



L'interazione tra la stazione ferroviaria e il tessuto urbano nelle città di medie dimensioni. Il caso studio di Trapani

The interaction between rail stations and urban area in medium-sized towns. A case study for Trapani

Prof. Ing. Salvatore AMOROSO^(), Dott. Mario CATALANO^(*), Dott. Ing. Fabio GALATIOTO^(**), Prof. Ing. Marco MIGLIORE^(*)*

1. Premessa

Questa memoria descrive le metodologie e i risultati dello studio condotto dagli autori per riqualificare le infrastrutture ferroviarie presenti nella città di Trapani, che attualmente rappresentano un elemento di separazione del territorio urbano, con grave pregiudizio per la mobilità interna. Il lavoro propugna il mantenimento dell'attuale infrastruttura ferroviaria presente nell'area centrale della città, dedicandola all'esercizio di un collegamento tra una nuova stazione periferica ed il centro storico (il sito dell'attuale stazione) tramite tram-treno. Questa soluzione, grazie alla creazione di nuove fermate lungo l'attuale percorso ferroviario urbano assicurerebbe un miglioramento dell'accessibilità della città di Trapani, da un lato, ed una minore limitazione della fluidità del traffico veicolare urbano, dall'altro, con l'onere di un investimento molto più contenuto rispetto a quello necessario per l'interramento della linea ferrata.

2. Introduzione

Questa memoria illustra i risultati di uno studio, che gli autori hanno svolto per conto del Comune di Trapani, finalizzato a suggerire una strategia per la mitigazione dell'impatto sulla mobilità urbana dell'attuale linea ferroviaria, che collega il capoluogo trapanese con Palermo e parte dei centri vicini della Provincia. La proposta cui il lavoro è approdato prevede il mantenimento dell'infrastruttura ferroviaria, che, attraversando l'area centrale della città, viene destinata a svolgere un ruolo diverso da quello attuale: il collegamento tra una prefigurata stazio-

1. Preface

This paper describes the methodologies and outcomes of research carried out by the authors to improve the role of rail facilities in Trapani city, which at present produce a negative impact on the urban road transport system. The study suggests the creation of a new suburban railway station to be connected with the centre (the present station site) by a tram-train service; new additional stops are designed to improve accessibility and it is advised to remove the existing two level crossings for reducing car traffic congestion.

2. Introduction

This paper presents the results of a study conducted by the authors for Trapani city council, which aimed to identify a strategy to mitigate the impact on the transport urban network of the current railway line which connects Trapani with Palermo and other major towns within County of Trapani. The proposed strategy, whilst maintaining the current rail infrastructure which runs along the central area of the city, will play a different role: connecting a peripheral station within the inner city (where the current rail station is located) via a tram-train⁽¹⁾ service, enhanced by several intermediate stops. This solution will, on one hand, provide better accessibility to the Trapani urban area, on the other hand it will keep the investment costs well below the costs associated with the original idea to create an underground rail connection. Moreover, from a long-term point of view, the study has evaluated a hypothetical extension of the tram-train oper-

^(*) Dipartimento dell'Energia - Sezione Trasporti, Università di Palermo.

^(**) School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University.

⁽¹⁾ Pertanto, per gli utenti che viaggiano in treno, si prevede un trasbordo presso la nuova stazione in periferia.

^(*) Dipartimento dell'Energia - Sezione Trasporti, Università di Palermo.

^(**) School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University.

⁽¹⁾ For the users using the train, it is considered an interchange in the new peripheral station.

ne periferica ed il centro storico (sito dell'attuale stazione) tramite tram-treno⁽¹⁾, arricchito di varie fermate lungo il percorso. Tale soluzione può assicurare il miglioramento dell'accessibilità della città di Trapani, da un lato, e la riduzione dell'impatto del tracciato ferroviario sulla fluidità del traffico veicolare urbano, dall'altro, con l'oneri di un investimento molto più contenuto rispetto a quello necessario per l'ipotizzato interrimento della linea ferrata. L'intervento proposto è stato, altresì, inserito in un'ottica di lungo periodo, che richiederebbe l'ampliamento dello studio all'esame della possibile estensione dell'esercizio del tram-treno al di fuori dei confini comunali di Trapani, al fine di realizzare un servizio di trasporto collettivo ad elevata capacità tra i vari centri del territorio provinciale trapanese, con il beneficio di un maggior numero di fermate all'interno degli stessi⁽²⁾.

Viene poi illustrata l'indagine relativa agli spostamenti in treno generati ed attratti dalla città di Trapani, nell'ambito della quale è stato intervistato un campione di passeggeri rappresentativo di circa il 60% dei pendolari che viaggiano nel periodo di punta del mattino (fine dello spostamento entro le ore 9:15), i quali, a loro volta, corrispondono a circa il 70% dell'utenza che si avvale dei servizi della stazione di Trapani.

Si descrive, inoltre, la metodologia per la simulazione degli impatti di tre possibili scenari d'intervento per ridurre l'effetto barriera determinato dagli impianti ferroviari. Infine, vengono presentati i risultati dell'analisi benefici-costi relativa agli scenari di progetto prefigurati, con alcune considerazioni circa l'opportunità di estendere la soluzione "tram-treno" al territorio provinciale a sud del capoluogo.

3. La stazione ferroviaria nel quadro della mobilità dell'area trapanese

La stazione di Trapani, costruita un secolo fa in zona periferica, con lo sviluppo della città, è stata incorporata nel tessuto urbano del centro storico cittadino, a beneficio dei viaggiatori. È una stazione di testa, che nel passato ha svolto anche funzione di scalo merci per l'area portuale. Oggi, è esclusivamente un terminale passeggeri per i due collegamenti ferroviari Palermo - Trapani, uno, costiero, via Milo, e l'altro, interno, via Castelvetro. Le due linee si congiungono alla periferia di Trapani (a 2,5 km di distanza dalla stazione), costituendo una separazione tra la zona a Sud e quelle a Nord. Nel tratto urbano a doppio binario, la linea è dotata di due passaggi a livello; i treni in transito sono essenzialmente di tipo regionale.

ation beyond the Council boundary, in order to provide a high capacity public transport system between the different towns within the province of Trapani and a higher number of stops within each town served⁽²⁾.

This paper presents the results of a survey conducted to identify the daily rail trips to and from the city of Trapani. 60% of the commuters travelling during the morning peak (defined as where trips ended before 9:15am) have been interviewed, which correspond to 70% of the total users of Trapani rail station. The paper then continues with the description of the methodology used to assess the impact of three different scenarios of intervention aiming to reduce the *separation effect* of the current railway line. Finally the cost-benefit analysis results associated with the three different scenarios are presented, including some remarks on the extension of the tram-train service outside the Council boundary.

3. The rail station in the context of the mobility system of Trapani

Trapani rail station was built a century ago in what was then a peripheral zone of the city. After the expansion of the city, the station is now incorporated into the inner area, providing easy access for the rail users. It is a terminus, which in the past has been used also as freight station for the neighbouring harbour area. Today it is only used as passenger terminal, the train services operating are mainly regional connecting Trapani and Palermo using two different routes, one via Milo and the other along the south coast, via Castelvetro. The two lines merge before reaching Trapani (approximately 2.5 km from the station itself), creating a separation between the southern and northern parts of the Trapani conurbation. Along the 2.5km joint-section, the railway line is a two-way system with two level crossings; the train services operating in this section are mainly region-wide.

Figure 1 represents the two railway lines connecting Trapani with Palermo (bottom left inset) and the central station with the 2.5km bi-directional railway section through the urban area of Trapani.

In terms of road transport, on one hand, Trapani station is characterised by a very good accessibility from the main areas of the inner city, but on the other hand, especially during the main periods of commuter arrivals and departures, the road transport network is significantly constrained by the limited connections between the northern and southern areas of the city. Road users who wish to cross the railway line have limited choices and must converge into few routes, some of which lead to two level crossings.

⁽¹⁾ Eliminando, così, l'esigenza di interscambi tra il mezzo pubblico extraurbano e quello urbano.

⁽²⁾ Avoiding the need for interchange between the extra-urban and the urban public transport services.

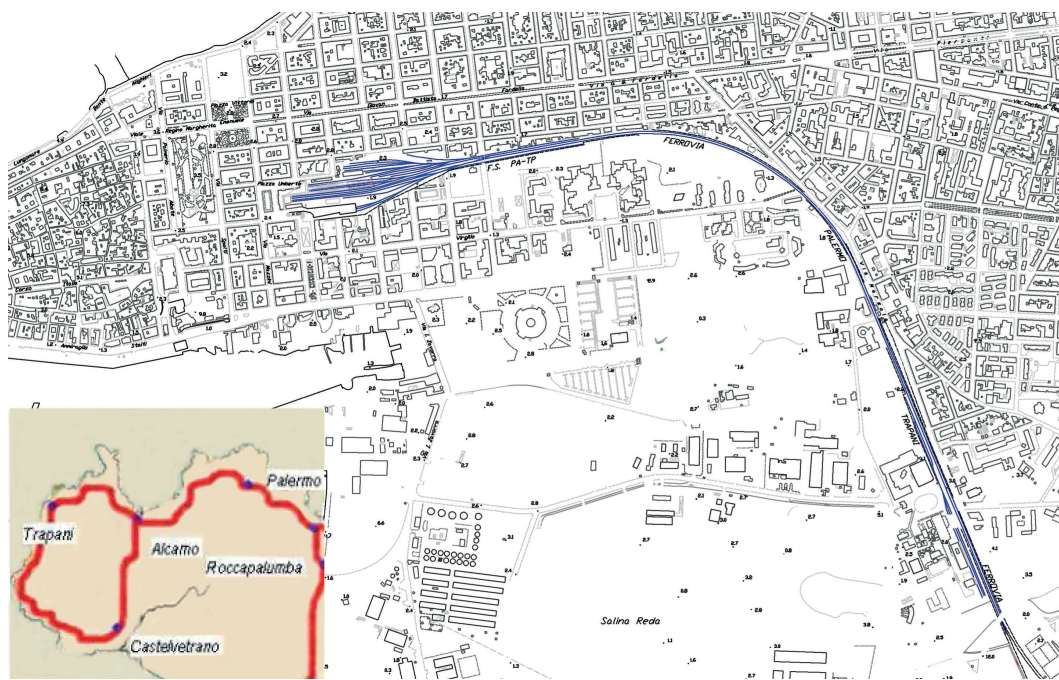


Fig. 1 - Sviluppo della linea ferroviaria Trapani-Palermo e vista aerea della stazione. *Railway lines extension between Trapani and Palermo and aerial view of the station.*

Nella fig. 1, è possibile osservare, oltre allo sviluppo della linea ferroviaria Palermo-Trapani, la localizzazione della stazione di Trapani rispetto all'area urbana circostante.

Per quanto concerne gli aspetti relativi alla circolazione, nel caso specifico della stazione di Trapani, all'elevato livello d'accessibilità di cui questa gode rispetto ai punti nevralgici dell'area urbana, fa da contraltare la condizione critica della mobilità veicolare, specialmente negli intervalli temporali nei quali si concentrano arrivi e partenze dei pendolari, a causa delle scarse possibilità di attraversamento Sud-Nord, e viceversa, della città. Gli automobilisti sono costretti a convergere verso pochi itinerari, alcuni dei quali manifestano gravi limitazioni in corrispondenza dei pochi passaggi a livello che consentono di superare la linea ferroviaria.

Dalle indagini specifiche condotte, è derivato che il trasporto ferroviario riveste un ruolo significativo soltanto per i collegamenti della città di Trapani con alcuni centri urbani del Sud della Provincia. Ci si riferisce alla mobilità sistematica, sia per motivi di lavoro sia per motivi di studio, generata dai comuni di Marsala (in misura preminente), Mazara del Vallo, Petrosino e Castelvetro (fig. 2), i quali sono connessi al capoluogo da una rete stradale scadente, che rende il treno molto competitivo rispetto al trasporto collettivo su gomma.

From the surveys conducted, it was found that the rail transport system plays an important role in the County's overall network, mainly for connections between the city of Trapani and several towns located in the south of the Province. However, this role is confined to the systematic trips associated to both work and education purposes, generated from the towns of Marsala (the origin for the majority of these trip), Mazara del Vallo, Petrosino and Castelvetro (figure 2), which are connected to Trapani by a poor road network which makes the rail system very competitive and attractive when compared to road-based public transport modes.

The majority of the commuters travelling to Trapani by train make journeys-to-work (figure 3) and most of the final destinations of these trips are concentrated in the historic centre, for which the Central station is a gate of access: 60% of the users interviewed stated they completed their journey by walking (figure 4) while 35% used the local public transport system to reach the final destination.

Regarding commuters who use the train to start their trip from Trapani (who are very few in number relative to inbound passenger numbers), similar conclusions can be drawn in terms of the purpose and frequency of trips, although to reach the Central station they mainly use private modes of transport (car/motorcycle); furthermore, Marsala represents the primary destination.

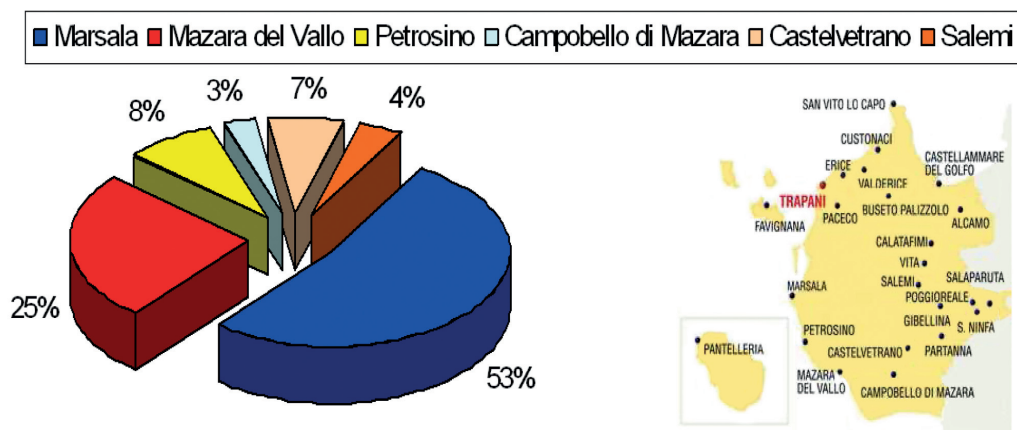


Fig. 2 - Ripartizione dei flussi pendolari diretti a Trapani in treno, secondo il comune di origine dello spostamento (Fonte: elaborazione di dati acquisiti tramite indagine campionaria). *Distribution of commuters' trips to Trapani by rail, according to the origin (Source: analysis of data from sample survey).*

La maggior parte dei pendolari diretti a Trapani in treno effettuano lo spostamento giornalmente per motivi di lavoro (fig. 3). Le destinazioni finali si concentrano nell'area del centro storico, che ha nella stazione un vero e proprio *gate* d'ingresso: il 60% degli utenti intervistati ha dichiarato, infatti, di completare a piedi il proprio spostamento (fig. 4). Nel resto dei casi, spicca la quota della modalità autobus (35%).

Le informazioni relative ai pendolari che scelgono il treno per muoversi da Trapani (relativamente pochi) inducono ad analoghe considerazioni, per quanto riguarda lo scopo e la frequenza dello spostamento; per raggiungere la stazione, gli utenti utilizzano prevalentemente il modo privato (auto/moto); in riferimento alle relazioni origine-destinazione, si conferma il primato di Marsala.

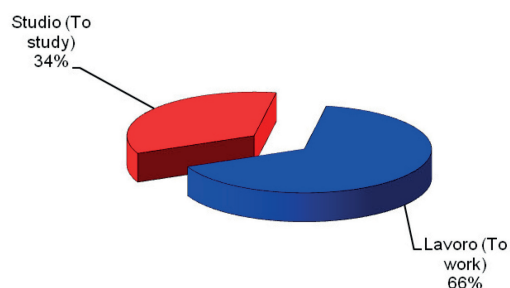


Fig. 3 - Ripartizione dei flussi pendolari diretti a Trapani in treno, secondo il motivo dello spostamento (Fonte: elaborazione di dati acquisiti tramite indagine campionaria). *Distribution of commuters' trips to Trapani by rail, according to the purpose (Source: analysis of data from sample survey).*

4. Modellazione del comportamento di scelta modale dei pendolari

Per simulare le scelte modali dei pendolari che si spostano da e verso il Comune di Trapani, sono stati impiegati modelli di utilità aleatoria del tipo *Logit Multinomiale* (BEN AKIVA e LERMAN, 1985) [1]. In particolare, sono stati sviluppati due modelli per prevedere i comportamenti di scelta dei lavoratori e degli studenti, in relazione agli scenari d'intervento sull'offerta di trasporto ed in funzione di variabili esplicative quali tempi, costi monetari, frequenza del servizio ed attributi specifici delle alternative modali. I modelli sono stati stimati utilizzando i dati sugli spostamenti per motivi di lavoro e di studio rilevati in occasione del Censimento della Popolazione e delle Abitazioni condotto dall'ISTAT.

Per ciascuna delle relazioni origine-destinazione in cui Trapani genera o attrae spostamenti sistematici, è stato considerato un insieme di scelta composto da tre alter-

4. Mode choice modelling of commuters

To simulate the mode choice of commuters that move to and from Trapani, random utility logit models have been used (BEN AKIVA and LERMAN, 1985) [1]. In particular, two models have been developed to analyse the effects of the considered projects on the commuters' (workers and students) mode choice. The commuters' behaviour is simulated employing explanatory variables such as time, monetary costs, frequency of service and alternative specific constants taking account of unobserved factors. The models have been estimated using the data on the modal split of commuters' trips from the latest census dataset conducted by the National Institute of Statistics.

For each origin-destination relationship in which Trapani generates or attracts systematic trips, three choice alternatives have been considered: train (TRAIN), private vehicle (CAR), or extra urban bus (COACH). To explain

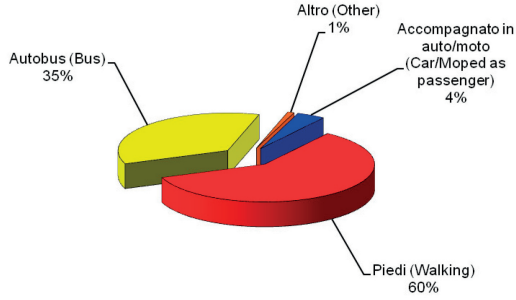


Fig. 4 - Ripartizione dei flussi pendolari diretti a Trapani in treno, secondo la modalità utilizzata per raggiungere, dalla stazione, la destinazione finale (fonte: elaborazione di dati acquisiti tramite indagine campionaria). *Distribution of commuters' trips to Trapani by rail, according to the mode used to reach the final destination from the central station (source: analysis of data from sample survey).*

native: treno (TRENO), automobile (AUTO), autobus extraurbano (BUS). Per spiegare il comportamento dei pendolari, sono stati selezionati i seguenti attributi: tempo di viaggio dall'origine alla destinazione (in ore), costo monetario del viaggio (in euro), frequenza del servizio (numero di corse nell'intervallo temporale di riferimento), attributi specifici delle opzioni "AUTO" e "BUS" (ASA).

Nel caso degli spostamenti in treno, il tempo e il costo monetario del viaggio sono stati stimati tenendo conto del per tempo e del costo relativi al collegamento tra il baricentro di origine/destinazione e la stazione ferroviaria di riferimento. Inoltre, per le modalità di trasporto pubblico, il costo del viaggio è stato determinato facendo riferimento ai prezzi degli abbonamenti mensili. Le informazioni circa i tempi, i costi e le frequenze dei servizi di trasporto collettivo extraurbano sono stati forniti dalle società esercenti, Trenitalia e A.S.T. (Azienda Siciliana Trasporti).

Nel caso dell'auto privata, invece, il tempo e il costo di percorrenza sono stati calcolati impiegando stime della velocità, del consumo di carburante e del coefficiente di occupazione legati all'ambito dello spostamento.

A titolo di esempio, nella tabella 1 si presentano i valori degli attributi dei modelli di scelta modale relativi ad alcune delle relazioni considerate per la stima dei loro coefficienti.

Di seguito, si mostrano le funzioni di utilità sistematiche formulate per modellare la scelta del modo di trasporto dei pendolari, che si spostano da e verso Trapani:

$$V_{TRENO}^{o-d} = \beta_T \cdot TEMPO_{TRENO}^{o-d} + \beta_C \cdot COSTO_{TRENO}^{o-d} + \beta_{F,i} \cdot FREQ_{TRENO}^{1o-d}$$

$$V_{BUS}^{o-d} = \beta_T \cdot TEMPO_{BUS}^{o-d} + \beta_C \cdot COSTO_{BUS}^{o-d} + \beta_{F,i} \cdot FREQ_{BUS}^{1o-d} + \beta_{BUS} \cdot ASA_{BUS}$$

$$V_{AUTO}^{o-d} = \beta_T \cdot TEMPO_{AUTO}^{o-d} + \beta_C \cdot COSTO_{AUTO}^{o-d} + \beta_{F,i} \cdot FREQ_{AUTO}^{1o-d} + \beta_{AUTO} \cdot ASA_{AUTO}$$

dove, $o-d$ rappresenta la generica relazione origine-destinazione; $TEMPO$ corrisponde alla variabile T_{o-d} della tabella 1; $COSTO$ corrisponde alla variabile C_{o-d} della tabella 1; $FREQ^i$ corrisponde alla variabile $Frequenza^i$ della tabella

individual commuter's behaviour, the following attributes have been chosen: travel time from origin to destination (in hours), monetary cost of the trip (in euro), service frequency (number of services in the defined period), alternative specific constants of the options "CAR" and "COACH" (ASA).

In the case of train, the trip time and monetary cost have been estimated considering the additional travel time and cost related to the connection between each city centre and the rail station site (that, in some cases, is on the outskirts). Moreover, for all public transport modes, the trip cost has been derived using monthly pass costs. The information related to travel time, cost and frequency of public transport have been provided directly by the operators, Trenitalia and A.S.T. (Azienda Siciliana Trasporti). In comparison, for the private vehicle journeys (CAR), the trip time and cost have been calculated, for each type of trip, using an estimation of speed, fuel consumption and average occupancy associate to each type of trip.

To give an example, Table 1 presents the mode choice model attributes for some of the $o-d$ relationships of the estimation dataset.

The systematic utility functions for modelling the mode choice of commuters moving to and from Trapani are specified as follows:

$$V_{TRAIN}^{o-d} = \beta_T \cdot TIME_{TRAIN}^{o-d} + \beta_C \cdot COST_{TRAIN}^{o-d} + \beta_{F,i} \cdot FREQ_{TRAIN}^{1o-d}$$

$$V_{BUS}^{o-d} = \beta_T \cdot TIME_{COACH}^{o-d} + \beta_C \cdot COST_{COACH}^{o-d} + \beta_{F,i} \cdot FREQ_{COACH}^{1o-d} + \beta_{COACH} \cdot ASA_{COACH}$$

$$V_{CAR}^{o-d} = \beta_T \cdot TIME_{CAR}^{o-d} + \beta_C \cdot COST_{CAR}^{o-d} + \beta_{F,i} \cdot FREQ_{CAR}^{1o-d} + \beta_{CAR} \cdot ASA_{CAR}$$

Where, $o-d$ is the generic origin-destination pair; $TIME$ is the T_{o-d} variable from Table 1; $COST$ is the C_{o-d} variable from Table 1; $FREQ^i$ is the $Frequency^i$ variable from table 1; ASC_{BUS} e ASC_{AUTO} are the alternative specific constants; β_T , β_C , $\beta_{F,i}$, β_{BUS} , β_{AUTO} are coefficient to be estimated.

Tables 2 and 3 show the model estimation results, based on the census data concerning the systematic mobility within the province of Trapani.

5. Modelling the interaction between road transport supply and demand in Trapani

To simulate the effects of the different projects to alleviate the railway-related impact on the urban area, in addition to the mode choice models described previously, two additional analysis tools have been adopted:

- the origin-destination matrix to represent the private vehicle transport demand for Trapani, which has been referred to the morning peak (7:30-8:30);
- the model to represent the characteristics of the urban transport network.

TABELLA 1 - TABLE 1

VALORI DEGLI ATTRIBUTI DEI MODELLI DI SCELTA MODALE RELATIVAMENTE AD ALCUNE COPPIE
ORIGINE-DESTINAZIONE IN CUI TRAPANI ATTRAIE O GENERA SPOSTAMENTI PENDOLARI
MODE CHOICE MODEL ATTRIBUTES RELATED TO SOME ORIGIN-DESTINATION PAIRS IN WHICH TRAPANI
ATTRACTS OR GENERATES COMMUTER TRIPS

O-D	TRENO							AUTO					BUS				
	T _{plus}	T _{TRENO}	T _{O-d}	C _{plus}	C _{TRENO}	C _{O-d}	Frequenza ¹	T _{O-d}	Passeggeri per auto	C _{AUTO}	C _{O-d}	Frequenza ¹	ASA	T _{O-d}	C _{O-d}	Frequenza ¹	ASA
Alcamo-Trapani	0,27	0,70	0,97	0,78	1,01	1,79	0,50	0,4	1,13	5,63	4,98	0	1	1	1,71	0,17	1
Calatafimi-Trapani	0,14	0,51	0,65	0,44	0,90	1,34	0,50	0,23	1,08	4,08	3,78	0	1	1	1,54	0,5	1
Marsala-Trapani	-	0,47	0,47	-	0,90	0,90	0,17	0,6	1,07	3,06	2,86	0	1	1,17	1,58	0,5	1
Mazara-Trapani	-	0,83	0,83	-	1,12	1,12	0,20	1,22	1,08	6	5,56	0	1	-	-	-	-
Campobello di Mazara-Trapani	-	1,05	1,05	-	1,23	1,23	0,20	1,15	1	10,46	10,46	0	1	-	-	-	-
Castelvetrano-Trapani	-	1,19	1,19	-	1,35	1,35	0,17	1,13	1	9,74	9,74	0	1	2,33	2,55	0,5	1
Petrosino-Trapani	-	0,65	0,65	-	1,01	1,01	0,17	0,93	1,04	4,46	4,29	0	1	-	-	-	-
Gibellina-Trapani	-	1,43	1,43	-	1,57	1,57	0,25	0,88	1,04	7,86	7,56	0	1	1,08	2,05	1	1
Partanna-Trapani	0,35	1,19	1,54	1,56	1,35	2,91	0,17	1,13	1,03	9,77	9,49	0	1	1,83	2,22	1	1
Trapani-Alcamo	0,27	0,62	0,89	0,78	1,01	1,79	0,50	0,72	1,05	5,69	5,42	0	1	-	-	-	-
Trapani-Calatafimi	0,14	0,44	0,58	0,44	0,90	1,34	0,50	0,55	1,11	4,09	3,68	0	1	-	-	-	-
Trapani-Marsala	-	0,51	0,51	-	0,90	0,90	0,25	0,63	1,07	3,12	2,92	0	1	0,92	1,58	1	1
Trapani-Mazara	-	0,86	0,86	-	1,12	1,12	0,25	1,25	1,09	5,98	5,49	0	1	-	-	-	-
Trapani-Campobello di Mazara	-	1,13	1,13	-	1,23	1,23	0,25	1,12	1	10,33	10,33	0	1	-	-	-	-
Trapani-Castelvetrano	-	1,28	1,28	-	1,35	1,35	0,25	1,07	1,06	9,18	8,66	0	1	-	-	-	-

T_{plus} (C_{plus}): tempo (costo) aggiuntivo.

T_{TRENO} (C_{TRENO}): tempo (costo) dello spostamento in treno.

T_{O-d} (C_{O-d}): tempo (costo), per il singolo utente, del viaggio dall'origine alla destinazione, usando esclusivamente o prevalentemente una data modalità; T_{O-d} (C_{O-d})_{TRENO} = T_{plus} (C_{plus}) + T_{TRENO} (C_{TRENO}).

Passeggeri per auto: numero di individui che viaggiano nella stessa auto, compreso il guidatore.

C_{AUTO}: costo dell'impiego dell'auto dall'origine alla destinazione.

C_{O-d}^{AUTO} = C_{AUTO} / Passeggeri per auto.

Frequenza¹: reciproco del numero di corse nell'unità di tempo.

ASA: attributo specifico dell'alternativa.

T_{plus} (C_{plus}): extra time (cost).

T_{TRAIN} (C_{TRAIN}): train trip time (cost).

T_{O-d} (C_{O-d}): single user door-to-door time (cost), using only or mainly a specific mode; T_{O-d}^{TRAIN} (C_{O-d}^{TRAIN}) = T_{plus} (C_{plus}) + T_{TRAIN} (C_{TRAIN}).

Car passengers: number of occupants of a single car, including the driver.

C_{CAR}: cost of car use from origin to destination.

C_{O-d}^{CAR} = C_{CAR} / Car passengers.

Frequency¹: reciprocal of the number of services within the time unit.

ASC: alternative specific constant.

1; ASA_{BUS} e ASA_{AUTO} sono attributi specifici d'alternativa; β_p, β_O, β_F, β_{BUS}, β_{AUTO}, sono coefficienti da stimare.

Le tabelle 2 e 3 mostrano i risultati della stima dei coefficienti β, che rappresentano l'importanza relativa dei vari attributi, effettuata sulla base dei dati censuari sulla mobilità sistematica in provincia di Trapani.

5. Il modello di interazione tra la domanda e l'offerta di trasporto stradale nella città di Trapani

Per la simulazione dei vari progetti tesi a mitigare l'impatto sul territorio degli impianti ferroviari, oltre ai modelli di scelta modale illustrati, sono stati impiegati altri due strumenti di analisi:

To obtain the O-D matrix, the study area has been preliminary divided in zones according to the scheme proposed by the 2004 General Urban Transport Plan (PGTU), which partitions the city into 42 zones, 26 of which refer to the municipal area of Trapani (red outline in figure 5), 10 zones refer to the nearby city of Erice (blue outline) and the remaining 6 zones (yellow outline) represent the boundary of the external zones (cordon).

To estimate the number of trips by private vehicles, the existing matrix provided by the City Council and defined in the 2004 PGTU, has been updated using traffic counts measured in May 2007 and related to the morning peak (7:30 - 8:30). 20 screen lines have been chosen both internally to the city and along the cordon and figure 6 represents the traffic count sections across the transport network.

- la matrice origine-destinazione per la rappresentazione della domanda di mobilità in auto della città di Trapani, che è stata determinata in riferimento al periodo di punta del mattino 7:30-8:30;
- il modello per la rappresentazione topologica e funzionale della rete stradale urbana.

Per ottenere la matrice o-d, è stata effettuata preliminarmente una zonizzazione del territorio oggetto di studio, secondo lo schema proposto nel PGU del 2004, con una suddivisione in 42 zone di traffico, delle quali, 26 riferite al Comune di Trapani (delimitate dalla linea rossa in fig. 5) e 10 al limitrofo Comune di Erice (delimitate dalla linea blu); le restanti 6 zone di traffico (delimitate dalla linea gialla) identificano il confine con le aree esterne (cordone).

Per la stima della domanda di spostamento in automobile, si è proceduto all'aggiornamento della "matrice o-d auto" elaborata per il PGU del 2004, attraverso dati sui flussi veicolari rilevati, per l'ora di punta 7:30 - 8:30, a maggio del 2007, in corrispondenza di circa 20 *screen line* posizionate sia all'interno della città sia lungo il cordone.

In fig. 6, sono evidenziate le sezioni di rilevamento distribuite sulla rete di trasporto privato.

In tabella 4, sono riportati, in forma aggregata, i risultati della suddetta procedura di correzione della "matrice o-d auto" (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994)[2], in modo da distinguere le zone di traffico che ricadono nell'area di Trapani, da quelle appartenenti al Comune di Erice (che si collega al capoluogo senza soluzioni di continuità) e da quelle che si riferiscono all'ambiente esterno.

Infine, per la rappresentazione dell'offerta di trasporto privato è stato costruito un grafo costituito da 1.192 nodi, 42 dei quali si riferiscono alle zone di traffico (centroidi), e 3.003 archi, di cui 180 connettori zonali (collegamenti tra le zone di traffico e la maglia stradale) e 2.823 archi stradali, per una estensione complessiva di 257 km.

6. Strategie alternative per migliorare il grado di connessione della rete stradale

Vengono qui descritte le proposte progettuali finalizzate a risolvere i problemi dovuti all'attuale localizzazione della stazione ferroviaria della città di Trapani. Preliminarmente, si è ritenuto opportuno analizzare lo scenario attuale (0), che rappresenta la base di riferimento della valutazione comparativa delle proposte individuate.

Scenario (0): mantenimento della situazione attuale

Lo scenario attuale, già descritto, è caratterizzato da una linea ferroviaria che penetra per circa 2,5 km all'interno del tessuto urbano, dividendone la parte a Nord, densamente urbanizzata e ricca di attività commerciali, da quella a Sud mediamente urbanizzata, ma destinata ad intenso sviluppo, secondo le previsioni del Piano Re-

TABELLA 2 - TABLE 2

STIMA DEL MODELLO DI SCELTA MODALE PER I LAVORATORI - MODE CHOICE MODEL ESTIMATION FOR WORKERS

Attributi <i>Attributes</i>	β	Errore - Error Standard	t-test	p-value
TEMPO TIME	-3,683	0,416	-8,86	0,00
COSTO COST	-0,341	0,071	-4,83	0,00
FREQ ¹	-1,400	0,593	-2,36	0,03
ASA _{AUTO}	2,454	0,453	5,42	0,00
ASA _{BUS} ASA _{CAR}	1,694	0,365	4,64	0,00

$R^2 = 0,92$

R^2 corretto = 0,89 - R^2 adjusted = 0,89

Valore monetario del tempo = 10,80 €/per ora.

Value of time = 10,80 €/h.

TABELLA 3 - TABLE 3

STIMA DEL MODELLO DI SCELTA MODALE PER GLI STUDENTI - MODE CHOICE MODEL ESTIMATION FOR STUDENTS

Attributi <i>Attributes</i>	β	Errore - Error Standard	t-test	p-value
TEMPO TIME	-3,39	0,685	-4,95	0,00
ASA _{BUS} ASA _{COACH}	2,57	0,514	5,00	0,00

$R^2 = 0,68$

R^2 corretto = 0,64 - R^2 adjusted = 0,64

TABELLA 4 - TABLE 4

MATRICE O/D* AGGIORNATA - MAGGIO 2007 UPDATED O/D* MATRIX - MAY 2007

	Trapani	Erice	Esterno External area
Trapani	10.941	1.805	1.552
Erice	3.185	1.966	955
Esterno External area	1.841	766	112

Flussi veicolari nell'ora di punta del mattino 7:30-8:30.

Traffic flows during the morning peak 7:30-8:30.

Table 4 presents, in an aggregated form, the results of the matrix update exercise made on the "O-D car matrix" (ORTÚZAR and WILLUMSEN, 1994)[2], differentiating between the zones of Trapani, those of Erice (which is attached to Trapani without discontinuities) and the other zones outside Trapani.

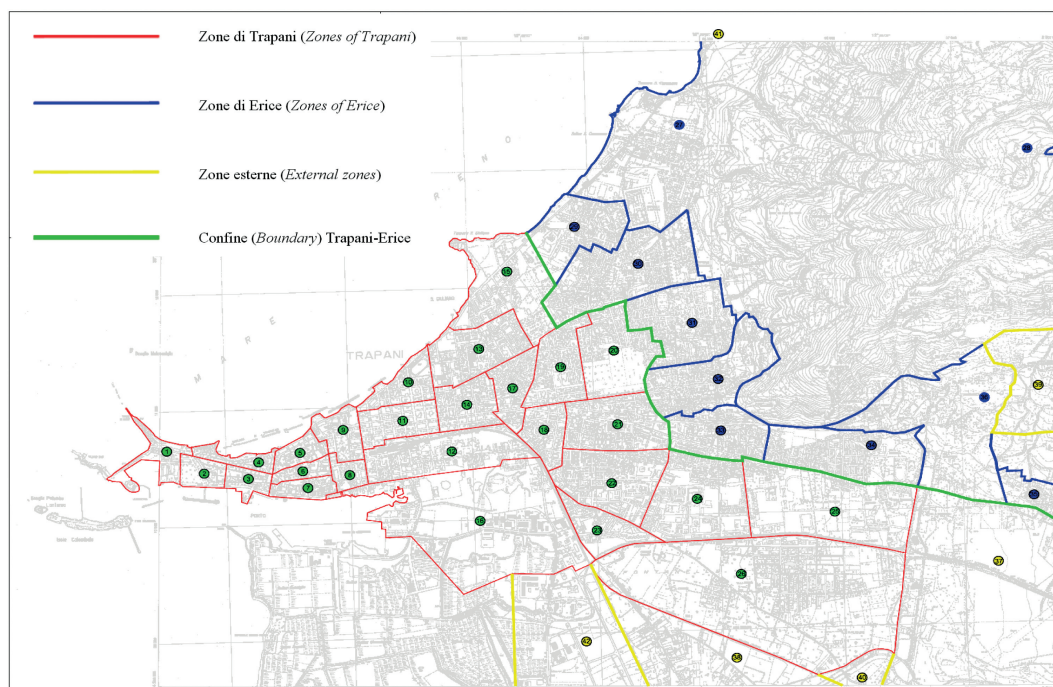


Fig. 5 - Zonizzazione dell'area oggetto di studio. Zoning scheme of the study area.

golatore Generale (P.R.G.). Ne conseguono gli effetti negativi sulla mobilità veicolare illustrati in precedenza.

Scenario 1: mantenimento dell'attuale stazione ed interrimento della linea ferroviaria nel tratto urbano

Lo scenario 1 prevede il mantenimento dell'attuale stazione ferroviaria e l'interramento mediante galleria artificiale della strada ferrata nel tratto urbano, ossia dalla confluenza delle due linee ("via Milo" e "via Castelvetro"), secondo uno sviluppo planimetrico complessivo di circa 2 km (fig. 7).

Tale soluzione presenta il vantaggio di risolvere il problema della divisione della città in due zone non adeguatamente collegate, consentendo l'eliminazione dei due passaggi a livello e la realizzazione di ulteriori assi di attraversamento. L'individuazione di tali attraversamenti aggiuntivi ha indotto la revisione dell'assetto circolatorio nell'area circostante.

L'interramento della ferrovia, inoltre, permetterebbe una riqualificazione degli spazi attualmente occupati dall'infrastruttura ferroviaria (creazione di nuovi insediamenti residenziali e di un parco urbano oggi non disponibile), garantendo il livello attuale di accessibilità al centro storico.

Gli aspetti critici sono rappresentati dal consistente impegno tecnico-economico richiesto dall'intervento, in quanto le aree interessate sono caratterizzate, dal punto

Finally, to represent the supply for private transport a network model has been developed. This is characterised by 1,192 nodes, 42 of which are O/D centroids, 3,003 links, 180 of which are O/D connectors (connecting the O/D centroids with the transport network) and 2,823 road links, for a total length of 257 km.

6. Strategies to improve the transport network connectivity

In this section, three different designs are proposed to solve the problems for the city traffic caused by the current position of the central station. The first step is the analysis of the current scenario (0), which represents the base case against which the three alternative designs are to be compared.

Scenario (0): Maintaining the current layout

Under the current scenario, already described, the railway line penetrates the urban area separating the northern part, which is densely populated and has an abundance of existing business activities and shops, from the southern part, with lower population density, which is bound to grow, according to the recent General Planning Plan (P.R.G.) of Trapani. A significant consequence

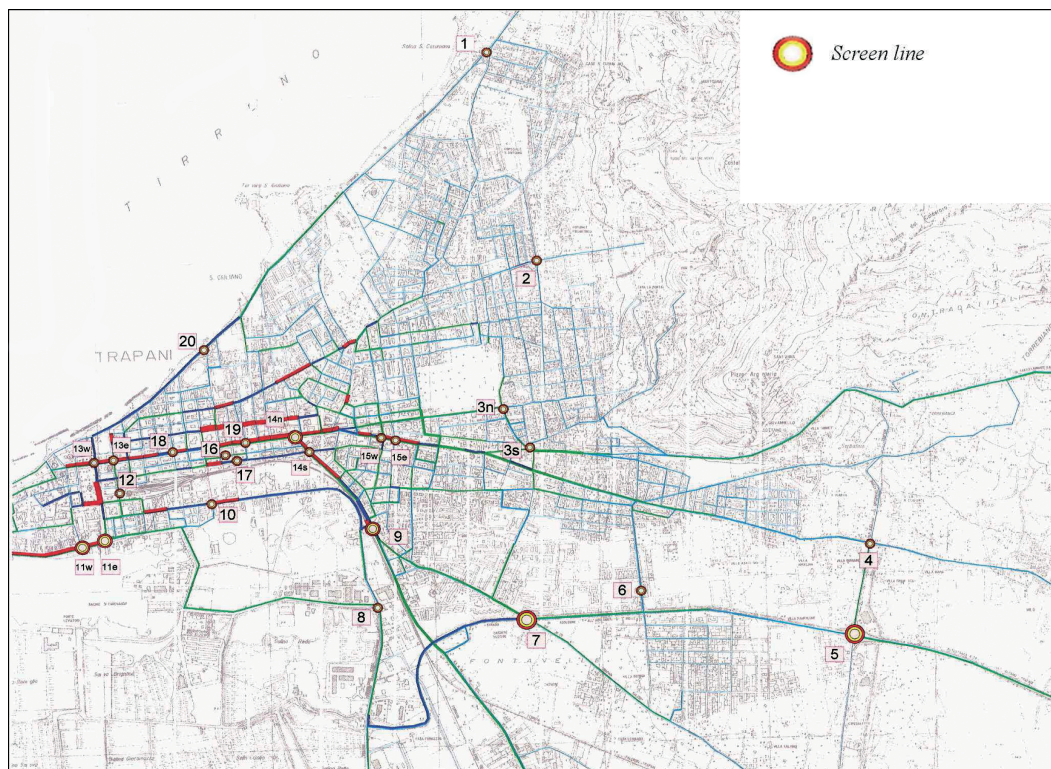


Fig. 6 - Screen line per il conteggio dei flussi veicolari dell'ora di punta del mattino 7:30-8:30. Screen lines for the traffic counts (morning peak 7:30-8:30).

di vista geologico, da una marcata variabilità nella composizione del terreno.

Scenario 2: delocalizzazione della stazione ferroviaria nell'area individuata dal P.R.G. e collegamento con il centro storico mediante un servizio di autobus urbano

Nello scenario 2, si ipotizza la delocalizzazione della stazione ferroviaria nell'area individuata a tal scopo dal P.R.G., collegata con il centro storico mediante un servizio di autobus urbano in corsia riservata, da ricavare nell'attuale sede ferroviaria (fig. 8). Sulla base delle previsioni fornite dai modelli di scelta modale relativamente ai pendolari che, nella nuova situazione, sceglierebbero il treno per spostarsi da e verso la città di Trapani e, sulla scorta di una stima prudentiale⁽³⁾ della domanda di utenti che, all'interno di Trapani, potrebbero avvalersi della

of this separation is the negative effect on the transport network as described before.

Scenario (1): Maintaining the current Central station and building of an underground railway line under the urban area

Scenario 1 maintains the current central station but modifies the railway line; it proposes an underground connection based on an artificial tunnel starting where the two separate railway lines ("via Milo" and "via Castelvetrano") converge, and running for a total estimated length of 2 km (figure 7).

This solution has the advantage of removing the current separation between the southern and northern parts of the city and enabling the construction of more transport connections. These new connections have been simulated with the transport network model and the entire traffic regulation (link directions and turning movements) have been reviewed.

The underground solution will also enable the reclamation and redevelopment of the area occupied by the

⁽³⁾ Coerente con i dati censuari ISTAT sulla ripartizione modale degli spostamenti sistematici all'interno di Trapani.

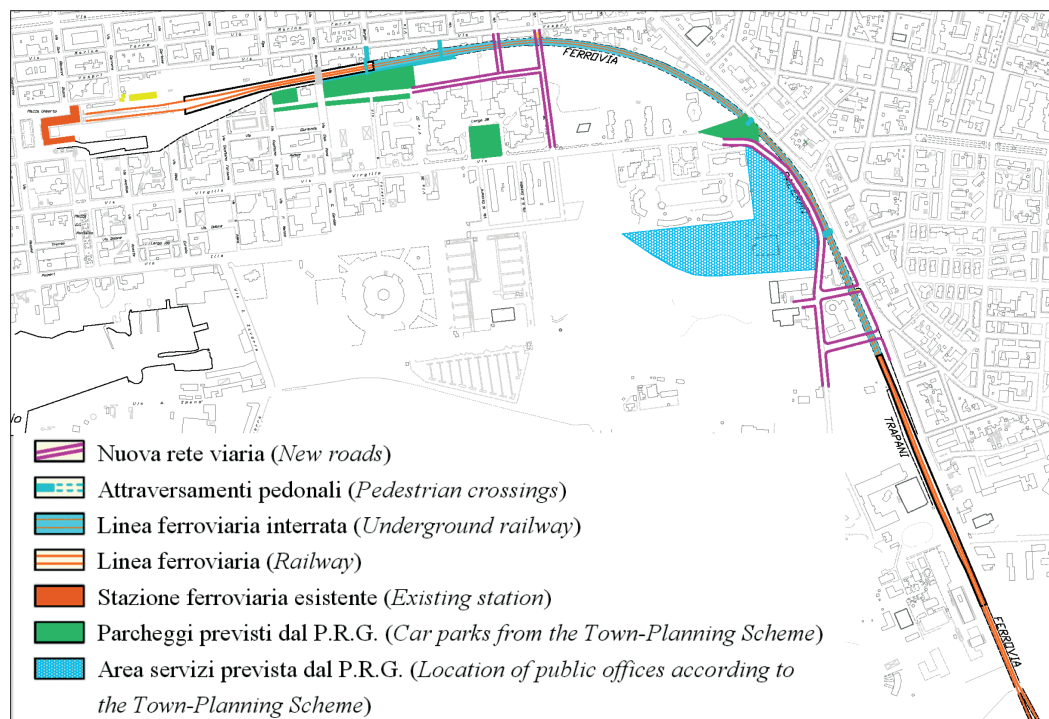


Fig. 7 - Rappresentazione planimetrica dello scenario 1. *Layout of scenario 1.*

nuova linea di autobus per muoversi da e verso il centro della città, si è ritenuta idonea un'offerta di 8 bus all'ora per direzione, nel periodo di punta, e 4 bus all'ora per direzione, nel periodo di morbida. Naturalmente, la pianificazione di tale offerta dovrebbe essere integrata nel più generale processo di ristrutturazione della rete di trasporto pubblico locale di Trapani, impiegando le metodologie che all'uopo la letteratura scientifica propone (AMOROSO et al., 2010) [3]; (MIGLIORE e CATALANO, 2007) [4].

Questo scenario presenta il vantaggio di eliminare l'attuale effetto di separazione determinato dalla ferrovia, in virtù della creazione di nuovi assi viari di collegamento Nord-Sud, e rende disponibili per altre utilizzazioni gli spazi compresi tra l'attuale e la futura stazione, oggi occupati dagli impianti ferroviari.

Scenario 3: delocalizzazione della stazione ferroviaria nell'area individuata nel P.R.G. e riqualificazione dell'attuale stazione come terminale di un servizio tranviario urbano tra la nuova stazione e il centro città

Nello scenario 3, un servizio tranviario urbano collegherebbe la nuova stazione individuata nel P.R.G. con il centro della città, utilizzando l'infrastruttura ferroviaria esistente grazie all'impiego del tram-treno (fig. 9). Il

railway line (i.e. building new residential zones and an urban park, which are currently absent), maintaining the same level of accessibility to the historic centre.

However, this solution is technically and economically demanding; this is mainly related (from a geological point of view) to the high variability of the soil composition.

Scenario 2: location of the central station in the area identified by the Town-Planning Scheme and connection with the historic centre by a local bus service

The scenario 2 proposes to locate the central station in an area identified by the Town-Planning Scheme, which could be connected with the historic centre by a shuttle bus service using the area occupied by the existing railway line as a bus-lane (figure 8). The scenario is based on the model prediction of commuters that will move by train to and from Trapani under the scenario 2, and considering a prudent⁽³⁾ demand estimation of users

⁽³⁾ Consistent with the Census data of the National Institute of Statistics on the modal split of systematic journeys within the city of Trapani.

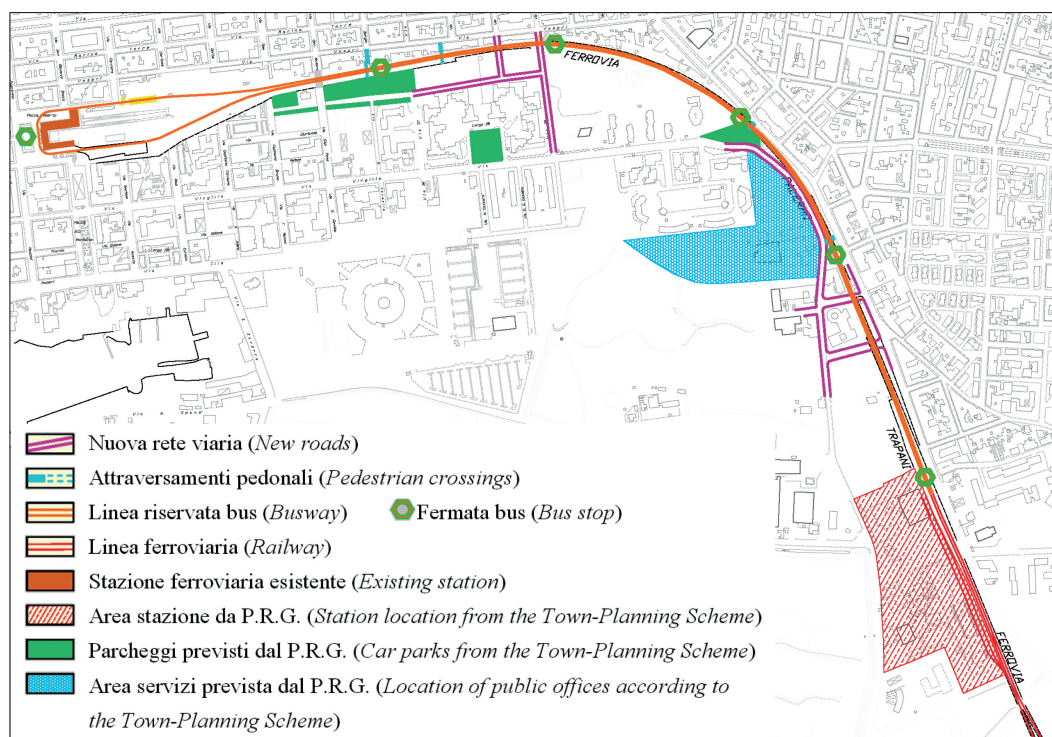


Fig. 8 - Rappresentazione planimetrica dello scenario 2. *Layout of scenario 2.*

tram-treno è un veicolo appositamente progettato per circolare sia su binari tranviari sia su binari ferroviari convenzionali (PATRICK L., 2003)[5]; (NOVALES *et al.*, 2001)[6]. L'utilizzo dei tram-treno permette di disegnare percorsi che sfruttino sia la linea ferroviaria extraurbana sia quella tranviaria o ferroviaria cittadina, effettuando servizi a scala regionale e inseribili, senza bisogno di trasbordi, nel tessuto urbano dei diversi centri attraversati. Le dimensioni ridotte dei tram-treno, la facilità di accesso in vettura (grazie al numero di porte per fiancata e al piano ribassato) e le ottime prestazioni di accelerazione fanno sì che gli stessi collegamenti attuati tramite treni regionali possano essere dotati di molte più fermate, senza penalizzare i tempi globali di percorrenza.

Sulla scorta delle previsioni relative alla domanda che tale nuovo servizio di trasporto collettivo potrebbe catturare (ottenute utilizzando lo stesso approccio applicato allo scenario 2), si ritiene idonea un'offerta di 6 tram all'ora per direzione, nel periodo di punta, e 3 tram all'ora per direzione, nel periodo di morbida.

La soluzione in esame consente la realizzazione di nuovi attraversamenti viari, al fine di rendere più agevole il collegamento tra le zone a Nord e quelle a Sud della città, la cui interferenza con il passaggio dei tram potreb-

within Trapani who will use the new bus service - a frequency of eight buses per hour each direction during the peak periods, and four buses per hour each direction during the off peak period - to move to and from the inner city. The design of this new bus service should be integrated into the overall planning process concerning the public transport network of Trapani, employing the available methodologies from previous literature (AMOROSO *et al.*, 2010) [3]; (MIGLIORE and CATALANO, 2007) [4].

This scenario has the advantage of eliminating the current separation effect created by the current railway line, due to the realisation of new road links between the north and south, and making available for other uses the spaces used by the rail facilities at present.

Scenario 3: location of the central station in the area identified by the Town-Planning Scheme and a new role for the current central station as terminal of an urban tram service connecting the new station with the inner city

In scenario 3, an urban tram service would connect the new Central station identified by the *Town-Planning Scheme* with the city centre using a tram-train which would run on the existing railway alignment and infrastructure (figure 9). The tram-train is a vehicle specifical-

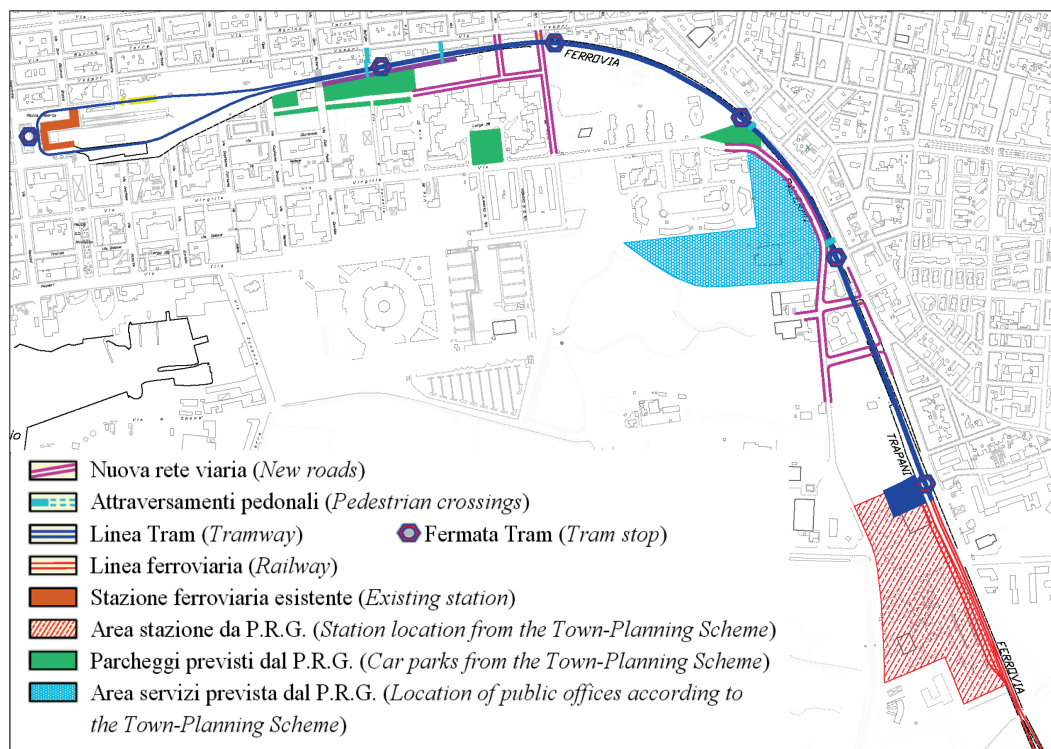


Fig. 9 - Rappresentazione planimetrica dello scenario 3. Layout of scenario 3.

be essere regolata da impianti semaforici intelligenti, predisposti per assegnare priorità ai flussi di traffico più consistenti.

Un ulteriore punto di forza di questa alternativa progettuale consiste nella possibilità di realizzare altre fermate intermedie tra la nuova stazione ferroviaria e l'attuale, offrendo ai cittadini trapanesi, ai visitatori e ai turisti un servizio collettivo urbano ad elevata capacità e sostenibilità ambientale.

7. Analisi comparativa delle diverse alternative progettuali

Le ipotesi di progetto passate in rassegna sono state oggetto di una valutazione comparativa, tramite la tecnica dell'analisi benefici-costi economica. La metodologia applicata ha consentito il confronto tra i benefici sociali netti derivanti dalla realizzazione dei vari scenari, misurati in termini monetari e sintetizzati attraverso due indicatori: il *valore attuale netto economico (V.A.N.E.)* ed il *tasso interno di rendimento economico (T.I.R.E.)*.

Per la stima degli effetti sul benessere collettivo di ciascun progetto, sono stati considerati i seguenti criteri di valutazione:

ly designed to move on both tram and conventional rail tracks (PATRICK L., 2003)[5]; (NOVALES *et al.*, 2001)[6]. The use of tram-train vehicles enables the design of routes that can make use of both extra-urban and urban railway line sections, so that regional services can become urban services, in each of the town served, without the need for interchange. The small size of the tram-train vehicles, the ease of boarding/alighting (due to the high number of doors for each side and the low-floor vehicles) and the excellent acceleration performance will enable current regional services to have much more stops in the towns served, without additional penalties for the total travel time.

Considering the demand generated by the new public transport service (calculated using the same approach used for the scenario 2), six trams per hour (for each direction) during the peak period and three trams per hour (for each direction) during the off peak period have been set.

This solution enables the creation of new road links, which can improve the connectivity between the northern and southern part of the city; in particular, the interactions between tram-trains and private vehicles can be managed by using intelligent traffic lights designed to give priority to the major traffic flows.

- costo d'investimento;
- costo di gestione delle infrastrutture;
- costi di esercizio e ricavi di vendita relativi ai servizi di trasporto pubblico da attivare a favore dei pendolari che, in futuro, si serviranno della nuova stazione ferroviaria;
- variazione, rispetto allo scenario di non intervento, dei costi di esercizio e dei ricavi di vendita del servizio di trasporto ferroviario;
- variazione, rispetto allo scenario di non intervento, del livello di fluidità del traffico veicolare sulla rete urbana e dell'impatto ambientale (in termini di inquinamento atmosferico ed acustico e di standard di sicurezza);
- variazione, rispetto allo scenario di non intervento, del grado di soddisfazione degli utenti che giornalmente si muovono nell'ambito dei collegamenti fra Trapani ed il resto della provincia.

Di seguito, in relazione ai differenti scenari, si illustrano le ipotesi e i dati utilizzati per la stima monetaria su base annuale dei vari impatti.

- a) Per la quantificazione del costo d'investimento, i valori, ricavati da indagini all'uopo condotte, sono stati depurati dagli elementi che costituiscono semplici trasferimenti di ricchezza all'interno della collettività, facendo ricorso ad una serie di fattori di conversione distinti per tipologia di costo (manodopera, manutenzione, acquisti, ecc.), ricavati dalla "Guida per la redazione e la certificazione degli studi di fattibilità delle opere pubbliche" elaborata dai Nuclei Regionali di Valutazione (legge 144/1999).
- b) Il costo di gestione delle nuove infrastrutture, previste nei vari casi, è stato determinato sulla base del costo d'investimento, assumendo un parametro d'incidenza del primo sul secondo del 2,2%; inoltre, anche in questo caso, si è dato luogo all'applicazione dei fattori di conversione proposti nella guida sugli studi di fattibilità dei Nuclei Regionali di Valutazione.
- c) Per quanto concerne gli effetti sulle attività di gestione di servizi di trasporto collettivo, si è tenuto conto dei seguenti aspetti:
 - la riduzione dei costi operativi del gestore del servizio di trasporto ferroviario, dovuti alle minori percorrenze dei treni in ambito urbano, stimata utilizzando un parametro di costo d'esercizio (comprensivo dell'incidenza della quota di ammortamento) pari a 9,53 euro per treno-km (PANAGIN R. e PANAGIN F., 2004) [7];
 - le perdite di abbonamenti al trasporto ferroviario, previste tramite i modelli di scelta modale descritti in precedenza;
 - i costi d'esercizio e i ricavi tariffari del servizio di trasporto collettivo su gomma (scenario 2), valutati facendo riferimento ad un parametro di costo

Another key advantage of this scenario is the possibility of locating intermediate stops between the new station and the current one, giving the citizens of Trapani, visitors and tourists a sustainable public transport service with high capacity.

7. Comparative analysis of the different scenarios

The solutions proposed and described in the previous section have been evaluated and compared using the technique of Cost-Benefit Analysis. This methodology performs the comparison among the net social benefits of the various scenarios, measured in monetary terms through the following two indicators: the *economic net present value* (N.P.V.) and the *internal rate of return* (I.R.R.).

To estimate the effect of each scenario on the social welfare, the following evaluation criteria have been considered:

- Investment cost;
- Infrastructure management cost;
- operating costs and revenues of the public transport – services designed for the commuters that, in the future, will use the new rail station;
- variation, with respect to the base case (scenario 0), in the operating costs and revenues of the rail public transport;
- variation, with respect to the base case (scenario 0), in the level of congestion of the urban transport network and the environmental impact (in terms of air pollution, noise and accidents);
- variation, with respect to the base case (scenario 0), in the perceived utility of the users that daily move within Trapani and from Trapani to other towns of the Province.

The hypothesis and data used for the annual monetary estimation of the various impacts are described below, in relation to the different scenarios:

- a) to quantify the investment cost, values have been derived from specific surveys and, then, adjusted (reduced) removing fiscal components. This process has required the use of different conversion factors depending on the type of cost (labour, maintenance, purchase, etc.) drawn from the "Guide for compiling and certifying the public infrastructures feasibility studies" defined by the *Regional Valuation Groups* (law 144/1999).
- b) The maintenance cost for the new infrastructure in the different scenarios has been calculated assuming that it is 2.2% of the investment cost and applying the conversion factors proposed by the *Regional Valuation Groups* guide.
- c) In relation to the management of the public transport services involved, the following aspects have been considered:

unitario (comprensivo dell'incidenza della quota di ammortamento) di 4 euro per bus-km (PANAGIN R. e PANAGIN F., 2004)[7] e al prezzo attuale dell'abbonamento mensile "autobus urbano";

- i costi d'esercizio e i ricavi tariffari del collegamento di linea tra il nuovo sito della stazione ed il centro tramite tram-treno (scenario 3), stimati facendo riferimento ad un parametro di costo unitario (comprensivo dell'incidenza della quota di ammortamento) di 9,50 euro per tram-km (PANAGIN R. e PANAGIN F., 2004)[7] e al prezzo attuale dell'abbonamento mensile "autobus urbano".
- d) Per quanto riguarda la determinazione degli effetti sul deflusso veicolare in città, implementando delle procedure d'assegnazione del tipo *D.U.E.* della matrice origine-destinazione al grafo stradale, è stato possibile quantificare nei vari casi, rispetto allo scenario 0, il tempo e la percorrenza complessivamente risparmiati dagli automobilisti⁽⁴⁾ in ambito urbano, nell'ora di punta 7:30-8:30. La monetizzazione di tali grandezze è stata ottenuta impiegando, nel primo caso, un valore compreso tra 5 e 6 euro per ora, nel secondo, un parametro di circa 0,2 euro per km (CATALANO *et al.*, 2008) [8].

La variazione delle percorrenze chilometriche ha costituito la base per il calcolo dell'impatto ambientale del traffico automobilistico urbano; sugli effetti ambientali preme altresì sottolineare che, negli scenari 2 e 3, si è tenuto conto sia della diminuzione di esternalità dovuta alle ridotte percorrenze urbane dei treni sia dei costi esterni generati dal servizio di collegamento tra la stazione ferroviaria ed il centro storico. Le stime delle esternalità si sono basate sui risultati, aggiornati al 2007, di uno studio condotto dall'associazione *Amici della Terra* in collaborazione con Ferrovie dello Stato nel 1999 (*Amici della Terra - Ferrovie dello Stato*, 1999) [9].

- e) La variazione, rispetto allo scenario di non intervento, del grado di soddisfazione degli utenti che giornalmente si spostano da e verso Trapani, è stata quantificata stimando la variazione del *surplus* indotta dal generico progetto, così come è espressa dalla Teoria Economica Neoclassica:

$$\Delta S = \frac{1}{2} [d_{odm} (C_{odm}^p) + d_{odm} (C_{odm}^{NP})] \cdot [C_{odm}^{NP} - C_{odm}^p]$$

dove,

ΔS : variazione del *surplus* degli utenti, rispetto allo scenario di non intervento;

d_{odm} : numero di individui che giornalmente si muovono tra le zone *o* e *d*, tramite una data modalità di tra-

- the reduction in the operating costs of the rail operator (due to the decrease in the distance travelled) has been estimated using an operating cost parameter (including the depreciation rate) equal to 9.53 € per train-km (PANAGIN R. and PANAGIN F., 2004)[7];
- any reduction in rail season-ticket holders predicted by the mode choice models described above;
- the operating costs and revenues of the road-based public transport services (scenario 2), evaluated using an unitary cost parameter (including the depreciation rate) of 4 € per coach-km (PANAGIN R. and PANAGIN F., 2004) [7] and the current (2007) price of the monthly "urban bus" pass;
- the operating costs and revenues of the new tram-train connection between the new central station and the existing one (scenario 3), evaluated using an unitary cost parameter (including the depreciation rate) of 9.50 € per tram-km (PANAGIN R. and PANAGIN F., 2004)[7] and the current (2007) price of the monthly "urban bus" pass.

- d) To quantify the effects on road traffic under the various scenarios, *D.U.E.* (Deterministic User Equilibrium) assignments of the O-D matrix to the road network have been performed, to determine, with respect to the present situation, the total travel time and distance saved by the network users⁽⁴⁾ within the urban area during the morning rush hour 7:30-8:30. The monetary estimation of these variables has been based on a value of time equal to 5-6 € euro/hour and a perceived travel cost parameter of 0.2 €/km (CATALANO *et al.*, 2008) [8].

The variation in the total distance travelled has been used as input for the evaluation of the traffic related environmental impact; in more detail, for the scenarios 2 and 3, the environmental impact analysis has taken into account both the reduction in train externalities and the rise in external costs produced by the new services connecting the new central station with the historic centre. The estimation of externalities has been based on the results, updated to 2007, of a recent study by the *Amici della Terra* association in collaboration with the National Rail Company (*Amici della Terra - Ferrovie dello Stato*, 1999) [9].

- e) The variation in the perceived utility of travellers (commuters daily moving to and from Trapani), against the base case (scenario 0), has been quantified using the surplus formulation, as expressed by the Neoclassic Economic Theory:

⁽⁴⁾ Rispettivamente, in termini di auto x ora e auto x km.

⁽⁴⁾ In terms of car x hour and car x km, respectively.

sporto m ed in funzione del costo generalizzato dello spostamento;

C_{odm}^{NP} : costo generalizzato dello spostamento tra le zone o e d utilizzando il modo m , nello scenario di non progetto;

C_{odm}^P : costo generalizzato dello spostamento tra le zone o e d utilizzando il modo m , nello scenario relativo al progetto P .

Per l'alternativa "autobus extraurbano", non si è assunta alcuna variazione nel costo generalizzato di trasporto. Per l'opzione treno, invece, sia nel caso dello scenario 2 sia in quello dello scenario 3, si è previsto un incremento del costo monetario (abbonamento mensile "autobus urbano" / 48 corse)⁽⁵⁾ ed un aumento del tempo di viaggio, determinato tenendo conto delle seguenti disutilità: tempo di trasbordo (ipotizzato inferiore nel caso del tram), tempo di attesa alla fermata, tempo a bordo per raggiungere la destinazione finale. È stato inoltre considerato l'aumento dell'accessibilità conseguente alla presenza delle fermate intermedie che consentono, per una quota significativa di utenti, il raggiungimento della destinazione finale, dalla fermata di discesa, in un tempo inferiore rispetto alla situazione attuale⁽⁶⁾.

Per l'opzione "auto", negli scenari 2 e 3, si è ricavato il tempo aggiuntivo per raggiungere il baricentro della città dagli altri comuni della provincia, causato dalla crescita del traffico automobilistico esterno-interno indotta dalla perdita di competitività del modo "treno"; questo risultato è stato ottenuto risolvendo il relativo problema di punto fisso, tramite un algoritmo MSA a ciclo esterno.

La valutazione monetaria del tempo di viaggio per i pendolari è stata ricavata dalle stime dei coefficienti dei modelli di scelta modale per gli spostamenti extraurbani (10,8 euro per ora).

La simulazione dei comportamenti di scelta modale dei lavoratori e degli studenti, che si muovono giornalmente da e verso la città di Trapani, è stata effettuata impiegando il metodo del *pivoting* (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994) [2]: per ciascuno dei modi di trasporto (treno, auto

$$\Delta S = \frac{1}{2} [d_{odm}^P(C_{odm}^P) + d_{odm}^{NP}(C_{odm}^{NP})] [C_{odm}^{NP} - C_{odm}^P]$$

where,

ΔS : variation of users *surplus*, against the scenario 0;

d_{odm} : number of users that daily move from o to d , using a transport mode m ; it is function of the generalised trip cost;

C_{odm}^{NP} : generalised trip cost to go from o to d , using a transport mode m , in the scenario 0;

C_{odm}^P : generalised trip cost to go from o to d , using a transport mode m , in the case of project P .

For the coach alternative, the generalised cost has been assumed constant. For the train option, instead, for the scenarios 2 and 3, we have assumed a rise in the monetary cost (monthly "urban bus" pass / 48 runs)⁽⁵⁾ and an increase in the journey time, including the following elements: interchange time (supposed shorter for the tram), waiting time at the stop, on-board time to reach the final destination. Moreover, we have considered the additional accessibility provided by the intermediate stops along the new station-historic centre link, which would allow a great amount of users to reach their final destination more quickly⁽⁶⁾.

For the car option, in the scenarios 2 and 3, we have determined the extra time to reach the city centre from the other towns of the Province, caused by the growth of inbound road traffic flows due to the loss of competitiveness of train; this result has been obtained resolving the relative fixed point problem, using an MSA algorithm.

The monetary evaluation for the commuters has been derived by estimating the modal choice model coefficients for the extra urban trips (10.80 € per hour).

The simulation of the mode choice of workers and students, who move daily from and to the city of Trapani, has been carried out adopting the *pivoting method* (ORTÚZAR and WILLUMSEN, 1994) [2]: for each transport mode (train, car and coach), using the mode choice models described earlier to estimate the rate of demand variation

⁽⁵⁾ In futuro, si potrebbe realizzare un'integrazione tariffaria tra il servizio ferroviario e quello di collegamento tramite tram o autobus.

⁽⁶⁾ L'indagine campionaria svolta (v. fig. 4) ha rivelato che, nella situazione attuale, il 40% dei pendolari, che raggiungono in treno la città di Trapani, utilizzano l'autobus o il trasporto privato (come passeggero) per completare lo spostamento. Sulla base delle loro dichiarazioni circa i luoghi di destinazione, si è ritenuto opportuno, per questi utenti, non prevedere incrementi del tempo di viaggio, in quegli scenari che postulano servizi di collegamento tra la nuova stazione in periferia e quella attuale con alcune fermate intermedie.

⁽⁵⁾ In the future, an integrated ticketing system could be implemented between rail and tram or urban bus services.

⁽⁶⁾ The survey carried out (see figure 4) has revealed that, in the current scenario, 40% of commuters (going by train to Trapani) use the urban bus or private transport (as passengers) to complete their journey. Based on their responses about the destination, we have not assumed, for these users, additional journey times with respect to those scenarios where the new central station-historic centre connection is provided with intermediate stops.

e autobus extraurbano), utilizzando i modelli di scelta modale descritti, si è stimato il tasso di variazione della domanda rispetto alla situazione attuale, che è stato poi applicato ai dati del Censimento ISTAT sugli spostamenti sistematici tra Trapani e gli altri comuni della provincia. In termini formali:

$$\hat{d}_{odm}^F = \hat{d}_{odm}^A \cdot \frac{d_{odm}(T^F)}{d_{odm}(T^A)}$$

dove,

\hat{d}_{odm}^F : stima degli utenti che si muovono da o a d tramite il modo m , nella situazione futura di progetto F ;

\hat{d}_{odm}^A : flusso di utenti che si muovono da o a d tramite il modo m , nella situazione attuale, sulla base dei risultati del Censimento ISTAT;

$d_{odm}(T^A)$: stima da modello del flusso di utenti che si muovono da o a d tramite il modo m , nella situazione attuale, in funzione del vettore degli attributi attuali del sistema di trasporto, T^A ;

$d_{odm}(T^F)$: stima da modello del flusso di utenti che si muovono da o a d tramite il modo m , nella situazione futura di progetto F , in funzione del vettore degli attributi futuri del sistema di trasporto, T^F ;

La tabella 5 mostra i risultati dell'analisi benefici-costi per gli scenari 1, 2 e 3, mettendo in luce la non fattibilità economica dello scenario 1 ed il primato dello scenario 3.

8. Analisi di sensitività

Per verificare la stabilità dei risultati dell'analisi benefici-costi, è stata condotta un'analisi di sensitività, variando il costo d'investimento e la percentuale di viaggiatori che, nei vari scenari, abbandonerebbero la modalità "treno" (tabelle 6 e 7). In particolare, nel primo caso, sono stati esplorati gli effetti delle seguenti variazioni del costo d'investimento: -25%, -10%, +10%, +25%. Nel secondo caso, sono stati calcolati gli impatti sui risultati finali delle seguenti variazioni del tempo di viaggio aggiuntivo in treno: -25% (pochi utenti treno persi), +25% (molti utenti treno persi). In tal modo, per le alternative progettuali 2 e 3, si è potuto considerare uno "scenario alto", in termini di "utenti treno conservati", idoneo a rappresentare la minore attrattività del modo "auto", che deriverebbe dalla realizzazione degli orientamenti del Comune di Trapani a favore della tariffazione della sosta e del trasferimento degli uffici amministrativi nell'area in cui dovrebbe sorgere la nuova stazione ferroviaria.

9. Conclusioni

Le indagini sul campo (interviste e rilievi di flussi veicolari) e le elaborazioni di dati statistici ufficiali hanno delineato un quadro della mobilità, che vede Trapani polo di generazione e di attrazione di intensi spostamenti pendolari per motivi di lavoro e di studio da e verso i comuni del territorio provinciale. La modalità di trasporto preva-

against the current scenario. This has been applied to the census data related to systematic trips from Trapani to the other Towns of the Province and viceversa. This can be expressed as follows:

$$\hat{d}_{odm}^F = \hat{d}_{odm}^A \cdot \frac{d_{odm}(T^F)}{d_{odm}(T^A)}$$

where,

\hat{d}_{odm}^F : estimation of trips from o to d using transport mode m , under scenario F ;

\hat{d}_{odm}^A : flow of users moving from o to d using transport mode m , in the current situation, based on the census data;

$d_{odm}(T^A)$: model-based estimation of trips from o to d using transport mode m , in the current situation, as function of the vector of current transport system attributes, T^A ;

$d_{odm}(T^F)$: model-based estimation of trips from o to d using transport mode m , under future scenario F , as function of the vector of future transport system attributes, T^F ;

Table 5 shows the results of the cost-benefit analysis for the scenarios 1, 2 and 3, highlighting that scenario 1 is not economically feasible and scenario 3 best performs.

8. Sensitivity Analysis

To verify the robustness of the cost-benefit analysis results, a sensitivity analysis has been carried out by varying the investment cost and the percentage of users who would give up the "train" mode, in the different scenarios (tables 6 and 7). In particular, in the first case the effects of the following investment cost variations have been extrapolated: -25%, -10%, +10%, +25%. In the second case, the impacts on the final results of the following train additional travel time variation have been assessed: -25% (low loss of train passengers), +25% (high loss of train passengers). So, through the first assumption (extra train travel time = -25%), we have been able to consider, for the scenarios 2 and 3, the impact of the lower appeal of car, due to the parking pricing policy on the agenda of the Trapani Council.

9. Conclusions

The in-vehicle interviews, the traffic flow measurements and the analysis of the official statistics have highlighted that Trapani attracts and generates intense commuter movements for work and study purposes from and to the towns in the provincial area. The majority of movements (around the order of 65%) are made by private vehicle, while the train mode is chosen by 20% of users. Moreover, the train is chosen mainly by people moving to Trapani. Almost all commuters who reach Trapani by train make the trip on a daily basis and from the Central station they mainly reach their ultimate destination (offices and schools within the inner and historic city) by walking. In the end, the data collected have pointed out that the towns of

lente è risultata essere l'auto privata con un'incidenza di circa il 65%, mentre, la modalità ferroviaria è scelta dal 20% degli utenti. Inoltre, il treno è scelto in misura significativa soltanto da coloro che si spostano verso Trapani. Quasi tutti i pendolari, che raggiungono Trapani tramite il treno, viaggiano giornalmente e si muovono dalla stazione di arrivo verso la destinazione finale a piedi, diretti ai numerosi uffici ed istituti scolastici ubicati nell'area centrale della città. Infine, i dati hanno messo in luce il ruolo di principali poli di generazione dei centri di Marsala (in misura preminente), Mazara, Petrosino e Castelvetro.

Nella fase finale dello studio, sono stati esaminati, dal punto di vista tecnico-economico, tre differenti scenari d'intervento per risolvere i problemi causati dall'attuale configurazione del tessuto urbano di Trapani, nell'ambito del quale gli impianti ferroviari rappresentano un elemento di frattura, che condiziona negativamente la mobilità veicolare.

Le tecniche di analisi quantitativa utilizzate stabiliscono la preferenza per lo scenario 3: delocalizzazione della stazione ferroviaria e attivazione di un servizio tranviario urbano tra

TABELLA 5 - TABLE 5

RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DELL'ANALISI BENEFICI-COSTI AGLI SCENARI DI INTERVENTO - OUTCOME OF THE COST-BENEFIT ANALYSIS ON THE VARIOUS SCENARIOS

Attributi <i>Attributes</i>	Passeggeri Treno Persi (Decrease in Train Users)	Riduzione di Auto x Ora (Decrease in Car x Hour)	Riduzione di Auto x km (Decrease in Car x km)	Investimento (Investment) (Mln €)	V.A.N. ^(*) (N.P.V.) ^(*) (Mln €)	T.I.R. (I.R.R.)
1	0	179	1.096	38,731	-5,452	3,7%
2	268	86	790	11,139	0,714	5,7%
3	206	129	1001	24,786	3,178	7,2%

(*) Tasso sociale di sconto per il calcolo del V.A.N. = 5%. Social discount rate to determine N.P.V. = 5%.

TABELLA 6 - TABLE 6

RISULTATI DELL'ANALISI DI SENSITIVITÀ SUL V.A.N. (in milioni di euro)
OUTCOME OF THE SENSITIVITY ANALYSIS ON THE NET PRESENT VALUE
(millions of euro)

V.A.N.	Scenari di Scelta Modale - Mode Choice Scenarios								
Variazione Costo Investimento <i>Investment Cost Variation</i>	Molti Utenti Treno Persi <i>High reduction in Train Users</i>			Scenario di Base <i>Base Case Scenario</i>			Pochi Utenti Treno Persi <i>Low reduction in Train Users</i>		
	INT ^(*) U.R.L. ^(*)	BUS	TRAM	INT ^(*) U.R.L. ^(*)	BUS	TRAM	INT ^(*) U.R.L. ^(*)	BUS	TRAM
+25%	-15,47	-11,39	-7,32	-15,47	-1,59	0,08	-15,47	8,19	8,29
+10%	-9,46	-10,00	-5,46	-9,46	-0,21	1,94	-9,46	9,58	10,15
0%	-5,45	-9,08	-4,23	-5,45	0,71	3,18	-5,45	10,50	11,39
-10%	-1,44	-8,15	-2,99	-1,44	1,64	4,42	-1,44	11,42	12,63
-25%	4,57	-6,77	-1,13	4,57	3,02	6,27	4,57	12,81	14,48

(*) Interramento. Underground railway line

Legenda: i valori migliori del V.A.N. sono presentati in grassetto; inoltre, è stata messa in evidenza (in grigio) l'area che racchiude i valori positivi del V.A.N. Legend: the best net present values are in boldface; the area containing the positive net present values is coloured in grey.

TABELLA 7 - TABLE 7

RISULTATI DELL'ANALISI DI SENSITIVITÀ SUL T.I.R.
OUTCOME OF THE SENSITIVITY ANALYSIS ON THE INTERNAL RATE OF RETURN

T.I.R.	Scenari di Scelta Modale - Mode Choice Scenarios								
Variazione Costo Investimento <i>Investment Cost Variation</i>	Molti Utenti Treno Persi <i>High reduction in Train Users</i>			Scenario di Base <i>Base Case Scenario</i>			Pochi Utenti Treno Persi <i>Low reduction in Train Users</i>		
	INT ^(*) U.R.L. ^(*)	BUS	TRAM	INT ^(*) U.R.L. ^(*)	BUS	TRAM	INT ^(*) U.R.L. ^(*)	BUS	TRAM
+25%	1,8%	-7,5%	0,2%	1,8%	3,7%	5,0%	1,8%	10,8%	9,4%
+10%	2,8%	-7,5%	1,0%	2,8%	4,8%	6,2%	2,8%	12,5%	11,0%
0%	3,7%	-7,5%	1,7%	3,7%	5,7%	7,2%	3,7%	13,9%	12,3%
-10%	4,6%	-7,4%	2,4%	4,6%	6,7%	8,3%	4,6%	15,5%	13,8%
-25%	6,4%	-7,4%	3,9%	6,4%	8,7%	10,5%	6,4%	18,7%	16,8%

(*) Interramento. Underground railway line

Legenda: i valori migliori del T.I.R. sono presentati in grassetto; inoltre, è stata messa in evidenza (in grigio) l'area che racchiude i valori del T.I.R. superiori al 5%. Legend: the best internal rates of return are in boldface; the area containing the internal rates of return greater than 5% is coloured in grey.

la nuova stazione e il centro città. Nondimeno, preme sottolineare che tale alternativa è caratterizzata da un notevole rischio sul piano finanziario, giacché il suo elevato costo d'investimento (circa 25 milioni di euro, se si include la quota relativa all'acquisto di 4 tram) difficilmente potrebbe essere sostenuto dal Comune di Trapani, pur nell'ipotesi di una compartecipazione del gestore del trasporto ferroviario, incentivato ad assumere la gestione del servizio tranviario dalla prospettiva di un *cash flow* annuale significativamente positivo (€ 190.688, secondo le stime previsionali di questo studio).

Per superare tale *impasse*, si propone una revisione in chiave territoriale dello scenario 3, ampliando l'area di riferimento per l'operatività del servizio tranviario. Più in dettaglio, si ritiene opportuno vagliare, tramite un successivo studio, la possibilità di attivare un collegamento di linea tramite tram-treno relativamente alla tratta Trapani-Castelvetrano, prevedendo, rispetto all'attuale collegamento ferroviario, un numero maggiore di fermate nell'ambito dei vari centri attraversati. In una prima fase, in via sperimentale, il progetto potrebbe riguardare soltanto la connessione Trapani-Marsala, caratterizzata da una notevole mobilità di scambio e da una configurazione di "città diffusa", che richiede una particolare attenzione verso l'accessibilità dei servizi di trasporto collettivo extraurbano.

L'intervento proposto potrebbe contare sulla molteplicità dei soggetti titolari di uno specifico interesse nei riguardi dell'investimento da effettuare, ovvero sulla possibilità di coinvolgere, nel finanziamento del progetto, la Provincia Regionale di Trapani, nonché gli altri comuni della tratta Trapani-Castelvetrano; si ritiene, altresì, che un'opera che abbia un tale impatto territoriale possa più facilmente accedere ai fondi POR.

Oltre al già citato beneficio in termini di crescita dell'accessibilità e, quindi, della competitività del trasporto collettivo su ferro in ambito provinciale, va segnalata la possibilità che la proposta in esame possa favorire l'avvio di nuovi servizi di collegamento ad elevata capacità con poli di traffico rilevanti dal punto di vista turistico, quali l'aeroporto di Birgi ed il porto di Trapani.

Marsala (primarily), Mazara, Petrosino and Castelvetrano, play an important role in generating trips to Trapani.

In the final part of the study, three different scenarios have been evaluated from a techno-economic point of view. These scenarios have been designed to solve the problems deriving from the present urban structure, where the railway line is a disconnection element of the transport network.

The cost-benefit analysis has showed that the scenario 3 best performs (an urban tram service would connect the new peripheral central station with the city centre using a tram-train). Nevertheless, it is important to underline that the high investment cost of this project (approximately 25 mln €, including the cost of purchasing 4 new trams) couldn't be supported only by the Trapani city council, even in partnership with the existing train operator, which could gain a significant positive cash flow by running the tram-train service (€ 190,688, according to the estimation of this study).

To overcome this *impasse*, a review of scenario 3 in terms of territorial extension is proposed. In detail, it is suggested to explore (through a subsequent study) the option of extending the tram-train service over the existing railway line from Trapani to Castelvetrano, increasing the number of stops within each major town served. In a first pilot phase, the tram-train service could be implemented for the Trapani-Marsala connection, given the high percentage of commuters coming by train every day from Marsala to Trapani and the territorial configuration of Marsala as "linear city", which requires special attention to the intercity service accessibility.

This project could benefit from the multitude of stakeholders that could be involved, such as the Province of Trapani and all the city councils of the towns served by the new service (along the Trapani-Castelvetrano connection); moreover, the provincial scale of this project could provide easier access to European funding; Sicily is, in fact, one of the Regions with higher priority for EU investments.

In addition, the new tram-train service might encourage the activation of new high capacity transport services to increase the accessibility of important tourist nodes, such as the international airport of Birgi and the harbour of Trapani.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] BEN AKIVA M.E. and LERMAN S.R., "Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1985.
- [2] ORTÚZAR J. de D. and WILLUMSEN L.G., "Modelling Transport", Wiley, 1994.
- [3] AMOROSO S., MIGLIORE M., CATALANO M. and GALATIOTO F., "A demand-based methodology for planning the bus network of a small or medium town", European Transport 44, 2010, pp. 41-56.

- [4] MIGLIORE M. and CATALANO M., "Urban public transport optimization by bus ways: A neural network-based methodology", WIT Transactions on the Built Environment, Volume 96 (Urban Transport XIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century, edited by C.A. BREBBIA), 2007, pp. 347-356.
- [5] PATRICK L., "Viaggiare in Europa grazie al tram-treno", Trasporti Pubblici, April 2003, pp. 46-49.
- [6] NOVALES M., BUGARIN M. and ORRO A. (trad. ANTIGNOLI M.), "Un nuovo concetto nel trasporto urbano: il tram-treno", Ingegneria ferroviaria, October 2001, pp.741-751.
- [7] PANAGIN R. and PANAGIN F., "Confronto tecnico economico tra auto, autobus, treno e aereo", Ingegneria Ferroviaria, March 2004, pp. 247-267.
- [8] CATALANO M., LO CASTO B. and MIGLIORE M., "Car sharing demand estimation and urban transport demand modelling using stated preference techniques", European Transport 40, 2008, pp. 33-50.
- [9] Amici della Terra - Ferrovie dello Stato, "I Costi Ambientali e Sociali della Mobilità in Italia - Secondo Rapporto", Ed. Amici della Terra, 1999.

PUBBLICAZIONI CIFI

1991: LA LINEA PIÙ VELOCE E LA LINEA PIÙ LENTA

Vent'anni or sono, nel 1991, ancor prima di divenire Società per Azioni, le Ferrovie dello Stato Italiane ereditavano una Rete caratterizzata, al massimo livello, dalla Direttissima Roma - Firenze, capostipite della Rete Alta Velocità e, di contro, da una serie di piccole linee locali, figlie del periodo ottocentesco in cui non esistevano alternative alla ferrovia anche sulle brevissime distanze. In mezzo a tali due estremi, le linee che ancor oggi costituiscono la Rete tradizionale.

In un documentario dell'epoca realizzato da Claudio Migliorini si possono rivivere alcuni aspetti attinenti alle due situazioni estreme anzidette.

Il video esordisce con un reportage su un viaggio organizzato in Direttissima tra Orvieto e Firenze dal CIFI il 13 aprile 1991 con l'ETR Y 500, allora l'unico "supertreno" di FS capace di raggiungere i 300 km/h, "progenitore" di tutti i moderni "Frecciarossa" che oggi collegano velocemente le principali città italiane.

E dopo (l'allora) linea più veloce, la telecamera ci fa compiere un'escursione lungo (l'allora) linea più lenta della Rete FS, la Poggibonsi - Colle Val d'Elsa, che conservò fino alla sospensione definitiva del servizio ferroviario (1987) le sue caratteristiche di linea "economica" ottocentesca: qui si trovava tra l'altro la curva più stretta della Rete FS a scartamento ordinario, con soli 100

metri di raggio. A seguito dell'atto ministeriale di dismissione (2009), oggi sul tracciato della linea colligiana si è realizzata una pista ciclabile, mentre il traffico motorizzato è stato integralmente trasferito su strada e ha beneficiato di interventi di razionalizzazione infrastrutturale che hanno interessato pure le ex aree ferroviarie (ved. articolo su "La Tecnica Professionale" n. 9/settembre 2011).

Il filmato costituisce in definitiva una testimonianza autentica dell'eredità della gestione statale e che, raffrontata con la situazione odierna, rende conto di come la successiva evoluzione delle Ferrovie dello Stato Italiane abbia portato, in una logica

imprenditoriale d'Impresa, da un lato a sviluppare e potenziare i servizi di punta ad alta redditività economica e sociale (Alta Velocità/Alta Capacità) e, all'opposto, a lasciare alle altre modalità di trasporto molte relazioni a brevissimo raggio caratterizzate strutturalmente da una sostenibilità nulla se realizzate su ferro.

Il CIFI, per coprire le spese di produzione e confezionamento, è in grado di fornire il DVD al costo unitario di soli Euro 12,00, IVA e spese di spedizione comprese. Chi fosse interessato all'acquisto è pregato di inviare una mail di richiesta a: redazione@cifi.it

