



Riassetto del trasporto pubblico di Firenze a seguito dell'entrata in servizio di nuove linee di tram

Upgrading of Florence public transport to incorporate new tramlines

Dott. Ing. Laura MORETTI^(*)
Dott. Ing. Marco MORETTI^(*)
Prof. Ing. Stefano RICCI^(*)

Sommario - Nel 2018 due nuove linee di tram entreranno in servizio a Firenze, modificando la rete del trasporto pubblico nella zona nord della città. Lo studio esamina e confronta due soluzioni, una più innovativa e una più conservativa, progettate per migliorare il servizio di trasporto pubblico su gomma nell'area centro-settentrionale della Città Metropolitana di Firenze. Le soluzioni esaminate favoriscono l'integrazione tra le reti di autobus e tram, riducendo il flusso di traffico in aree strategiche d'interesse pubblico quali stazioni ferroviarie o settori ad alta domanda di traffico. Per ogni soluzione, l'articolo presenta lo studio della fattibilità tecnica e della relativa redditività finanziaria. Attraverso software di pianificazione e gestione del trasporto pubblico sono state valutate le caratteristiche tecniche e funzionali delle soluzioni proposte. I risultati dello studio evidenziano come la soluzione più innovativa sia quella migliore, sia dal punto di vista dell'efficienza del sistema, sia da quello economico, perché garantisce un miglioramento generale del servizio.

1. Introduzione

Il trasporto pubblico di massa riveste un ruolo importante nella vivibilità di ogni città perché offre soluzioni sostenibili per la mobilità, alternative al trasporto privato [11] [15], garantendo vantaggi sociali, economici ed ambientali: riduce l'inquinamento e la congestione stradale [2]; consuma meno territorio rispetto alle automobili private [31]; contribuisce a ridurre il rischio di incidentalità [30]; infine il costo del viaggio è inferiore rispetto al trasporto privato [13]. In Europa, alcune città hanno recentemente modificato la loro rete di trasporto pubblico per migliorare il servizio [21] [22] e numerosi sono i progetti comunitari che mirano a promuovere una nuova immagi-

Summary - In the last years, two new tramlines have been designed in the network of mass transit system in Florence. The planned lines will be in service in 2018 and they will serve the Northern part of the city. The work examines and compares two engineered solutions to improve the public transport service in the Northern and central areas of Florence: the former is more conservative, the latter more innovative. The alternatives facilitate the integration between the bus and tram network, reducing the traffic flow in strategic areas of public interest, such as railway stations or public offices areas. For each proposed scenario, the study consists of analysing the transport feasibility and financial viability. Specific transportation tools allowed evaluating the technical and functional characteristics of the proposed scenarios, while the economic impact is assessed using data provided by the consortium, which currently manages the public transport in the city. The results of this study suggest the more innovative solution as the best one, from both the transportation and economic points of view, because it guarantees an overall improvement of the service.

1. Introduction

Public mass transportation plays a significant role in the liveability of any city because it can provide a sustainable alternative to car [11] [15]. Its use has social, economic and environmental advantages: it reduces pollution and road congestion [2]; it requires less land use than private cars [31]; it helps to reduce injuries and fatalities caused by car accidents [30]; travel is cheaper than owning and operating car [13]. In Europe, some cities have recently modified their public transportation network to improve the service [21] [22] and several European projects promote a new image of the service [33] [34]. By referring to Euro-

^(*) Sapienza Università di Roma, DICEA.

^(*) Sapienza Università di Roma, DICEA

ne del servizio [33] [34]. Con riferimento a città europee o parti di città ove il numero degli abitanti coinvolti è paragonabile al numero dei cittadini di Firenze, è possibile riconoscere un obiettivo comune di razionalizzazione della rete per raggiungere un livello più elevato di sostenibilità economica [24] [20] e qualità percepita [14] [23]. Negli ultimi decenni, a Nantes [1], Montpellier [29] e Châtillon-Viroflay [9] linee tramviarie sono state inserite nella rete del trasporto pubblico. In queste città i tram transitano sui percorsi principali mentre le linee di autobus transitano su percorsi secondari trasversali a quelli tramviari. Per quanto riguarda l'esperienza di Nantes, la riorganizzazione ha avuto come obiettivo quello di facilitare l'interconnessione tra i due modi di trasporto. Un'esperienza simile è in corso a Granada, dove nel 2014 è entrata in servizio una linea di autobus ad alta capacità (Linea de Alta Capacidad, LAC) [32]. Sebbene non siano mezzi a guida vincolata, lo scopo delle linee è trasportare passeggeri lungo un percorso specializzato che, avendo priorità semaforica, consente ai veicoli di raggiungere velocità maggiori.

Nella città di Firenze la rete dei trasporti pubblici è in fase di ri-pianificazione a causa dell'entrata in servizio delle nuove linee tramviarie (T2 e T3) prevista nel 2018 [6]. Le nuove linee su ferro si aggiungeranno all'attuale rete di trasporto pubblico, composta di 90 linee di autobus, gestite dalle società ATAF o LI-NEA, e 1 linea tramviaria (T1) in servizio dal 2010 e gestita dalla società GEST. Nel 2015 la rete ATAF&LI-NEA era complessivamente lunga 675.828 km e offriva 6,3 milioni di posti•km nel giorno feriale medio invernale e 5,6 milioni di posti•km nel giorno feriale medio estivo. La rete tramviaria (ovvero la linea T1), lunga 14,8 km, offriva 1,1 milioni di km/anno e 0,7 milioni di posti•km nel giorno feriale medio invernale e 0,1 milioni di posti•km nel giorno feriale medio estivo. L'ampliamento del trasporto su ferro comporta una riorganizzazione complessiva del trasporto pubblico, con gli obiettivi di:

- incrementarne l'uso;
- specializzare la funzione di ciascun modo di trasporto;
- migliorare la qualità del servizio;
- favorire l'intermodalità ed evitare sovrapposizioni di percorso;
- favorire l'uso dei parcheggi di scambio.

Il riassetto coinvolge circa un milione di abitanti: Firenze ha più di 350.000 residenti su una superficie di 102 km², mentre la Città Metropolitana, che comprende Firenze e 41 Comuni limitrofi, ha 1.007.252 residenti [7] su una superficie di 3.500 km². Lo studio esamina, come punto di partenza, le conseguenze dell'entrata in servizio della linea tramviaria T1 in termini di numero di passeggeri, percorrenze annue e linee di autobus modificate.

L'esperienza maturata in Europa, integrata dall'analisi dello stato dell'arte a Firenze, con riferimento all'anno 2015, ha permesso di definire e analizzare due scenari

pean cities or part of cities, where the number of involved inhabitants is comparable to the number of citizens in Florence, it is possible to recognise a common objective of rationalization to achieve a higher level of economic sustainability [24] [20] and perceived quality [14] [23]. In the last decades, in Nantes [1], Montpellier [29] and Châtillon-Viroflay [9] tramlines integrated the public transportation network. In these cities, trams represent the principal routes as well as bus lines run on secondary transversal routes. As regard the experience gained in Nantes, the reorganization had the objectives of integrate transport connections and timetabling. A similar experience is in Granada, where since 2014 a high capacity bus line (Linea de Alta Capacidad, LAC) entered into service [32]. Although not guided by rails, the scope of the line is to zip passengers along a specialized line, having priority at all road inter-sections.

*In the city of Florence, the public transport network is under revision due to the entrance into service of two new tramlines (T2 and T3), announced for 2018 [6]. New tramlines will be added to the current network composed of 90 bus lines (managed by ATAF or LI-NEA companies) and 1 tramline (T1) entered into service in 2010 and managed by GEST company. In 2015 ATAF&LI-NEA managed 675,828 km long network: it provided 6.3 million of seats*km during a standard winter weekday and 5.6 million of seats*km during a standard summer weekday. The 14.8 km long line T1 provided 1.1 Mkm/year, 0.7 million of seats*km during a standard winter weekday and 0.1 million of seats*km during a standard summer weekday. The expansion of tramline services requires a global reorganization of the public transport, with the objectives:*

- *to increase the use of public transport;*
- *to highlight tasks to each transport mode: adduction for the road based one and high capacity for the rail based one;*
- *to improve the quality of service;*
- *to encourage the intermodality between different transport modes and to avoid the overlap between them;*
- *to encourage the use of park and ride.*

The modification affects about 1 million of people: Florence has more than 350,000 inhabitants on a surface of 102 km², while the Metropolitan City of Florence, which includes Florence and 41 neighbouring municipalities, has 1,007,252 inhabitants [7] on a surface of 3,500 km². The study examines also the consequences of entrance in service in Florence of the tramline T1 in terms of number of passengers, number of annual run kilometres, number of modified bus lines.

The experience gained in Europe and the analysis of the state of the art in Florence, with reference to year 2015, permit to define and analyse two scenarios timely related to the entrance into service of the T2 and T3 lines: a first, more conservative; a second, more innovative, with respect to the current network.

conseguenti all'entrata in servizio delle linee T2 e T3: il primo, più conservativo; il secondo, più innovativo rispetto all'attuale rete di trasporto su gomma.

Entrambi rispettano i vincoli imposti dalla Città Metropolitana di Firenze nell'accordo sul trasporto pubblico su gomma [5] che prevede: 19,3 bus•Mkm/anno $\pm 2\%$ prodotti dal trasporto pubblico su gomma.

I due scenari sono confrontati per quanto riguarda le conseguenze trasportistiche ed economiche. Per l'aspetto trasportistico, il numero futuro di corse e i relativi chilometri percorsi hanno permesso di quantificare il numero di autobus e conducenti necessari. Per l'analisi economica, i costi e i ricavi del servizio si basano su dati forniti dal consorzio (composto da ATAF e LI-NEA), che gestisce attualmente la rete pubblica di autobus a Firenze; gli effetti del tasso di inflazione non sono stati considerati.

2. Metodi e dati

L'adeguamento dell'attuale rete di trasporto pubblico, con riferimento ai municipi Centro storico (67.000 abitanti) e Rifredi (110.000 abitanti), mira:

- alla riduzione delle sovrapposizioni dei percorsi su gomma e su ferro;
- al miglioramento dell'efficienza del trasporto pubblico.

La fig. 1 rappresenta l'area in esame: il Comune di Firenze e i comuni limitrofi della Città Metropolitana di Fi-

Both are compliant with requirements posed by the Metropolitan City of Florence [5], which requires 19.3 Mkm $\pm 2\%$ of yearly public mass transport service.

The scenarios are compared respect to their transportation and economic consequences. For transportation item, the future number of trips and their relative travelled kilometres let quantify the number of buses and drivers needed by the service. For the economic analysis, costs and revenues related to the provision of the service are basing on data provided by the consortium (composed of ATAF and LI-NEA), which is currently managing the public bus network in Florence; the effects of inflation rate are not considered.

2. Methods and input data

The modification of the current public transportation network aims to minimize the overlap of bus and tram systems and improve the global efficiency of public network transportation in the districts of historical centre (67,000 inhabitants) and Rifredi district (110,000 inhabitants). Fig. 1 represents the map of areas served by the tramlines: the municipality of Florence and its neighbouring municipalities of Metropolitan City of Florence. The white line represents the existing line T1 (it will be not modified); the green line represents the designed line T2, the blue one shows the designed line T3 [8]. The line T2 interests the most developed area of the metropolitan area: it connects the airport Peretola with the railway station Santa Maria Novella, it

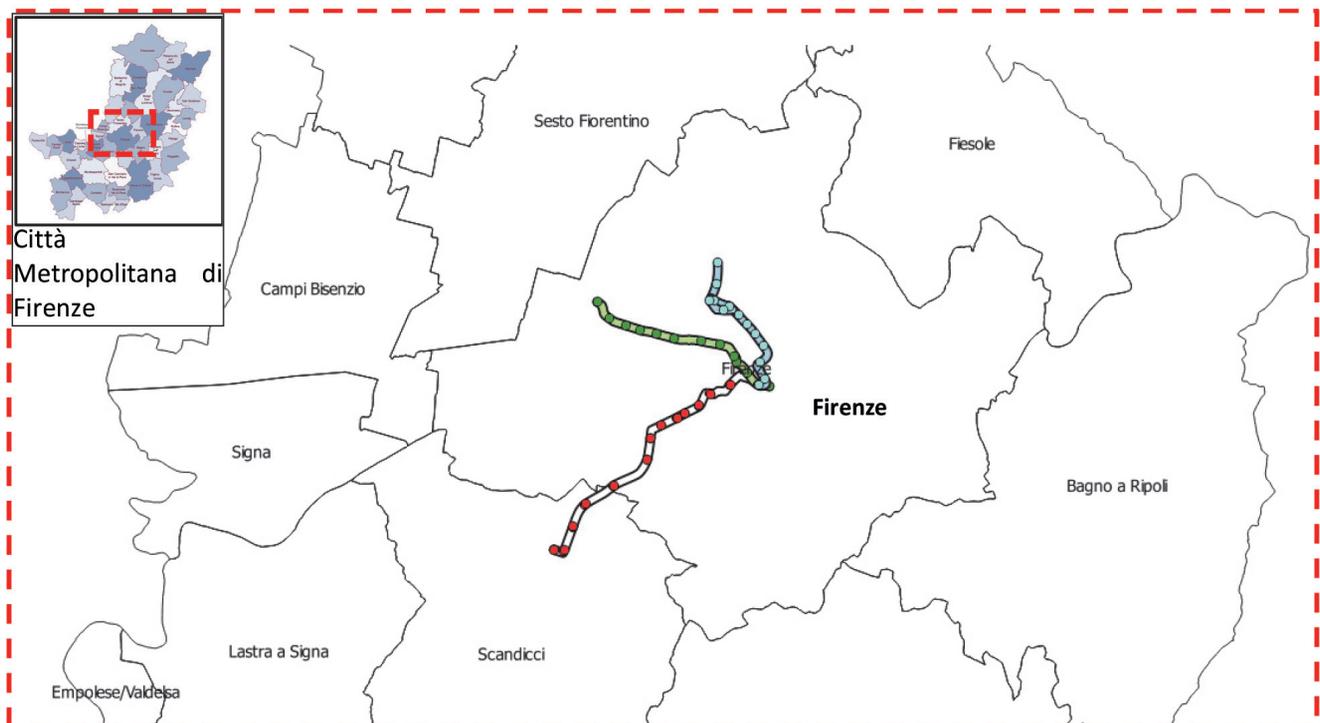


Fig. 1 - Tramvie a Firenze.
Fig. 1 - Tramlines in Florence.

renze. La linea bianca rappresenta il percorso tramviario esistente T1, che non subirà modifiche; la linea verde e quella azzurra rappresentano rispettivamente i percorsi delle linee tramviarie T2 e T3 [8]. La linea T2 interessa la zona di maggior sviluppo dell'area metropolitana: collega l'aeroporto con la nuova stazione Alta Velocità, serve l'Università e il tribunale di Firenze nell'area di Novoli. La linea T3 interessa zone densamente abitate (Rifredi e Statuto), serve l'area metropolitana nord e collega il polo ospedaliero di Careggi con il centro città e le stazioni ferroviarie SMN e Statuto.

In entrambe le soluzioni proposte, è stata dedicata particolare attenzione ai collegamenti con le stazioni ferroviarie, poiché nell'area il trasporto su ferro è correntemente impiegato per spostamenti quotidiani. È previsto che il nodo ferroviario di Firenze [28] sarà in grado di gestire un distanziamento temporale tra i treni pari a 180 s, di conseguenza le stazioni ferroviarie aumenteranno la loro importanza e funzione di nodi intermodali. In particolare, lo studio si concentra sull'area critica circostante la stazione di Santa Maria Novella (SMN), in cui circoleranno le tre linee di tram.

Per quanto riguarda il trasporto su gomma, la riorganizzazione della rete ha interessato alcuni nodi d'interesse pubblico (fig. 2):

- Novoli: quartiere densamente abitato, ove ha sede la Regione Toscana, il Palazzo di Giustizia e alcune Facoltà dell'Università di Firenze;
- Careggi: quartiere in cui ha sede l'omonimo ospedale e alcune Facoltà dell'Università di Firenze;
- Santa Maria Novella: zona centrale che ospita la più importante stazione ferroviaria di Firenze e dell'intera Regione per numero di passeggeri; è perciò sede del più importante nodo di scambio tra il trasporto ferroviario e quello stradale;
- Rifredi: zona che ospita la seconda stazione ferroviaria della Toscana per numero di passeggeri;
- Piazza Dalmazia: nodo di diversione per l'Ospedale Careggi, il quadrante Nord-Est di Firenze e i Comuni di Sesto Fiorentino e Calenzano.

L'area d'influenza di ciascuna nuova linea tramviaria è definita dall'inviluppo dei bacini d'influenza di ciascuna fermata, delimitati da circonferenze di raggio 450 m [26].

Entrambi gli scenari prevedono sei nodi di scambio con le linee di autobus, tutti nella zona settentrionale della città delimitata dal fiume Arno: Libertà, Leopolda Porta al Prato, SMN, Puccini, Novoli, Dalmazia-Ca-

serve the University and the court of Florence in the Novoli area. The T3 line concerns densely populated areas (Rifredi and Statuto), it serves the northern metropolitan area and connects the Careggi hospital pole with the city center and the railway stations Santa Maria Novella and Statuto.

In both scenarios, particular attention is for the railway stations involved in the analysis, currently used also for daily commuting. With the modernization of its signalling systems, the Florence node [28] will be able to manage 180 s headways, and the railway stations in the area are set to increase their importance and their role as intermodal nodes. Particularly, the study focuses on the critical area of Santa Maria Novella (SMN) station, where all tramlines will approach with their own infrastructure.

Moreover, a specific attention is for the reorganization of the road network in some public interest key areas (fig. 2):

- Novoli: it is an area with high density of population, where are also Tuscany Region headquarter, Justice Palace and some university faculties;
- Careggi: it hosts the largest hospital and some of the university faculties;
- SMN Station: it is the most important railway station of Florence and the whole Tuscany Region in terms of number of passengers and the most important interchange between trains and public transport in Florence;
- Rifredi station: it is the second railway station of Tuscany by number of passengers;
- Piazza Dalmazia: it is a diversion node towards Careggi Hospital, Northeast of Florence, Sesto Fiorentino and Calenzano.

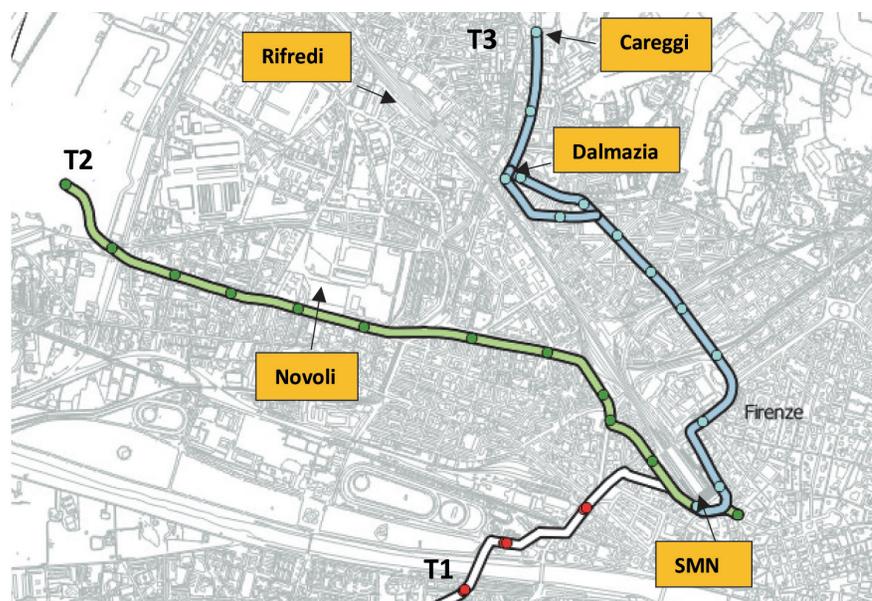


Fig. 2 - Aree di pubblico interesse nel Comune di Firenze.
Fig. 2 - Areas of public interest in Municipality of Florence.

reggi (fig. 3). Alcuni nodi sono pertanto distanti dal centro di Firenze, secondo quanto raccomandato dalla Città Metropolitana di Firenze [3]: la presenza di nodi d'interscambio periferici riduce infatti il traffico stradale nel centro della città e il conseguente tempo di attesa dei mezzi pubblici dovuto alla congestione, migliorando il servizio di trasporto e aumentandone la velocità commerciale.

Con riferimento alla rete su gomma nel 2015, lo Scenario 1 comporta poche modifiche, che consistono nella riduzione del numero di capolinea a SMN. Lo Scenario 2 prevede le modifiche proposte nello Scenario 1 e l'eliminazione dei percorsi di autobus paralleli alle nuove tramvie, ottimizzandone le infrastrutture, i servizi e la manutenzione [10]. Lo Scenario 2 persegue pertanto l'obiettivo di definire linee su gomma attestata nelle vicinanze delle fermate dei tram o ortogonali ai tracciati su ferro, in modo da facilitare lo scambio tra i due sistemi di trasporto ed evitare la sovrapposizione dei percorsi.

Lo stato del trasporto pubblico su gomma nel 2015 è sintetizzato in tabella 1. I dati sono stati forniti dal consorzio che gestisce il servizio, composto dall'ATAF, gestore delle linee centrali, e dalla LI-NEA, gestore delle linee periferiche di Firenze e dei comuni limitrofi della Città Metropolitana.

In ciascuno scenario e per ciascuna linea su gomma modificata sono stati considerati i percorsi, i numeri di

For each future tramline, the study identifies the area of influence obtained by the envelope of the basins of influence of each stop, defined by a 450 m radius circumference according to [26].

Both scenarios consider six interchange nodes in the bus lines network. They are in the Northern area of the city bounded by the river Arno: Libertà, Leopolda Porta al Prato, SMN station, Puccini, Novoli, Dalmazia-Careggi (fig. 3).

Some interchange nodes are external to the central area of Florence, as recommended by the Florence Metropolitan City [3]. The presence of outlying interchange nodes eases road traffic in the centre of the city, reduces the waiting time due to congestion, improves the service of public transportation and increases the commercial speed of trips.

Having reference to the current network (reference year 2015), Scenario 1 makes fewer changes to bus lines and reduces the number of terminus at SMN station, as well as Scenario 2 adds to them the elimination of bus paths parallel to new tramlines, which autonomously optimize their own infrastructure, the services and the maintenance [10]. Indeed, the main principle of Scenario 2 is to create lines attested nearby the tram stops or orthogonal to the tramline, to avoid the overlap and facilitate the interchange between the two transport systems. This principle encourages the interchange between the two modes of transportation and avoids the overlap of paths.

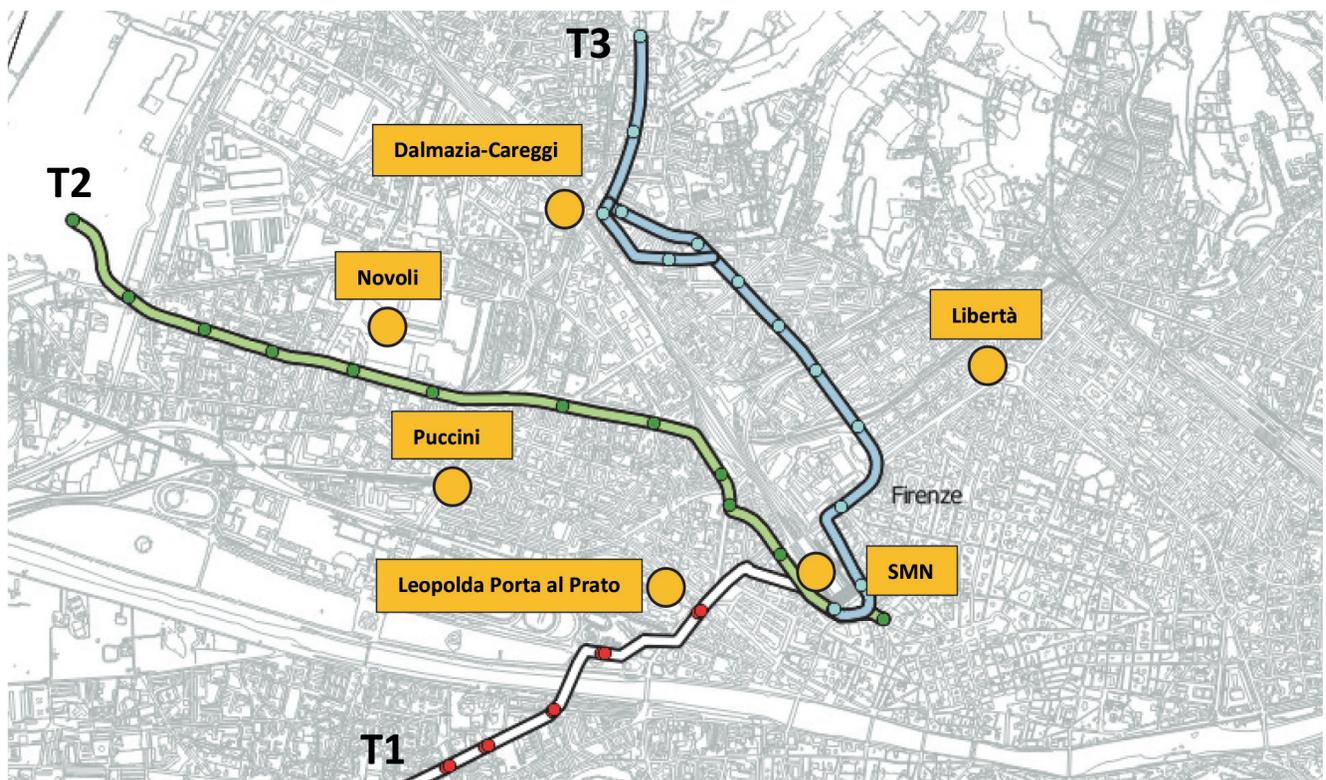


Fig. 3 - Nodi di scambio.
Fig. 3 - Interchange nodes.

TABELLA 1 – TABLE 1

Trasporto pubblico su gomma a Firenze nel 2015
 Florence public transport in 2015

Dato Item	Acronimo Acronym	Valore Value
Numero di linee di bus Number of bus lines	NB_{2015}	90
Percorrenza (bus-km/anno) Distance travelled (km/year)	km_{2015}	19.751.996
Percorrenza nei giorni di servizio F1* (bus-km) Daily distance travelled (km)	Dkm_{2015}	67.351
Numero di corse giornaliere nei giorni di servizio F1* Number of daily F1 routes	R_{2015}	8.084
Numero di passeggeri trasportati Number of passengers	P_{2015}	88.404.152
Costi di trazione e manutenzione (€) Costs of traction and maintenance service (€)	C_{2015}	13.243.106
Costo del personale di movimento (€) Costs of drivers (€)	D_{2015}	33.031.740
Contributi erogati dalla Città Metropolitana di Firenze (€) Funding from Metropolitan city of Florence (€)	F_{2015}	49.301.612
Entrate dalla vendita dei titoli di viaggio (€) Ticket sales (€)	T_{2015}	31.213.931
* Servizio erogato durante i giorni feriali nel periodo scolastico. * Service provided during the weekdays of school period.		

The study is basing on the state of public transportation in 2015, which is synthetically described by main figures in table 1, provided by the consortium managing the road public transport network services in Florence. The consortium is composed of ATAF, managing central lines, and LI-NEA, serving the peripheral areas of Florence and the neighbouring municipalities of the Metropolitan city of Florence.

In each scenario and for each modified bus line, the paths, the number of runs, and their relative journey, as well as the number of carried passengers are considered. The transportation analysis of the new bus line network takes into account the service provided during the F1 period, currently used in the planning process.

The study is basing on the methodology steps described in the flowchart in fig. 4:

corse, i relativi chilometri, e il numero di passeggeri trasportati. L'analisi di trasporto della nuova rete su gomma considera il servizio erogato durante un giorno F1, come correntemente utilizzato in fase di pianificazione.

L'analisi trasportistica è stata svolta secondo il diagramma di flusso riportato in fig. 4:

- Geometrizzazione delle nuove linee su gomma e analisi dei relativi percorsi. La fig. 5a esemplifica l'output di tale fase, ottenuto con l'impiego del software Hyper-Plan [16]: il percorso di ciascuna linea oggetto di analisi.
- Stima del numero di passeggeri nel 2018 (P_{2018}) nelle ipotesi che:
 - 100% dei passeggeri delle linee soppresse utilizzerà i tram;
 - 100% dei passeggeri dell'attuale linea "Vola in Bus" (collegamento tra SMN e l'aeroporto Peretola) utilizzeranno la linea T2 (il titolo per una corsa sul tram costerà 1,2 €, mentre l'equivalente su "Vola in Bus" costa 6 €);

- Geometrisation of new lines, by the software package Hyper-Plan [16], and analysis of their paths. The output is a map representing the route of each examined bus line (fig. 5a).

- Estimation of number of passengers in 2018 (P_{2018}) according to the following hypothesis:
 - 100% of passengers of suppressed bus lines will take the tram;
 - 100% of passengers of the current "Vola in Bus" service (linking today SMN station to Peretola Airport) will use T2 tramline (one trip on T2 line will cost 1.2 €, while as one trip on "Vola in Bus" costs 6 €);
 - The entrance in service of the new tramlines will increase the passenger traffic: this growth will reach 24% of the total current passenger traffic. This assumption complies with the measured passenger traffic after the entrance in service of tramline 1 (+24% between 2010 and 2012) [27];
 - 60% occupation factor of park and ride zone (2,500 lots) involved in the analysis, with 1.5 turnover and a filling rate of 1.3 passenger/car.
- Calculation of journey times for each line, starting from the commercial speed, the stop times and the dynamic characteristics of the vehicles by the software package



Fig. 4 - Schematizzazione dell'analisi trasportistica.
 Fig. 4 - Methodology for transportation analysis.

- l'entrata in servizio delle linee T2 e T3 comporterà un incremento del traffico passeggeri pari al 24% del volume attuale. Tale ipotesi è coerente con l'incremento di traffico passeggeri misurato dopo l'entrata in servizio della linea T1 (+24% tra il 2010 e il 2012) [27];
- il fattore di occupazione del parcheggio di scambio interessato dallo studio (2.500 posti auto) è pari a 0,6, con un turnover di 1,5 e un coefficiente di riempimento di 1,3 passeggeri/auto.

- Costruzione del grafo orario di ciascuna linea. Ne deriva la velocità commerciale, sulla base dei tempi di sosta e delle caratteristiche prestazionali del veicolo. Per il calcolo è stato impiegato il software TTD [17]. La fig. 5b esemplifica l'output di tale fase.
- Costruzione dei turni macchina, nelle ipotesi che il singolo autobus non percorra più di 500 km/giorno o che l'autonomia dei veicoli elettrici sia pari a 9 h. Per il calcolo è stato impiegato il software VSI [18]. La Figura 5c esemplifica l'output di tale fase.
- Costruzione dei turni del personale. L'output di tale analisi, ottenuto con l'impiego software BDSI [19], è il numero totale di turni del personale necessari per erogare il servizio (fig. 5d), considerando il tipo (da 1 a 5) di contratto di lavoro e i vincoli contrattuali.

Per ciascuna linea di bus i chilometri percorsi in un anno sono:

$$M = k_{F1} \cdot c \quad (1)$$

in cui k_{F1} sono le percorrenze della linea durante un giorno di servizio F1 nel 2015 e c è un coefficiente ricavato da:

$$c = \frac{T}{p_{F1}} \quad (2)$$

In cui T rappresenta le percorrenze nel 2015 e p_{F1} quelle in un giorno di servizio F1 nel 2015; T e p_{F1} sono grandezze relative a ciascuna linea esaminata. Per l'intero trasporto su gomma, c è pari a 293 (pari al rapporto km_{2015}/Dkm_{2015}); per le singole linee di bus tale valore è variabile tra 151 e 342.

Per quanto riguarda il personale di guida, il consorzio ha fornito i seguenti dati:

- costo annuale di un conducente: 43.000 €;
- maggiorazione del personale dovuta ai giorni d'inattività: 18% [4];
- tasso di pensionamento atteso nei prossimi 5 anni: 25 conducenti/anno (nel 2015 le unità di personale ATAF&LI-NEA addette al movimento erano 1023).

Per ogni linea, lo studio ha preso in considerazione il contributo che Città Metropolitana di Firenze erogherà sulla base delle percorrenze [25]. Secondo l'accordo tra la Provincia di Firenze e il consorzio, le linee di autobus appartengono a quattro gruppi (tabella 2).

L'incasso r per passeggero derivante dalla vendita dei titoli di viaggio è calcolato come:

TTD [17]. The output is the timetable of each examined bus line (fig. 5b);

- Building of the bus shifts, basing on a maximum daily journey of 500 km and a electrical autonomy of 9 h by the software package VSI [18]. The output is the bus shifts of each examined bus line (fig. 5c);
- Calculation of the drivers shifts by the software package BDSI [19]. The output is the total driver shifts need for the service (fig. 5d), considering the type (Type 1 to 5) of contract work and the work phases.

For each bus line, the new annual mileage is:

$$M = k_{F1} \cdot c \quad (1)$$

where k_{F1} are the kilometres travelled during a day of F1 service in 2015 and c is a coefficient given by

$$c = \frac{T}{p_{F1}} \quad (2)$$

Where T is the mileage in 2015 and p_{F1} is the daily number of kilometres run in 2015 in a F1 service day; T and p_{F1} have been calculated for each examined bus line. For the overall road service, c is equal to 293 (equal to the ratio km_{2015}/Dkm_{2015}), while for the lines this value ranges between 151 and 342.

As regard as the driving personnel, data provided by the consortium are:

- driver average annual cost: 43,000 €;
- non-working days due to sick, holidays and personal leave days: 18% [4];
- expected turnover in the next five years: 25 drivers/year (in 2015 ATAF&LI-NEA had 1023 drivers).

For each line, the study evaluated the financial consideration that the metropolitan city will pay based on travelled kilometres [25]. According to the agreement between Provincia di Firenze and the consortium, the bus lines belong to four groups (table 2).

The future revenue r per passenger is:

$$r = \frac{T_{2015}}{P_{2015}} \quad (3)$$

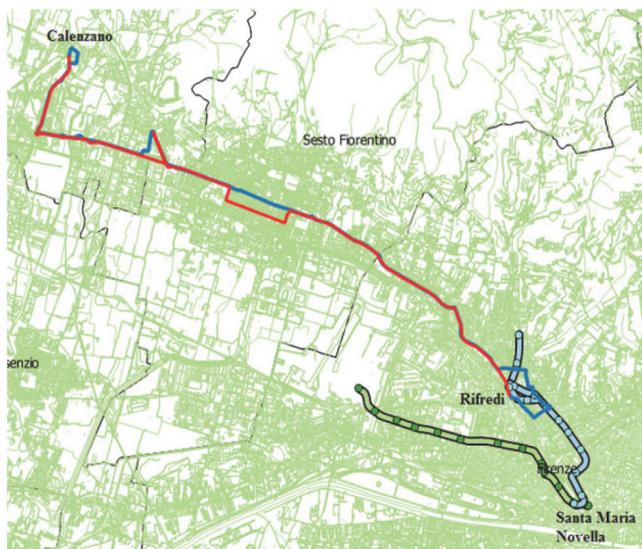
In both scenarios, for each examined item i , the data referred to 2015 and to 2018 are compared by means of the difference $d\%$ calculated according to:

$$d\% = \frac{i_{2018} - i_{2015}}{i_{2015}} \quad (4)$$

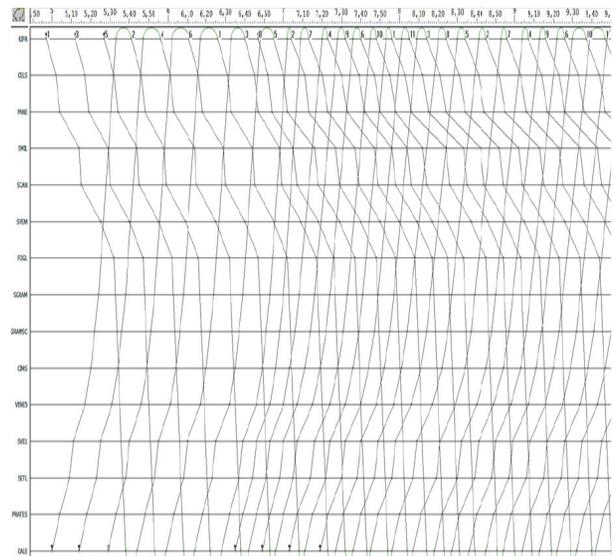
Where i_{2018} and i_{2015} are, respectively, the values in 2018 and in 2015.

3. Case studies

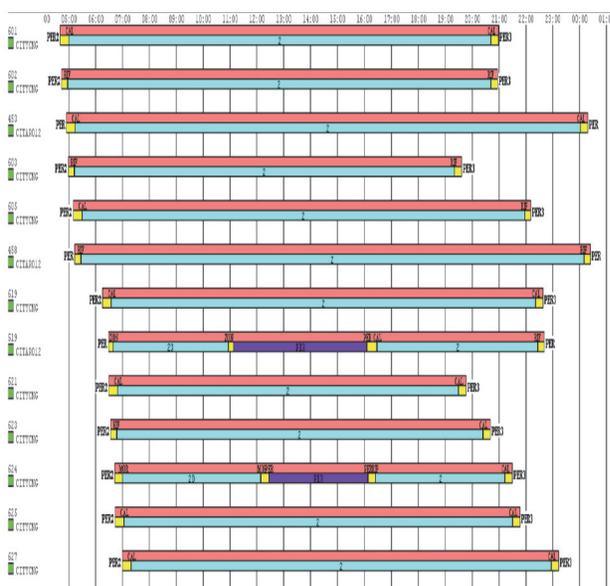
The research focuses on two alternatives:



Esempio di output di Hyperplan (a)



Esempio di output di TTD (b)



Esempio di output di VSI (c)

	N°	Band (B)	Work (W)	Driving (D)
Type 1	536	07:02:05	06:54:00	05:58:31
Type 2	63	09:00:51	06:49:33	06:13:58
Type 3	8	06:57:00	06:57:00	03:35:00
Type 4	8	09:18:30	06:45:07	06:09:30
Type 5	10	03:35:54	03:35:54	04:16:17
Total driver shifts	625	07:12:26	06:50:19	05:57:11

Esempio di output di BDSI (d)

Fig. 5 - Esempi di output considerati per l'analisi trasportistica.

Fig. 5 - Examples of outputs of transportation analysis.

$$r = \frac{T_{2015}}{P_{2015}} \tag{3}$$

In entrambi gli scenari e per ciascun parametro esaminato i , i dati riferiti al 2015 e al 2018 sono comparati attraverso il calcolo della differenza $d\%$:

$$d\% = \frac{i_{2018} - i_{2015}}{i_{2015}} \tag{4}$$

In cui i_{2018} e i_{2015} sono rispettivamente riferiti al 2018 e al 2015.

- Scenario 1, affecting bus lines in the centre of Florence and belonging to Group 1 (table 2), operated by ATAF. The main objective of Scenario 1 is to improve the traffic fluidity near SMN station. Therefore, the mobility is enhanced reducing from 13 to 7 the number of lines running in the area;
- Scenario 2, involving both central and peripheral bus lines of Florence, belonging to Groups 1 and 2 (table 2), operated by ATAF and LI-NEA. In addition to the modification proposed with Scenario 1, it eliminates bus paths parallel to the new tramlines.

3. Alternative di studio

TABELLA 2 – TABLE 2

Gli scenari alternativi esaminati nello studio sono:

- Scenario 1: interessa le linee di autobus con percorso nel centro di Firenze, appartenenti al Gruppo 1 (tabella 2) e gestite da ATAF. L'obiettivo principale è quello di migliorare la fluidità del traffico vicino alla stazione SMN riducendo le linee su gomma da 13 a 7;
- Scenario 2: interessa sia linee centrali sia linee periferiche di Firenze, appartenenti ai Gruppi 1 e 2 (tabella 2) e gestite in parte da ATAF e in parte da LI-NEA. Alle modifiche proposte nello Scenario 1 si aggiunge l'eliminazione dei percorsi su gomma paralleli alla tramvia.

Contributo dalla Città Metropolitana di Firenze
Funding from Metropolitan City of Florence

Gruppo Group	Tipo di servizio Type of service	Velocità media Average speed [km/h]	Contributo Funding [€/bus•km]
1	Urbano Urban	< 19	2,63
2	Urbano Urban	> 19	2,37
3	Urbano a bassa frequenza Urban low frequency	Non definito Undefined	2,27
4	Extraurbano Extra-urban	Non definito Undefined	1,82

3.1. Scenario 1

Lo Scenario 1 interessa 15 linee di autobus esistenti: con l'entrata in servizio delle linee T2 e T3 10 linee modificheranno il proprio percorso e cinque linee saranno sostituite da una linea. La fig. 6 rappresenta la numerosità attuale (2015) e futura (2018) delle linee di autobus che servono i nodi di interscambio esaminati. I dati elencati in fig. 6 evidenziano l'effetto della riorganizzazione nell'a-

3.1. Scenario 1

Scenario 1 involves 15 existing bus lines: the path of 10 lines will change with the entrance in service of T2 and T3 lines: one bus line will substitute five existing lines. Fig. 6 represents the distribution of future bus lines along the interchange nodes. For each node, it is possible to note the number of lines in 2015 and 2018. Data listed in fig. 6 highlight the effect of the reorganization in the central area of Florence, where in 2018 the number of lines is lower and the service rationalized.

Table 3 compares the daily F1 kilometres (Dkm) and the daily F1 number of routes (R) in 2015 and 2018 for the bus lines involved in the reorganization.

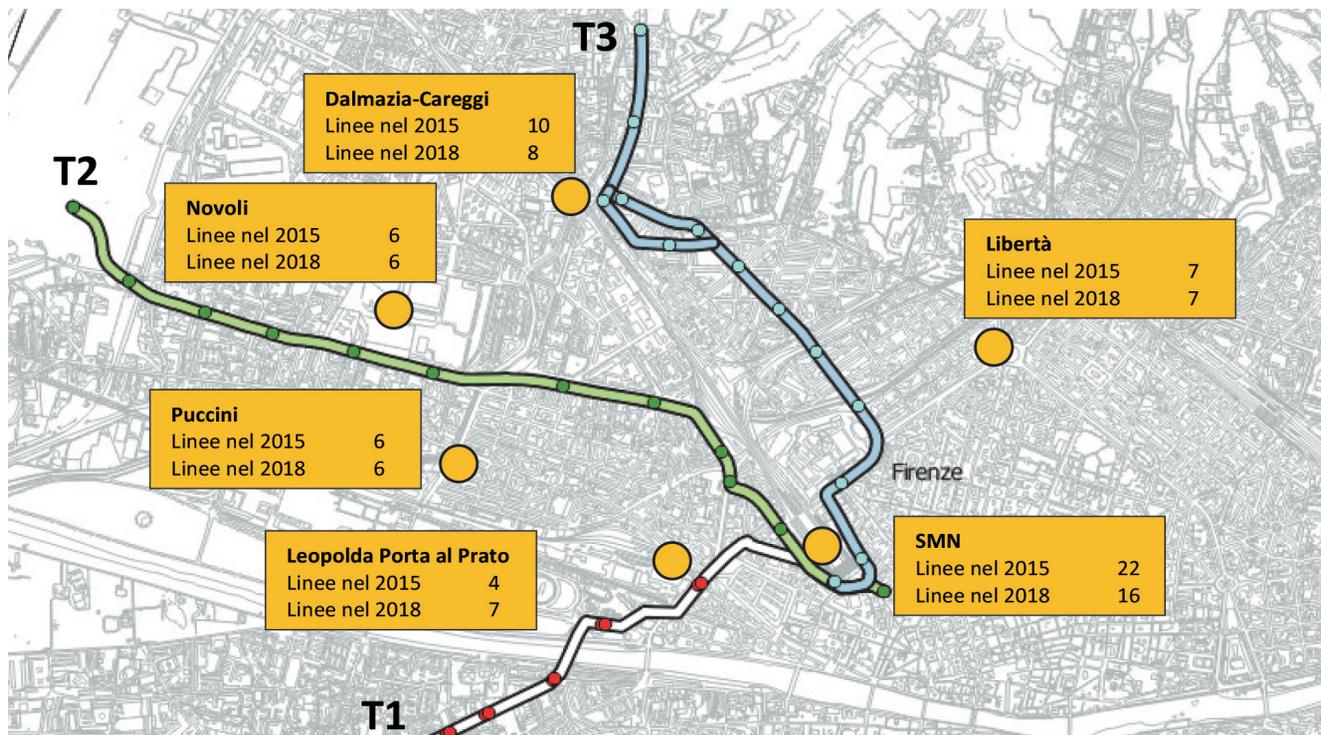


Fig. 6 - Nodi di scambio - Scenario 1.
Fig. 6 - Interchange nodes - Scenario 1.

rea centrale di Firenze, dove nel 2018 il numero di linee è ridotto e il servizio è razionalizzato.

In tabella 3 sono comparati i chilometri percorsi (*Dkm*) e il numero di corse effettuate (*R*) durante un giorno di servizio F1 nel 2015 e nel 2018 dalle linee di bus interessate dal riassetto. I dati evidenziano che lo Scenario 1 implica una riduzione dei chilometri percorsi (-10,6%) e delle corse effettuate (-23,3%). Le linee modificate nel 2018 percorreranno più chilometri (+4% in termini di *Dkm*) e saranno più frequenti (+22,5% in termini di *R*) rispetto al 2015.

A causa della modifica delle linee di autobus nel periodo F1 la compagnia ATAF (e quindi il consorzio) servirà 2.341 bus•km/giorno in meno e il numero delle corse scenderà da 8.084 (*R*₂₀₁₅) a 7.515 (*R*₂₀₁₈): nel 2018 il consorzio produrrà circa 19,3 bus•Mkm rispetto ai 19,7 bus•Mkm del 2015 (tabella 1). In conseguenza di ciò, il numero massimo di autobus utilizzati in un giorno F1 scenderà da 266 a 244, secondo quanto elaborato attraverso il software VSI. In fig. 7 è riportato in ordinate il numero di autobus utilizzati durante la giornata tra le ore 4 e le ore 21 (in ascisse).

Vista la minore necessità di vetture, i costi operativi di ATAF scenderanno, principalmente per la riduzione dei turni giornalieri del personale di guida, da 651 a 625: il conseguente risparmio annuo sarà di circa 1,3 milioni di euro (tabella 4). Inoltre, la riduzione del numero di chilometri percorsi comporterà un risparmio annuale sui costi di manutenzione e di trazione stimato pari a circa 314.000 euro (-3,10%).



Fig. 7 - Bus ATAF in servizio durante la giornata nel periodo F1 - Scenario 1.
Fig. 7 - ATAF buses running within day in F1 period - Scenario 1.

TABELLA 3 – TABLE 3

Servizio offerto dalle linee ATAF prima e dopo il riassetto - Scenario 1
ATAF journeys and routes of involved lines in F1 day - Scenario 1

Linee Lines	Dkm ₂₀₁₅ (bus•km)	Dkm ₂₀₁₈ (bus•km)	d%	R ₂₀₁₅	R ₂₀₁₈	d%
Modificate Modified	17.927	18.639	+4,0%	1.413	1.731	+22,5%
Sopprese Deleted	4.131	0	-100,0%	1.029	0	-100,0%
Istituite Added	0	1.078	-	0	142	-
Totale Total	22.058	19.717	-10,6%	2.442	1.873	-23,3%

Data listed in table 3 highlight that Scenario 1 implies a reduction of travelled kilometres (-10.6%) and routes (-23.3%). In 2018, the modified lines operated longer services (+4% of *Dkm*), and more frequent (+22.5% of *R*) than in 2015.

Due to the modification of bus lines, in the F1 period the company ATAF (and therefore the consortium) will travel 2,341 km/day less compared to 2015. In 2018, the consortium will produce about 19.3 Mkm (19,7 Mkm in 2015 according to table 1) with number of routes reduced from 8,084 (*R*₂₀₁₅) to 7,515 (*R*₂₀₁₈). This reduction of daily routes will result in a reduction of the maximum number of buses used in a day F1 from 266 in 2015 to 244 in 2018, according to the analysis carried out with the software VSI. Fig. 7 has in ordinates the number of running buses during the day between 4 a.m. and 9 p.m. (in abscissae).

Because of the reduced need of buses, ATAF will have a reduction of operating costs, mainly due to the reduction of driver shifts from 651 in 2015 to 625 in 2018. It will permit to save approximately 1.3 M€/year, as listed in table 4. Moreover, the reduction of total travelled kilometres will produce a saving related to maintenance and traction costs of ATAF estimated at about € 314,000 (-3.10%).

Concerning the income, in 2018 the funding allocated by the Metropolitan City of Florence (*F*₂₀₁₈) will decrease to 48,667,466 €, while, according to the presented hypotheses, in Scenario 1 the new tramlines will ensure 3,681,867 additional passengers/year [12] and, consequently, the yearly increase of ticket sales (*T*₂₀₁₈) will be 1,288,653 €; ticket sales in 2018 (*T*₂₀₁₈) will be 32,592,584 as listed in table 5.

3.2. Scenario 2

Scenario 2 involves 19 existing bus lines: the path of 11 lines (ten operated

Per quanto riguarda le entrate, nel 2018 il contributo erogato dalla Città Metropolitana di Firenze (F_{2018}) scenderà a 48.667.466 €. Viste le ipotesi formulate in precedenza, il nuovo assetto del trasporto pubblico locale assicurerà un incremento di 3.681.867 passeggeri/anno [12] e un incremento d'incassi da vendita dei titoli di viaggio pari a 1.288.653 €: gli incassi dalla vendita dei titoli di viaggio (T_{2018}) saranno perciò 32.592.584 € (tabella 5).

TABELLA 4 – TABLE 4

Costi sostenuti da ATAF nel 2015 e nel 2018 - Scenario 1
ATAF costs in 2015 and 2018 - Scenario 1

Parametro Item	2015	2018	d%
Numero di turni del personale di guida in un giorno F1 Number of driver shifts in F1 period	651	625	-4,0%
Costo annuale del personale (€) Annual driver employees costs (€)	33.031.740	31.712.500	-4,0%
Costi annuali di trazione e manutenzione (€) Annual maintenance-traction costs (€)	10.247.000	9.932.774	-3,1%

3.2. Scenario 2

Lo Scenario 2 interessa 19 linee di autobus esistenti: con l'entrata in servizio delle linee T2 e T3 11 linee modificheranno il proprio percorso (10 gestite da ATAF, 1 da LI-NEA), 8 linee (6 gestite da ATAF e 2 gestite da LI-NEA) saranno soppresse e 3 linee (2 gestite da ATAF e 1 gestita da LI-NEA) saranno istituite. La fig. 8 rappresenta la numerosità attuale (2015) e futura (2018) delle linee di autobus che servono i nodi di interscambio esaminati.

TABELLA 5 – TABLE 5

Entrate dalla vendita dei titoli di viaggio e dalla Città Metropolitana di Firenze - Scenario 1
Funding and ticket sales - Scenario 1

Parametro Item	2018	d%
Entrate dalla Città Metropolitana di Firenze (€) Funding perceived by the consortium (€)	48.667.466	-1,3%
Entrate dalla vendita dei titoli di viaggio (€) Ticket sales (€)	32.592.584	+4,4%

Analogamente a quanto fatto per lo Scenario 1, in tabella 6 sono confrontati i chilometri percorsi durante un giorno di servizio F1 (Dkm) e il numero giornaliero di corse (R) nel 2015 e nel 2018 relativi alle linee di bus ATAF interessate dal riassetto. I dati evidenziano che lo

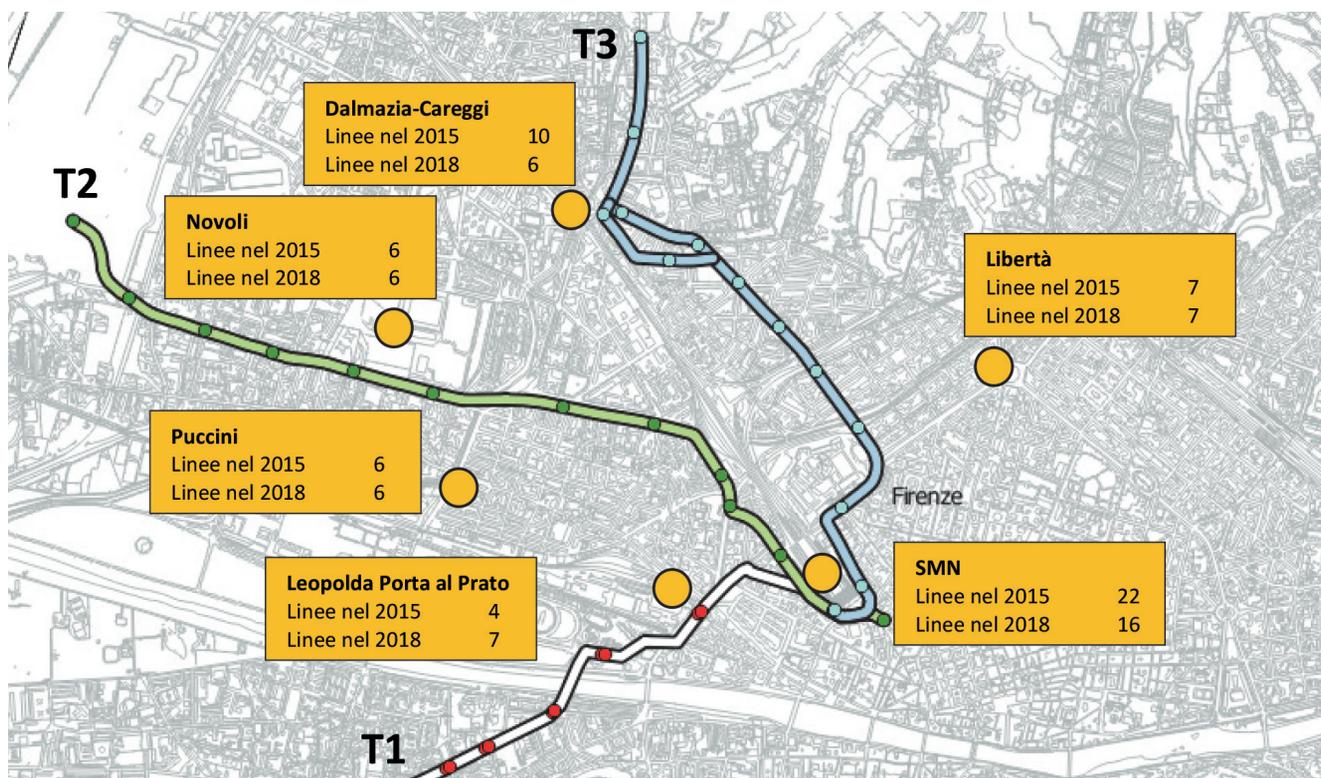


Fig. 8 - Nodi di scambio - Scenario 2.
Fig. 8 - Interchange nodes - Scenario 2.

TABELLA 6 – TABLE 6

Servizio offerto dalle linee ATAF nel periodo F1 prima e dopo il riassetto -
Scenario 2
ATAF kilometers and routes of involved lines in F1 day - Scenario 2

Linee Lines	Dkm _{2015,A} (bus•km)	Dkm _{2018,A} (bus•km)	d%	R _{2015,A}	R _{2018,A}	d%
Modificate Modified	17.927	17.933	0,0%	1.413	1.714	+21,0%
Soppresse Deleted	4.309	0	-100,0%	1.099	0	-100,0%
Istituite Added	0	1.971	-	0	272	-
Totale Total	22.236	19.904	-10,5%	2.512	1.986	-20,9%

Scenario 2 implica per ATAF una riduzione dei chilometri giornalieri percorsi Dkm_A (-2.332 km) e delle corse R_A (da 2.512 a 1.986).

La tabella 7 confronta il numero di km (Dkm_L) e il numero di corse (R_L) percorsi dalle linee LI-NEA coinvolte nel riassetto durante il servizio F1 nel 2015 e 2018: rispetto al 2015, Dkm_L aumenterà di 216 bus•km/giorno, mentre R_L scenderà da 283 a 164.

Visti i dati delle tabelle 6 e 7, nel 2018 il consorzio offrirà 2.116 bus•km/giorno in meno rispetto al 2015 e le corse (R) saranno 7.439 anziché 8.084 (tabella 8).

Come illustrato in tabella 8, il consorzio garantirà circa 19,3 bus•Mkm/anno, 14,8 bus•Mkm dei quali offerti da ATAF.

Il riassetto della rete comporterà una riduzione del numero di mezzi circolanti: nel 2018 il numero di autobus circolanti durante il picco della domanda scenderà per ATAF da 266 a 241, mentre per LI-NEA da 85 a 87.

ATAF e LI-NEA ridurranno il numero di turni del personale e i relativi costi. La tabella 9 riporta i risultati complessivi: nel 2018, durante il servizio F1, occorreranno 711 turni del personale di guida (651 di ATAF e 60 di LI-NEA). Il costo annuale del personale del consorzio

by ATAF and one by LI-NEA) will change, eight lines (six operated by ATAF and two by LI-NEA) will be suppressed and 3 lines (2 managed by ATAF and 1 by LI-NEA) will be added.

Fig. 8 represents the distribution of future bus network in the interchange nodes. For each node, you can read the number of lines in 2015 and in 2018.

As for Scenario1, table 6 compares daily F1 kilometers (Dkm_A) and number of routes (R_A) run by involved lines of ATAF during F1 service in 2015 and 2018: the journey of ATAF lines (Dkm_A) will decrease of 2,332 km/day, while the number of the F1 daily routes (R_A) will decrease from 2,512 to 1,986.

Table 7 compares daily kilometers (Dkm_L) and number of routes (R_L) travelled by involved lines of LI-NEA during F1 service in 2015 and 2018: lines of LI-NEA will travel 216 km/day more than in 2015, while the number of routes will decrease from 283 to 164.

According to tables 6 and 7, in 2018, the consortium will travel 2,116 km/day less than in 2015; daily routes (R) provided by the consortium will be 7,439 instead of 8,084. Table 8 lists the results of Scenario 2 with reference to the supplied service.

As a consequence of data listed in table 8, in 2018 the consortium will produce about 19.3 Mkm/year, of which 14.8 Mkm provided by ATAF and 4.5 Mkm provided by LI-NEA.

Moreover, the reorganization of road public transport will result in a reduction of the number of used buses. For ATAF, the number of vehicles utilized during the period of maximum output will decrease from 266 to 241, while for LI-NEA the number of buses utilized during the period of maximum service decreases from 85 to 87 in 2015.

Consequently, both ATAF and LI-NEA will have a reduction in the number of driver shifts and driver employees' costs. Table 9 represents the overall results: in 2018, during the daily F1 service, will need 711 driver shifts (respectively 651 for ATAF and 60 for LI-NEA). For the consortium, the annual driver employees costs will vary from about 36.1 M€ in 2015 to 34.3 M€ in 2018 (percentage difference -4.92%), while the maintenance and traction costs will vary from 13.2 M€ to 12.9 M€ (-2.3%). The annual maintenance-traction costs for ATAF will decrease from 10.2 M€ in 2015 to 9.9 M€ in 2018, while for LI-NEA will increase only by a negligible amount (from 2.9 M€ to 3.0 M€).

TABELLA 7 – TABLE 7

Servizio offerto dalle linee LI-NEA nel periodo F1 prima e dopo il riassetto -
Scenario 2
LI-NEA kilometers and routes of involved lines in F1 day - Scenario 2

Linee Lines	Dkm _{2015,L} (bus•km)	Dkm _{2018,L} (bus•km)	d%	R _{2015,L}	R _{2018,L}	d%
Modificate Modified	747	866	15,9%	50	49	-2,0%
Soppresse Deleted	897	0	-100,0%	233	0	-100,0%
Istituite Added	0	994	-		115	-
Totale Total	1.644	1.860	13,1%	283	164	-42,0%

scenderà da 36,1 M€ nel 2015 a 34,3 M€ nel 2018 (-4,92%), mentre i costi di trazione e manutenzione scenderanno da 13,2 M€ a 12,9 M€ (-2,3%). In particolare, per ATAF tali costi scenderanno da 10,2 M€ a 9,9 M€, mentre per LI-NEA subiranno un lieve incremento (da 2,9 M€ a 3,0 M€).

La riorganizzazione del trasporto pubblico avrà perciò importanti conseguenze in termini economici: il consorzio risparmierà circa 2,1 M€/anno. Viste le ipotesi formulate in precedenza, lo scenario 2 implica 4.499.772 passeggeri in più rispetto a quelli del 2015 e, di conseguenza, un aumento di fatturato annuo di vendite di biglietti di 1.557.420 €.

La riduzione dei chilometri percorsi implicherà una proporzionale riduzione del contributo erogato dalla Città Metropolitana di Firenze di circa 599.000 €, pari a 1,2% del totale erogato al consorzio nel 2015: nel 2018 il contributo sarà di circa 48,7 M€(tabella 10).

4. Confronto dei risultati

La sintesi dei risultati dell’analisi trasportistica ed economica è riportata in tabella 11, i cui valori assoluti sono relativi all’anno 2018, mentre i valori percentuali derivano dal confronto tra i risultati ottenuti per il 2018 e la condizione di riferimento nel 2015. Per ciò che concerne i costi sostenuti dal consorzio che gestisce il trasporto pubblico su gomma, per ciascuno scenario è stato calcolato il risparmio complessivo S è:

$$S = (F_{2018} - D_{2018} - C_{2018}) - (F_{2015} - D_{2015} - C_{2015}) \quad (5)$$

Entrambe le ipotesi sono coerenti con i requisiti prestazionali imposti dalla Città Metropolitana di Firenze, che prescrive non meno di 19,3 bus•Mkm/anno ±2% offerti dal trasporto pubblico. Per entrambi gli scenari, l’attuale linea di autobus “Vola in bus”, che collega la città all’aeroporto, sarà soppressa con l’entrata in servizio della linea T2, che servirà lo stesso percorso assicurando un costo di viaggio di 1,2 € anziché l’attuale 6,0 €.

TABELLA 10 – TABLE 10

Contributo percepito dal consorzio - Scenario 2
Funding perceived by the consortium - Scenario 2

Contributo percepito dal consorzio (€) Funding perceived by the consortium (€)	
2015	2018
49.301.612	48.702.638

TABELLA 8 – TABLE 8

Servizio offerto dal consorzio nel periodo F1 prima e dopo il riassetto - Scenario 2
Consortium kilometers and routes of involved lines in F1 day - Scenario 2

Linee Lines	Dkm _{2015,L} (bus•km)	Dkm _{2018,L} (bus•km)	d%	R _{2015,L}	R _{2018,L}	d%
Totale Total	23.880	21.764	-8,9%	2.795	2.150	-23,1%

TABELLA 9 – TABLE 9

Costi sostenuti dal consorzio nel 2015 e nel 2018 - Scenario 2
Driving employees costs 2015 and 2018 - Scenario 2

Parametro Item	Consorzio The consortium		
	2015	2018	d%
Numero di turni giornalieri del personale di guida nel periodo F1 Number of driver shifts in F1 period	711	676	-4,9%
Costo annuale del personale (€) Annual driver employees costs (€)	36.076.140	34.300.240	-4,9%
Costi annuali di trazione e manutenzione (€) Annual maintenance-traction costs (€)	13.243.106	12.937.976	-2,3%

The reorganization of road public transport will have important economic consequences in terms of economic issues: the consortium will save approximately 2.1 M€/year.

According to the presented hypotheses, Scenario 2 implies 4,449,772 additional passengers in comparison with those in 2015 and, consequently, an increase of annual ticket sales revenue of 1,557,420 €.

The funding allocated from the Metropolitan City of Florence decreases to approximately 48.7 M€ in 2018. The reduction is of about 599,000 €, equivalent to 1.2% of funded by ATAF and LI-NEA in 2015. Table 10 shows funding perceived by the consortium.

4. Comparison of results among Scenarios

The synthetic results of the transportation and economic analyses are in table 11. All absolute results refer to the year 2018; all percentage differences refer to the comparison between the alternative in 2018 and the reference condition in 2015. For each scenario, the consortium ATAF&LI-NEA will have an overall saving S

$$S = (F_{2018} - D_{2018} - C_{2018}) - (F_{2015} - D_{2015} - C_{2015}) \quad (5)$$

Both hypotheses are compliant with the performance requirements imposed by the Metropolitan city of Florence, which requires almost 19.3 Mkm ±2% of yearly public transport service. For both scenarios, the current bus line “Vola in bus”, which links the city to the airport, will be

Risultati trasportistici ed economici
Technical and economic results

Parametro <i>Parameters</i>	Indicatore <i>Code</i>	Scenario 1	Scenario 2
Chilometri percorsi dal consorzio [bus•Mkm/anno] <i>Production of the consortium [Mkm/year]</i>	km ₂₀₁₈	19,3	19,3
Variazione percentuale dei chilometri percorsi dal consorzio [%] <i>Variation of consortium production [%]</i>	d%km	-2,4	-2,3
Contributo erogato dalla Città Metropolitana di Firenze [M€/anno] <i>Funding from Metropolitan City of Florence [M€/year]</i>	F ₂₀₁₈	48,6	48,7
Variazione percentuale del contributo erogato dalla Città Metropolitana di Firenze [%] <i>Variation of funding from Metropolitan city of Florence [%]</i>	d%F	-1,3	-1,2
Costi del personale di guida [M€/anno] <i>Driver employees costs [M€/year]</i>	D ₂₀₁₈	31,7	31,3
Variazione percentuale dei costi del personale di guida [%] <i>Variation of driver employees costs [%]</i>	d%D	-3,6	-4,9
Costi di trazione e manutenzione [M€/anno] <i>Maintenance and traction costs [M€/year]</i>	C ₂₀₁₈	12,9	12,9
Variazione percentuale dei costi di trazione e manutenzione [%] <i>Variation of maintenance and traction costs [%]</i>	d%C	-2,4	-2,3
Numero dei passeggeri trasportati [Milioni di passeggeri/anno] <i>Number of passengers of the overall pubic network [Millions of passengers/year]</i>	P ₂₀₁₈	91,7	92,3
Variazione percentuale del numero di passeggeri [%] <i>Variation of number of passengers [%]</i>	d%P	4,1	5,0
Incasso dalla vendita dei titoli di viaggio [M€/anno] <i>Revenue from ticket sales [M€/year]</i>	T ₂₀₁₈	32,5	32,7
Variazione percentuale dell'incasso dalla vendita dei titoli di viaggio [%] <i>Variation of revenue from ticket sales [%]</i>	D%T	4,0	4,9
Risparmio complessivo derivante dal riassetto [M€/anno] <i>Overall savings [M€/year]</i>	S	1,0	1,5

Lo Scenario 2 è il più impattante per la comunità, in quanto il numero e l'entità delle modifiche sulla rete è maggiore: implica un'ottimizzazione delle risorse disponibili rappresentate dalla riduzione dei dipendenti (compatibile con il turnover atteso), dei costi di manutenzione e di trazione e dall'aumento del numero di passeggeri e di conseguenza delle vendite di biglietti. Nello Scenario 2 i risparmi totali ammontano a 1.482.057 €, mentre nello Scenario 1 sono 999.320 €.

In conclusione, le analisi di trasporto ed economiche suggeriscono che lo Scenario 2 fornisce la soluzione migliore per incorporare le nuove tramvie nella rete del trasporto pubblico esistente a Firenze.

5. Conclusioni

Nel 2018 entreranno in servizio nella città di Firenze le nuove linee tramviarie T2 e T3, che si aggiungeranno all'attuale rete di trasporto pubblico, composta di 90 linee di autobus e un tram (T1) entrato in servizio nel 2010. Il nuovo assetto richiede modifiche all'attuale rete di trasporto su gomma: lo studio presenta due scenari finalizzati a integrare i due modi di trasporto.

cancelled because the line T2 will serve the path ensuring a trip cost of 1.2 € instead of the current 6.0 €.

Scenario 2 is more impactful for the community, since number and extent of changes on the network is larger. Scenario 2 implies an optimization of available resources represented by the reduction of employees (consistent with the expected turn-over), maintenance and traction costs and the increase of the number of passengers and consequently of ticket sales. In Scenario 2, the overall savings will amount to 1,482,057 €, while in Scenario 1 this value will amount to 999,320 €.

As a general conclusion, the transport and economic analyses suggest that Scenario 2 provides the best solution to incorporate the new tramlines in the existing bus network of Florence.

5. Conclusions

In the city of Florence, by 2018 the new tramlines T2 and T3 will enrich the current network, composed of 90 bus lines and one tramline entered into service in 2010. It requires changes to the current bus transport network,

Gli scenari sono stati confrontati per numero di passeggeri, chilometri offerti dal consorzio, linee di autobus modificati, costi e ricavi del servizio. L'analisi economica e quella trasportistica si basano sulle previsioni di traffico elaborate da ATAF e LI-NEA, il consorzio che gestisce i servizi di rete di trasporto pubblico a Firenze.

Il primo scenario (più conservativo) interessa il 17% della rete attuale, mentre il secondo (più innovativo) ne interessa il 21%.

Lo Scenario 2 è l'alternativa migliore: implica un'ottimizzazione delle risorse disponibili rappresentate dalla riduzione dei costi dei lavoratori, dei costi di manutenzione e di trazione e dell'aumento del numero dei passeggeri e, conseguentemente, delle vendite di biglietti (entrambi circa il 5% rispetto al 2015). Inoltre, questa soluzione migliora la circolazione stradale nell'area di Santa Maria Novella assicurando un efficace scambio tra autobus e tram.

Il metodo, impostato e verificato per il caso di studio, ha dimostrato un'ottima affidabilità e capacità di fornire risultati efficaci. Pertanto, si ritengono molto promettenti le sue prospettive di generalizzazione per l'applicazione a situazioni operative diverse.

which are setup in two scenarios with the main objective of the integration between rail and road mode of transport.

The scenarios, cross-referenced by number of passengers, journey extensions, modified bus lines, costs and revenues. The economic and transportation analysis are basing on traffic prediction provided by ATAF and LI-NEA, the consortium managing the public transport network services in Florence.

The first scenario (more conservative) involves 17% of current network, while the second (more innovative) involves 21% of it.

Scenario 2 results as the best option: it implies an optimization of available resources represented by the reduction of employees, maintenance and traction costs and the increase of the number of passengers and, consequently, of ticket sales (both about 5% if compared with 2015). Moreover, this alternative improves the traffic in Santa Maria Novella area by ensuring the effective interchange between bus network and tramways.

The method, setup and tested for the case study above, demonstrated a very good reliability and capability to provide effective results. Therefore, its generalisation for the application to a wider set of situations is very promising.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] ALLEN H. (2013), *Integrated Public Transport*. Case study prepared for Global Report on Human Settlements - Nantes.
- [2] AMBARWATI L., VERHAEGHE R., VAN AREM B., PEL A.J. (2016), *The influence of integrated space-transport development strategies on air pollution in urban areas* - Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 44, 134-146.
- [3] ATAF - *Il Sistema tranviario fiorentino e la nuova rete di trasporto pubblico su gomma*. Analisi tecnico-economica.
- [4] ATAF (2016), *Bilancio di esercizio al 31/12/2015*.
- [5] Città metropolitana di Firenze (2008), *Accordo sul trasporto pubblico su gomma*.
- [6] Comune di Firenze (2011), *Delibera di approvazione del Progetto esecutivo delle linee 2 e 3*.
- [7] Comune di Firenze (2016), *Popolazione del Comune di Firenze*.
- [8] Comune di Firenze (2016), *Il sistema tranviario fiorentino*.
- [9] Conseil communal du développement durable de Chaville (2012), *Présentation du projet T6*.
- [10] DI MASCIO P., LOPRENCIPE G., MORETTI L. (2014), *Competition in rail transport: methodology to evaluate economic impact of new trains on track*. ICTI2014 - Sustainability, Eco-efficiency and Conservation in Transportation Infrastructure Asset Management, 669-675, Losa & Papagiannakis (Eds)-Taylor & Francis Group.
- [11] European Conference of Ministers of Transport (2012), *ECMT Round Tabellas Transport and Exceptional Public Events*.
- [12] HU N., LEGARA E.F., LEE K.K., HUNG G.G., MONTEROLA, C. (2016), *Impacts of land use and amenities on public transport use, urban planning and design*. Land use policy, Volume 57, 356-367. doi: 10.1016/j.landusepol.2016.06.004,
- [13] KLASING CHEN M., HOOGE S., SEGRESTIN B., HATCHUEL A. (2014), *Motivations for innovation in public transport: The benefits of a low-cost perspective* - Proceedings of International Design Conference, Volume 2014-January 1571-1580. 13th International Design Conference, Design 2014, Dubrovnik.
- [14] LOPEZ LAMBAS M.E., CASCAJO R. (2015), *Smart and sustainable public transport systems through improving level and quality of service* - IF Ingegneria Ferroviaria, n. 4.
- [15] LOPRENCIPE G., MORETTI M., MORETTI L., RICCI, S. (2017), *Accessibilità ferroviaria al nuovo stadio di Roma / Rail accessibility to a planned new soccer stadium in Rome*. IF Ingegneria Ferroviaria, 4, 287-305.
- [16] MAIOR (2016), *Hyperplan software package*.
- [17] MAIOR (2016), *TTD software package*.

- [18] MAIOR (2016), *VSI software package*.
- [19] MAIOR (2016), *BDSI software package*.
- [20] MICCOLI S., FINUCCI F., MURRO R. (2014), *Criteria and procedures for regional environmental regeneration: A European strategic project*. Applied Mechanics and Materials, Volume 675-677, 401-405. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.675-677.401.
- [21] MICCOLI S., FINUCCI F., MURRO R. (2015), *A new generation of urban areas: Feasibility elements*. Advances in Energy Science and Equipment Engineering - Proceedings of International Conference on Energy Equipment Science and Engineering, ICEESE 2015 Volume 2, 1445-1450.
- [22] MICCOLI S., FINUCCI F., MURRO R. (2016), *New deals in urban growing tools, procedures and feasibility strategies*. Advances in Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering, 339-342.
- [23] PETRUCCELLI U. (2011), *The perceived quality of the local public transit: a multi-criteria model to select improvement scenarios* - IF Ingegneria Ferroviaria, n. 9.
- [24] PETRUCCELLI U., CARLEO S. (2016), *A methodology to assess the road public transport cost* - IF Ingegneria Ferroviaria, n. 11.
- [25] Provincia di Firenze (2014), *Servizio di T.P.L. su gomma nel lotto 1 "Area metropolitana" del bacino provinciale: accorso transattivo tra Provincia di Firenze, Comune di Scandicci e ATAF&LINEA per il periodo 1 luglio-31 dicembre 2014*.
- [26] PYRGIDIS C.N. (2016), *Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation* - CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [27] Regione Toscana (2012), *I fiorentini e la tranvia*. Indagine conoscitiva sull'utilizzo della linea 1 della tranvia.
- [28] RFI (2016), *Research and Innovation from Today Towards 2050*. 11th World Congress on Railway Research WCRR 2016, Milano, Italy.
- [29] RICHER C., HASIAK S. (2015), *Territorial opportunities of tram-based systems*. Town Planning Review. Special Issue "Has rail saved the city? - Rail and Urban Development in Comparative Perspective".
- [30] SAVAGE I. (2013), *Comparing the Fatality Risks in United States Transportation Across Modes and Over Time*. Research in Transportation Economics, Vol. 43, Issue 1, 9-22.
- [31] STEVENSON M., THOMPSON J., DE SÁ T.H., EWING R., MOHAN D., MCCLURE R., ROBERTS I., TIWARI G., GILES-CORTI B., SUN X., WALLACE M., WOODCOCK J. (2016), *Land use, transport, and population health: estimating the health benefits of compact cities*. The Lancet, Volume 388, Issue 10062, 2925-2935.
- [32] TITOS G., LYAMANI H., DRINOVEC L., OLMO F.J., MOČNIK G., ALADOS-ARBOLEDAS L. (2013), *Evaluation of the impact of transportation changes on air quality*. Atmospheric Environment. Vol. 114, 19-31.
- [33] CORAZZA M.V., GUIDA U., MUSSO A., TOZZI M. (2016), *A new generation of buses to support more sustainable urban transport policies: A path towards "greener" awareness among bus stakeholders in Europe*. Research in Transportation Economics, n. 55, 20-29.
- [34] CORAZZA M.V., GUIDA U., MUSSO A., TOZZI M. (2016), *A European vision for more environmentally friendly buses*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 45, June 2016, 48-63.