studio comprendono una grande maggioranza (74%) di navi costruite prima del 2011 e solo una piccola quantità (2%) di navi costruite dopo il 2016.

4.2. Emissions calculation

The analysis mentioned above leaves open the question of whether large ships have a lower environmental impact, joining higher emissions levels with higher load capacity. The analysis is focusing on emissions from main engines, which represent the large majority of the global emission volumes, in line with approximation level of the study. The consideration of forfeit additive quantity can allow taking into account, wherever relevant, the emissions from auxiliary engines, where working separately from main engines, which is normally not the case for electrically propelled cruise ships where the electricity production is simultaneous for auxiliaries and the propulsion itself.

The starting data for the calculation of emissions are the installed power and the fuel consumptions according to the recently updated EMEP/EEA *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* [14]. The Emission Factors (EF) comes from the Third IMO Greenhouse Gas Study [13], further elaborated in [15].

Tab. 5 is providing the ratio between emitted quantities of main pollutants and quantity of consumed fuel [kg/t] depending on the typical cruise speeds (slow, medium and high) and the typology of the fuel itself.

The applied formula is:

$$E(y) = EF(\text{main}) \cdot C(x)$$

Where is:

- $E(y)$: Emissions of the pollutant y [kg/day];
- EF (main): Emission Factors [kg/t] for the main engines;
- $C(x)$: daily consumption of fuel for x ship [t/day].

For NO_x emissions, the EF are different because the

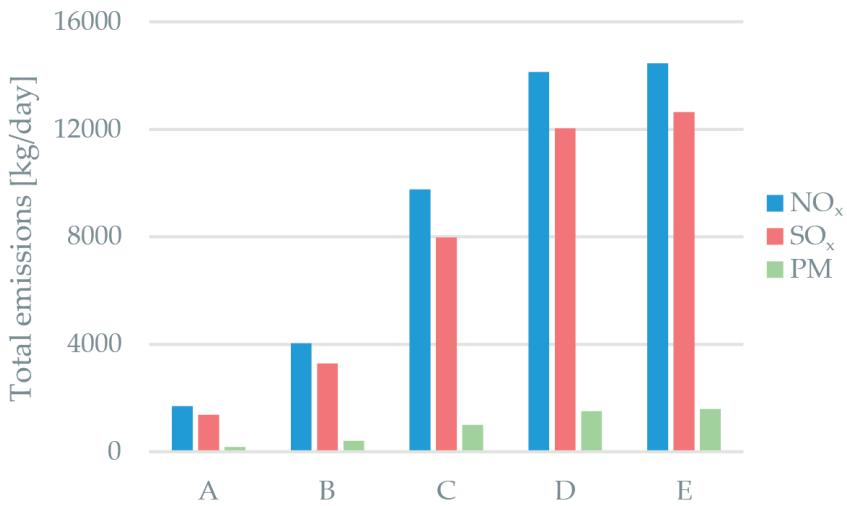


Figura 10 – Emissioni totali di NO_x, SO_x e PM per classe di navi portacontainer [kg/giorno].

Figure 10 – Total emissions of NO_x, SO_x and PM by container ship class [kg/day].



Figura 11 – Emissioni specifiche di NO_x, SO_x e PM per classe di navi portacontainer [kg/giorno/TEU].

Figure 11 – Specific emissions of NO_x, SO_x and PM by container ship class [kg/day/TEU].

Diversi approcci di valutazione stanno comunque ottenendo risultati simili per inquinanti specifici [16]. Su questa base, è possibile il calcolo, per la nave tipica di ciascuna classe, delle emissioni giornaliere totali (Fig. 10, Fig. 12, Fig. 14a e Fig. 15a) e delle emissioni per unità di traffico (Fig. 11, Fig. 13, Fig. 14b e Fig. 15b) e, a fini comparativi, la variazione delle emissioni inquinanti (V) mediante l'espressione:

$$V = \left[\frac{u}{i \cdot z} - 1 \right] \cdot 100$$

MARPOL 73/78 normative impone emissioni limiti secondo la velocità di rotazione degli motori installati e l'anno di installazione, coincidendo con l'entrata in servizio per le nuove navi. Le flotte considerate nel presente studio comprendono la maggioranza (74%) di navi costruite prima del 2011 e solo una piccola quantità (2%) di navi costruite dopo il 2016).

Different assessment approaches are anyway achieving similar results for specific pollutants [16]. On this basis, it is possible the calculation, for the typical ship of each class, of total daily emissions (Fig. 10, Fig. 12, Fig. 14a and Fig. 15a) and emissions per traffic unit (Fig. 11, Fig. 13, Fig. 14b and Fig. 15b) and, for comparative purposes, the variation of the pollutants emissions (V) by means of the expression:

$$V = \left[\frac{u}{i \cdot z} - 1 \right] \cdot 100$$

Where i is the lower class, z is the number of ships equivalent to the higher class in terms of carrying capacity and u the emissions of the reference class.

The resulting trends are largely stable, some deviations exist but they are justifiable by the prevalent age of ships in different classes: e.g., class B container ships (Panamax) are normally less consuming and polluting, at least for the lower resistances due to waves generation, thanks to the thinness of their typically longer hull.

Moreover, a correlation exist among the dimension of the ships, their age and their pollutant potentials

in the sense that, in terms of average values, a smaller ship is normally older and more pollutant due to its outdated propulsion systems.

From the results obtained, it is possible to derive that:

- For the same quantity of loaded TEU, the bigger container ships produce fewer pollutants (e.g. from class A to class E the average reduction is about 60%);
- For the same quantity of persons on-board, the bigger cruise ships produce fewer pollutants (e.g. from class A to class E the average reduction is about 23%).

Dove i è la classe inferiore, z è il numero di navi equivalenti alla classe superiore in termini di capacità di carico e u le emissioni della classe di riferimento.

Le tendenze risultanti sono in gran parte stabili, alcune deviazioni esistono ma sono giustificabili dall'età prevalente delle navi in diverse classi: ad esempio, le navi portacontainer di classe B (Panamax) sono di norma meno inquinanti e consumano meno, almeno per le resistenze inferiori dovute alla generazione di onde, grazie alla magrezza del loro scafo tipicamente più lungo.

Inoltre, esiste una correlazione tra le dimensioni delle navi, la loro età e il loro potenziale inquinante, cioè che, in termini di valori medi, una nave più piccola è normalmente più vecchia e più inquinante a causa dei suoi sistemi di propulsione obsoleti.

Dai risultati ottenuti è possibile desumere che:

- per la stessa quantità di TEU caricate, le navi portacontainer più grandi producono meno inquinanti (ad es. dalla classe A alla classe E la riduzione media è di circa il 60%);
- per la stessa quantità di persone a bordo, le navi da crociera più grandi producono meno inquinanti (ad es. dalla classe A alla classe E la riduzione media è di circa il 23%).

5. Conclusioni

Negli ultimi 30 anni, le dimensioni delle navi hanno registrato un enorme aumento della capacità di carico: fino a 23 volte i valori originali per le navi portacontainer e fino a 9 volte per le navi da crociera.

Ulteriori sviluppi nella direzione della diffusione di navi giganti si stanno verificando anche nel settore dei container, dove gli obiettivi di 500 m di lunghezza e 30.000 TEU di capacità sembrano raggiungibili in un ragionevole lasso di tempo, come conseguenza del gran numero di nuove navi (ulteriori 68 entro il 2026) entrare in servizio.

Nello stesso periodo si è verificato un corrispondente aumento delle prestazioni ambientali ed energetiche delle navi, grazie ad incentivi economici e normativi limitanti

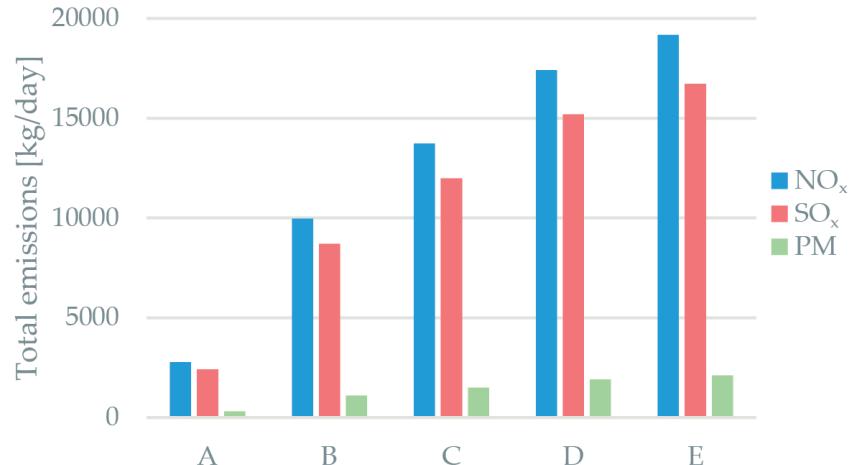


Figura 12 – Emissioni totali di NO_x, SO_x e PM per classe di navi da crociera [kg/giorno].

Figure 12 – Total emissions of NO_x, SO_x and PM by cruise ship class [kg/day].

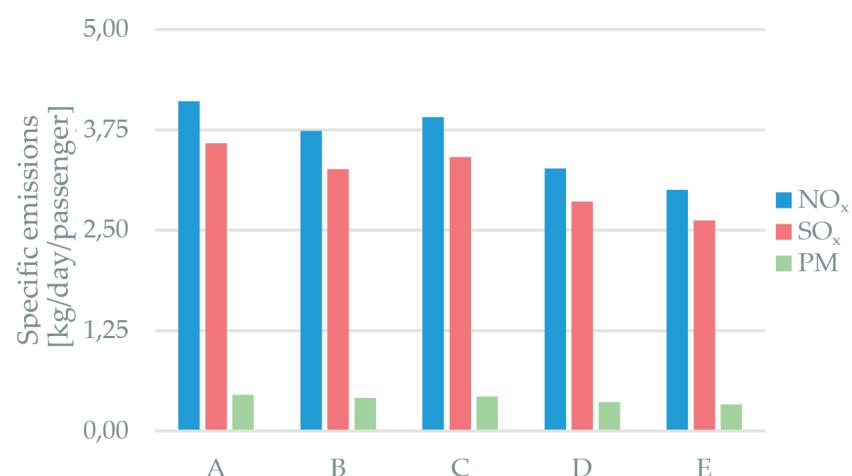


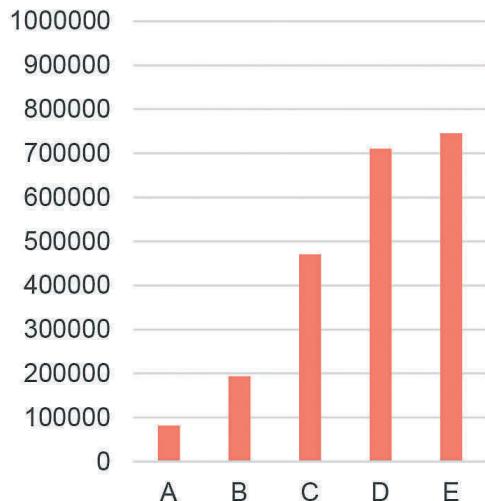
Figura 13 – Emissioni specifiche di NO_x, SO_x e PM per classe di navi da crociera [kg/giorno/persona].

Figure 13 – Specific emissions of NO_x, SO_x and PM by cruise ship class [kg/day/person].

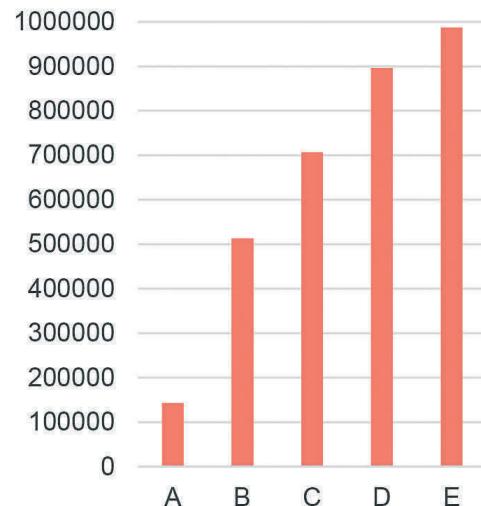
5. Conclusions

In the last 30 years, the dimensions of ships experienced a tremendous increase of loading capacity: up to 23 times the original values for container ships and up to 9 times for cruise ships.

Further developments in the direction of giant ships diffusion are also appearing both in container sector, where the targets of 500 m in length and 30,000 TEU in capacity seems to be achievable in a reasonable amount of years, as



a) Container
a) Container



b) Crociere
b) Cruise

Figura 14 – Emissioni specifiche di CO₂ per classe [kg/giorno].
Figure 14 – Specific emissions of CO₂ by ship class [kg/day].

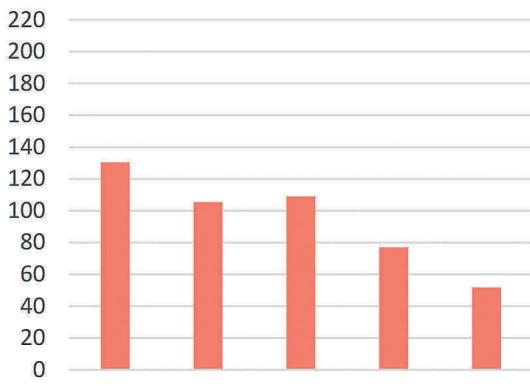
le emissioni. Si potrebbe sperimentare un'ulteriore accelerazione introducendo:

- combustibili meno inquinanti, come il GNL [17], il biodiesel e il metanolo;
- idrogeno ed energie rinnovabili [18]: ad es. l'esperienza di *Skysails* nella produzione di vele simili a quelle utilizzate per il kitesurf e collegate da cavi a navi ad un livello di 100-300 m ha mostrato un risparmio energetico raggiungibile nel range 10-35%.

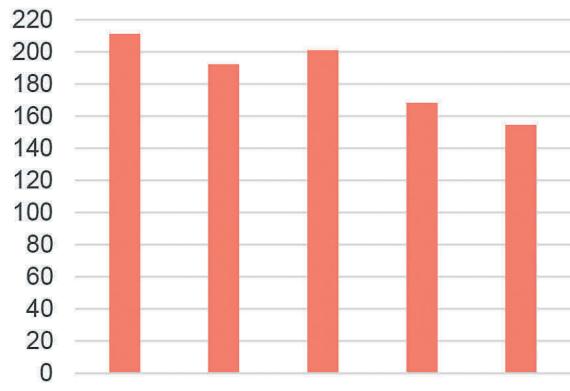
a consequence of the large number of new ships (68 by 2026) going to enter into service.

In the same period, a corresponding increase in environmental and energetic performances of ships took place, thanks to economic incentives and normative restricting the emissions. It could experience a further acceleration by the introducing:

- *Less pollutant fuels, such as LNG [17], bio-diesel and methanol;*



a) Container [kg/giorno/TEU]
a) Container [kg/day/TEU]



b) Crociere [kg/giorno/persona]
b) Cruise [kg/day/person]

Figure 15 – Emissioni specifiche di CO₂ per classe.
Figure 15 – Specific emissions of CO₂ by ship class.

POLITICA E ECONOMIA

Al contrario, l'improvvisa evoluzione delle dimensioni delle navi ha costretto ad adeguate infrastrutture portuali, con le evidenti difficoltà dovute alla lunga durata e alle esigenze finanziarie richieste da questo processo. La ricerca ha dimostrato come le navi più grandi e tecnologicamente più avanzate siano in grado di fornire vantaggi in termini di emissioni in relazione alla loro capacità di carico. Ulteriori vantaggi potrebbero derivare dall'applicazione di sistemi di post-trattamento delle emissioni di gas di scarico, come discusso in [19]. Tuttavia, la necessità di modelli di gestione e analisi delle dei costi del ciclo di vita, compresi i prezzi ombra per l'internalizzazione dei costi esterni, ad esempio secondo [20] e [21], è strettamente necessaria.

Dal punto di vista operativo, i potenziali inconvenienti della crescente dimensione sono nel campo della manovrabilità e dell'accessibilità per il carico/scarico di container e imbarco/discesa di passeggeri, in particolare in caso di evacuazione di emergenza. Tutti questi aspetti richiedono ulteriori sviluppi della ricerca per procedere verso un processo decisionale più informato e consolidato.

Attualmente sono in corso soluzioni basate sulla combinazione di misure tecnologiche, operative e normative, tenendo conto degli impatti potenziali dell'aumento dei flussi di merci e passeggeri sulle città costiere circostanti e del sensibile ambiente naturale costiero, ad es. quelli esemplificati in [22][23][24][25].

In questo contesto, la metodologia proposta è molto flessibile e riproducibile, in modo che possa essere utile in una vasta gamma di applicazioni (ad es. diverse tipologie di flotte), con un'importante copertura geografica e stocastica. Pertanto, può essere un pilastro di riferimento per lo sviluppo di metodi di previsione e analisi di sensibilità finalizzati a valutare l'efficacia delle politiche, l'introduzione di tecnologie e l'attuazione di regole e regolamenti.

Il livello di precisione del lavoro sembra compatibile con gli obiettivi di cui sopra. Tuttavia, ulteriori sviluppi della ricerca potrebbero aumentare l'accuratezza dei risultati.

In particolare, la segmentazione delle classi delle navi consentirebbe di creare un collegamento più preciso e robusto tra i parametri dimensionali, i parametri di portata, le prestazioni dei motori e dei sistemi di propulsione, fattori di consumo e di emissione risultanti da misurazioni sperimentali e in servizio.

- *Hydrogen and renewable energies [18]: e.g. the Skysails experience producing sails similar to those used for kitesurf and linked by cables to ships at a level of 100-300 m showed reachable energy saving in the range 10-35%.*

On the opposite, the sudden evolution of ship dimensions forced to adequate port infrastructures, with the obvious difficulties due to the extensive duration and financial needs required by this process. The research demonstrated how the biggest and the most technologically advanced ships are capable to provide with advantages in terms of emissions in relation to their loading capacity. Further advantages could derive from the implementation of post-treatment systems of exhaust emissions, as discussed in [19]. Nevertheless, the need of management models and life cycle costs analysis including shadow prices for the internalization of external costs, e.g. according to [20] and [21], is strictly necessary.

From operational viewpoint, potential drawbacks of the increasing dimension are in the field of the maneuverability and the accessibility for loading/unloading containers and boarding/alighting passengers, particularly in case of an emergency evacuation. All these aspects need further research developments to proceed towards a more informed and consolidated decision process.

At the moment, solutions based on combination of technological, operational and normative measures are ongoing, taking into account the potential impacts of the increasing flows of goods and passengers on the coastal cities surrounding ports and the sensible natural coastal environment, e.g. those exemplified in [22][23][24][25].

In this context, the proposed methodology is very flexible and reproducible, so that it can be useful in a large set of applications (e.g. various fleets' typologies), with important geographic and stochastic coverage. Therefore, it can be a reference pillar for the development of forecast methods and sensitivity analysis aimed at evaluating the effectiveness of policies, the introduction of technologies and the implementation of rules and regulation.

The level of accuracy of the work appears compatible with the targets above. Nevertheless, further research developments could increase the accuracy of the results. In particular, the segmentation of the ships' classes would allow at creating a more accurate and robust link between dimensional parameters, carrying capacity parameters, engines and propulsion systems performances, consumption and emission factors resulting from experimental and in service measurements.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] BAIK J.S. (2017), "The Study on Impacts of Mega Container ships on Ports". *Pan-Pacific Journal of Supply Chain Management: Applications and Practices* 1-1, pp. 22-40.
- [2] CAPRACE J.D. (2010), "Cost Effectiveness and Complexity Assessment in Ship Design". *PhD Thesis, Université de Liege*, January.
- [3] OECD International Transport Forum (2015), "The Impact of Mega-Ships". *Case-Specific Policy Analysis*.
- [4] HELMY S., SHRABIA A. (2016), "Mega Container Ships, Pros, Cons and Its Implication Recession". *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 6, pp. 284-290.
- [5] ACCIARO M. (2015), "Naval gigantism: limits and rationale". *Maritime Economy, Permanent observatory of SRM on Logistics and Maritime transport economy*, Roma, December.
- [6] RODRIGUE J.P. (2020), "The geography of transport systems" – Fifth Edition. *Routledge*, New York.
- [7] International Maritime Organization. MARPOL (1997), "International Convention for the Prevention of Pollution from Ships Amended by Resolutions MEPC.111 (50), MEPC.115 (51) and MEPC.116 (51)". London.
- [8] RATA V., GASPAROTTI C., RUSU L. (2017), "The importance of the reduction of air pollution in the Black Sea basin". *Mechanical Testing and Diagnosis*, 9635, (VII), Volume 2, pp. 5-15.
- [9] MANNAN S. A. (2020), "Report on Ship Emissions Sulfur Cap-2020". Ma. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35965.38881>.
- [10] ROTOLI F., CALCAGNO G., ALDA S., GARCIA HORRILLO M., RICCI S., RIZZETTO L. (2019), "Preliminary cost-effectiveness analysis of the measures put in place by EU Member States to implement the directive on reduction of sulphur content in fuels used by ships". *WIT Transactions on the Built Environment*, Vol. 187.
- [11] SUI C., DE VOS P., STAPERSMA D., VISSER K., DING Y. (2020), "Fuel Consumption and Emissions of Ocean-Going Cargo Ship with Hybrid Propulsion and Different Fuels over Voyage". *Journal of Marine Science and Engineering*, 8, 588; doi:10.3390/jmse8080588.
- [12] GALIERIKOVA A., MATERNA M. (2020), "World Seaborne Trade with Oil: One of Main Cause for Oil Spills?" "LOGI 2019 – Horizons of Autonomous Mobility in Europe, *Transportation Research Procedia* 44, 297-304.
- [13] International Maritime Organization (2015), "Third IMO Greenhouse Gas Study 2014 - Executive Summary and Final Report" – London.
- [14] European Environment Agency (2019), "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019" - Technical guidance to prepare national emission inventories - *EEA Report n. 13/2019*. Copenhagen.
- [15] OLMER N., COMER B., BISWAJOY R., XIAOLI M., RUTHERFORD D. (2017), "Greenhouse gas emissions from global shipping", 2013-2015. *The International Council on Clean Transportation (ICCT)*, Washington.
- [16] VEIDENHEIMER K. (2013), "Carbon Dioxide Emission in Maritime Container Transport and comparison of European deep-water ports" - *Anchor Academic Publishing*, Hamburg.
- [17] TNO (2015), "LNG for trucks and ships: fact analysis". *Review of pollutant and GHG emissions. Final*, Delft, February.
- [18] YUAN Y., WANG J., YAN X., SHEN B. (2020), "Long T. A Review of Multi-energy Hybrid Power System Research for Ships". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, October.
- [19] ZIS T., CULLINANE K., RICCI S. (2021), "Economic and environmental impacts of scrubbers investments in shipping: a multi-sectoral analysis", *Maritime Policy & Management*.
- [20] DE BRUYN S., KORTELAND M., MARKOWSKA A., DAVIDSON M., De JONG F., BLES M., SEVENSTER M. (2010), "Shadow Prices Handbook". *Valuation and weighting of emissions and environmental impacts* - CE Delft, March.

- [21] European Commission (2019), “*Handbook on the external costs of transport*”. Version 2019. CE Delft, January.
 - [22] BARBERI S., SAMBITO M., NEDUZHA L., SEVERINO A. (2021), “*Pollutant Emissions in Ports: A Comprehensive Review*”. *Infrastructures*, 6, 114. doi:10.3390/infrastructures6080114.
 - [23] FRANCHI L., VANESLANDER T. (2021), “*Port Greening: Discrete Choice Analysis Investigation on Environmental Parameters. Affecting Container Shipping Companies' Behaviors*”. “*Sustainability 2021*”, 13, 7010. <https://doi.org/10.3390/su13137010>.
 - [24] QUARANTA F., FANTAUZZI M., COPPOLA T., BATTISTELLI L. (2012), “*The Environmental Impact of Cruise Ships in the Port of Naples: Analysis of the Pollution Level and Possible Solutions*”. *Journal of Maritime Research*, Vol IX No. 3.
 - [25] MARINACCI C., MASALA R., RICCI S., TIERI A. (2013), “*Technical-Economical and Financial Analysis of Cold-Ironing: Case study of Cruise Terminal of Port of Venice*”. *Computational Methods in Marine Engineering V – 5th International Conference on Computational Methods in Marine Engineering MARINE*, Hamburg.
-