



Una analisi sulla possibile alternativa di Autostrade del Mare al trasporto “tutto-strada” nell’area Ligure-Tirrenica settentrionale

An analysis on the potential Motorways of the Sea alternative to “all-road” transport in the Ligurian-Northern Tyrrhenian area

Prof. Ing. Marino LUPI^(*)
Dott. Ing. Alessandro FARINA^(*)
Dott. Francesco PILATO^(*)
Prof. Ing. Antonio PRATELLI^(*)

Sommario - In questa memoria è illustrata l’alternativa intermodale, basata su Autostrade del Mare (AdM), rispetto al “tutto-strada”, nell’area costiera del mar Ligure-Tirreno settentrionale. Dopo un’introduzione alle principali caratteristiche delle AdM e alla competitività del trasporto intermodale, basato su AdM, rispetto al “tutto-strada”, è stato affrontato il caso specifico. La ricerca ha evidenziato che, allo stato attuale, l’alternativa intermodale non è per nulla competitiva: sia per i costi monetari, sia per i tempi di viaggio. Sono stati quindi studiati tre scenari di miglioramento. Tutti gli scenari prevedono una introduzione di un ecobonus pari al 25% del biglietto. Inoltre, il primo scenario prevede un’integrazione tariffaria tra i biglietti delle due rotte di AdM che compongono l’itinerario intermodale. Il secondo prevede l’unione delle due rotte, costituenti l’itinerario intermodale, in una unica rotta. Il terzo prevede la realizzazione di rotte di AdM: dirette e completamente nuove. La ricerca svolta ha evidenziato che si può agire sul trasporto intermodale, per renderlo competitivo, in modo relativamente agevole sui costi, sui tempi invece è più difficile.

1. Introduzione

L’area costiera del Mar Ligure-Tirreno settentrionale presenta diversi problemi di viabilità stradale e traffico ferroviario e una rilevante domanda di trasporto merci. In particolare, le due riviere di Ponente e di Levante, ma soprattutto il nodo autostradale di Genova, sono fortemente congestionati, inoltre le autostrade lungo la costa (A10 e A12) sono caratterizzate da carreggiate strette ed hanno un tracciato tortuoso. A questo si aggiunge un territorio orograficamente complesso, per cui diventa tecnicamente difficile, e soprattutto costoso, realizzare nuove

Summary - In this paper, the intermodal alternative, based on Motorways of the Sea (MoS), against “all-road” mode, in the Ligurian sea-northern Tyrrhenian coastal area, is described. After an introduction to the main characteristics of MoS and to the competitiveness of intermodal transport based on MoS, against “all-road” mode, the specific case has been studied. The research has underlined that, currently, the intermodal alternative is not competitive: regarding both monetary costs and travel times. Therefore three improvement scenarios have been studied. All scenarios consider the introduction of an ecobonus contribution, equal to 25% of the ticket price. In addition, the first scenario concerns a fares integration between the tickets of the two MoS routes composing the intermodal path. The second scenario concerns joining the two routes, composing the intermodal path, into one. The third scenario concerns the settlement of point-to-point, and completely new, MoS routes. The research carried out has shown that it is relatively easy to act on monetary costs of intermodal transport, to make it more competitive, while it is more difficult to act on travel times.

1. Introduction

The Ligurian sea-northern Tyrrhenian coastal area shows a relevant freight transport demand and several road and rail mobility problems due to congestion. Actually, the Ligurian West and East coasts, and especially the Genoa motorway node, are highly congested. In addition, the motorways A10 and A12, which have been built along the coast, are narrow and tortuous. Finally, the territory orography makes it difficult, and above all costly, to build new routes or to improve the existing ones. As a result, a

^(*) Università di Pisa, Polo Universitario Sistemi Logistici, e Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale.

^(*) Università di Pisa, Polo Universitario Sistemi Logistici, e Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale.

infrastrutture o ampliare quelle esistenti. Pertanto, è auspicabile che vi sia un trasferimento di una parte del trasporto merci dalla modalità “tutto-strada” alla modalità di trasporto intermodale.

L’offerta di infrastrutture ferroviarie nell’area di studio, attualmente, non è in grado di accogliere un’ulteriore quota elevata di traffico merci: la linea ferroviaria è anch’essa molto congestionata, in quanto su di essa transitano sia treni merci, sia treni passeggeri veloci, sia treni passeggeri lenti, alcuni di questi ultimi svolgono il servizio ferroviario metropolitano della città di Genova. In particolare, la linea ferroviaria del Ponente ligure è ancora in parte a binario unico; infatti stata raddoppiata a tratti: nel 1969 tra Genova Voltri e Varazze, nel 1977 tra Varazze e Finale Ligure, nel 2001 tra S. Lorenzo al Mare e Ospedaletti ed infine l’11 dicembre del 2016 è stato attivato il raddoppio fra Andora e San Lorenzo al Mare. Attualmente la linea Genova-Ventimiglia è a doppio binario per 122 km e presenta due sole tratte a semplice binario, Finale Ligure-Loano e Albenga-Andora, per uno sviluppo complessivo di circa 22 km [1], [2]. Il progetto definitivo prevede la realizzazione del raddoppio della tratta Andora-Finale Ligure per una lunghezza di 31,4 km, di cui 25 km in galleria, completamente in variante rispetto al tracciato attualmente in esercizio. Questo raddoppio è però stato messo “in coda” rispetto ad altre realizzazioni nell’area ligure, quali il Terzo valico ferroviario dei Giovi [3]. D’altra parte, la posizione favorevole, da un punto di vista geografico, dell’area ligure-tirrenica, sviluppata completamente lungo la costa e con una forma ad arco, suggerisce che una valida alternativa al trasporto “tutto-strada” può essere rappresentata dal trasporto intermodale basato su Autostrade del Mare (AdM).

La prima fase dell’analisi ha riguardato l’alternativa al trasporto “tutto-strada” costituita dalle rotte di AdM attualmente in esercizio. I dati su queste rotte sono stati raccolti nel mese di ottobre 2015. A questo proposito, è stato realizzato un modello di rete dettagliato (strada + AdM) al fine di confrontare costi monetari e tempi di viaggio, per le due alternative di trasporto: “tutto-strada” e intermodale, basato su AdM. Le origini e le destinazioni sono i porti ro-ro più importanti dell’area: Civitavecchia, Livorno, Genova, Savona, Nizza, Tolone e Marsiglia. Attualmente, non esistono collegamenti di AdM diretti tra queste città: tutte le alternative di AdM richiedono infatti che si utilizzino due rotte in successione, con interscambio in Sardegna o in Corsica. Inoltre, l’orario di arrivo della prima rotta non è in coincidenza con l’orario di partenza della seconda, e non vi è integrazione tariffaria. Perciò, attualmente, il trasporto intermodale è di gran lunga non conveniente, in termini sia di costi sia di tempi di viaggio.

Sono quindi stati analizzati diversi possibili scenari di miglioramento. In tutti e tre gli scenari di miglioramento considerati è stata prevista l’introduzione dell’ecobonus che comporta una riduzione dei prezzi dei biglietti delle rotte di AdM. L’ecobonus [4] è un incentivo offerto dal

modal shift of at least some part of freight traffic, from “all-road” to intermodal transport, is desirable.

The supply of rail infrastructures in the study area, currently, does not allow to accommodate a further quota of freight traffic: the rail line is very congested, because it is travelled by freight trains, fast passenger trains and slow passenger trains, some of which perform the metropolitan rail service of the city of Genoa. In addition, the rail line of the Ligurian West Coast has some sections which are still single track: actually it has been doubled, part by part, in very different time periods. In 1969 the second track became operative between Genoa Voltri and Varazze, in 1977 between Varazze and Finale Ligure, in 2001 between San Lorenzo a Mare and Ospedaletti and, finally, on 11 december 2016, it was opened the second track between Andora and San Lorenzo a Mare. Currently, the Genoa-Ventimiglia line has 2 tracks for 122 km and one track in only two line portions: Finale Ligure-Loano and Albenga-Andora, which consist of 22 km [1], [2]. The definitive project concerns the construction of a completely new line between Finale Ligure and Andora, for a total length of 31.4 km, of which 25 km will be in tunnel. However, this project has been postponed, after the construction of other infrastructures planned in the Ligurian area, for example the Third Pass of Giovi, between Genoa and Milano [3]. On the other hand, the geographic characteristic of the Ligurian-northern Tyrrhenian area, which is all along the coast and has a shape similar to an arch, is favorable to the development of an intermodal transport based on Motorways of the Sea (MoS).

The first phase of the analysis deals with the alternative, to “all-road” mode, made up of the MoS routes currently in operation. Data about these routes have been collected in October 2015. A detailed network model (road + AdM) has been constructed, in order to compare monetary costs and travel times, for the two alternatives: “all-road” and intermodal transport based on MoS. Origins and destinations were the most important ro-ro ports of the area: Civitavecchia, Livorno, Genoa, Savona, Nice, Toulon, Marseilles. Currently, direct MoS connections between these ports do not exist: all MoS alternatives actually require the use of two routes in succession, with interchange in Sardinia or Corsica. In addition, the arrival time of the first route is not in coincidence with the departure time of the second route, and no fares integration exists. Therefore, currently, intermodal transport is far non convenient, from the point of view of both costs and travel times.

Consequently, several improvement scenarios have been developed. In all improvement scenarios the ecobonus contribution has been considered: the ecobonus is an incentive offered to trucking companies from the Italian government, which consists of a 20% to 30% reduction of ticket prices, in case they use MoS routes a high number of times per year [4].

In the first scenario, a fares integration, among the two routes composing the MoS alternative, has been introduced. In the second scenario, it is made the hypothesis of

governo italiano agli autotrasportatori, che ammonta ad una quota dal 20 al 30% del prezzo del biglietto, qualora utilizzino le rotte di AdM un numero elevato di volte in un anno.

Nel primo scenario, è stata introdotta un'integrazione tariffaria tra le due rotte, che compongono l'alternativa di AdM. Nel secondo scenario, si ipotizza di riunire le due rotte attuali (ad es. Livorno-Bastia e Bastia-Nizza) in un'unica rotta (ad es. Livorno-Bastia-Nizza), al fine di ridurre i tempi di viaggio. Infine, nel terzo scenario è stato studiato lo sviluppo di rotte AdM completamente nuove: questo scenario richiede maggiori investimenti, rispetto ai precedenti, ma è il migliore in termini di competitività del trasporto intermodale rispetto al "tutto-strada". Questi maggiori investimenti sono dovuti alla nascita di nuove AdM che si devono affiancare a quelle esistenti: infatti queste sono in ogni caso necessarie per collegare il continente italiano e francese con la Corsica.

2. Le principali caratteristiche delle Autostrade del Mare

Le Autostrade del Mare (AdM) sono servizi ro-ro (roll on - roll off) Short Sea Shipping (SSS), ossia servizi ro-ro di trasporto marittimo a corto raggio, che hanno dei particolari attributi, ossia devono essere: ad orario programmato, ad alta frequenza, a velocità elevata, affidabili, economicamente fattibili ed integrati nella catena logistica del trasporto porta a porta; ossia deve essere studiato, ed ottimizzato, il coordinamento del trasporto marittimo a corto raggio con i trasporti terrestri [5]. I servizi di AdM possono essere ro-ro e ro-pax: ro-ro quando trasportano soltanto veicoli merci (autoarticolati completi, oppure semirimorchi), e ro-pax quando trasportano anche passeggeri ed autovetture. La maggioranza delle rotte che collegano la Penisola italiana con le isole, oppure le due sponde dell'Adriatico, sono ro-pax [6], in modo tale da garantire una continuità territoriale non solo per le merci, ma anche per i passeggeri. Inoltre, a livello di trasporto intermodale basato su AdM, si distingue tra trasporto accompagnato e non accompagnato. Nel trasporto accompagnato vengono imbarcati: motrice, semirimorchio e autista; nel trasporto non accompagnato viene imbarcato il solo semirimorchio.

L'articolo 12a delle linee guida sulle reti TEN-T in Europa, del 29 Aprile 2004 [7], ha stabilito gli obiettivi principali delle Autostrade del Mare come segue: "La rete europea delle Autostrade del Mare ha come fine quello di concentrare i flussi di merci su itinerari logistici basati sul trasporto marittimo, in modo da migliorare i servizi marittimi esistenti o di stabilire nuovi servizi, regolari, frequenti ed economicamente realizzabili, per il trasporto delle merci fra gli Stati membri al fine di ridurre la congestione stradale e/o migliorare l'accessibilità alle regioni insulari, o periferiche, europee. Le Autostrade del Mare non escludono il trasporto combinato di persone e merci, ammesso che il trasporto delle merci sia predominante".

joining the two current routes (e.g. Livorno-Bastia and Bastia-Nice) into an unique route (e.g. Livorno-Bastia-Nice), in order to reduce travel times. Finally, in the third scenario, the development of completely new MoS routes has been studied: this scenario requires greater investments than the previous ones, but it is the best in terms of competitiveness of intermodal transport against "all-road". These greater investments are due to the development of new MoS routes which will be added to the existing ones: actually the existing routes are in any case necessary to connect Italian and French mainlands with Corsica.

2. The main characteristics of Motorways of the Sea

Motorways of the Sea (MoS) are ro-ro (roll on - roll off) Short Sea Shipping (SSS) services, which have specific characteristics, they must be: scheduled, frequent, high speed, reliable, economically feasible and integrated in door-to-door transport; the last characteristic means that the coordination of SSS with land transport modes must be studied, and optimized [5]. MoS services could be both ro-ro and ro-pax: they are ro-ro when only freight vehicles (trucks and trailers or semitrailers) are carried; they are ro-pax when also passengers, and their cars, are transported. The majority of routes connecting: the Italian mainland with islands, or the two coasts of the Adriatic sea, are ro-pax [6]: in order to guarantee a land continuity not only for freight, but also for passengers. In addition, speaking of intermodal transport based on MoS, accompanied and unaccompanied transport are distinguished: in accompanied transport the tractor and semitrailer and the driver are embarked on the ship, in unaccompanied transport only the semitrailer is embarked on the ship.

The article 12a of the European TEN-T networks guidelines, of 29 April 2004 [7], has stated the main objectives of MoS: "The trans-European network of Motorways of the Sea is intended to concentrate flows of freight on sea-based logistical routes in such a way as to improve existing maritime links or to establish new viable, regular and frequent maritime links for the transport of goods between Member States so as to reduce road congestion and/or improve access to peripheral and island regions and States. Motorways of the sea should not exclude the combined transport of persons and goods, provided that freight is predominant".

The development of Motorways of the Sea is supported by European policies [8]: in particular, the 2011 White Paper [9] clearly reports that road transport, considering its conditions in 2010, is no longer sustainable because of high external costs. In addition, the White Paper defines the intermodal transport, based both on rail and sea, as the unique feasible alternative for the future of European transport system. According to the White Paper, and to more recent European documents, besides the development of intermodal alternatives, it is necessary to develop a transport policy oriented to a road transport: with a less environmental impact, safer, and with automatic or aided driving.

Lo sviluppo delle Autostrade del Mare è supportato dalle politiche europee [8]: in particolare, il Libro Bianco del 2011 [9], riporta chiaramente che, a causa dei suoi elevati costi esterni, il trasporto stradale non è più sostenibile nelle condizioni in cui si trovava nel 2010, e definisce il trasporto intermodale, sia ferroviario sia marittimo, come l'unica alternativa praticabile per il futuro dei trasporti europei. A questa alternativa intermodale deve essere, secondo questo documento, ed altri successivi documenti europei, in ogni caso affiancata una politica dei trasporti verso mezzi stradali: a minore impatto ambientale, più sicuri, a guida automatizzata o assistita.

Diversi studi sono stati fatti sulla competitività del trasporto intermodale, basato sulle Autostrade del Mare, rispetto al "tutto-strada" [10], [11], [12], [13].

Per poter fornire una valida alternativa al trasporto "tutto-strada", le AdM presentano ancora diversi difetti. In primo luogo, non potendo fornire un collegamento porta a porta, hanno la necessità di integrarsi col trasporto stradale e ferroviario: come del resto è precisato nella stessa definizione di AdM. L'efficienza dei porti, come nodi di trasferimento intermodale, è ancora oggi molto limitata. Lo stesso può dirsi dei collegamenti tra i porti e l'hinterland [14]. Infine, malgrado tutti i tentativi compiuti in questo ambito, le rotte di AdM sono ancora caratterizzate da una frequenza e da un'affidabilità ridotte [15], mentre i prezzi del carburante sono troppo elevati, per cui i costi di bunkeraggio possono arrivare a poco meno della metà del totale dei costi di trasporto, nel caso di trasporto non accompagnato [11].

Affinché si abbia l'integrazione delle Autostrade del Mare con i sistemi di trasporto terrestre è necessario migliorare tre aspetti del problema: primo, adeguare l'accessibilità, ferroviaria e stradale ai porti; secondo, implementare una migliore cultura organizzativa da parte delle compagnie di spedizione e delle autorità portuali; terzo, migliorare le performance delle Autostrade del Mare in termini di: puntualità, flessibilità, disponibilità, frequenza e velocità dei servizi.

D'altra parte, molto si deve ancora fare, sia a livello europeo sia italiano, per ottenere un rilevante trasferimento modale, dal trasporto "tutto-strada" a quello intermodale: infatti (dati Eurostat [16]) in Italia, nel 2014, il traffico di Autostrade del Mare è stato pari solamente al 5,5% del trasporto merci stradale, espresso in t, mentre in Europa, nel 2014, questa percentuale è stata ancora più bassa: pari all'1,7%. Nel 2015 la percentuale di traffico di AdM, rispetto al trasporto merci stradale, a livello europeo è rimasta la stessa, mentre a livello italiano è cresciuta leggermente, al 5,8% [16].

In Italia lo sviluppo delle AdM è difficile anche perché, tra le altre cose, la maggioranza del trasporto merci riguarda brevi distanze. Nel Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti 2015-2016 ([17], Tab. V.4.1A, p. 372) è riportato che, nel 2015, in Italia, l'82,2% delle t del trasporto merci su strada, aventi sia origine sia destina-

Several studies have been performed on the competitiveness of intermodal transport, based on MoS, against "all-road" mode [10], [11], [12], [13].

In order to provide a valid alternative to "all-road" transport, MoS routes still show several shortcomings. Firstly, they cannot offer a door-to-door service, therefore they require the cooperation of road and rail transport: as it is also specified in the definition of MoS itself. Moreover, the efficiency of ports, as intermodal nodes, is currently still very limited. The same can be said of connections between ports and the hinterland [14]. Finally, despite all efforts in this field, MoS routes are still characterized by a low frequency and a low reliability [15]; while fuel prices are too high, therefore bunkering costs could be equal to nearly half the total transport costs, in the case of unaccompanied transport [11].

In order to reach the integration of Motorways of the Sea with land transport system, it is necessary to improve three aspects of the problem: firstly, to improve the rail and road accessibility to ports; secondly, to implement a better organizational culture of shipping companies and port authorities; thirdly, to improve the performance of Motorways of the Sea in terms of: punctuality, flexibility, availability, frequency and velocity of services.

On the other hand, a lot still has to be done, at both European and Italian level, in order to obtain a relevant modal shift, from "all-road" to intermodal transport: actually (Eurostat data [16]) in Italy, in 2014, the MoS traffic has been equal to only 5.5% of road freight transport, expressed in tonnes, while in Europe, in 2014, this percentage has been even lower: that is, 1.7%. In 2015 the percentage of MoS traffic, compared to road freight transport, at European level remained the same, while at Italian level it has slightly grown, to 5.8% [16].

In Italy the development of MoS is difficult also because the majority of freight transport concerns short distances. In the Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti 2015-2016 ([17], Tab. V.4.1A, p. 372) it is reported that in 2015, in Italy, 82.2% of tonnes of domestic road freight transport have been transported for less than 200 km, while only 3.4% of tonnes of domestic road freight transport have been transported for over 500 km; but in terms of tkm (tonne-kilometres) 21.7% of domestic road freight traffic has regarded distances greater than 500 km. The reported data refer only to Italian carriers. Considering the total (domestic + international) freight transport, performed only by Italian carriers, 81% of tonnes have been transported for less than 200 km, while 4.4% of tonnes have been transported for over 500 km. In terms of tkm, 28% of the total (domestic + international) road freight transport, performed by only Italian carriers, has regarded distances greater than 500 km. All these issues are not in favour of intermodality.

In the comparison between "all-road" and intermodal transport, the break-even distance is defined as: the dis-

zione in Italia, sono state trasportate per meno di 200 km, mentre solo il 3,4% delle t del trasporto merci su strada, con origine e destinazione in Italia, sono state trasportate per oltre 500 km; però, in termini di tkm, il 21,7% del traffico merci avente sia origine sia destinazione in Italia ha riguardato distanze superiori a 500 km. I dati riportati si riferiscono ai soli vettori di nazionalità italiana. Considerando invece il trasporto merci complessivo (nazionale + internazionale) su strada, svolto dai soli vettori di nazionalità italiana, l'81% delle t sono state trasportate per meno di 200 km, mentre il 4,4% delle t sono state trasportate per oltre 500 km. In termini di tkm, il 28% del traffico merci complessivo (nazionale + internazionale) su strada, svolto dai soli vettori di nazionalità italiana, ha riguardato distanze superiori a 500 km. Quanto osservato sicuramente non favorisce l'intermodalità.

Nel confronto fra trasporto "tutto-strada" ed intermodale, si definisce come distanza di break-even: la distanza, del "tutto-strada", al di sopra della quale il costo del trasporto "tutto-strada" è maggiore di quello intermodale. In LUPI et al. [18] è riportato che, secondo molti studi, la distanza di break-even, per il trasporto intermodale basato su ferrovia è pari, o superiore, ad almeno 350-600 km. DALLA CHIARA e PELLICELLI [19] considerano un valore di distanza di break-even, per il trasporto intermodale strada-rotaia, in Europa, tra 450 e 600 km.

Considerando il trasporto intermodale basato su AdM, sono proposti valori superiori, per la distanza di break-even. MARTINEZ-LOPEZ et al. ([20], p. 610) riportano, per le rotte di AdM lungo la costa atlantica, una distanza di break-even compresa tra 800 e 1400 km (a seconda della merce trasportata e della tipologia di trasporto); questi stessi valori sono riportati in EMMA Study [21], mentre OLIVELLA PUIG et al. ([22], p. 308) riportano un valore, di distanza di break-even, tra i 1000 e i 1300 km. Sempre a proposito di trasporto intermodale basato su AdM, in Parlamento Europeo [23] è stata proposta una distanza di break-even di 1380 km; nello studio di JIANG et al. [24], di 1400 km; in West Mos [25], è stata considerata una distanza di break-even di 1000 km. Una sintesi delle distanze di break-even, per il trasporto intermodale basato su AdM, è riportata in fig. 1.

Molte ricerche hanno avuto ad oggetto la competitività dell'alternativa intermodale rispetto al "tutto-strada". DALLA CHIARA e PELLICELLI [19], riportano che uno dei maggiori benefici del trasporto intermodale (considerando il trasporto intermodale in generale, non necessariamente basato su AdM) è la possibilità di utilizzare il trasporto non accompagnato: questo consente di ridurre fortemente i costi del trasporto, in quanto, per trasportare la stessa quantità di merce, sono necessari meno motrici e meno autisti. PICCIONI et al. [26] sottolineano invece l'importanza della localizzazione dei terminali al fine di migliorare la competitività del trasporto intermodale: in particolare, il livello di accessibilità dei terminali, sia porti sia interporti, è essenziale ai fini dello sviluppo dell'intermodalità. RICCI e MANGONE [27] hanno studiato sistemi

di "all-road" mode, beyond which the cost of "all-road" transport is greater than the cost of intermodal transport. In LUPI et al. [18] it is reported that, according to several researches, the break-even distance, for intermodal transport based on rail, is equal to at least 350-600 km. DALLA CHIARA and PELLICELLI [19] assume a break-even distance in Europe, for road-rail intermodal transport, between 450 and 600 km.

As far as intermodal transport, based on MoS, is concerned, greater values for the break-even distance have been proposed. MARTINEZ-LOPEZ et al. ([20], p. 610) report, for MoS routes along the Atlantic coast, a break-even distance comprised between 800 and 1400 km (according to the typology of freight transported and to the typology of transport); the same values are reported in EMMA Study [21], while OLIVELLA PUIG et al. ([22], p. 308) report a break-even distance value between 1000 and 1300 km. Still regarding the intermodal transport, based on MoS, in Parlamento Europeo [23] a break-even distance of 1380 km has been proposed; in the work by JIANG et al. [24], a break-even distance of 1400 km has been suggested; in West MoS [25], a break-even distance of 1000 km has been considered. A synthesis of break-even distances, for the intermodal transport based on MoS, is reported in fig. 1.

Several studies regarding the competitiveness of the intermodal alternative against "all-road" have been carried out. DALLA CHIARA and PELLICELLI [19] report that one of the greater benefits of intermodal transport (considering intermodal transport in general, not necessarily based on MoS) is the possibility of choosing unaccompanied transport: this allows to reduce significantly transport costs, because, in order to carry the same quantity of freight, less tractors and less drivers are necessary. PICCIONI et al. [26] instead emphasize the importance of terminal locations in order to improve the competitiveness of intermodal transport: in particular, the accessibility level of terminals, especially ports and freight villages, is essential in order to improve intermodality. RICCI and MANGONE [27] have studied systems for the real time identification of load units, in order to increase the efficiency of port – inland terminal systems, particularly in order to develop the intermodal transport. AMOROSO et al. [28] analyzed potential improvement scenarios of rail network in Sicily, and related impacts on the development of rail-road intermodal transport.

In LUPI et al. [13], it has been shown that MoS routes between the Italian mainland and Sicily are an example of a valid alternative to a transport mode which, actually, is a "nearly all-road", where the only maritime part is the crossing of the Strait of Messina. These routes allow, also, to avoid not only the A2 "Autostrada del Mediterraneo", but also other road infrastructures which are highly congested: such as the A1 "Autostrada del Sole" and the A14 "Adriatica". In addition, there is a relevant shortage of MoS routes: actually, only a few connections concern ports located both in the Italian mainland, while only a

per l'identificazione in tempo reale delle unità di carico, ai fini di incrementare l'efficienza dei sistemi porto-interporto, soprattutto ai fini dello sviluppo del trasporto intermodale. AMOROSO et al. [28] hanno analizzato possibili scenari di miglioramento della rete ferroviaria siciliana, e i relativi impatti sullo sviluppo dell'intermodalità strada-ferrovia.

In LUPU et al. [13], è stato evidenziato che le rotte di AdM tra la Penisola Italiana e la Sicilia sono un esempio di valida alternativa ad un trasporto che in realtà è un "quasi tutto-strada", dove l'unica parte marittima è l'attraversamento dello stretto di Messina. Queste rotte consentono, tra le altre cose, di evitare non solo la A2 "Autostrada del Mediterraneo" ma anche altre infrastrutture fortemente congestionate: come l'A1 "Autostrada del Sole" e la A14 "Adriatica". Inoltre vi è anche una forte carenza di offerta di rotte di AdM: infatti, pochissimi sono i collegamenti tra porti entrambi localizzati nella Penisola, e sono pochi i collegamenti fra i porti adriatici e la Sicilia. Oltre a ciò, a causa della crisi economica, per cercare di mantenere in attivo economico i servizi, gli operatori di rotte di AdM tendono sempre di più ad investire in una domanda di nicchia, da e per le isole, piuttosto che in una domanda che è in concorrenza con il trasporto "tutto-strada".

3. Le Autostrade del Mare nell'area ligure-tirrenica settentrionale: lo stato attuale

In questa parte della nota è analizzato l'attuale sistema delle rotte di AdM tra i principali porti dell'arco ligure-tirrenico. I porti considerati sono stati: Civitavecchia, Livorno, Genova, Savona, Nizza, Tolone, Marsiglia. L'analisi delle rotte è stata svolta nel mese di ottobre 2015. Le rotte nell'area in esame sono riportate in tabella 1 e rappresentate sinteticamente in fig. 2. In tabella 1, per ciascuna rotta, sono state riportate le frequenze nelle 4 settimane del mese, in modo tale da: eliminare le rotte che non garantiscono un servizio continuativo, e definire la frequenza della rotta da utilizzare nello studio. Trattandosi, generalmente, di rotte ro-pax, che come riportato in LUPU et al. [6] sono affette da modifiche delle frequenze dovute alla stagionalità, si è fatto riferimento all'ultima settimana del mese (ottobre) per definire la frequenza del servizio, perché è comunque la più lontana dal periodo di alta stagione.

In tabella 1 e in fig. 2 si nota chiaramente come non esista nessun collegamento AdM diretto tra coppie di

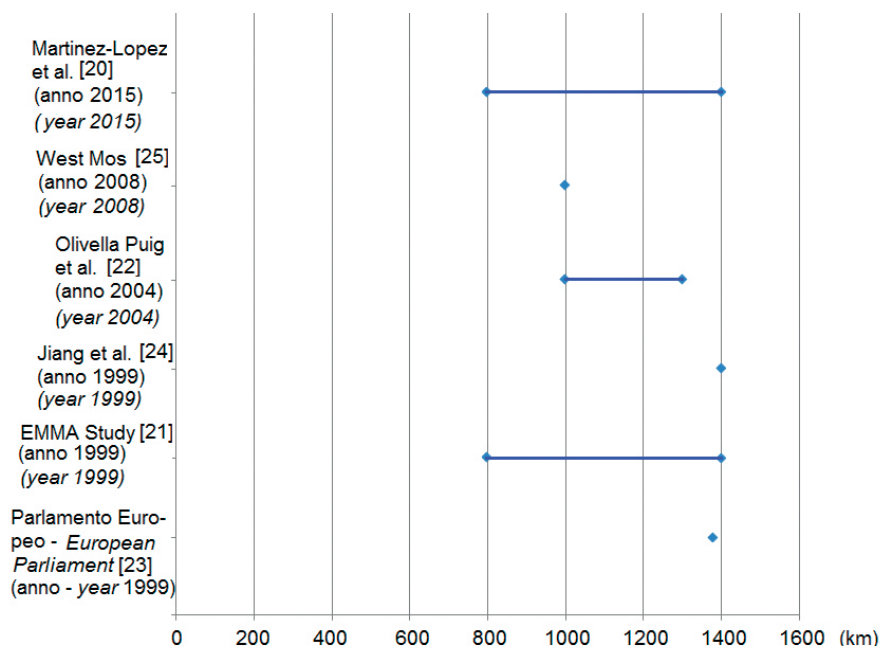


Fig. 1 - Sintesi delle distanze di break-even, riportate in letteratura, per il trasporto intermodale basato su AdM. Alcune ricerche, come MARTINEZ-LOPEZ et al., riportano un range di valori, altre, come West MoS, riportano un unico valore di riferimento.

Fig. 1 - Synthesis of break-even distances reported in literature, for the intermodal transport based on MoS. Some works, such as MARTINEZ-LOPEZ et al., report a range of values; other, as West Mos, report an unique reference value.

few routes connect Adriatic mainland ports with Sicily. In addition, because of the economic crisis, in order to keep the services economically active, MoS operators prefer to invest in a niche demand, to and from islands, rather than in a demand which is in competition with "all-road" transport.

3. The Motorways of the Sea in the Ligurian-northern Tyrrhenian area: the present state

In this section, the current MoS network, among the main ports of the Ligurian-northern Tyrrhenian area, is analyzed. The ports taken into account have been: Civitavecchia, Livorno, Genoa, Savona, Nice, Toulon, Marseilles. The analysis of MoS routes has been performed in October 2015. Routes in the study area are reported in table 1 and are represented, synthetically, in fig. 2. In table 1, for each route, the frequencies in the 4 weeks of the month are reported, in order to identify those routes which do not perform a continuum service, and, for each route, the frequency to be considered in the study. Usually these routes are ro-pax ones, which, as reported in LUPU et al. [6], show relevant changes in their frequencies due to seasonality. Therefore, the last week of October has been taken into account to determine the routes frequencies to use in this study, because this week is the farthest from the high season period.

TABELLA 1 – TABLE 1

Caratteristiche delle rotte in esercizio nell'area del mar Ligure-Tirreno settentrionale.

I dati si riferiscono al mese di ottobre 2015

Characteristics of the MoS routes in operation in the Ligurian- northern Tyrrhenian area.

Data refer to the month of October 2015

Collegamento – Connection		Operatore Operator	Frequenza settimanale – Frequency per week			
Origine Origin	Destinazione Destination		1° settimana 1° week	2° settimana 2° week	3° settimana 3° week	4° settimana 4° week
Civitavecchia	Arbatax	Tirrenia	2	2	2	2
Arbatax	Civitavecchia	Tirrenia	2	2	2	2
Civitavecchia	Olbia	Tirrenia	7	7	7	7
Olbia	Civitavecchia	Tirrenia	7	7	7	7
Livorno	Bastia	Sardinia/Corsica Ferries	10	9	7	7
Bastia	Livorno	Sardinia/Corsica Ferries	10	8	7	7
Livorno	Golfo Aranci	Sardinia/Corsica Ferries	8	7	7	7
Golfo Aranci	Livorno	Sardinia/Corsica Ferries	8	7	7	7
Livorno	Olbia	Moby Lines	7	7	7	7
Olbia	Livorno	Moby Lines	7	7	7	7
Genova	Porto Torres	Tirrenia	7	7	7	7
Porto Torres	Genova	Tirrenia	7	7	7	7
Genova	Olbia	Tirrenia, Moby Lines	4	3	3	3
Olbia	Genova	Tirrenia, Moby Lines	7	3	3	3
Savona	Bastia	Sardinia/Corsica Ferries	4	4	4	4
Bastia	Savona	Sardinia/Corsica Ferries	4	4	4	4
Nice	Bastia	Sardinia/Corsica Ferries	3	3	4	4
Bastia	Nice	Sardinia/Corsica Ferries	3	4	4	4
Toulon	Bastia	Sardinia/Corsica Ferries	8	9	8	9
Bastia	Toulon	Sardinia/Corsica Ferries	8	9	8	9
Toulon	Ajaccio	Sardinia/Corsica Ferries	9	9	9	9
Ajaccio	Toulon	Sardinia/Corsica Ferries	9	9	9	9
Marseilles	Porto Torres	La Mériidionale	2	2	2	0
Porto Torres	Marseilles	La Mériidionale	2	2	2	0
Marseilles	Ajaccio	SNCM, La Mériidionale	7	7	7	7
Ajaccio	Marseilles	SNCM, La Mériidionale	7	7	7	7
Marseilles	Bastia	SNCM, La Mériidionale	7	7	7	7
Bastia	Marseilles	SNCM, La Mériidionale	7	7	7	7

Fonte: sito web rampsa [29]; siti web degli operatori di AdM [30].
Source: rampsa website [29], MoS operators websites [30].

città della costa: occorre infatti necessariamente attraversare un porto della Sardegna o della Corsica, in cui l'autoarticolato deve essere sbarcato dalla prima nave e imbarcato sulla seconda.

Ritornando all'attuale offerta di rotte di AdM (fig. 2), si può rilevare che:

- Civitavecchia è collegata con Genova soltanto via Olbia;

In table 1 and fig. 2, it is clearly shown that there is not any direct MoS connection between pairs of cities of the mainland: it is always necessary to cross a port of Sardinia or Corsica, where the tractor and trailer must be disembarked from the first ship and embarked on the second.

Considering the current MoS routes supplied (fig. 2), the following could be observed:

- *Civitavecchia is connected to Genoa only via Olbia;*

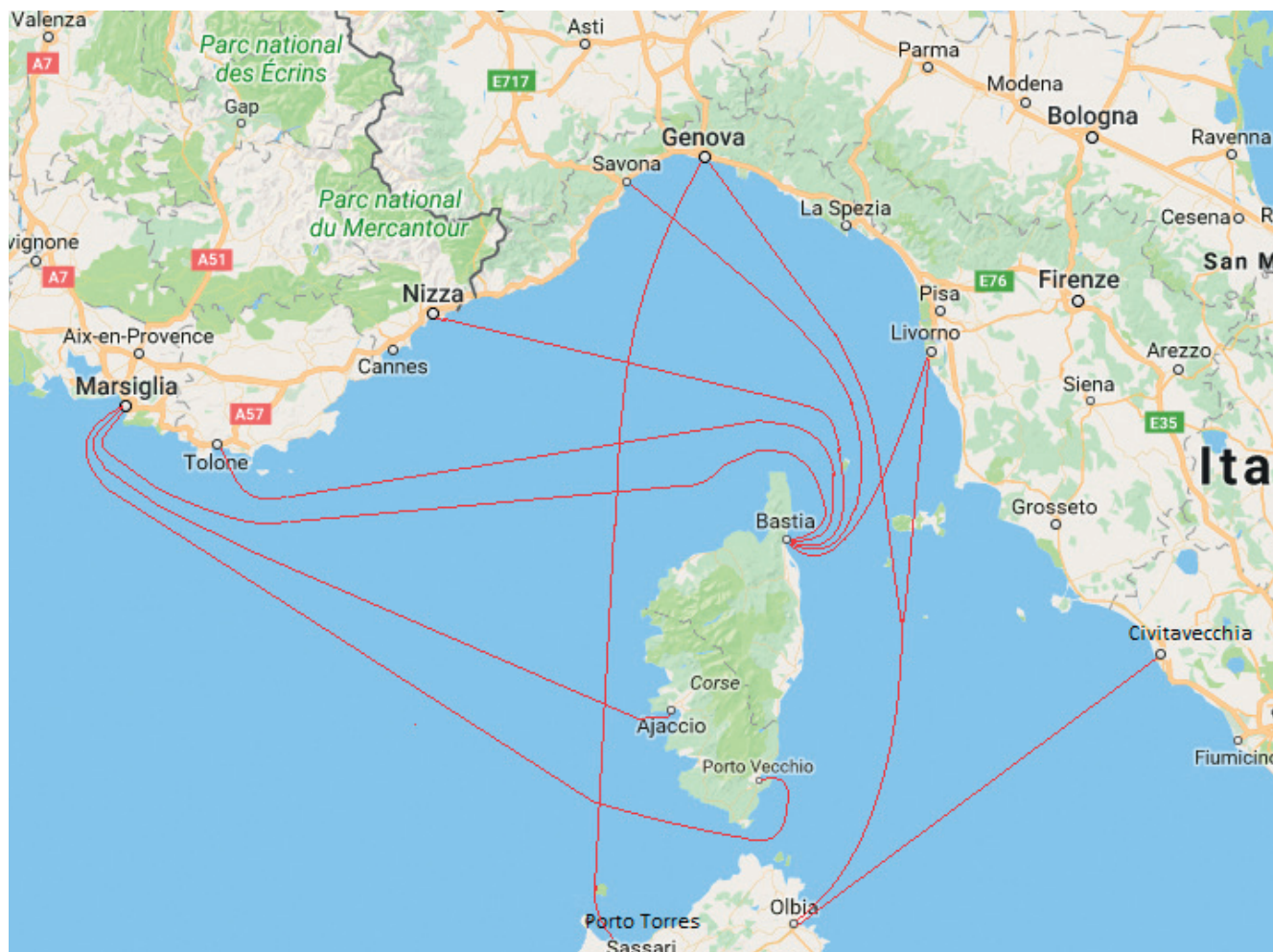


Fig. 2 - Le Autostrade del Mare attualmente in esercizio, durante tutto l'anno, ossia anche in bassa stagione, nell'area di studio.

Fig. 2 - MoS routes currently in operation in the study area during all the year, i.e. also in low season.

- Livorno è collegato, via Bastia, con: Savona, Nizza, Tolone e Marsiglia.

Pertanto sono stati esclusi i collegamenti marittimi:

- Civitavecchia-Genova, perché passare per Olbia significa, da un punto di vista geografico, allungare notevolmente il percorso;
- Livorno-Savona, perché occorre cambiare nave a Bastia, e quindi attraversare due volte il confine Italia-Francia: cosa che, aggiunta alle ridotte distanze stradali tra Livorno e Savona, rende l'alternativa intermodale non competitiva.

Di conseguenza, nella fase di analisi, dello stato attuale, sono state considerate le seguenti coppie O/D: Livorno-Nizza, Livorno-Tolone, Livorno-Marsiglia, e viceversa.

Gli itinerari considerati per il trasporto intermodale, nell'analisi dello stato attuale, sono stati:

- Livorno-Bastia-Nizza (e viceversa), con 4 servizi per settimana;

- Livorno is connected, via Bastia, with: Savona, Nice, Toulon and Marseilles.

Therefore the following MoS connections were excluded:

- Civitavecchia-Genoa, because calling at Olbia means, from a geographic point of view, to lengthen the path significantly;
- Livorno-Savona, because it is necessary to change the ship at Bastia, therefore to cross twice the border Italy-France: this, added to the short distances between Livorno and Savona, makes the intermodal alternative non competitive.

As a result, in the analysis of the current situation, the following O-D (Origin-Destination) pairs were considered:

- Livorno-Bastia-Nice (and vice versa) with 4 services per week;
- Livorno-Bastia-Toulon (and vice versa) with 7 services per week;

- Livorno-Bastia-Tolone (e viceversa), con 7 servizi per settimana;
- Livorno-Bastia-Marsiglia (e viceversa), con 5 servizi per settimana da Livorno a Marsiglia e 7 viceversa.

Le rotte considerate negli itinerari intermodali sono riportate in fig. 3.

Per quanto riguarda il trasporto “tutto-strada” è stato invece previsto un itinerario, tra ciascuna delle tre coppie O/D riportate precedentemente, che percorre le autostrade dell’area ligure-tirrenica: A12 e A10 in Italia; in Francia A8. Sono stati esclusi gli itinerari aventi come origine e destinazione due città francesi, ad es. Nizza-Marsiglia, Tolone-Marsiglia, Nizza-Tolone, perché esulano dallo scopo della ricerca, ed inoltre le coppie O-D sono troppo vicine affinché il trasporto intermodale sia competitivo.

In questa ricerca non è stata svolta un’analisi dettagliata sulla domanda di trasporto merci all’interno dell’area di studio, ma sono stati raccolti dati aggregati sulla domanda di trasporto delle merci che potrebbero gravitare sulle autostrade dell’arco ligure. Il Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti 2015-2016 [17] (tab. V.4.4a, p. 376 e segg.) riporta la domanda di trasporto merci, su strada, tra ciascuna coppia di regioni italiane. La domanda di trasporto merci stradale tra Toscana e Liguria (queste regio-

- Livorno-Bastia-Marseilles (and vice versa) with 5 services per week from Livorno to Marseilles and 7 viceversa.

Routes considered in the intermodal paths are reported in fig. 3.

Regarding “all-road” transport, it has been considered a path, between each of the three O/D pairs previously reported, which crosses the motorways of the Ligurian-Tyrrhenian area: A12 and A10 in Italy, A8 in France. Paths having both origin and destination in French cities, e.g. Nice-Marseilles, Toulon-Marseilles, and Nice-Toulon, have been excluded, because they fall outside the purpose of the paper; in addition these O-D pairs are too close for intermodal transport being competitive.

In this research, a detailed analysis on the freight transport demand in the study area has not been performed, but aggregated data have been collected, about the freight transport demand which could gravitate towards Ligurian motorways. The “Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti” (National Account of Infrastructures and Transport) 2015-2016 [17] (tab. V.4.4a, p. 376 and following) reports the freight transport demand by road between each pair of Italian regions. The road freight transport demand between Tuscany and Liguria (these regions are only connected through the A12 motorway) has been, in 2015,

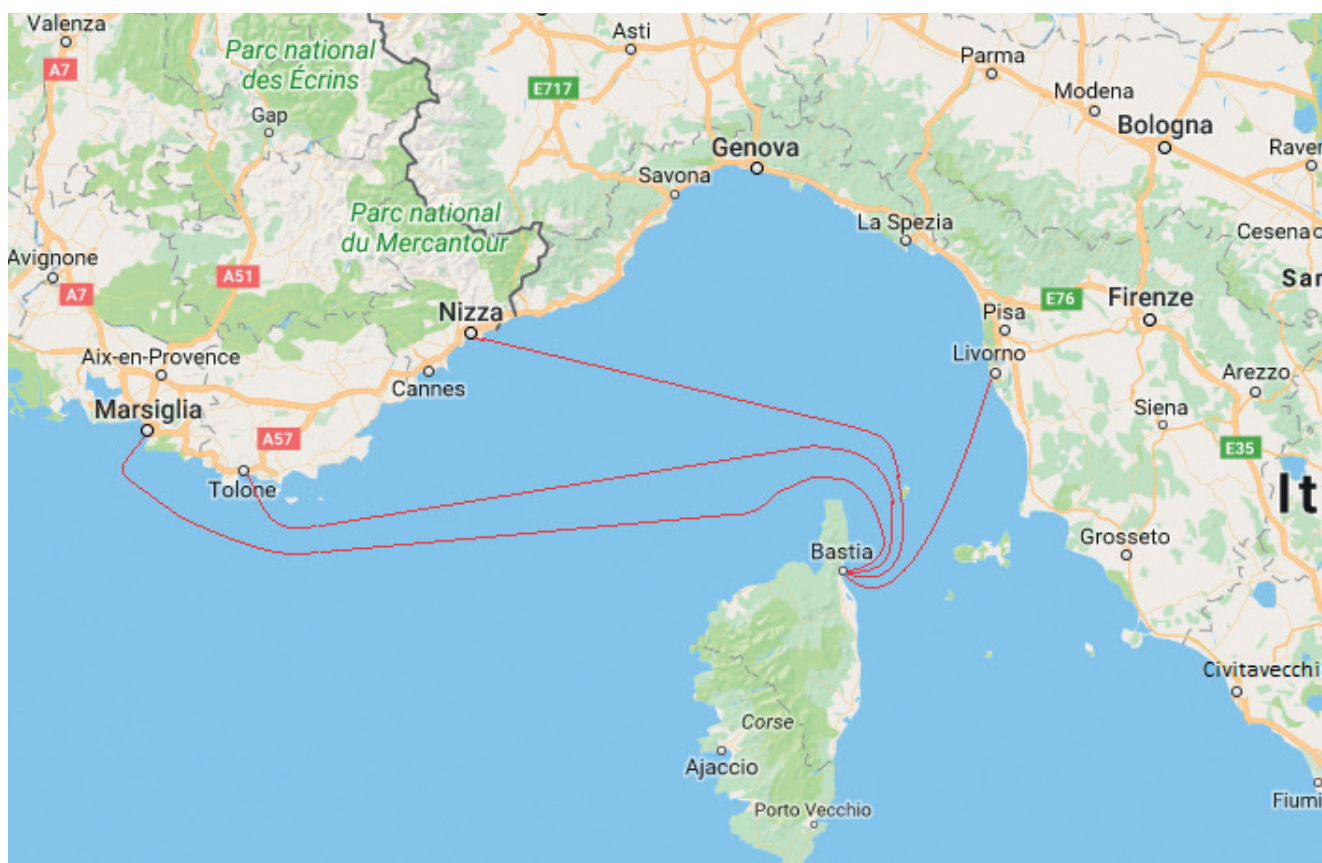


Fig. 3 - Le rotte AdM esistenti considerate nella ricerca.
Fig. 3 - MoS routes considered in the research.

ni sono collegate esclusivamente mediante l'autostrada A12), nel 2015, è stata pari a 2,9 milioni di t/anno dalla Toscana alla Liguria e 0,99 milioni dalla Liguria alla Toscana. La domanda di trasporto merci tra Toscana e Piemonte è stata, nel 2015, pari a 1,5 milioni di t/anno dalla Toscana al Piemonte, e 2 milioni viceversa: una quota di queste t è stata trasportata attraverso le autostrade dell'arco ligure, in particolare la A12 e il tratto di A10 tra Genova e Voltri. La domanda di trasporto merci stradale tra il dipartimento francese "Alpes Maritimes" (avente come capoluogo Nizza) e l'Italia è stata pari, nel 2016, a 290.000 t/anno dalla Francia all'Italia, e 371.000 dall'Italia alla Francia (Fonte: Eurostat [16]); è verosimile che, data la conformazione geografica del territorio e la dotazione infrastrutturale, la quasi totalità di queste tonnellate sia trasportata lungo l'autostrada della Riviera di Ponente.

4. Determinazione del costo monetario, del tempo di viaggio e del costo generalizzato degli itinerari per la modalità di trasporto "tutto-strada" ed intermodale

Per ciascun itinerario, sono stati determinati: il costo monetario, il tempo di viaggio e il costo generalizzato, per le due modalità di trasporto considerate, "tutto-strada" ed intermodale accompagnato. Il costo generalizzato è definito come segue:

$$C_g = C_m + t \cdot VT \quad (1)$$

dove:

- C_m è il costo monetario;
- t è il tempo di viaggio sull'arco;
- VT è il valore monetario del tempo.

In letteratura, in particolare per quanto riguarda il trasporto merci, c'è forte discordanza sul valore da assegnare a VT . Per il trasporto "tutto-strada" DE JONG et al. [31] propongono valori di VT , differenti per ciascuna tipologia di merce, anche molto diversi tra di loro; calcolando un valore medio tra essi si ottiene 6,33 €/h/t. Per il trasporto intermodale strada – AdM (che è quello di interesse la presente ricerca), BERGANTINO e BOLIS [32] avevano proposto, nel 2004, per il trasporto nazionale ed internazionale in Italia, un valore medio di 0,65 €/h/t; gli stessi autori, però, hanno proposto nel 2008 [33], per il trasporto italiano internazionale, un valore medio decisamente più alto, pari a 3,71 €/h/t. Un valore di VT più recente, sempre relativo all'intermodalità strada – AdM, è stato proposto da FEO [34], pari a 6,82 €/h, considerando spedizioni di 15 t (quindi si ottiene un VT di 0,455 €/h/t): questo ultimo valore di VT è stato utilizzato in questa memoria per la determinazione del costo generalizzato.

D'altra parte, data la forte variabilità dei valori di VT proposti in letteratura, i confronti tra il trasporto "tutto-strada" e le diverse proposte di trasporto intermodale, sono stati effettuati considerando separatamente: il costo monetario, il tempo di viaggio ed il costo generalizzato.

equal to 2.9 million tonnes per year from Tuscany to Liguria and 0.99 million tonnes from Liguria to Tuscany. The freight transport demand between Tuscany and Piedmont has been in 2015 equal to 1.5 million tonnes per year from Tuscany to Piedmont and 2 million tonnes vice versa: a quota of these tonnes has been transported through the motorways of the Ligurian coast, in particular the A12 and the portion of A10 between Genoa and Voltri. The freight transport demand between the French department "Alpes Maritimes" (whose capital is Nice) and Italy has been, in 2016, equal to 290.000 tonnes per year from France to Italy, and 371.000 tonnes per year from Italy to France (source: Eurostat [16]).

Therefore it is likely that nearly all these tonnes have been transported through the Ligurian West Coast motorway, given the orography of the area and the infrastructure equipment.

4. Calculation of the monetary cost, the travel time and the generalized cost of paths for the two modes of transport: "all-road" and inter-modal

For each path, the monetary cost, the travel time and the generalized cost have been determined, for the two transport modes taken into account: "all-road" and inter-modal accompanied. The generalized cost is defined as follows:

$$C_g = C_m + t \cdot VT \quad (1)$$

where:

- C_m is the monetary cost of the link;
- t is the link travel time;
- VT is the value of time (also called VoT in the following).

There is high disagreement in the literature about the value of time of freight transport. For "all-road" mode, DE JONG et al. [31] propose several values for the Value of Time (VoT), one for each freight typology, which are often also very different among each other; an average value for them is 6.33 € per hour and tonne. For road – MoS intermodal transport (which is of interest for our research), BERGANTINO and BOLIS [32] proposed, in 2004, for national and international transport in Italy, an average value of 0.65 € per hour and tonne; but the same authors proposed in 2008 [33], for Italian international transport, a much higher value, equal to 3.71 € per hour and tonne. A more recent VoT, again regarding the intermodal transport road – MoS, has been proposed by FEO [34], and it is equal to 6.82 €/h, considering shipments of 15 t. Therefore, a VoT equal to 0.455 € per hour and tonne is obtained: this last VoT value has been used in this paper for the calculation of the generalized cost.

On the other hand, given the strong variability of VoT values proposed in literature, the comparisons, between "all-road" mode and the proposed scenarios of intermodal

Ai fini della determinazione dei costi monetari e dei tempi di viaggio, sui diversi itinerari considerati, nelle due modalità di trasporto “tutto-strada” ed intermodale, è stato realizzato un modello di rete. La rete stradale e intermodale sono state rappresentate mediante un grafo: le origini e le destinazioni degli itinerari, i porti, gli svincoli autostradali e gli incroci tra le autostrade sono stati rappresentati mediante nodi; le tratte di autostrade e superstrade, e le rotte AdM, sono state rappresentate mediante archi. Per il calcolo dei costi è stato considerato un autoarticolato di 16,5 m per il trasporto accompagnato: più di preciso, un IVECO Stralis AS 46 Eco, a 5 assi. Nei casi in cui è stato considerato anche il trasporto non accompagnato, si è fatto riferimento ad un semirimorchio di 12,5 m. La metodologia per la determinazione del costo monetario e del tempo di percorrenza degli archi stradali è la stessa già presentata in LUPI et al. [13]: pertanto, per gli archi stradali si rimanda a quella pubblicazione.

Nella determinazione dei costi monetari e dei tempi di percorrenza degli itinerari marittimi invece rientra una componente aggiuntiva, data dal tempo speso nel porto di interscambio in attesa della nave successiva. Per questa ragione la metodologia per il calcolo dei costi e dei tempi degli archi marittimi è stata riportata nel dettaglio alla sezione 4.1.

L'itinerario scelto, nelle due alternative di trasporto “tutto-strada” ed intermodale, fra ciascuna coppia O-D, è stato determinato in base ad una minimizzazione dei tempi.

4.1. Calcolo dei tempi di viaggio e dei costi degli itinerari intermodali

Si fa riferimento ad itinerari intermodali, costituiti, generalmente, da:

- imbarco, al porto di origine, sulla prima nave;
- traversata sulla prima nave;
- sbarco, al porto di interscambio, dalla prima nave;
- attesa della seconda nave al porto di interscambio;
- imbarco, al porto di interscambio, sulla seconda nave;
- sbarco, al porto di destinazione, dalla seconda nave.

Nelle proposte di miglioramento, in cui non si prevede trasbordo da una nave alla successiva, gli itinerari intermodali sono costituiti da:

- imbarco al porto di origine;
- traversata;
- sbarco al porto di destinazione.

4.1.1. Tempo di viaggio di un itinerario intermodale

Il tempo di viaggio di un itinerario è pari alla somma di:

- tempo di traversata;

transport, have been performed by considering separately: the monetary cost, the travel time and the generalized cost.

A network model has been developed, in order to determine monetary costs and travel times on the considered paths for the two transport modes: “all-road” and intermodal. Road and intermodal networks have been represented through a graph: origins and destinations of paths, ports, motorway exits and crossings have been represented through nodes; motorways and highways portions and MoS routes have been represented through links. For the cost calculation, a 16.5 m long articulated lorry (tractor plus semitrailer) was considered: in detail, it was considered a 5-axes IVECO Stralis AS 46 Eco. In the cases where also intermodal unaccompanied transport is considered, a 12.5 m long semitrailer was considered. The methodology for the calculation of the monetary cost and of the travel time of road links is the same as in LUPI et al. [13]: therefore, for road links we refer to this publication.

In the calculation of monetary costs and travel times of maritime paths, an additional component has been considered, which consists of the time spent in the intermediate port, waiting for the following ship. For this reason the methodology for the calculation of costs and times of maritime links is described in detail in the section 4.1.

The chosen path, in the two alternatives, “all-road” and intermodal transport, between each O-D pair, has been determined according to time minimization.

4.1. Calculation of travel times and costs of intermodal paths

Intermodal paths have been considered, usually made up of the following phases:

- *embarkation, at the origin port, on the first ship;*
- *voyage on the first ship;*
- *disembarkation, at the intermediate port, from the first ship;*
- *waiting for the second ship at the intermediate port;*
- *embarkation, at the intermediate port, on the second ship;*
- *disembarkation, at the destination port, from the second ship.*

In the improvement scenarios, where transshipment from the first ship to the following one is not foreseen, intermodal paths are made up of the following phases:

- *embarkation at the origin port;*
- *voyage;*
- *disembarkation at the destination port.*

4.1.1. Travel time of an intermodal path

The travel time of a path is equal to the sum of:

- *voyage time;*

- tempo richiesto per il carico e lo scarico dell'autoarticolato, nei due porti di inizio e fine della traversata e nel porto di interscambio;
- tempo di attesa della nave successiva al porto di interscambio;
- “frequency delay”.

Il tempo per il carico e lo scarico dell'autoarticolato completo (trasporto accompagnato) è stato calcolato sulla base delle assunzioni riportate in Russo [35]. Si è pertanto considerato: che un autoarticolato debba presentarsi al terminale ro-ro almeno un'ora e mezzo prima della partenza della nave; e che il tempo necessario per lo scarico dell'autoarticolato dalla nave sia pari a circa mezz'ora. Il tempo totale per l'imbarco e lo sbarco, da aggiungere al tempo di traversata, nel caso di trasporto accompagnato di un articolato completo, è stato pertanto assunto pari a 2 ore. Russo riporta inoltre che, nel caso di trasporto non accompagnato, è necessario portare il semirimorchio al terminale almeno due ore prima della partenza; inoltre i semirimorchi vengono sbarcati per ultimi, pertanto si può considerare un tempo di sbarco, per il trasporto non accompagnato, pari a un'ora. Pertanto il tempo totale per l'imbarco e lo sbarco, da aggiungere al tempo di traversata, nel caso di trasporto, non accompagnato, di un semirimorchio, è stato assunto pari a 3 ore.

Inoltre, in genere, mezz'ora prima della partenza della nave, l'autoarticolato e l'autista sono già a bordo. Perciò sono stati considerati, nel trasporto accompagnato:

- un'ora per il carico dell'autoarticolato sulla nave;
- mezz'ora per lo scarico;
- più un'altra mezz'ora prima della partenza della nave in cui l'autista è già a bordo.

Nel trasporto non accompagnato (considerato però solo nelle proposte di miglioramento descritte nelle sezioni 6.2 e 6.3) si è assunto:

- mezz'ora per il carico del semirimorchio sulla nave;
- mezz'ora per lo scarico;
- più un'ora e mezza prima della partenza della nave e mezz'ora dopo l'arrivo della nave in cui il semirimorchio è già/ancora a bordo.

Il tempo di attesa della nave successiva nel porto di interscambio è stato calcolato sulla base degli orari delle rotte.

Il “frequency delay” è una quantità che tiene conto della frequenza della rotta di AdM, in generale, del fatto che non è disponibile una partenza della rotta nel momento desiderato dallo spedite: esso è tanto più alto quanto più bassa è la frequenza del servizio. Il “frequency delay” è stato determinato sulla base della ricerca di GHOBRIAL e KANAFANI [36], svolta per il trasporto aereo, adattandone i risultati al trasporto marittimo. Maggiori dettagli sono riportati in LUPI et al. [13]. In particolare, nella

- *time required for embarking and disembarking the tractor and the semitrailer, at the two ports of beginning and end of the voyage and at the intermediate port;*
- *waiting time of the following ship at the intermediate port;*
- *“frequency delay”.*

The time for embarking and disembarking the tractor and the semitrailer (accompanied transport) has been calculated according to Russo [35]. As a result, it was considered: that the articulated lorry must arrive at the ro-ro terminal at least 1.5 hours before the departure of the ship; and that the time necessary for disembarking it from the ship is equal to around half an hour. Therefore the total embarkation and disembarkation time, which must be added to the voyage time, in the case of accompanied transport, has been assumed equal to 2 hours.

Russo reports also that, in case of unaccompanied transport, it is necessary to bring the semitrailer at the terminal at least 2 hours before the departure; in addition usually semitrailers are the last to be disembarked: therefore it could be assumed a disembarkation time of 1 hour for unaccompanied transport. Therefore, the total embarkation and disembarkation time, to be added to the voyage time, in the case of unaccompanied transport of a semitrailer, has been assumed equal to 3 hours.

In addition, usually, in the case of accompanied transport, half an hour before the departure of the ship, the tractor and the semitrailer and the driver are already on board. As far as the cost of the driver is concerned, in the case of accompanied transport, it has been assumed:

- *1 hour for loading the articulated lorry on the ship (full driver cost per hour);*
- *0.5 hours for unloading the articulated lorry (full driver cost per hour);*
- *another 0.5 hours before the ship departure when the driver is already on board (reduced drive cost per hour).*

In the case of unaccompanied transport (considered only in the improvement scenarios described in sections 6.2 and 6.3) it has been assumed:

- *0.5 hours for loading the semitrailer on the ship (full driver cost per hour);*
- *0.5 hours for unloading (full driver cost per hour);*
- *1.5 hours to be added to the voyage time (no driver cost): 1 hour before the departure of the ship and 0.5 hours after the arrival of the ship.*

The waiting time for the following ship, at the intermediate port, has been calculated according to the routes timetables.

The “frequency delay” is a quantity which takes into account the frequency of the MoS route, and, in general, it takes into consideration that the maritime service is not always available at the time desired by the customer: the “frequency delay” is as higher as the frequency of the service is lower. The “frequency delay” has been determined according

presente analisi, il “frequency delay” t_f è stato determinato mediante la seguente formula:

$$t_f = \frac{1}{8} \cdot \frac{O_{pw}}{f_a} \quad (2)$$

- O_{pw} = tempo di programmazione settimanale delle partenze in una rotta; $O_{pw} = 168$ (7 giorni la settimana in cui i servizi AdM sono operativi e 24 ore al giorno);
- f_a = frequenza settimanale della rotta.

4.1.2. Costo monetario di un itinerario intermodale

Il costo monetario di un itinerario intermodale è costituito da:

- prezzo del biglietto: che di solito si compone di diverse voci quali: costo per il veicolo (spesso calcolato per metro lineare), costo di bunkeraggio, polizza assicurativa, costo per la cabina dell’autista a bordo (solo trasporto accompagnato), costo per il carico e lo scarico del semirimorchio (solo trasporto non accompagnato);
- costo dell’autista.

Non trattandosi di tratte coperte dall’ecobonus, in questa prima fase della ricerca l’ecobonus non è stato considerato.

Il prezzo del biglietto è stato determinato analizzando i siti web degli operatori dell’Autostrade del Mare: qualora questa informazione non fosse disponibile, sono stati intervistati direttamente gli operatori stessi, oppure ci si è avvalsi dell’aiuto di agenzie marittime. Il prezzo è stato determinato per un autoarticolato di 16,5 m e per un solo autista nel caso di trasporto accompagnato, e considerando un semirimorchio di 12,5 m per il trasporto non accompagnato.

Il costo dell’autista comprende:

- costo dell’autista per caricare/scaricare il veicolo;
- costo dovuto alle ore di lavoro perdute dall’autista a bordo nave e nei tempi di interscambio, mentre attende la nave successiva (considerato nel solo trasporto accompagnato).

Il costo dell’autista nelle operazioni di carico/scarico è stato determinato considerando il costo pieno: pari a 26 €/h, come proposto in Il Sole 24 Ore [37]. Nel trasporto accompagnato si considera il costo dell’autista per caricare e scaricare l’autoarticolato dalla nave: in questo caso, sono state considerate 1 ora di lavoro per il carico e 0,5 per lo scarico. Nel trasporto non accompagnato si considera il lavoro dell’autista per consegnare e riprendere il semirimorchio al terminale: in questo caso sono state considerate 0,5 ore di lavoro sia per il carico sia per lo scarico.

Le ore di lavoro perdute dall’autista a bordo nave, o in attesa della nave successiva, sono state considerate nel solo trasporto accompagnato. Queste ore sono state calcolate sulla base della legge europea n° 561/2006 [38], descritta nel dettaglio in LUPI e FARINA [39], che regola i

to the research of GHOBRIAL and KANAFANI [36], performed for air transport, but adapting its results to maritime transport. Further details are reported in LUPI et al. [13]. In particular, in the current analysis, the “frequency delay” t_f has been determined according to the following formula:

$$t_f = \frac{1}{8} \cdot \frac{O_{pw}}{f_a} \quad (2)$$

- O_{pw} = weekly programming time of ship departures in a route; $O_{pw} = 168$ (i.e. 7 days per week, in which MoS services are in operation, and 24 hours per day);
- f_a = weekly frequency of the route.

4.1.2. Monetary cost of an intermodal path

The monetary cost of an intermodal path is composed of:

- *ticket price: which is usually made up of several quantities, such as: price for the vehicle (usually calculated per linear metre), bunkering cost, insurance, cost for the driver cabin (only accompanied transport), cost for embarking and disembarking the semitrailer (only unaccompanied transport);*
- *cost of the driver.*

Because the routes under study are not, currently, covered by the ecobonus contribution, in this first phase of the research the ecobonus has not been taken into account.

The ticket price has been determined analyzing the MoS operators websites: if this information was unavailable, MoS operators were interviewed, or it was asked the help of maritime agencies. The price has been determined: for a 16.5 m long articulated lorry and for only one driver in case of accompanied transport; for a 12.5 m long semitrailer in case of unaccompanied transport.

The driver cost comprises:

- *driver cost for embarking / disembarking the vehicle;*
- *cost of the working hours lost by the driver on board and at the intermediate port, while waiting for the following ship (considered only in accompanied transport).*

The cost of the driver for embarking and disembarking operations has been determined considering the full cost: i.e. 26 €/h, as it is proposed in Il Sole 24 Ore [37]. In accompanied transport 1 working hour for embarkation and 0.5 working hours for disembarkation have been considered. In unaccompanied transport it is considered the working time to deliver and to pick up the semitrailer at the terminal: in this case, 0.5 working hours for both embarkation and disembarkation have been taken into account.

The working hours lost by the driver on board, or waiting for the following ship, have been considered only in accompanied transport. These hours have been calculated according to the European law n. 561/2006 [38], described in detail in LUPI e FARINA [39], which regulates the drive and rest times of truck drivers. Actually, some hours spent by

tempi di guida e riposo degli autotrasportatori. Infatti, alcune ore spese dall'autista a bordo nave o in attesa al porto di interscambio possono essere considerate ore di riposo e, quindi, non sono pagate, ma se la traversata o il tempo di attesa, al porto di interscambio, sono lunghi, non tutte queste ore possono essere considerate come ore di riposo. Più di preciso, il viaggio può essere organizzato in modo tale da far coincidere una parte di questo tempo con il riposo giornaliero: in particolare, se la traversata (più il tempo di attesa) dura meno di 12 ore, tutte queste ore possono coincidere con il tempo di riposo giornaliero. Se però la traversata (più il tempo di attesa) dura oltre le 24 ore, l'autista perde un'intera giornata lavorativa, pari a 9 ore. Relativamente alle ore di lavoro perdute, si può considerare un costo dell'autista ridotto, pari a 17,60 €/h [40] perché durante la traversata (o mentre attende la nave successiva) l'autista non lavora.

4.1.3. Costo generalizzato di un itinerario intermodale

Nel caso di un itinerario intermodale accompagnato, con trasbordo, il costo generalizzato è dato dalla seguente espressione:

$$C_g = C_b + 26 \cdot 2 \cdot 1,5 + 17,6 \cdot (h_{b1} + h_{b2} + h_w) + (t_{n1} + t_{n2} + t_{cs1} + t_{cs2} + t_w) \cdot VT + t_f \cdot VT \quad (3)$$

- C_b = prezzo del biglietto delle due rotte AdM;
- 1,5 = tempo necessario per caricare (1 ora) e scaricare (0,5 ore) l'autoarticolato nel caso di trasporto accompagnato;
- h_{b1} , h_{b2} = numero di ore lavorative perdute a bordo nelle due traversate (solo le ore di lavoro perdute, non l'intera traversata);
- h_w = numero di ore lavorative perdute in attesa della nave successiva (solo le ore di lavoro perdute, non l'intero tempo di attesa);
- 17,6 = costo dell'autista per ogni ora perduta a bordo, o in attesa della nave successiva;
- VT = valore monetario del tempo;
- t_{n1} , t_{n2} = tempo di traversata (navigazione) della prima nave e della seconda;
- t_{cs1} , t_{cs2} = tempo di carico e scarico (due ore complessivamente per carico e scarico) relativamente alla prima e alla seconda nave;
- t_w = tempo di attesa della nave successiva;
- t_f = frequency delay: è stato considerato a parte perché non è un vero e proprio tempo, ma una quantità che tiene conto della frequenza della rotta e che penalizza le rotte meno frequenti in quanto l'utente ha meno possibilità di scelta per l'orario di partenza.

Naturalmente il semplice costo monetario si ottiene sempre dalla espressione (3), ma con VT=0.

Nel caso di un itinerario intermodale accompagnato senza trasbordi, il costo generalizzato diventa:

$$C_g = C_b + 26 \cdot 1,5 + 17,6 \cdot h_b + (t_n + t_{cs}) \cdot VT + t_f \cdot VT \quad (4)$$

the driver on board or waiting at the intermediate port could be considered as rest hours, therefore they are not paid, but if the voyage, or the waiting time at the intermediate port, are long, not all these hours could be considered as rest hours.

More in detail, the journey could be organized in order to make the hours spent on board coincide with rest hours: in particular, if the voyage (plus the waiting time) lasts less than 12 hours, all this time could coincide with the daily rest time. But if the voyage lasts more than 24 hours, the driver loses an entire working day: i.e. 9 hours. A reduced cost for the driver, equal to 17.60 €/h [40], could be considered for the working hours lost, because during the voyage, or while waiting for the following ship, the driver does not work.

4.1.3. Generalized cost of an intermodal path

In the case of an intermodal accompanied path, with transshipment at the intermediate port, the generalized cost is given by the following expression:

$$C_g = C_b + 26 \cdot 2 \cdot 1,5 + 17,6 \cdot (h_{b1} + h_{b2} + h_w) + (t_{n1} + t_{n2} + t_{cs1} + t_{cs2} + t_w) \cdot VT + t_f \cdot VT \quad (3)$$

- C_b = ticket price of the two MoS routes;
- 1,5 = time necessary for embarking (1 hour) and disembarking (0.5 hours) the articulated lorry in accompanied transport;
- h_{b1} , h_{b2} = number of working hours lost on board in the two voyages (only the lost working hours, not the entire voyage);
- h_w = number of working hours lost waiting for the following ship (only the lost working hours, not the entire waiting time);
- 17.6 = driver cost for each working hour lost on board or waiting for the following ship;
- VT = value of time;
- t_{n1} , t_{n2} = voyage time (navigation), respectively on board of the first and of the second ship;
- t_{cs1} , t_{cs2} = embarkation and disembarkation time (on the whole two hours for embarkation and disembarkation) regarding the first and the second ship;
- t_w = waiting time for the following ship;
- t_f = frequency delay: it has been considered separately because it is not a real time, but it is a quantity which takes into account the frequency of the route, penalizing the less frequent routes, because the driver has less possibilities for choosing the departure time.

Clearly the simple monetary cost could be obtained still from the expression (3), but with VT = 0.

In the case of an intermodal accompanied path, without transshipment, the generalized cost becomes:

$$C_g = C_b + 26 \cdot 1,5 + 17,6 \cdot h_b + (t_n + t_{cs}) \cdot VT + t_f \cdot VT \quad (4)$$

Nel caso di un itinerario intermodale non accompagnato, senza trasbordi, il costo generalizzato è il seguente:

$$C_g = C_b + 26 \cdot 1 + (t_n + t_{cs}) \cdot VT + t_f \cdot VT \quad (5)$$

con t_{cs} pari a 3 ore complessive.

5. Confronto tra i costi e i tempi della alternativa “tutto-strada” e quella di trasporto intermodale accompagnato nella situazione attuale.

Per ciascun itinerario intermodale, basato sulle AdM, sono stati determinati: il costo monetario, il tempo di viaggio, e il costo generalizzato. Il tempo di viaggio è stato calcolato come la somma di: tempi di traversata, tempi di carico scarico, tempo di attesa della nave successiva (depurato del tempo di scarico dalla prima nave e di carico sulla seconda) al porto intermedio, e “frequency delay”. In tabella 2 è riportato il confronto, in termini di costi monetari, di tempi del viaggio e di costi generalizzati, fra il “tutto-strada” e il trasporto intermodale.

La differenza, in percentuale, tra i costi, monetario e generalizzato, del “tutto-strada” e del trasporto intermodale, è stata calcolata come segue:

$$\frac{\text{costo intermodale} - \text{costo “tutto-strada”}}{\text{costo “tutto-strada”}} \% \quad (6)$$

Dai risultati riportati in tabella 2 scaturisce, in modo evidente, che, attualmente, un’alternativa intermodale esiste, ma non è per nulla conveniente: né in termini di costo monetario e generalizzato, né in termini di tempo di viaggio.

6. Proposte di miglioramento

La mancata competitività del trasporto intermodale è dovuta al fatto che fra i porti considerati non esiste un unico servizio (rotta) che, seppure attraverso un porto intermedio, congiunge i porti origine e destinazione: la necessità del cambio di nave a Bastia comporta elevati tempi di viaggio (le due rotte non sono in coincidenza a Bastia) e costi (è necessario pagare due biglietti separati). Inoltre la necessità di attraversare il porto di Bastia incrementa anche le distanze del trasporto intermodale: per esempio, nel caso dell’itinerario Livorno-Nizza, la distanza del trasporto intermodale è inferiore, rispetto a quella del “tutto-strada”, soltanto del 5% (tabella 2).

Sono state quindi studiate delle proposte di miglioramento, qui di seguito riportate. In tutte le proposte di miglioramento è stata considerata l’introduzione dell’ecobonus: è stata considerata una riduzione del 25% del costo del biglietto (l’ecobonus prevede uno sconto dal 20 al 30% del costo del biglietto). Le prime due considerano ancora il passaggio per Bastia, la M3 invece prevede rotte punto-punto fra i porti origine e destinazione senza fermate intermedie. Inoltre la M2 e la M3 comprendono non solo il trasporto intermodale accompagnato, ma anche quello non accompagnato. Il trasporto intermodale non

In the case of an intermodal unaccompanied path, without transshipment, the generalized cost becomes:

$$C_g = C_b + 26 \cdot 1 + (t_n + t_{cs}) \cdot VT + t_f \cdot VT \quad (5)$$

with t_{cs} equal to a total of 3 hours.

5. Comparison of monetary costs and travel times between “all-road” and intermodal accompanied transport in the current situation

For each intermodal path, based on MoS, they have been determined: the monetary cost, the travel time and the generalized cost. The travel time has been calculated as the sum of: voyage times, embarkation and disembarkation times, waiting time of the following ship (which does not comprise the disembarkation time from the first ship and the embarkation time on the second ship) at the intermediate port, and the “frequency delay”. In table 2 the comparison, in terms of monetary costs, travel times and generalized costs, between “all-road” and intermodal transport, is reported.

The difference, in percentage, between monetary and generalized costs of “all-road” and intermodal transport, is calculated as follows:

$$\frac{\text{intermodal cost} - \text{“all-road” cost}}{\text{“all-road” cost}} \% \quad (6)$$

The results reported in table 2 clearly show that, currently, an intermodal alternative exists, but it is convenient: neither in terms of monetary and generalized costs, nor in terms of travel time.

6. Improvement scenarios

The lack of competitiveness of intermodal transport is mainly due to the fact that, among the ports considered, it does not exist an unique service (route) which connects the origin and destination ports, although calling at an intermediate port: the necessity of changing the ship in Bastia results in high travel times (the two routes are not in coincidence in Bastia) and costs (it is necessary to pay two different tickets). In addition, the necessity of crossing the port of Bastia increases also the distances of the intermodal transport: for example, in the case of the path Livorno-Nice, the distance of the intermodal transport is less than that of “all-road” mode only by 5% (table 2).

As a result, several proposals for improvement have been studied: they are reported herewith. In all these improvement scenarios the introduction of the ecobonus has been considered: it has been considered a reduction, by 25%, of the ticket price (the ecobonus provides a discount between 20 and 30% of the ticket price). The first two improvement scenarios (M1 and M2) still consider calling at the port of Bastia, while the M3 scenario provides the development of new point-to-point routes (direct routes) from origin to destination ports without intermediate calls. In addition, M2 and M3 scenarios comprise also the unac-

TABELLA 2 – TABLE 2

Confronto in termini di costo monetario, tempo di viaggio, costo generalizzato e distanza tra l’alternativa “tutto-strada” e quella intermodale. La differenza, in percentuale, tra i costi, monetario e generalizzato, del “tutto-strada” e dell’intermodale, è stata calcolata come riportato nella formula (6). Differenze percentuali, tra i costi, positive indicano che l’alternativa intermodale è peggiore del “tutto-strada”, differenze percentuali negative indicano che l’intermodale è migliore del “tutto-strada”

Comparison, in terms of monetary cost, travel time, generalized cost and distance, between the “all-road” and the intermodal alternatives. The difference, in percentage, between monetary and generalized costs, of “all-road” and intermodal transport, has been calculated as reported in formula (6). Positive differences, in percentage, among costs point out that the intermodal alternative is worse than the “all-road” one; negative differences point out that the intermodal transport alternative is better than the “all-road” one

Itinerario Path	Tutto-strada – “All-road”				n° servizi sett n° services per week	Intermodale – Intermodal				diff. % costo monetario % diff. monetary cost	diff. % costo generalizzato % diff. generalized cost
	Costo monetario (€) Monetary cost (€)	Tempo di viaggio (hh:mm) Travel time (hh:mm)	Costo generalizzato (€) Generalized cost (€)	Distanza (km) Distance (km)		Costo monetario (€) Monetary cost (€)	Tempo di viaggio (hh:mm) Travel time (hh:mm)	Costo generalizzato (€) Generalized cost (€)	Distanza (km) Distance (km)		
Livorno – Nizza Livorno – Nice	765	05:45	804	372	4	1.099	35:05	1.338	354	43,66%	66,42%
Nizza – Livorno Nice – Livorno	765	05:45	804	372	4	1.071	32:45	1.294	354	40,00%	60,95%
Livorno – Tolone Livorno – Toulon	1.078	07:35	1.130	521	7	1.186	26:10	1.364	468	10,02%	20,71%
Tolone – Livorno Toulon – Livorno	1.078	07:35	1.130	521	7	1.186	23:30	1.346	468	10,02%	19,12%
Livorno – Marsiglia Livorno – Marseilles	1.191	08:10	1.247	576	5	1.359	28:52	1.556	542	14,11%	24,78%
Marsiglia – Livorno Marseilles – Livorno	1.191	08:10	1.247	576	7	1.359	25:50	1.535	542	14,11%	23,10%

accompagnato non è stato considerato nel primo scenario M1. Infatti il trasporto non accompagnato richiederebbe non solo la movimentazione del semirimorchio al terminale iniziale e finale, ma anche la presenza di personale per custodire il medesimo da quando viene scaricato dalla prima nave a quando viene caricato sulla seconda, al porto intermedio. Il trasporto non accompagnato è stato invece preso in considerazione per le proposte di miglioramento M2 e M3 che non richiedono il trasbordo dell’autoarticolato ad un porto intermedio infatti in questi casi non occorre che sia custodito il veicolo nel porto.

Le proposte di miglioramento considerate sono le seguenti:

- M1) Sistema di integrazione tariffaria: in modo tale da poter fare un unico biglietto (a minore costo), per il servizio fra i porti della coppia O-D; servizio che continua ad essere composto da due rotte separate passanti per Bastia svolto con navi diverse.
- M2) Unire le due rotte, necessarie per collegare ciascuna coppia origine-destinazione, in una unica: ad

accompanied intermodal transport (not only the accompanied one). Unaccompanied intermodal transport was not considered in the first scenario (M1): actually unaccompanied transport would require not only the handling of the semitrailer at the initial and final terminals, but also the presence of some personnel to look after the semitrailer, since it is disembarked from the first ship until it is embarked on the second ship. Unaccompanied intermodal transport has been taken into account for the improvement scenarios M2 and M3, which do not require the transshipment of the road vehicle at an intermediate port, consequently, in these cases, it is not necessary to look after the road vehicle at the port.

The improvement scenarios considered are the following:

- M1) Fares integration: therefore it is possible to make a unique ticket (with minor cost per tkm) for the service between the ports of the O-D pair; this service is still composed of two separate routes calling at Bastia, performed by two different ships;

esempio, unire le due rotte Livorno-Bastia e Bastia-Nizza, in un'unica rotta Livorno-Bastia-Nizza. In questo modo si può raggiungere Nizza da Livorno utilizzando la stessa nave, ma si garantisce comunque il soddisfacimento della domanda di trasporto da e per Bastia. Questo porta un elevato beneficio in termini: non solo del costo del biglietto, ma anche di tempo di viaggio. Inoltre, consente di migliorare i collegamenti tra Livorno e Nizza senza dover necessariamente prevedere la realizzazione di una nuova rotta punto-punto, investimento più consistente della fusione delle due rotte esistenti.

- M3) Questa alternativa di miglioramento riguarda la realizzazione di nuove rotte punto-punto che colleghino coppie di porti della costa senza alcuna fermata intermedia. In questo caso l'investimento è maggiore che nel caso delle alternative di miglioramento precedenti.

Nei successivi paragrafi, verranno presentate le alternative di miglioramento, considerate, nel dettaglio e saranno determinati i benefici: in particolare in termini di costo monetario e generalizzato.

6.1. Integrazione tariffaria

Questa proposta di miglioramento (M1) prevede il mantenimento delle rotte e degli orari allo stato attuale; però, prevede la realizzazione di un unico biglietto per le due rotte utilizzate nell'itinerario intermodale. Per esempio, nell'itinerario tra Livorno e Nizza non sarà più necessario pagare due biglietti, Livorno-Bastia e Bastia-Nizza, ma un unico biglietto, il cui prezzo viene calcolato come se non si trattasse di due rotte diverse, ma di un'unica rotta.

Per questa proposta di miglioramento è stato quindi necessario determinare una relazione che consenta di calcolare il prezzo del biglietto in funzione della lunghezza della rotta di AdM.

Sono state studiate diverse forme funzionali, calibrate mediante regressione lineare. Quella che ha dato i risultati di calibrazione migliori è stata la seguente:

$$p = k + m l \quad (7)$$

dove:

- p = prezzo del biglietto (€);
- l = lunghezza della tratta (km);
- k, m = coefficienti, rispettivamente intercetta e coefficiente angolare della retta di regressione.

In particolare, k è la componente costante del prezzo del biglietto, ossia non dipendente dalla distanza, mentre m è il prezzo unitario del biglietto in €/km.

Il campione, per il calcolo della regressione, è costituito nei valori di lunghezza della rotta e prezzo del biglietto di tutte le rotte in esercizio nell'area di studio: le rotte considerate sono riportate in tabella 3. Sono state

- M2) Merging of the two routes, necessary to connect each O-D pair, in a unique route: for example, merging the routes Livorno-Bastia and Bastia-Nice in a unique route Livorno-Bastia-Nice. As a result, it is possible to reach Nice from Livorno using the same ship, but contemporarily, the transport demand to/from Bastia is satisfied. This leads to a high benefit in terms not only of ticket cost but also of travel time. In addition, this allows to improve connections between Livorno and Nice without the necessity to provide a new point-to-point route which is a more sizeable investment than the fusion of the existing routes;
- M3) this improvement scenario regards the development of new point-to-point (direct) routes connecting the ports of the Ligurian coast without any intermediate stop. In this case, the investment is greater than in the two previous improvement scenarios.

In the following sections, the improvement scenarios taken into account will be presented in detail, and their benefits will be determined: in particular in terms of monetary and generalized costs.

6.1. Fares integration

This improvement scenario (M1) considers: maintaining routes and timetables at the current status, but having a unique ticket for the two routes used in the intermodal path. For example, in the path Livorno-Nice it will be no longer necessary to pay two tickets, Livorno-Bastia and Bastia-Nice, but a unique ticket, whose price is calculated considering the connection Livorno-Nice (through Bastia) as if it were composed by only one route.

For this improvement scenario, it was therefore necessary to determine a relation which allows to calculate the ticket price according to the MoS route length.

Several relations have been studied, and they have been calibrated through linear regression. The relation which provided the best calibration results has been the following:

$$p = k + m l \quad (7)$$

where:

- p = ticket price (€);
- l = route length (km);
- k, m = coefficients, respectively intercept point and slope of the regression line.

In particular, k is the constant component of the ticket price, i.e. it does not depend from the distance, while m is the unitary ticket price, in €/km.

The sample, for the calculation of the linear regression, consisted of the values of route length and ticket price of all routes in operation in the area under study: the routes taken into account are reported in table 3. But the routes operated by La Mériidionale, which are operated in code

TABELLA 3 – TABLE 3

Il campione utilizzato per la regressione. Le rotte servite da La M ridionale-SNCM sono state considerate come un'unica rotta per la ragione spiegata nel testo
The sample used for the linear regression. Routes served by La M ridionale-SNCM have been considered as a unique route for the reason explained in the text

Rotta Route		Operatore Operator	Distanza Distance (km)	Prezzo del biglietto "accompagnato" Ticket price "accompanied"	Prezzo del biglietto "non accompagnato" Ticket price "unaccompanied"
Origine Origin	Destinazione Destination				
Civitavecchia	Arbatax	Tirrenia	296	� 425	� 322
Civitavecchia	Olbia	Tirrenia	228	� 386	� 293
Livorno	Bastia	Sardinia / Corsica Ferries	117	� 363	� 275
Livorno	Golfo Aranci	Sardinia / Corsica Ferries	300	� 526	� 429
Livorno	Olbia	Moby Lines	300	� 541	� 443
Genova	Porto Torres	Tirrenia	403	� 632	� 432
Genova	Olbia	Tirrenia	411	� 597	� 406
Savona	Bastia	Sardinia / Corsica Ferries	205	� 396	� 300
Nice	Bastia	Sardinia / Corsica Ferries	237	� 396	� 300
Toulon	Bastia	Sardinia / Corsica Ferries	351	� 543	� 411
Toulon	Ajaccio	Sardinia / Corsica Ferries	279	� 543	� 411
Marseilles	Propriano	SNCM, La Meridionale	374	� 716	� 543
Marseilles	Porto Vecchio	SNCM, La Meridionale	474	� 716	� 543
Marseilles	Ajaccio	SNCM, La Meridionale	330	� 716	� 543
Marseilles	Ile Rousse	SNCM, La Meridionale	347	� 716	� 543
Marseilles	Bastia	SNCM, La Meridionale	425	� 716	� 543

per  esclude le rotte servite da La Méridionale, in code sharing con la compagnia SNCM (Soci t  Nationale Corse-Méditerranée), perch  (come   evidente in tabella 3) prevedono un'unica tariffa per la Corsica, indipendentemente dalla lunghezza della rotta. Per tali rotte,   stata considerata, ai fini della regressione, un'unica rotta rappresentativa, avente come lunghezza la media delle lunghezze delle rotte considerate: ossia 390 km. In tabella sono stati riportati anche i prezzi del biglietto per il trasporto non accompagnato, che perch  verranno utilizzati nelle successive sezioni 6.2 e 6.3 (alternative di miglioramento M2 e M3).

I risultati della regressione, relativamente al trasporto accompagnato, sono i seguenti:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	230,2814	71,2109	3,234	0,01199 *
X	0,8509	0,2310	3,683	0,00619 **

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Residual standard error: 48,54 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0,629, Adjusted R-squared: 0,5827
F-statistic: 13,57 on 1 and 8 DF, p-value (Pr(>|t|)): 0,00619

sharing with SNCM (Société Nationale Corse-Méditerranée), have been excluded, because (as it is shown in table 3) they provide a unique price for all ports in Corsica, independently from the route length. For these routes, it has been considered, for the regression, a unique representative route, which has a length equal to the average length of the routes operated by La M ridionale: that is 390 km. In the table also the ticket prices for unaccompanied transport have been reported, which will not be used here-with but in the following 6.2 and 6.3 sections (improvement scenarios M2 and M3).

The linear regression results, related to accompanied transport, are the following:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	230,2814	71,2109	3,234	0,01199 *
X	0,8509	0,2310	3,683	0,00619 **

*Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1*

*Residual standard error: 48,54 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0,629, Adjusted R-squared: 0,5827
F-statistic: 13,57 on 1 and 8 DF, p-value (Pr(>|t|)): 0,00619*

Il valore di R^2 corretto è pari a 0,58. L'intercetta e il coefficiente angolare della retta di regressione sono risultati sufficientemente significativi. L'unico problema riguarda la ridotta quantità di dati, infatti solo 12 coppie distanza-prezzo del biglietto erano disponibili dai dati attuali delle rotte.

I coefficienti della (7) determinati mediante la regressione sono stati:

- $k = 230,28 \text{ €}$;
- $m = 0,85 \text{ €/km}$.

Pertanto il prezzo del biglietto, per il trasporto accompagnato, p_{acc} è stato calcolato come segue:

$$p_{acc} = 230,28 + 0,85 l \tag{8}$$

Nelle rotte tra la penisola italiana e la Sardegna, servite dalla Tirrenia (tabella 3), viene già attualmente applicato l'ecobonus: in questo caso, è stato considerato, per la regressione, il prezzo del biglietto senza ecobonus. Il prezzo del biglietto, formula (8), è stato successivamente ridotto del 25% per l'ecobonus, che, come riportato nella sezione 6, è stato considerato applicato in tutte le alternative di miglioramento considerate.

In tabella 4 sono riportati i costi monetario e generalizzato del trasporto intermodale accompagnato nell'ipo-

The corrected R^2 value is equal to 0.58. The intercept point and the slope of the regression line have resulted sufficiently significant. The only problem of the linear regression regards the limited quantity of data, because only 12 pairs, distance – ticket price, were available from the current data of the routes.

Coefficients of (7), determined through linear regression, have been:

- $k = 230,28 \text{ €}$;
- $m = 0,85 \text{ €/km}$.

Therefore the ticket price, for accompanied transport, p_{acc} , has been calculated as follows:

$$p_{acc} = 230,28 + 0,85 l \tag{8}$$

In the routes between the Italian mainland and Sardinia, served by Tirrenia (table 3), the ecobonus is currently applied: in this case, for the regression, the ticket price without the ecobonus has been considered. The ticket price, formula (8), has been afterwards reduced by 25% because of the ecobonus, which, as reported in section 6, has been applied in all the improvement scenarios studied.

In table 4 monetary and generalized costs of intermodal accompanied transport, in the hypothesis of fares integra-

TABELLA 4 – TABLE 4

Costo monetario e costo generalizzato del trasporto intermodale, considerando applicata l'integrazione tariffaria; confronti con i costi monetario e generalizzato del trasporto "tutto-strada". La differenza, in percentuale, tra i costi, monetario e generalizzato, del "tutto-strada" e dell'intermodale, è stata calcolata come riportato nella formula (6). Differenze percentuali, tra i costi, positive indicano che l'alternativa intermodale è peggiore del "tutto-strada", differenze percentuali negative indicano che l'alternativa intermodale è migliore del "tutto-strada"

Monetary and generalized costs of intermodal transport, with the application of the fares integration (M1 improvement scenario); comparison with monetary and generalized costs of "all-road" mode. The difference, in percentage, between monetary and generalized costs of "all-road" and intermodal transport, has been calculated as shown in formula (6). Positive differences in percentage among costs point out that the intermodal alternative is worse than the "all-road" one, negative differences in percentage point out that the intermodal alternative is better than the "all-road" one

Itinerario Path	Tutto-strada All-road		Intermodale Intermodal		Differenza % costo monetario % difference monetary cost	Differenza % costo generalizzato % difference generalized cost
	Costo monetario (€) Monetary cost (€)	Costo generalizzato (€) Generalized cost (€)	Costo monetario con integrazione tariffaria (€) Monetary cost with fares integration (€)	Costo generalizzato con integrazione tariffaria (€) Generalized cost with fares integration (€)		
Livorno - Bastia - Nice	765	804,22	705,2	1004,3	-7,82%	24,88%
Nice - Bastia - Livorno	765	804,22	705,2	988,4	-7,82%	22,90%
Livorno - Bastia - Toulon	1078	1129,73	782,8	961,3	-27,38%	-14,91%
Toulon - Bastia - Livorno	1078	1129,73	782,8	943,1	-27,38%	-16,52%
Livorno - Bastia - Marseilles	1191	1246,7	879,2	1076,1	-26,18%	-13,68%
Marseilles - Bastia - Livorno	1191	1246,7	879,2	1055,4	-26,18%	-15,34%

tesi di integrazione tariffaria. Questi costi sono confrontati con quelli del “tutto-strada”. Non sono stati riportati i tempi di viaggio perché l'integrazione tariffaria non incide su di essi.

Il costo monetario del trasporto intermodale si riduce notevolmente, ed in particolare è inferiore (anche in modo rilevante, se si esclude l'itinerario Livorno-Bastia-Nizza e viceversa) al costo del trasporto “tutto-strada” per tutti gli itinerari considerati. Anche il costo generalizzato del trasporto intermodale è inferiore a quello del trasporto “tutto-strada”, però solo per 4 casi su 6: questo a causa dei lunghi tempi di viaggio per il trasporto intermodale. Nell'itinerario Livorno-Nizza il costo generalizzato del trasporto intermodale risulta ancora superiore a quello del trasporto “tutto-strada”, proprio a causa del lungo tempo di attesa a Bastia.

6.2. Accorpamento delle rotte esistenti in rotte più lunghe facenti scalo a Bastia

In questa sezione sono riportati i miglioramenti, in termini di tempi di viaggio, costi monetari e costi generalizzati a seguito dell'accorpamento delle rotte (alternativa di miglioramento M2): Livorno-Bastia, Bastia-Nizza, Bastia-Tolone e Bastia-Marsiglia (e viceversa), nelle rotte: Livorno-Nizza, Livorno-Tolone e Livorno-Marsiglia (e viceversa), tutte con sosta intermedia a Bastia. In questo modo è sia soddisfatta la domanda di trasporto tra la Corsica e i porti dell'arco ligure, italiani e francesi, e sia ridotto il tempo di viaggio tra coppie di porti dell'arco ligure. Al fine di ridurre il più possibile il tempo di viaggio dell'alternativa intermodale, la durata dello scalo a Bastia è stato ridotto al minimo.

Il beneficio di questa proposta di miglioramento, però, non riguarda soltanto i tempi di viaggio. Infatti, non essendo più necessario il trasbordo dell'autoarticolato nel porto intermedio, in quanto l'origine e la destinazione dell'itinerario intermodale sono collegate da un'unica rotta, non è più necessario custodire il veicolo: perciò è stato possibile considerare anche l'alternativa di trasporto intermodale non accompagnato. Questo aspetto porta un beneficio notevole, in quanto il trasporto non accompagnato è più economico di quello accompagnato, sia perché è sufficiente caricare sulla nave il solo semirimorchio, pertanto il prezzo del biglietto è più basso, sia perché l'autista, non essendo a bordo, non perde ore di lavoro. D'altra parte, i tempi del trasporto intermodale non accompagnato sono superiori di un'ora soltanto (per le procedure di carico e scarico) a quelli del trasporto accompagnato.

È stato necessario realizzare un modello, mediante regressione lineare, che consenta di prevedere il prezzo del biglietto anche nel caso di trasporto non accompagnato. E' stata utilizzata la stessa metodologia, svolta per il trasporto accompagnato, descritta nella sezione 6.1. I prezzi dei biglietti utilizzati per la regressione sono stati riportati in tabella 5 (ultima colonna).

tion, are reported. These costs are compared with those of the “all-road” mode. Travel times were not reported because the fares integration does not have any impact on them.

The monetary cost of intermodal transport reduces significantly, and in particular it is less (also substantially, excluding the path Livorno-Bastia-Nice and vice versa) than the cost of “all-road” mode for all considered paths. Also the generalized cost of the intermodal transport is less than the “all-road” one, but only in 4 cases out of 6: this happens because of the long travel times for intermodal transport. In the path Livorno – Nice (and vice versa) the generalized cost of intermodal transport is still greater than the generalized cost of “all-road”, because of the high waiting time in Bastia.

6.2. Merging of the existing routes in longer routes calling at the port of Bastia

In this section it is reported the improvement in travel times, monetary costs and generalized costs after the merging of the routes (M2 improvement scenario): Livorno-Bastia, Bastia-Nice, Bastia-Toulon and Bastia-Marseilles (and vice versa), in the routes: Livorno-Nice, Livorno-Toulon and Livorno-Marseilles (and vice versa), all having an intermediate stop in Bastia. In this way, the transport demand, between Corsica and Italian and French continental ports, in the coastal area of the Ligurian-northern Tyrrhenian sea, is satisfied, and simultaneously the travel time between Italian and French continental ports is reduced. In order to decrease, as much as possible, the travel time of the intermodal alternative, the duration of the ship call at Bastia is reduced to the minimum.

However, the benefit of this improvement scenario does not concern only travel times. Actually, it is no longer necessary the transshipment of the tractor and semitrailer at the intermediate port, from a ship to another, because the origin and the destination of the intermodal transport are connected through a unique ship; therefore it is no longer necessary to look after the vehicle at the intermediate port. Consequently, it has been possible to consider also the unaccompanied intermodal transport alternative. This leads to a sizeable saving of monetary cost, as unaccompanied transport is more convenient than accompanied transport, because: on one hand it is necessary to load on the ship only the semitrailer, therefore the ticket price is lower; on the other hand, the driver is not on board, therefore no working hours are lost. In addition, the overall times of intermodal unaccompanied transport are greater by only one hour (for loading / unloading procedures) than those of accompanied transport.

It was necessary to develop a model, through linear regression, which allows to forecast the ticket price also in the case of unaccompanied transport. The same methodology as for accompanied transport, described in section 6.1, has been used. Ticket prices used for the linear regression have been reported in table 5 (last column).

TABELLA 5 – TABLE 5

Confronto tra il trasporto intermodale *accompagnato* e quello “tutto-strada” nell’ipotesi di accorpamento delle rotte AdM. La differenza, in percentuale, tra i costi, monetario e generalizzato, del “tutto-strada” e dell’intermodale, è stata calcolata come riportato nella formula (6). Differenze percentuali, tra i costi, positive indicano che l’alternativa intermodale è peggiore del “tutto-strada”, differenze percentuali negative indicano che l’alternativa intermodale è migliore del “tutto-strada”

Comparison between accompanied intermodal and “all-road” transport in the hypothesis of joining MoS routes. The difference, in percentage, between monetary and generalized costs of “all-road” and intermodal transport has been calculated as shown in the formula (6). Positive differences, in percentage, among costs point out that the intermodal alternative is worse than the “all-road” one, negative differences point out that the intermodal alternative is better than the “all-road” one

Origine <i>Origin</i>	Destinazione <i>Destination</i>	Via (porto intermedio) <i>Via (intermediate port)</i>	Tutto-strada <i>All-road</i>				Intermodale (accompagnato) <i>Intermodal (accompanied)</i>				Differenza % costo monetario <i>% Difference monetary cost</i>	Differenza % costo generalizzato <i>% difference generalized cost</i>
			Costo monetario (€) <i>Monetary cost (€)</i>	Tempo di viaggio (hh:mm) <i>Travel time (hh:mm)</i>	Costo generalizzato (€) <i>Generalized cost (€)</i>	Distanza (km) <i>Distance (km)</i>	Costo monetario (€) <i>Monetary cost (€)</i>	Tempo di viaggio (con frequency delay) <i>Travel time (with frequency delay)</i>	Costo generalizzato (€) <i>Generalized cost (€)</i>	Distanza (km) <i>Distance (km)</i>		
Livorno	Nice	Bastia	765	05:45	804,2	372	508,2	18:00	631,0	354	-33,6%	-21,6%
Livorno	Toulon	Bastia	1078	07:35	1129,7	521	662,1	22:20	814,4	468	-38,6%	-27,9%
Livorno	Marseilles	Bastia	1191	08:10	1246,7	576	747,6	24:20	913,6	542	-37,2%	-26,7%
Civitavecchia	Marseilles	Bastia	1622	20:35	1762,3	815	871,3	28:02	1062,5	627	-46,3%	-39,7%

Per il trasporto non accompagnato i risultati della regressione sono:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	170,9640	60,5781	2,822	0,0224 *
X	0,7074	0,1938	3,649	0,0065 **

Signif. codes: 0 ‘***’ 0,001 ‘**’ 0,01 ‘*’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 54,48 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0,6247, Adjusted R-squared: 0,5778
F-statistic: 13,32 on 1 and 8 DF, p-value (Pr(>|t|)): 0,006501

Pertanto il prezzo del biglietto $p_{non,acc}$ è stato calcolato come segue:

$$p_{non,acc} = 170,96 + 0,71 \, l \tag{9}$$

dove l è la lunghezza della rotta.

Facendo riferimento ai tempi necessari per le operazioni di carico e scarico della nave nei due casi di trasporto accompagnato e non accompagnato, è stato ipotizzato un tempo di sosta a Bastia pari a 3 ore: 3 ore è il tempo necessario per scaricare e caricare (il veicolo dalla nave) per quello, dei due tipi di trasporto intermodale, che richiede più tempo: ossia il trasporto non accompagnato.

For unaccompanied transport, the linear regression results are the following:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	170,9640	60,5781	2,822	0,0224 *
X	0,7074	0,1938	3,649	0,0065 **

*Signif. codes: 0 ‘***’ 0,001 ‘**’ 0,01 ‘*’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1*

*Residual standard error: 54,48 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0,6247, Adjusted R-squared: 0,5778
F-statistic: 13,32 on 1 and 8 DF, p-value (Pr(>|t|)): 0,006501*

As a result, the ticket price $p_{non,acc}$ has been calculated as follows:

$$p_{non,acc} = 170,96 + 0,71 \, l \tag{9}$$

where l is the route length (km).

Making reference to the time necessary to perform loading and unloading operations of the ship, in the two cases of accompanied and unaccompanied transport, a dwell time in Bastia equal to 3 hours has been hypothesized: 3 hours is the time required to load and unload the vehicle (to/from the ship) for the transport mode which requires more time: that is, the unaccompanied transport. In addi-

Inoltre, è stato deciso di portare la frequenza di tutte le rotte a 7 servizi la settimana (ossia una partenza giornaliera), in modo tale da ridurre il frequency delay a solo 3 ore. I valori del costo monetario, del tempo di viaggio e del costo generalizzato, a seguito dell'accorpamento delle rotte predette, sono riportati in tabella 5 per quanto riguarda il trasporto accompagnato, e in tabella 6 relativamente al trasporto non accompagnato.

Il tempo di viaggio tra Livorno e Nizza si riduce a 18 ore nel trasporto accompagnato e 19 nel non accompagnato. Il tempo di viaggio tra Livorno e Tolone si riduce a 22 ore e 20' per il trasporto accompagnato, 23 ore e 20' per il non accompagnato, mentre il tempo di viaggio tra Livorno e Marsiglia si riduce a 24 ore e 20' / 25 ore e 20'. E' stata inoltre introdotta una rotta tra Civitavecchia e Marsiglia, con scalo a Bastia (tempo di sosta sempre pari a 3 ore), per la quale il tempo di viaggio è pari a 28 ore per il trasporto accompagnato e 29 per il non accompagnato. Anche nel caso della rotta Civitavecchia-Marsiglia è stato considerato lo scalo a Bastia: un itinerario Civitavecchia-Marsiglia via Bastia è molto più breve, da un punto di vista geografico, di un itinerario via Olbia.

Confrontando i valori del tempo di viaggio del trasporto intermodale con quelli del trasporto "tutto-strada", come riportato nelle tabelle 5 e 6, si nota che, dal punto di vista esclusivo dei tempi, il trasporto intermodale non è ancora competitivo, anche se la situazione è mi-

tion, it has been chosen to set the frequency of all routes equal to 7 services per week (i.e. a departure per day) in order to reduce the frequency delay to 3 hours. The values of monetary cost, travel time and generalized cost, after the joining of the considered routes, are shown in table 5 regarding accompanied transport and in tab. 6 regarding unaccompanied transport.

The travel time between Livorno and Nice is reduced to 18 hours in accompanied transport and to 19 hours in unaccompanied transport. The travel time between Livorno and Toulon is reduced to 22h 20' in accompanied transport and to 23h 20' for unaccompanied transport. In addition, it has been introduced a route between Civitavecchia and Marseilles, calling at Bastia (with a dwell time, in Bastia, equal to 3 hours as for the other routes), whose travel time is equal to 28 hours for accompanied transport and to 29 hours for unaccompanied transport. Also in the route Civitavecchia-Marseilles the call at Bastia has been considered: a path Civitavecchia-Marseilles via Bastia is much shorter, from the geographic point of view, than a path via Olbia.

Comparing the travel times of intermodal transport with those of "all-road" transport, as shown in tables 5 and 6, it could be noticed that intermodal transport, considering only travel times, is not yet competitive, although the situation has improved. The travel time of "all-road" mode between Livorno and Nice is 5h 45', between

TABELLA 6 – TABLE 6

Confronto tra il trasporto intermodale *non accompagnato* e quello "tutto-strada" nell'ipotesi di accorpamento delle rotte AdM. La differenza, in percentuale, tra i costi, monetario e generalizzato, del "tutto-strada" e dell'intermodale, è stata calcolata come in formula (6). Differenze percentuali, tra i costi, positive indicano che l'alternativa intermodale è peggiore del "tutto-strada", differenze percentuali negative indicano che l'alternativa intermodale è migliore

Comparison between unaccompanied intermodal and "all-road" transport in the hypothesis of joining MoS routes. The difference, in percentage, between monetary and generalized costs of "all-road" and intermodal transport has been calculated as shown in the formula (6). Positive differences, in percentage, among costs point out that the intermodal alternative is worse than the "all-road" one, negative differences point out that the intermodal alternative is better than the "all-road" one

Origine <i>Origin</i>	Destinazione <i>Destination</i>	Via (porto intermedio) <i>Via (intermediate port)</i>	Tutto-strada <i>All-road</i>				Intermodale (accompagnato) <i>Intermodal (accompanied)</i>				Differenza % costo monetario <i>% Difference monetary cost</i>	Differenza % costo generalizzato <i>% difference generalized cost</i>
			Costo monetario (€) <i>Monetary cost (€)</i>	Tempo di viaggio (hh:mm) <i>Travel time (hh:mm)</i>	Costo generalizzato (€) <i>Generalized cost (€)</i>	Distanza (km) <i>Distance (km)</i>	Costo monetario (€) <i>Monetary cost (€)</i>	Tempo di viaggio (con frequency delay) <i>Travel time (with frequency delay)</i>	Costo generalizzato (€) <i>Generalized cost (€)</i>	Distanza (km) <i>Distance (km)</i>		
Livorno	Nice	Bastia	765	05:45	804,2	372	363,1	19:00	492,7	354	-52,5%	-38,7%
Livorno	Toulon	Bastia	1078	07:35	1129,7	521	427,6	23:20	586,8	468	-60,3%	-48,1%
Livorno	Marseilles	Bastia	1191	08:10	1246,7	576	469,5	25:20	642,3	542	-60,6%	-48,5%
Civitavecchia	Marseilles	Bastia	1622	20:35	1762,3	815	518,2	29:02	716,2	627	-68,1%	-59,4%

gliorata: il tempo di viaggio del “tutto-strada” tra Livorno e Nizza è 5h e 45’, tra Livorno e Tolone è 7h e 35’, tra Livorno e Marsiglia è 8h e 10’, mentre tra Civitavecchia e Marsiglia è 20h e 35’ (in quest’ultimo caso, i valori sono molto più alti a causa del riposo giornaliero dell’autista, che entra in gioco soltanto per questa coppia O/D: date le ridotte distanze tra le altre coppie origine/destinazione). Invece i tempi di viaggio del trasporto intermodale sono sempre superiori alle 18 ore. Per la coppia O/D Civitavecchia-Marsiglia, anche se il trasporto intermodale non è comunque conveniente dal punto di vista del tempo di viaggio, la differenza fra il tempo del viaggio dell’intermodale e quello del “tutto-strada” è notevolmente inferiore rispetto agli altri collegamenti.

Considerando invece il costo monetario, il trasporto intermodale è invece sempre più favorevole del trasporto “tutto- strada”. Il costo generalizzato risulta, anche esso, minore per il trasporto intermodale, ma poiché tiene conto dei tempi, ovviamente in misura percentuale inferiore rispetto al semplice costo monetario

6.3. Realizzazione di nuove rotte tra coppie di porti della costa ligure-tirrenica

È stato analizzato lo sviluppo di rotte punto-punto tra coppie di porti della costa ligure-tirrenica settentrionale. Data la conformazione geografica della costa, e le connessioni esistenti tra i diversi porti, è stata ipotizzata la realizzazione di sei rotte punto-punto (fig. 4):

- Civitavecchia-Nizza (7 servizi / settimana);
- Civitavecchia-Tolone (7 servizi / settimana);
- Civitavecchia-Marsiglia (7 servizi / settimana);
- Livorno-Nizza (7 servizi / settimana);
- Livorno-Tolone (7 servizi / settimana);
- Livorno-Marsiglia (7 servizi / settimana);

e di una rotta indiretta (sempre fig. 4):

- Civitavecchia-Marsiglia via Genova (7 servizi / settimana): studiata sia come unica rotta sia come due rotte separate: Civitavecchia-Genova e Genova-Marsiglia.

Vi sono fondamentalmente due ragioni, per cui la rotta Civitavecchia-Marsiglia via Genova è stata considerata sia come rotta unica sia come due rotte separate. In primo luogo, la domanda di trasporto considerata in questa rotta non ha solo origine/destinazione in Civitavecchia/Marsiglia, ma anche a Genova: pertanto, occorre conoscere sia i costi, monetario e generalizzato, sia i tempi di viaggio, tra Genova e Civitavecchia e tra Genova e Marsiglia. In secondo luogo, è stata considerata l’eventualità in cui una delle due parti della rotta abbia una bassa domanda, ad esempio, la tratta Genova-Marsiglia, per cui si decida di mantenere operativa solo la parte della rotta con domanda più elevata, ad esempio, la tratta Civitavecchia-Genova.

Livorno and Toulon it is 7h 35’, between Livorno and Marseilles it is 8h 10’, while between Civitavecchia and Marseilles the “all-road” travel time is 20h 35’ (for this last O-D pair, travel time values are much higher because of the daily rest time of the driver: actually only for this O-D pair the distances are so sizeable that the travel time must be increased by the daily rest time). Instead travel times of intermodal transport are always greater than 18 hours. However in the O-D pair Civitavecchia-Marseilles, although once again the intermodal transport is not convenient from the travel time point of view, the difference between the travel time of intermodal and “all-road” alternative is much less than for the other O-D pairs.

Considering instead the monetary cost, the intermodal transport is always more favourable than the “all-road” one. Also the generalized cost is lower for intermodal transport, but in a lower percentage than the monetary cost, because it takes into account travel times.

6.3. Development of completely new routes between pairs of ports of the Ligurian-northern Tyrrhenian coast

It was analyzed the development of new point-to-point routes between pairs of ports of the Ligurian – northern Tyrrhenian coast. Because of the geographical conformation of the coast, and the existing connections among ports, it was hypothesized the development of six point-to-point routes (fig. 4):

- *Civitavecchia-Nice (7 services per week);*
- *Civitavecchia-Toulon (7 services per week);*
- *Civitavecchia-Marseilles (7 services per week);*
- *Livorno-Nice (7 services per week);*
- *Livorno-Toulon (7 services per week);*
- *Livorno-Marseilles (7 services per week);*

and of an indirect route (again fig. 4):

- *Civitavecchia-Marseilles via Genoa (7 services per week): it has been studied both as a unique route and as two separate routes: Civitavecchia-Genoa and Genoa-Marseilles.*

There are substantially two reasons because the route Civitavecchia-Marseilles via Genoa has been considered both as a unique route and as two separate routes. Firstly, the transport demand considered in this route does not have only origin or destination in Civitavecchia or Marseilles but also in Genoa: therefore, it is necessary to know costs (monetary and generalized) and travel times between Genoa and Civitavecchia and between Genoa and Marseilles. Secondly, it has been considered the possibility that one of the two parts of the route registers a low demand, for example the route Genoa-Marseilles, therefore it may be decided to keep in operation only the route part which registers the highest demand, for example the route Civitavecchia-Genoa.

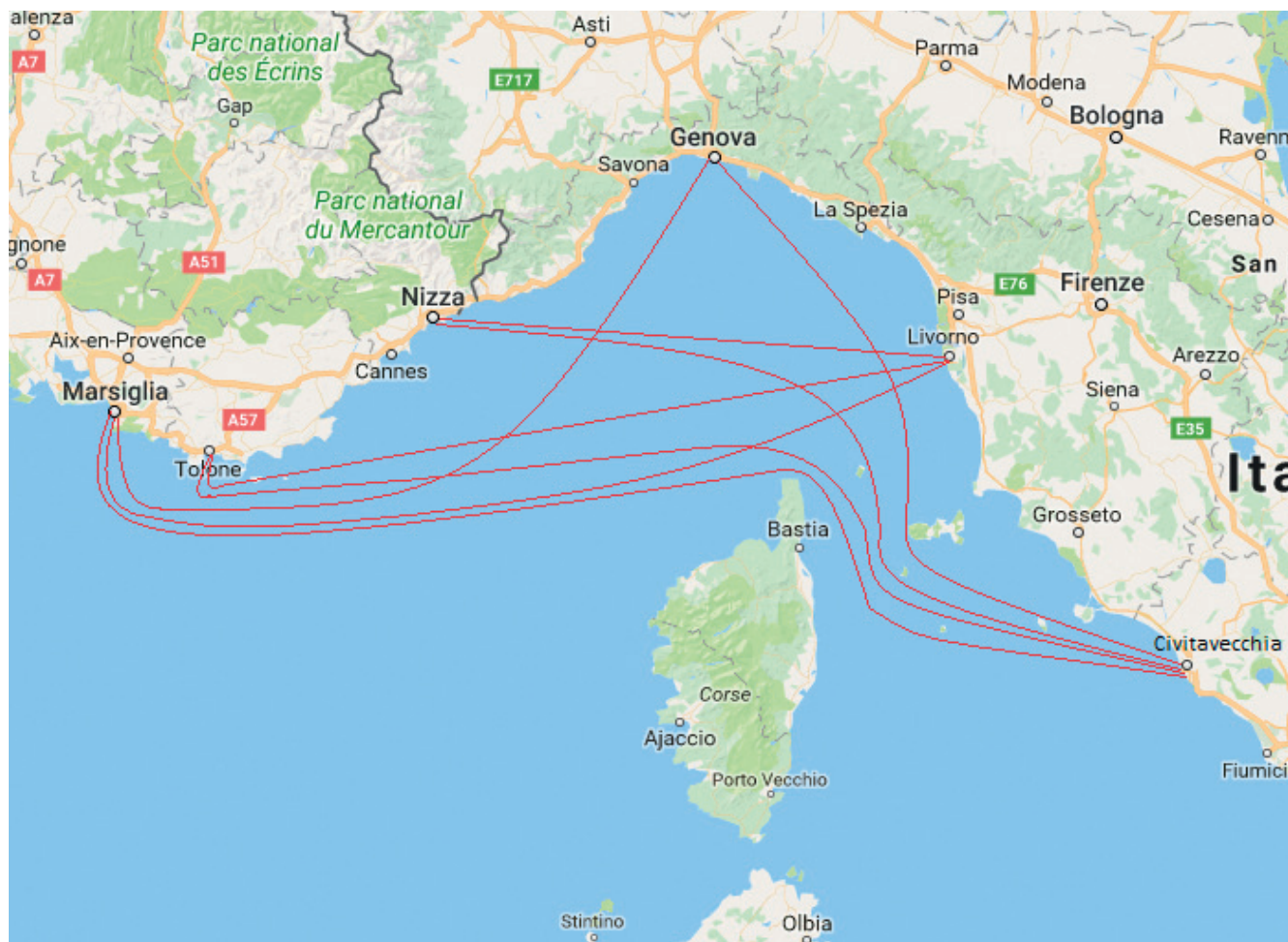


Fig. 4 - Le nuove rotte proposte: le rotte punto-punto Livorno-Nizza, Livorno-Tolone, Livorno-Marsiglia; Civitavecchia-Nizza, Civitavecchia-Tolone e Civitavecchia-Marsiglia; la rotta Civitavecchia-Marsiglia via Genova e le due rotte punto-punto Civitavecchia-Genova e Genova-Marsiglia.

Fig. 4 - The proposed new routes: the point-to-point routes Livorno-Nice, Livorno-Toulon, Livorno-Marseilles; Civitavecchia-Nice, Civitavecchia-Toulon, Civitavecchia-Marseilles; the route Civitavecchia-Marseilles via Genoa and the two point-to-point routes Civitavecchia-Genoa and Genoa-Marseilles.

I risultati, in termini di costo monetario, tempo di viaggio e costo generalizzato, derivanti dalla realizzazione di queste nuove rotte, sono riportati in tabella 7 (relativamente al trasporto accompagnato) e tabella 8 (relativamente al trasporto non accompagnato).

In questo scenario, i tempi di viaggio si sono ridotti drasticamente. Anche i costi monetari sono diminuiti, soprattutto perché, durando meno la traversata, gli autisti perdono meno ore di lavoro. I miglioramenti hanno interessato soprattutto la rotta Livorno-Nizza, per la quale le differenze, in particolare rispetto al costo generalizzato, nei confronti del trasporto “tutto-strada” sono diventate più rilevanti. Anche le distanze si sono ridotte: infatti, non occorre più attraversare il porto di Bastia, cosa che incrementava notevolmente la lunghezza dell’itinerario. La riduzione più rilevante si osserva per l’itinerario intermodale Livorno – Nizza diretto: infatti la lunghezza dell’itinerario

The results, in terms of monetary cost, travel time and generalized cost, which derive from the development of these new routes, are shown in table 7 (regarding accompanied transport) and table 8 (regarding unaccompanied transport).

In this scenario, travel times have reduced significantly. Also monetary costs have decreased, especially because the voyage is shorter, therefore drivers lose a smaller amount of working hours. The benefits are most consistent in the route Livorno-Nice, for which the differences, particularly regarding generalized cost, between intermodal and “all-road”, have become more sizeable. Distances have also reduced: actually it is no longer necessary to cross the port of Bastia, which increased substantially the length of the path. The biggest reduction could be observed for the point-to-point (direct) intermodal path Livorno-Nice: the length of the path via Bastia is 354 km

TABELLA 7 – TABLE 7

Confronto tra trasporto “tutto-strada” e trasporto intermodale *accompagnato* nell’ipotesi di realizzazione di nuove rotte AdM. La differenza, in percentuale, tra i costi, monetario e generalizzato, del “tutto-strada” e dell’intermodale, è stata calcolata come riportato in formula (6). Differenze percentuali, tra i costi, positive indicano che l’alternativa intermodale è peggiore del “tutto-strada”, differenze percentuali negative indicano che l’alternativa intermodale è migliore

Comparison between “all-road” and intermodal accompanied transport, in the hypothesis of developing completely new MoS routes. the difference, in percentage, between monetary and generalized costs of “all-road” and intermodal, has been calculated as shown in formula (6). Positive differences, in percentage, among costs, point out that the intermodal alternative is worse than the “all-road” one; negative differences, in percentage, point out that the intermodal alternative is better

Origine Origin	Destinazione Destination	Via (porto intermedio) Via (intermediate port)	Tutto-strada All-road				Intermodale (accompagnato) Intermodal (accompanied)				Differenza % costo monetario % Difference monetary cost	Differenza % costo generalizzato % difference generalized cost
			Costo monetario (€) Monetary cost (€)	Tempo di viaggio (hh:mm) Travel time (hh:mm)	Costo generalizzato (€) Generalized cost (€)	Distanza (km) Distance (km)	Costo monetario (€) Monetary cost (€)	Tempo di viaggio (con frequency delay) Travel time (with frequency delay)	Costo generalizzato (€) Generalized cost (€)	Distanza (km) Distance (km)		
Livorno	Nice	diretto direct	765	05:45	804,2	372	390,0	12:49	477,4	245	-49,02%	-40,64%
Livorno	Toulon	diretto direct	1078	07:35	1129,7	521	498,0	16:48	612,6	372	-53,80%	-45,77%
Livorno	Marseilles	diretto direct	1191	08:10	1246,7	576	598,7	19:23	730,9	458	-49,73%	-41,37%
Civitavecchia	Nice	diretto direct	1202	09:20	1265,6	610	547,7	18:05	671,0	415	-54,43%	-46,98%
Civitavecchia	Toulon	diretto direct	1510	12:00	1591,8	760	689,3	21:43	837,5	523	-54,35%	-47,39%
Civitavecchia	Marseilles	diretto direct	1621	20:35	1762,3	815	781,3	24:05	945,5	589	-51,83%	-46,35%
Civitavecchia	Marseilles	Genova	1621	20:35	1762,3	815	1077,5	33:20	1304,9	752	-33,57%	-25,96%
Civitavecchia	Genova	diretto direct	810	07:06	857,5	425	513,0	17:11	630,2	370	-36,59%	-26,51%
Genova	Marseilles	diretto direct	811	06:06	852,6	395	550,2	18:09	674,0	382	-32,16%	-20,96%

via Bastia è pari a 354 km (tabelle 5 e 6), mentre la lunghezza dell’itinerario diretto è pari a 245 km (tabelle 7 e 8).

Sono però le rotte Livorno-Tolone, Livorno-Marsiglia e quelle da e per Civitavecchia ad avere una maggiore competitività, in quanto sono le più lunghe. Infatti il prezzo del biglietto per km è minore; inoltre la traversata è più lunga, quindi l’incidenza dei tempi di carico/scarico sul totale del tempo di viaggio è inferiore; infine i tempi del “tutto-strada” sono, nel caso dell’itinerario Civitavecchia-Marsiglia, più elevati in quanto maggiorati del tempo di riposo giornaliero dell’autista.

Una rotta che probabilmente può soddisfare una domanda di trasporto sufficientemente elevata è la Civitavecchia-Marsiglia via Genova, infatti:

- Civitavecchia è di fatto il porto di Roma e quindi raccoglie la domanda di trasporto del Lazio;

(tables 5 and 6), while the length of the direct path is 245 km (tables 7 and 8).

But the most competitive routes are: Livorno-Toulon, Livorno-Marseilles and those to/from Civitavecchia: because they are the longest routes. Actually the ticket price per km is lower; moreover the voyage is longer, therefore the effects of loading/unloading times, on the total of the voyage time, are less; finally, the travel times of “all-road” mode, in the Civitavecchia-Marseilles path, are higher, because they are increased of the daily rest time of the driver.

A route which could satisfy a quite high transport demand is Civitavecchia-Marseilles via Genoa, actually:

- Civitavecchia is the port of Rome therefore it collects the transport demand to/from Latium;

TABELLA 8 – TABLE 8

Confronto tra trasporto “tutto-strada” e trasporto intermodale *non accompagnato* nell’ipotesi di realizzazione di nuove rotte AdM. La differenza, in percentuale, tra i costi, monetario e generalizzato, del “tutto-strada” e dell’intermodale, è stata calcolata come riportato nella formula (6). Differenze percentuali, tra i costi, positive indicano che l’alternativa intermodale è peggiore del “tutto-strada”, differenze percentuali negative indicano che l’alternativa intermodale è migliore del “tutto-strada”

Comparison between “all-road” and intermodal non accompanied transport, in the hypothesis of developing completely new MoS routes. the difference, in percentage, between monetary and generalized costs of “all-road” and intermodal, has been calculated as reported in formula (6). Positive differences, in percentage, among costs, point out that the intermodal alternative is worse than the “all-road” one; negative differences, in percentage, point out that the intermodal alternative is better

Origine <i>Origin</i>	Destinazione <i>Destination</i>	Via (porto intermedio) <i>Via (intermediate port)</i>	Tutto-strada <i>All-road</i>				Intermodale (accompagnato) <i>Intermodal (accompanied)</i>				Differenza % costo monetario <i>% Difference monetary cost</i>	Differenza % costo generalizzato <i>% difference generalized cost</i>
			Costo monetario (€) <i>Monetary cost (€)</i>	Tempo di viaggio (hh:mm) <i>Travel time (hh:mm)</i>	Costo generalizzato (€) <i>Generalized cost (€)</i>	Distanza (km) <i>Distance (km)</i>	Costo monetario (€) <i>Monetary cost (€)</i>	Tempo di viaggio (con frequency delay) <i>Travel time (with frequency delay)</i>	Costo generalizzato (€) <i>Generalized cost (€)</i>	Distanza (km) <i>Distance (km)</i>		
Livorno	Nice	diretto <i>direct</i>	765	05:45	804,2	372	301,4	13:49	395,7	245	-60,60%	-50,80%
Livorno	Toulon	diretto <i>direct</i>	1078	07:35	1129,7	521	372,2	17:48	493,6	372	-65,48%	-56,31%
Livorno	Marseilles	diretto <i>direct</i>	1191	08:10	1246,7	576	418,0	20:23	557,1	458	-64,90%	-55,32%
Civitavecchia	Nice	diretto <i>direct</i>	1202	09:20	1265,6	610	394,8	19:05	524,9	415	-67,15%	-58,52%
Civitavecchia	Toulon	diretto <i>direct</i>	1510	12:00	1591,8	760	459,3	22:43	614,2	523	-69,58%	-61,41%
Civitavecchia	Marseilles	diretto <i>direct</i>	1621	20:35	1762,3	815	501,2	25:05	672,2	589	-69,10%	-61,86%
Civitavecchia	Marseilles	Genova	1621	20:35	1762,3	815	612,1	34:20	846,3	752	-62,26%	-51,98%
Civitavecchia	Genova	diretto <i>direct</i>	810	07:06	857,5	425	379,0	18:11	503,0	370	-53,16%	-41,34%
Genova	Marseilles	diretto <i>direct</i>	811	06:06	852,6	395	395,9	19:09	526,5	382	-51,18%	-38,25%

- Genova è collegata con Milano e Torino e pertanto ha sicuramente un’elevata domanda di trasporto intermodale;
- Marsiglia si trova sulla direttrice per Lione e Parigi.

Inoltre questa rotta consente di evitare tronchi stradali che hanno problemi di congestione, in particolare nel periodo estivo, e che non hanno un elevato livello di sicurezza; infatti:

- tra Tarquinia e Grosseto non vi è autostrada, ma solo una strada extraurbana, con caratteristiche geometriche e di sicurezza non adeguate ad un traffico di lunga percorrenza ed in particolare pesante: gli autotrasportatori (provenienti dal Nord Italia), intervistati in LUP

- *Genoa is connected with Milan and Turin therefore it registers a high intermodal transport demand;*
- *Marseilles is placed along the path connecting to Lyon and Paris.*

In addition, this route allows to avoid some roads which are highly congested, especially in summer, and which do not have a high level of safety; actually:

- *between Tarquinia (just in the north of Civitavecchia) and Grosseto there is no motorway, but there is an extraurban road, which shows geometrical and traffic characteristics not adequate to a long distance heavy traffic: the trucking companies, interviewed in LUP et al. [13], clearly reported that they prefer to embark in*

et al. [13], hanno riferito chiaramente che preferiscono imbarcarsi a Livorno, piuttosto che a Civitavecchia, per raggiungere la Sicilia, proprio per evitare questo tratto di strada. Inoltre l'A12 tra Viareggio e Genova è congestionata soprattutto nel periodo estivo;

- la parte della rotta Genova-Marsiglia consente di evitare ampi tratti della A10, fortemente congestionata soprattutto nel periodo estivo.

La rotta prevede un tempo di sosta a Genova pari a 3 ore, che è il tempo strettamente necessario per scaricare e caricare (il veicolo dalla nave) per quello, dei due tipi di trasporto intermodale, che richiede più tempo: ossia il trasporto non accompagnato.

Anche per questa rotta si ipotizza la medesima frequenza delle altre rotte proposte, pari a 1 servizio al giorno. Ipotizzare una frequenza superiore, ad esempio 2 servizi al giorno, dimezza il frequency delay, che quindi diventa pari a 1,5 ore, però questo non porta benefici rilevanti, dato che comunque il tempo di carico e scarico della nave è pari a 2 ore nel trasporto accompagnato e 3 ore nel non accompagnato. Inoltre, gli operatori dell'autotrasporto, intervistati in LUPI et al. [13], hanno riferito che, per le loro esigenze, è importante che vi sia almeno una partenza al giorno; se, poi, la partenza avvenisse la sera, in modo tale che l'autista potesse trascorrere la notte in mare, sarebbe per loro la migliore cosa, perché potrebbero, in questo modo, essere ottimizzati i tempi di guida e riposo.

Per la rotta Civitavecchia-Marsiglia via Genova, come riportato in tabella 7 (trasporto accompagnato) e tabella 8 (trasporto non accompagnato), la durata del trasporto intermodale è ancora sensibilmente superiore rispetto a quella del "tutto-strada": 33 ore e 20 min per il trasporto intermodale accompagnato, 34 ore e 20 min per quello non accompagnato, 20 ore e 35 min per il "tutto-strada". Però i costi, monetario e generalizzato, dell'intermodale risultano notevolmente inferiori. I due singoli collegamenti Civitavecchia-Genova e Genova-Marsiglia (entrambi con frequenza pari a 1 servizio/giorno) sono competitivi (percentuale di differenza di costo monetario e generalizzato negativa) rispetto al "tutto-strada". Ma, a causa della forte differenza nei tempi di viaggio tra le due modalità di trasporto (infatti, solo Civitavecchia e Marsiglia sono sufficientemente lontane perchè il tempo di viaggio del "tutto-strada" sia incrementato del riposo giornaliero), le due rotte "spezzate" risultano meno competitive della rotta intera.

Gli itinerari, "tutto-strada" ed intermodale, Civitavecchia-Marsiglia via Genova, sono stati rappresentati in fig. 5.

Il tempo di viaggio, del "tutto-strada", tra Civitavecchia e Marsiglia via Genova, è superiore alla somma dei tempi di viaggio, del "tutto-strada", tra Civitavecchia e Genova e tra Genova e Marsiglia: infatti, tra Civitavecchia e Marsiglia, il tempo di viaggio del "tutto-strada" deve essere incrementato del tempo di riposo giornaliero, cosa che non succede tra Civitavecchia e Genova e tra Genova e Marsiglia, essendo queste ultime coppie di città molto più vicine.

Livorno, rather than in Civitavecchia, to reach Sicily, in order to avoid this part of road journey. Moreover, the A12 motorway between Viareggio and Genoa is congested, particularly in summer period;

- *the route portion Genoa-Marseilles allows to avoid the A10 motorway, which is highly congested especially in summer period.*

The route has a dwell time of 3 hours in Genoa: this is the amount of time strictly necessary for boarding and disembarking the vehicle (to/from the ship) for the intermodal transport which requires more time: that is the unaccompanied transport.

Also for this route it is hypothesized the same frequency of the other routes proposed, i.e. 1 departure per day. A greater frequency, for example 2 departures per day, halves the frequency delay, which therefore becomes 1.5 hours, but this does not lead to relevant benefits, because in any case the time for embarking and disembarking is 2 hours in accompanied transport and 3 hours in unaccompanied transport. In addition, trucking companies, interviewed in LUPI et al. [13], reported that for them it is necessary to have at least one departure per day; moreover, for them, the best option is if the departure could take place in the evening: therefore the driver can spend the night travelling by sea and driving and rest times are optimized.

For the route Civitavecchia-Marseilles via Genoa, as reported in table 7 (accompanied transport) and table 8 (unaccompanied transport), the duration of intermodal transport is still considerably greater than that of the "all-road" one: 33 hours 20 min for intermodal accompanied, 34 hours 20 min for intermodal unaccompanied, against 20 hours 35 min for "all-road". But monetary and generalized costs of intermodal transport are substantially less. The two connections Civitavecchia-Genoa and Genoa-Marseilles (both with frequency equal to 1 departure/day) are competitive against "all-road" (negative difference, in percentage, of monetary and generalized cost). But, because of the strong difference in travel times of the two transport modes, the two parts of the route are less competitive than the entire route (actually only Civitavecchia and Marseilles are enough far that the travel time of "all-road" mode is increased by the daily rest time).

The two paths, "all-road" and intermodal, between Civitavecchia and Marseilles via Genoa, are shown in fig. 5.

The travel time, of "all-road" mode, between Civitavecchia and Marseilles via Genoa, is greater than the sum of travel times of "all-road" mode between Civitavecchia and Genoa and between Genoa and Marseilles: actually, between Civitavecchia and Marseilles, the travel time of "all-road" must be increased by the rest time, which does not happen between Civitavecchia and Genoa and between Genoa and Marseilles, because these pairs of cities are much closer with each other.



Fig. 5 - Raffigurazione degli itinerari “tutto-strada” ed intermodale, non accompagnato, tra Civitavecchia e Marsiglia, via Genova. Sono riportati i tempi e i costi (monetario e generalizzato) sia degli itinerari interi, sia delle loro due parti: Civitavecchia-Genova e Genova-Marsiglia.

Fig. 5 - Representation of “all-road” and intermodal accompanied paths between Civitavecchia and Marseilles, via Genoa. They are reported the travel times and (monetary and generalized) costs of the entire paths and of their two parts: Civitavecchia-Genoa and Genoa-Marseilles.

7. Conclusioni

La ricerca svolta ha rilevato che attualmente esiste un’offerta di Autostrade del Mare (AdM) nell’area costiera del Mar Ligure-Tirreno settentrionale, ma non è per nulla competitiva.

D’altra parte, mentre, mediante le misure proposte nell’articolo, in particolare la realizzazione di nuove rotte punto-punto (M3), si riescono ad ottenere costi monetari e generalizzati anche fortemente inferiori a quelli del “tutto-strada”, i tempi di viaggio del trasporto intermodale rimangono sempre decisamente superiori. Se si vuole incrementare la competitività del trasporto intermodale basato su AdM, è necessario cercare di ridurre il più possibile non solo i costi, ma anche i tempi. Infatti, considerato che vi è molta discrepanza tra i valori monetari del tempo proposti in letteratura, per merce con valore monetario del tempo elevato, potrebbe verificarsi che il costo generalizzato dell’intermodale non sia inferiore a quello del “tutto-strada”, anche se lo è invece, ed in modo consistente, il semplice costo monetario.

7. Conclusions

The research performed has shown that, currently, a supply of Motorways of the Sea (MoS) routes exists in the coastal area of the Ligurian-northern Tyrrhenian sea, but it is not competitive.

On the other hand, through the improvement scenarios proposed in the paper, particularly the development of completely new point-to-point routes (M3), it is possible to obtain monetary and generalized costs of the intermodal transport much lower than those of the “all-road” mode, but travel times of the intermodal transport remain substantially higher. In order to increase the competitiveness of the intermodal alternative, based on MoS, it is necessary to reduce, as much as possible, not only costs but also travel times. Actually, there is high discrepancy between VoT (values of time) proposed in literature, therefore it may happen that, for freight having a high VoT the monetary cost of intermodal transport is much lower than the “all-road” one, while the generalized cost of intermodal transport is instead not less than the “all-road” one.

Per migliorare la competitività dell'alternativa intermodale, occorre non solo ottimizzare l'offerta delle rotte di AdM, ma anche adottare misure volte a disincentivare il trasporto "tutto-strada". In particolare occorre internalizzare i costi esterni del trasporto su gomma; ma le misure adottate attualmente, come le accise sui carburanti, sono misure "a pioggia", il cui risultato spesso non è una ripartizione modale verso modalità più sostenibili, ma un incremento dei costi del trasporto stradale. Infatti occorre penalizzare non il trasporto stradale in generale, ma il trasporto "tutto-strada" su quegli itinerari per i quali esiste un'alternativa intermodale efficiente. A questo proposito potrebbero essere efficaci alcune azioni di premialità: un esempio di queste è l'ecobonus; oppure si potrebbe introdurre una penalizzazione per gli autoarticolati che utilizzano le infrastrutture stradali dell'arco ligure, con una contemporanea premiazione dei veicoli merci che utilizzano le Autostrade del Mare, una volta che sia stata introdotta un'alternativa efficiente di servizio intermodale.

Per migliorare l'attrattività dell'alternativa intermodale occorre investire sull'accessibilità dei porti. Per esempio, il porto di Genova presenta problemi di accessibilità, che si traducono in incrementi di tempi e di costi per l'alternativa intermodale. Infatti, anche se l'autostrada A7 termina in prossimità del terminale ro-ro del porto di Genova, le autostrade del nodo genovese, che devono essere percorse per raggiungere il porto, sono inadeguate, sia dal punto di vista della congestione sia della sicurezza.

Oltre a ciò occorre cercare di incentivare l'altro tipo di trasporto intermodale, quello basato sul trasporto ferroviario, mediante la realizzazione di investimenti volti ad incrementarne l'offerta infrastrutturale. Nell'area di studio l'offerta ferroviaria necessita di notevoli miglioramenti, infatti, la linea tra La Spezia e Savona è fortemente eterotachica, in quanto utilizzata da: treni merci, treni passeggeri veloci (Frecciabianca), treni intercity, treni regionali veloci, e treni regionali "lenti" che svolgono un servizio di metropolitana di superficie per l'area metropolitana di Genova. La linea ferroviaria tra Savona e il confine francese, invece, ha un traffico notevolmente inferiore, però, come riportato nell'introduzione, è ancora, in parte, a binario unico.

La ricerca esposta in questa memoria mostra che, ottimizzando il trasporto intermodale, è comunque possibile avere una distanza di break-even, almeno dal punto di vista dei costi monetari, inferiore a quelle generalmente riportate in letteratura (che sono state richiamate alla sezione 2). La ricerca ha infatti mostrato che è stato possibile raggiungere il break-even, del costo monetario, anche con una distanza, del "tutto-strada", pari a 372 km. Deve però essere messo in evidenza che, nei casi esaminati, è risultata una distanza di break-even inferiore a quella generalmente riportata in letteratura perché non vi erano le componenti stradali del trasporto intermodale, le quali, come riportato in HANSSSEN et al.

In order to improve the competitiveness of the intermodal alternative, it is necessary not only to optimize the supply of MoS routes, but also to adopt measures aimed at disincentivizing "all-road" transport. In particular, it is necessary to internalize the external costs of road transport. But the measures currently adopted, for example fuel taxes, are non punctual measures, therefore their result, often, is not a modal shift towards more sustainable transport modes, but simply an increase of the road transport costs. Actually it is necessary to penalize not the road transport in general, but the road transport for those O/D pairs which have an efficient intermodal alternative. In this field, some rewarding actions could be effective: for example the ecobonus; alternatively, it could be introduced a penalty to road heavy vehicles which use the Ligurian-Tyrrhenian road infrastructures, and contemporarily a reward to road heavy vehicles which make use of Motorways of the Sea, after the introduction of an efficient intermodal alternative to "all-road" transport.

In order to improve the attractiveness of the intermodal alternative it is necessary to invest on the accessibility of ports. For example, the port of Genoa shows several accessibility problems, which result in an increase of costs and travel times of the intermodal alternative. Actually, although the A7 motorway ends close to the ro-ro terminal of the port of Genoa, the motorways of the Genoa metropolitan area, which must be travelled to reach the port, are inadequate, from the point of view of both the congestion and the safety.

In addition, it is necessary to try to incentivize the intermodal transport based on rail, through the development of investments aimed at increasing the supply of rail infrastructures. In the study area, the supply of rail infrastructures requires relevant improvements: indeed the rail line between La Spezia and Savona is heterotachic, as it is used by: freight trains, fast passenger trains (Frecciabianca), intercity trains, fast regional trains, and "slow" regional trains, some of which perform a surface metro service for the metropolitan area of Genoa. The rail line between Savona and the French border registers a much lower traffic, but, as reported previously, it has some sections which are still single track.

The research exposed in this paper shows that, if the intermodal transport is optimized, it is possible to obtain a break-even distance which, at least from the point of view of monetary costs, is much less than the break-even distances reported in literature (and which have been reported in section 2). Indeed the research has shown that it is possible to obtain the break-even of the monetary cost also with a distance, of the "all-road" mode, equal to 372 km.

But it must be underlined that a smaller break-even distance, than the values usually reported in literature, resulted, because, in the case study, the road parts of the intermodal transport are not present. The road parts of the intermodal transport could be very expensive in terms of €/tkm (or €/TEU-km), as reported in HANSSSEN et al.

[41] (con il nome di “pre haulage” e “post haulage” distances), e in CASINI [42], possono essere molto costose in termini di euro/km. Proprio questi ultimi costi, in termini di euro/km, delle “parti stradali” dell’intermodale, sottolineano come si debba intervenire in maniera selettiva, in termini di disincettivi e/o premialità, sul trasporto stradale. Spesso si dimentica che l’alternativa non è fra trasporto stradale e trasporto ferroviario o fra trasporto stradale e AdM, ma fra “tutto-strada” e trasporto intermodale che vede all’inizio e/o alla fine, quasi sempre, uno spostamento su strada; ed è proprio su queste parti del trasporto intermodale che è maggiormente necessario intervenire per rendere più competitivo il trasporto intermodale.

In ogni caso, la conformazione geografica dell’area di studio, che è appunto ad arco, risulta a favore del trasporto intermodale, in quanto le rotte AdM consentono di “tagliare” l’arco ligure-tirrenico e quindi di ottenere distanze inferiori a quelle del “tutto-strada”.

Infine la ricerca svolta ha evidenziato chiaramente che si può agire in modo relativamente agevole sui costi del trasporto intermodale. Sui tempi invece è più difficile, in quanto, per tratte intermodali brevi, i tempi di carico e scarico incidono in modo significativo, però si possono ottenere forti miglioramenti ottimizzando i tempi di attraversamento dei porti intermedi o utilizzando rotte punto-punto che hanno distanze ridotte rispetto all’alternativa “tutto-strada”.

L’area della costa ligure, analizzata nella presente nota, è un esempio applicativo relativo allo studio della competitività del trasporto intermodale, basato su AdM, rispetto al “tutto-strada” e di come questa competitività possa essere aumentata. I risultati dello studio hanno però una validità più generale: infatti, in Europa, vi sono possono essere molti casi di aree fortemente urbanizzate, in cui le infrastrutture terrestri esistenti sono ormai fortemente congestionate, mentre, a causa dell’orografia del territorio o dell’elevata densità abitativa, non vi è più spazio per realizzarne di nuove. In questi casi, è necessaria una ripartizione modale maggiormente favorevole al trasporto intermodale: questa può essere realizzata con AdM che “tagliano” i percorsi terrestri. Queste aree geografiche possono essere accomunate, con il caso di studio, dalle ridotte distanze di trasporto fra le coppie O-D: questo aspetto, come abbiamo visto nella presente memoria, non impedisce di realizzare un trasporto intermodale competitivo per quanto riguarda i costi, ma per quanto riguarda i tempi la competitività rispetto al “tutto-strada” è decisamente più difficile. Infine, deve essere ricordato che le normative valide in Italia sui trasporti, ad esempio la legge sui tempi di guida e riposo degli autotrasportatori, hanno valore anche negli altri Paesi europei, mentre i costi monetari, del trasporto stradale e del trasporto marittimo, sono comunque molto simili da un Paese europeo all’altro.

[41] (with the name of “pre haulage” and “post haulage” distances), and in CASINI [42]. The high costs of the “road parts” of the intermodal transport, expressed in €/tkm, point out that it is clearly necessary to intervene on road transport in a selective manner, through penalties and/or rewards. Actually, it must be underlined that the modal choice is not between road transport and rail transport or between road transport and MoS, but it is between “all-road” transport and intermodal transport: and the intermodal transport requires, almost always, at the beginning and/or at the end of the intermodal path, a trip by road (keeping it as short as possible). Therefore, it is necessary to invest on the road parts of the intermodal transport, in order to make the intermodal transport more competitive.

On the other hand, the geographic shape of the study area, which is similar to an arch, is in favour of the intermodal transport based on MoS, as the sea routes allow to “cut” the Ligurian-Tyrrhenian arch and therefore to obtain smaller distances than the “all-road” paths which are quite “winding”.

Finally, the research carried out has clearly shown that it is relatively easy to act on the intermodal transport costs. It is instead more difficult to act on travel times, because, if the intermodal paths are short, the embarkation and disembarkation times are relevant; but it is possible to obtain relevant improvements if the dwell times at the intermediate ports are reduced to the minimum or if point-to-point routes, which have smaller distances than the “all-road” alternative are developed.

The area of the Ligurian coast, which has been analyzed in this paper, is an application case study of the competitiveness of intermodal transport, based on MoS, respect to “all-road” transport, and of how it is possible to increase this competitiveness. The results of the study, however, have a more general value: indeed, in Europe, there are several cases of highly urbanized areas, where, because of the characteristics of the territory and to the high housing density, there is no longer any space to build new road infrastructures. In this case, it is necessary a modal shift in favour of intermodal transport: this could be realized, for example, with MoS routes which “cut” the “all-road” paths. These areas are similar to the case of study because of the short distances between O-D pairs: this fact, as shown in the paper, does not prevent from the development of a competitive intermodal transport, regarding costs; but regarding travel times the competitiveness against “all-road” mode is much more difficult. Finally, it must be remembered that the laws in the transport field valid in Italy, for example the law on the driving and rest times of truck drivers, are valid also in other European countries, furthermore monetary costs of road and maritime transport are very similar from an European country to another.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] PREVE M., 2017, "Ponente, il raddoppio ferroviario ancora ai nastri di partenza". http://genova.repubblica.it/cronaca/2017/03/29/news/ponente_il_raddoppio_ferroviano_ancora_ai_nastri_di_partenza-161731565/
- [2] Regione Liguria, 2017. "Raddoppio tratta Andora – Finale Ligure". <https://www.regione.liguria.it/homepage/infrastrutture-e-trasporti/ferrovie/raddoppio-tratta-andora-finale-ligure.html>
- [3] MINELLA M., 2017. "Raddoppio ferroviario del Ponente: tre progetti per superare il binario unico". <http://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2017/01/14/raddoppio-ferroviano-del-ponente-tre-progetti-per-unicoGenova02.html>
- [4] DANESI A., LEPORI C., LUPI M., 2008, "The Italian Motorways of the Sea system: current situation, policies and prospects", Proceedings of the International Conference on Transport Science, ICTS 2008, Portoroz, Slovenia, May 28-29, 2008, pp. 1-10.
- [5] BAIRD A.J., 2007, "The economics of Motorways of the Sea", Maritime Policy & Management, 34(4), pp. 287-310.
- [6] LUPI M., FARINA A., PRATELLI A., BELLUCCI L., 2017b. "An analysis of the Italian ro-ro and ro-pax network in the years 2008-2015", In press in "Transport Problems".
- [7] European Parliament – Parlamento Europeo, 2004. "Decision No 884/2004/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 amending Decision No 1692/96/EC on Community guidelines for the development of the trans-European transport network", Official Journal of European Union, L 167, pp. 1-38.
- [8] APERTE X.G., BAIRD A.J., 2013. "Motorways of the sea policy in Europe", Maritime Policy & Management, 40(1), pp.10-26.
- [9] European Commission – Commissione Europea, 2011. "Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system", White Paper. 28 March 2011, Brussels.
- [10] NG A.K.Y., 2009. "Competitiveness of short sea shipping and the role of port: the case of North Europe", Maritime Policy & Management, 36(4), pp. 337-352.
- [11] FUSCO P.M., SAURÌ S., LAGO A., 2012. "Potential freight distribution improvements using motorways of the sea", Journal of Transport Geography, 24, pp. 1–11.
- [12] LUPI M., FARINA A., 2014, "The development of the Italian Motorways of the Sea network in the years 2008-2012". In: LOSA M., PAPAGIANNAKIS T., Sustainability, Eco-Efficiency and Conservation in Transportation Infrastructure Asset Management. CRC Press - Taylor and Francis Group, pp. 765-775.
- [13] LUPI M., FARINA A., ORSI D., PRATELLI A., 2017, "The capability of Motorways of the Sea of being competitive against road transport. The case of the Italian mainland and Sicily", Journal of Transport Geography, 58, pp. 9–21.
- [14] PAIXÃO CASACA A.C., MARLOW P.B., 2002, "Strengths and weaknesses of short sea shipping", Marine Policy, 26(3). pp.167-178.
- [15] MEDDA F., TRUJILLO L., 2010, "Short-sea shipping: an analysis of its determinants", Maritime Policy & Management, 37(3), pp. 285-303.
- [16] Eurostat, 2017, Transport statistic database: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/main-tables>
- [17] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2017, "Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti", Anni 2015-2016. <http://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/pubblicazioni/2016-07/Libro%20CNIT%202014-2015.pdf>.
- [18] LUPI M., DANESI A., FARINA A., PRATELLI A., 2012, "Maritime container transport in Italy. Study on Deep and Short Sea Shipping routes departing from the main Italian ports and on rail modal shares / Il trasporto marittimo di container in Italia. Studio sulle rotte Deep e Short Sea Shipping in partenza dai principali porti italiani e sulle quote modali ferroviarie", Ingegneria Ferroviaria, 67 (5), pp. 409-444.
- [19] DALLA CHIARA B., PELLICELLI M., 2011, "On the cost of road-rail combined transport | [Sul costo del trasporto combinato strada-rotaia]". Ingegneria Ferroviaria 66(11), pp. 951-965.
- [20] MARTINEZ-LOPEZ A., MUNIN-DOCE A., GARCIA-ALONSO L., 2015, "A multi-criteria decision method for the analysis of the Motorways of the Sea: the application to the case of France and Spain on the Atlantic Coast". Maritime Policy and Management, 42(6), pp. 608-631.
- [21] EMMA study, 1999, "European Marine Motorways, the Potential for Transferring Freight from Road to High-Speed Sea Transport System". IV Framework Programme of the European Commission.
- [22] OLIVELLA PUIG J., MARTÍNEZ DE OSÉS F., CASTELLIS I SANABRA M., 2004, "Intermodalidad Entre España Y Europa, El Proyecto INECEU [Intermodality between Spain and Europe, the INECEU project]". University of Cataluña.
- [23] European Parliament – Parlamento Europeo, 1999, "The Development of Short Sea Shipping in Europe: A Dynamic Alternative in a Sustainable Transport Chain". Second Two-yearly Progress Report. COM (1999) 317 final.

- [24] JIANG F., JOHNSON P., CALZADA C., 1999, "Freight Demand Characteristics and Mode Choice: An Analysis of the Results of Modeling with Disaggregate Revealed Preference Data", *Journal of Transportation and Statics*, 2 (2), pp. 149–158.
- [25] West MoS: Western Europe Sea Transport and Motorway of the Sea, 2008, "Trans European Transport Networks budget".
- [26] PICCIONI C., ANTONIAZZI F., MUSSO A., 2010, "Locating combined road-railway transport terminals: an application for facility location and optimal location models | [La localizzazione dei terminali per il trasporto combinato strada-ferrovia: un'applicazione dei modelli di facility location e di optimal location]". *Ingegneria Ferroviaria* 65(7-8), pp. 625-649.
- [27] MANGONE A., RICCI S., 2014, "Modeling of port - freight village systems and loading units' tracking functions | [Modellazione dei sistemi porto-interporto e delle funzioni di tracciabilità delle unità di carico]". *Ingegneria Ferroviaria* 69(1), pp. 7-37.
- [28] AMOROSO S., CASTELLANA G., 2008, "The transport of the goods in Sicily by the example of the intermodality of road and rail | [Il trasporto delle merci in sicilia nel quadro dell'intermodalità strada-rotaia]". *Ingegneria Ferroviaria* 63(9), pp. 749-762.
- [29] Sito web Ramspa (Rete Autostrade Mediterranee) – Ramspa website: elenco rotte – list of routes: <http://www.ramspa.it/il-contesto/autostrade-del-mare/rotte-adm>
- [30] Siti web degli operatori delle rotte di Autostrade del Mare (Accesso Ottobre 2015) – Motorways of the Sea operators websites (Accessed October 2015):
 Corsica – Sardinia Ferries: <https://www.corsica-ferries.it/>
 La Méridionale: <http://www.lameridionale.com/it/rubrique/le-nostre-traversate-26.html>
 Moby Lines: <http://www.moby.it/>
 SNCM (Société Nationale Corse-Méditerranée): <http://www.sncm.it/>
 Tirrenia: <https://www.tirrenia.it/merci/>
- [31] DE JONG G., 2004, "Main Survey into the Value of Time in Freight Transport by Road". Technical report. Rand Europe.
- [32] BERGANTINO A.S., BOLIS S., 2004, "An analysis of maritime ro-ro freight transport service attributes through adaptive stated preference: an application to a sample of freight forwarders". *European Transport \ Trasporti Europei*, 25–26, pp. 33–51.
- [33] BERGANTINO A.S., BOLIS S., 2008, "Monetary value of transport service attributes: land versus maritime ro-ro transport. An application using adaptive stated preferences", *Maritime Policy and Management*, 35(2), pp. 159–174.
- [34] FEO M., ESPINO R., GARCIA L., 2011, "A stated preference analysis of Spanish freight forwarders modal choice on the south-west Europe Motorway of the Sea", *Transport Policy* 18(1), pp. 60-67.
- [35] RUSSO F., 2005, "Sistemi di trasporto merci. Approcci quantitativi per il supporto alle decisioni di pianificazione strategica tattica ed operativa a scala nazionale". FrancoAngeli, Milano.
- [36] GHOBRIAL A., KANAFANI A., 1995, *Future of airline hubbed networks: some policy implications*, *Journal of Transportation Engineering*, 121(2), pp. 124-134.
- [37] Il Sole 24 Ore, 2011. "Lordo, netto e costo del lavoro - Ccnl Trasporto, logistica e spedizione merci". Il Sole 24 Ore, n. 9 of 25 February 2011, pp. 92-93.
- [38] European Parliament – Parlamento Europeo, 2006, "Regulation No 561/2006 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the harmonisation of certain social legislation relating to road transport and amending Council Regulations (EEC) No 3821/85 and (EC) No 2135/98 and repealing Council Regulation (EEC) No 3820/85". *Official Journal of the European Union*, L 102, pp. 1-13.
- [39] LUPI M., FARINA A., 2016, "Motorways of the Sea as an alternative to all-road transport: An application to an Italian case study | [Le autostrade del mare come alternativa al "tutto strada": Una applicazione ad un caso Italiano]". *Ingegneria Ferroviaria*, 71 (2), pp. 121-150.
- [40] ROSSI D., RUBINO S., 2009, "Autostrade del Mare: modellazione ed analisi della competitività rispetto al trasporto stradale". Tesi di Laurea, Università di Genova.
- [41] HANSSSEN T.E.S., MATHISEN T.A., JØRGENSEN F., 2012, "Generalized transport costs in intermodal freight transport". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, pp. 189–200.
- [42] CASINI C., 2017, "Competitività del trasporto intermodale di semirimorchi dal porto di Livorno verso il nord Italia". Tesi di laurea, Università di Pisa, Polo Universitario Sistemi Logistici di Livorno.