



Studio di fattibilità dell'ammodernamento della ferrovia Circumetnea mediante un modello di rete multimodale a domanda elastica

The feasibility assessment of the new 'Circumetnea' railway through a multimodal network model with elastic demand

Dott. Ing. Salvatore CAPRI^(*)
Dott. Ing. Matteo IGNACCOLO^(*)
Dott. Ing. Giuseppe INTURRI^(*)

1. Introduzione

In Italia, specie a partire dagli anni 90 vengono introdotti concetti e modelli dell'ingegneria dei sistemi di trasporto all'interno della pratica professionale, grazie alla pubblicazione di importanti contributi alla disciplina [3] ma anche e soprattutto per via della diffusione dei pacchetti software di simulazione del traffico.

Sin da allora si è tuttavia registrato un divario, naturale ma per certi versi spesso eccessivo, tra lo stato di avanzamento della letteratura scientifica di settore e l'utilizzo effettivo di tecniche di analisi quantitativa dell'interazione tra domanda e offerta di trasporto. I motivi di tale divario sono da ricercarsi certamente in una problematica più vasta che riguarda l'intera struttura della pianificazione dei trasporti in Italia, ma anche in questioni più di dettaglio legate all'effettiva utilità e utilizzabilità delle teorie più avanzate e dei modelli più complessi, nonché alla validazione degli stessi modelli, a fronte dei dati disponibili presso le pubbliche amministrazioni ed ai relativi metodi di acquisizione degli stessi.

Anche se il fenomeno negli ultimi anni tende a ridursi, forse anche per via del sempre maggiore coinvolgimento degli Atenei nella pratica professionale della pianificazione dei trasporti, l'utilizzo di tecniche di simulazione per la stima e previsione del traffico all'interno di studi di fattibilità o piani di trasporto risulta comunque quasi sempre degna di interesse, soprattutto quando coinvolge una modellistica non standard e un'estensiva campagna di indagini per la calibrazione e validazione dei modelli.

Nell'ambito del progetto di ammodernamento dell'anello ferroviario intorno all'Etna (Ferrovia Circumetnea),

1. Introduction

Particularly since the '90, some main research works [3] in the field of transport engineering and the availability of software packages for traffic simulation as well, have contributed to spread the introduction of mathematical modelling among transport planning professional.

Since then, a quite wide gap has emerged between the progress of scientific literature and the actual use of quantitative analysis of the phenomena underlying the interaction of transport supply and demand. The main general reason is in the transport planning architecture in Italy, but also some specific issues such as the availability of data in the public administrations and the intrinsic difficultness in the calibration and validation of sophisticated mathematical models are serious problems.

Although the phenomenon in recent years tends to decrease, possibly due to the increasing involvement of universities in the professional practice of transport planning, the use of simulation techniques for estimation and forecasting of traffic within feasibility studies or transport plans is almost always worthy of interest, especially when it involves a non-standard modelling and an extensive campaign of surveys for the calibration and validation of models.

As part of the modernization project of the railway line surrounding Etna volcano (Circumetnea Railway), discussed in Section 2.1, we have conducted a transport study based on a model of multimodal network with elastic demand with respect both to land use and to transport supply. To this aim, a transport mode choice model has been calibrated and validated on the basis of a campaign of surveys on the resident population. The model has been used

^(*) Università degli Studi di Catania, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura.

^(*) University of Catania, Department of Civil Engineering and Architecture.

OSSERVATORIO

di cui si parla nella sezione 2.1, è stato condotto uno studio trasportistico basato su un modello di rete multimodale a domanda elastica rispetto sia all'assetto territoriale sia alla configurazione dell'offerta di trasporto. È stato implementato allo scopo un modello di diversione (*switching*) modale, che è stato calibrato e validato sulla base di una campagna di indagini presso la popolazione residente. Il metodo è stato utilizzato per quantificare le differenze prestazionali tra le varie alternative di progetto, lo stato di fatto e lo scenario di non intervento. Le risultanze dell'analisi sono state successivamente utilizzate ai fini dello studio di impatto ambientale dell'intervento e per la definizione della fattibilità economica e finanziaria dell'investimento.

1.1. L'analisi quantitativa negli studi di fattibilità

Generalmente, gli studi di fattibilità di interventi nel settore dei trasporti comprendono i seguenti contenuti, con riferimento alle alternative di intervento (tra le quali quella di non intervento):

- simulazione (mediante modelli);
- valutazione funzionale (impatto sulla domanda, indicatori di prestazione);
- valutazione ambientale;
- valutazione economica;
- valutazione finanziaria;
- stima dell'impatto socio-economico (nuove imprese, nuova occupazione);
- stima dell'impatto sulla sicurezza;
- confronto tra le alternative di progetto (anche mediante tecniche di Analisi Multicriteria).

L'uso di modelli matematici per la simulazione dei sistemi di trasporto consente di prevedere i flussi di utenti sulle diverse reti multimodali conseguenti ad una data alternativa. Il risultato costituisce l'input per eseguire una serie di valutazioni di tipo quantitativo:

- valutazione funzionale, per esempio misurando il grado di soddisfazione della domanda e il relativo livello di servizio;
- valutazione di tipo ambientale, per esempio utilizzando adeguati modelli di emissione e dispersione degli inquinanti prodotti dai flussi di traffico;
- valutazioni di tipo economico-finanziarie, per esempio mediante un'analisi costi-benefici per il calcolo degli indicatori di convenienza dell'investimento in termini di valore attuale netto e saggio di rendimento interno.

Restano ancora invece di tipo sostanzialmente qualitativo, o al massimo statistico-descrittivo, le stime dell'impatto che una nuova infrastruttura di trasporto può determinare nei settori produttivi e dell'occupazione e anche le metodologie in grado di valutare l'in-

to quantify the functional performance among different project alternatives and the do-nothing project. The results of the analysis were also used for the environmental impact study of the selected project and for the definition of the economic and financial feasibility of the investment.

1.1. The use of quantitative analyses in transport feasibility studies

Generally, a feasibility study of transport projects contains the following analyses, carried out for each project alternative (including the do-nothing alternative):

- *simulation of the transport system;*
- *functional assessment (impact on demand and relevant performance indicators);*
- *environmental assessment;*
- *economic and Financial evaluations;*
- *estimation of the socio-economic impacts (new businesses, new jobs);*
- *estimation of the impact on safety;*
- *comparison of the project alternatives (for instance by means of a Multicriteria Analysis).*

The simulation of the transport system relies on the use of mathematical models able to forecast the flows of users on the different transport networks for each project alternative. These flows constitute basic inputs for carrying out a set of quantitative evaluations:

- *functional assessment, for example by measuring the degree of satisfaction of the transport demand and relevant level of service;*
- *environmental assessment, for example using appropriate models of emission and dispersion of pollutants from traffic flows;*
- *economic and financial assessments, for example through a cost benefit analysis for the calculation of the indicators of investment convenience in terms of net present value and internal rate of return.*

The methods to evaluate the socio-economic impacts of a new transport project on the productive sectors and employment are still quite qualitative, or at best statistical-descriptive; also the techniques to estimate the contribution of a new infrastructure to safety still suffer from a high degree of uncertainty [7].

The need of quantitative methods, well consolidated since long time in traditional fields of engineering (e.g. structural analysis), has now become indispensable also in transport engineering, especially when relations between public administrations and private transport experts are put in place. The scientific rationale behind these methods provides credibility to the estimates produced, while repeatability and transparency is assured for all the stakeholders involved in the decision making process. The latter is a crucial issue, especially when projects are submitted to

OSSERVATORIO

cremento di sicurezza conseguente ad un determinato intervento, ancora affette da un elevato grado di incertezza [7].

Il ricorso all'analisi quantitativa nel campo dell'ingegneria dei trasporti – come lo è da molto più tempo in altri campi dell'ingegneria, si pensi ad esempio all'analisi delle strutture – diventa oggi irrinunciabile nei rapporti tra professionisti e committenti pubblici e privati. Grazie ad essa non solo si riesce a conferire una maggiore attendibilità alle stime prodotte per via dei fondamenti scientifici alla base dei metodi, ma soprattutto si rende il processo ripetibile e trasparente. Questo, soprattutto quando le scelte che ne derivano sono oggetto di verifiche tecnico-economiche a più livelli perché magari coinvolgono altri enti oltre al committente (regolatori, finanziatori, ecc.), diventa il vero valore aggiunto di queste soluzioni.

In particolare, il modello messo a punto per lo studio di fattibilità del progetto di ammodernamento della Ferrovia Circumetnea (FCE) si differenzia dalle analisi ritenute ormai “tradizionali”, per almeno due ordini di motivi:

- la possibilità di pervenire ad una stima della domanda indotta dalla nuova infrastruttura (e in particolare da ogni “step” realizzativo della soluzione di progetto complessiva) sulla base di un modello di simulazione a domanda elastica con approccio multimodale, sensibile a diverse variabili (tempi, costi, tariffe, congestione, variabili demografiche e socioeconomiche, ecc.) [10] [12];
- valutazione degli effetti di rete sia sulla quantificazione della domanda sia sull'interazione tra domanda e offerta: in contrapposizione alle analisi di corridoio, infatti, l'utilizzo di un modello di rete di area vasta per lo studio di un'infrastruttura lineare come la ferrovia, anche se di impostazione molto più articolata e complessa, consente di tenere in considerazione variabili e porzioni di territorio il cui effetto non è a priori determinabile, neanche in segno, consentendo all'analista di individuare la criticità e al progettista di intervenire in maniera mirata per mitigarla [6] [5].

2. La Ferrovia Circumetnea

2.1. L'infrastruttura ferroviaria

La concessione dei lavori di una ferrovia che partendo da Catania, collegasse alla città e tra di loro i principali centri etnei è datata 1889 (fig. 1). Poco più di cinque anni dopo, nel febbraio del 1895, veniva inaugurata la linea che in ragione del suo tracciato fu denominata “Circumetnea”. Si trattava di una linea ferroviaria ad anello aperto (a scartamento ridotto) che da Catania “girando attorno” all'Etna “saliva” fino a Randazzo per poi “scendere” sino al mare di Riposto. Le locomotive a

technical-economic assessments by different agencies in addition to the customer (regulators, funding, etc.).

The model we developed for the feasibility study of the Ferrovia Circumetnea (FCE) railway line modernization differs from analyses now deemed 'traditional' for at least two reasons:

- *it provides estimates of the transport demand induced by the new infrastructure (at each step of realization of the overall selected project) on the multimodal network, as a function of different variables (times, costs, prices, congestion, demographic and socioeconomic variables, etc.) [10] [12];*
- *it includes the network effects both on the demand evaluation and on the interaction between transport supply and demand; in fact, in contrast to the corridor analysis quite often used for linear infrastructure project, we included a wide area network model for the study of the railway line; although setting was much more articulated and complex, to take into account variables and portions of the area whose effect is not determinable a priori, even in sign, allowing the analyst to identify the criticality and the designer to intervene targeted to mitigate [6] [5].*

2. The 'Circumetnea' Railway

2.1. The rail infrastructure

The granting of the works for building a railway line that starting from Catania, linking the city and the main centres of Etna is dated 1889 (fig. 1). Five years later the line was open to operation and named 'Circumetnea' from the route of its track surrounding the volcano. It was a narrow gauge railway line operated with 10 steam locomotives, 40 passenger coaches and 170 freight railcars, with a maximum speed of 27 km/h and a commercial speed of 15 km/h. Only two steam locomotives, some of which remained in operation until the beginning of the sixties of last century, remain today: the n. 10 'Mascali', stored in a railway depot and the n. 14 'Meusa', on exhibition at the station Borgo rail yard. In the late '30 the diesel-railcar trains FIAT ALn56 went into operation, commonly known as 'littorina', a name which still survives to indicate the trains of the Circumetnea Railway. Only two of these railcars still remain today, one of which, restored and made functional, is used for tourist purposes. The current trains in operation are diesel-electric propelled with a line speed of about 60 km/h and a commercial speed of about 35 km/h.

The railway section Randazzo-Riposto has undergone only minor changes of the track, some of which are a result of disruptions due to lava flows of Etna: in 1911 (eruption of Linguaglossa-Randazzo), in 1923 (eruption of Linguaglossa), in 1928 (eruption of Mascali) and in 1981 (eruption of Randazzo). Both touristic and commuters services are currently provided by this section of the line.

The most significant changes are under development

OSSERVATORIO

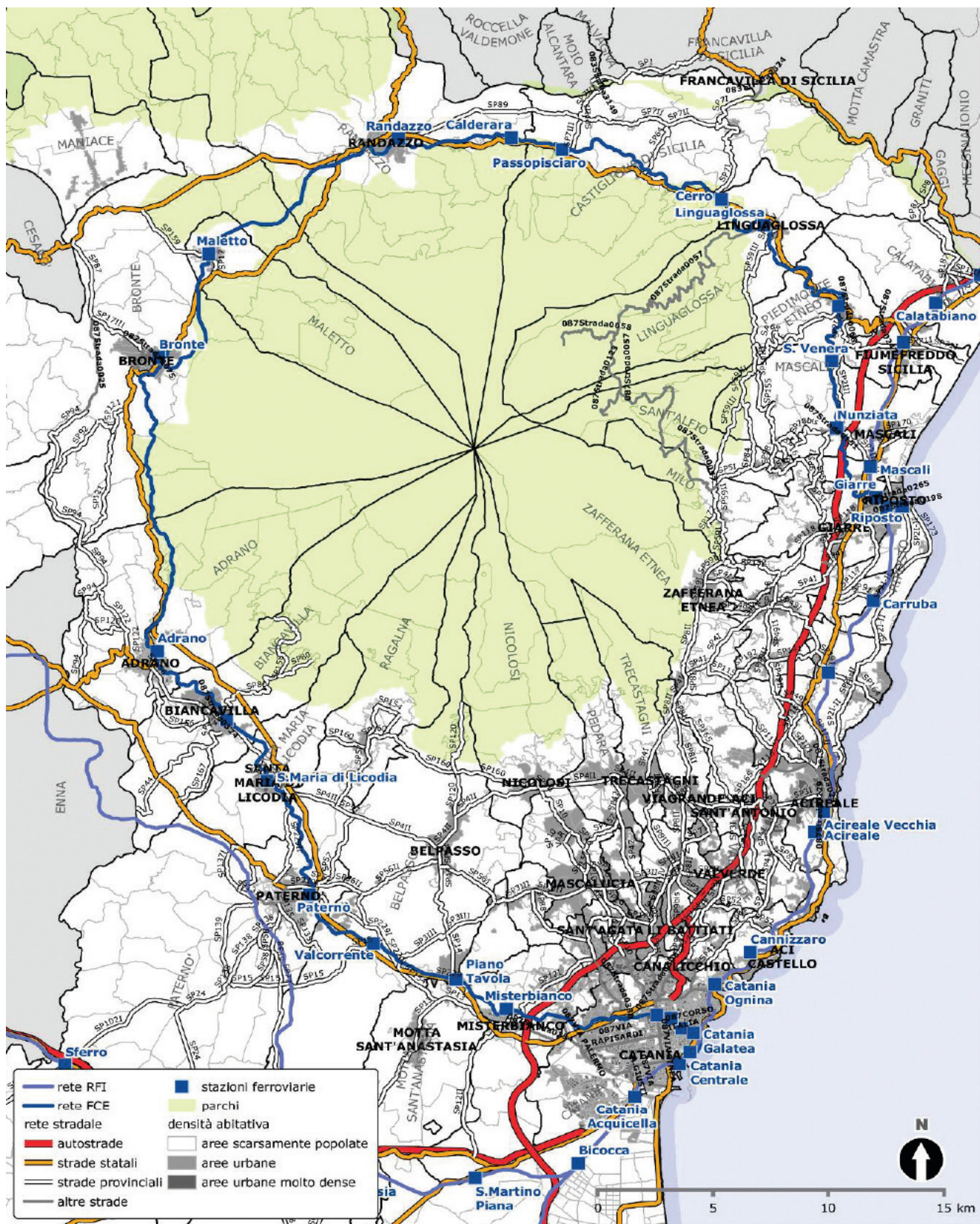


Fig. 1 - Sistema di infrastrutture nell'area di studio.
Fig. 1 - The transport infrastructure system in the study area.

OSSERVATORIO

vapore erano una decina e il parco del materiale rotabile trainato era costituito da poco meno di quaranta carrozze passeggeri e da circa 170 carri merci, con una velocità massima di 27 km/h ed una velocità commerciale di circa 15 km/h. Delle locomotive a vapore, alcune delle quali rimasero in esercizio fino agli inizi degli anni sessanta dello scorso secolo, ne restano oggi solo due: la n. 10 "Mascali", custodita in una rimessa della ferrovia e la n. 14 "Meusa", esposta presso il piazzale della stazione ferroviaria di Borgo. Alla fine degli anni 30 entrarono infatti in esercizio le automotrici endotermiche FIAT ALn56, più comunemente note come "littorine", nome che ancora oggi sopravvive per indicare i treni della Ferrovia Circumetnea. Anche di queste automotrici ne restano oggi solo due, di cui una, restaurata e resa funzionante, è impiegata per scopi turistici. Le attuali automotrici sono diesel-elettriche con una velocità di linea di circa 60 km/h ed una velocità commerciale di circa 35 km/h.

Per quanto riguarda il tracciato ferroviario, la tratta da Randazzo a Riposto ha subito nel tempo soltanto piccole modifiche del tracciato, alcune delle quali a seguito delle interruzioni dovute a colate laviche dell'Etna: nel 1911 (eruzione di Linguaglossa-Randazzo), nel 1923 (eruzione di Linguaglossa), nel 1928 (eruzione di Mascali) e nel 1981 (eruzione di Randazzo). Il servizio su tale tratta ha al momento un utilizzo dal punto di vista turistico o di connessione tra i centri interessati da questa parte di linea.

Più significativi sono gli sviluppi della tratta da Catania a Randazzo, primo fra tutti l'interramento del tratto di linea che penetrava dentro la città di Catania e che sta permettendo la trasformazione della ferrovia in metropolitana all'interno del capoluogo etneo. Ad oggi, nell'ambito urbano della città di Catania è in esercizio una tratta metropolitana (Borgo-Galatea Porto) lunga 3,8 km e saranno ultimate nel 2015 due tratte di metropolitana, lunghe complessivamente 5 km (Galatea-Stazione C.le-Stesicoro 1,9 km; Borgo-Nesima 3,1 km). Sono, inoltre, in fase di appalto altri due lotti di metropolitana (Stesicoro-Aeroporto 6,8 km e Nesima-Misterbianco centro 3,9 km) che consentiranno, nell'ambito temporale della prossima programmazione comunitaria 2014-2020, di collegare il centro di Catania con i quartieri periferici posti ai margini sud-ovest e nord-ovest della città densa, nonché con l'aeroporto ed il centro urbano di Misterbianco), per una lunghezza complessiva della tratta di quasi 20 km e 24 stazioni.

Per quanto riguarda la linea ferrovia extraurbana fino a Randazzo, attualmente l'unico tratto che è stato interessato da importanti interventi di rettifica del tracciato e parziale interrimento dello stesso, è quello tra Adrano-Paternò, per una lunghezza di 15,5 km.

Nel Piano di Sviluppo della Ferrovia Circumetnea è prevista la prosecuzione della linea metropolitana, prevalentemente in superficie e a doppio binario, da Misterbianco fino a Paternò, per una lunghezza complessiva di

from Catania to Randazzo, where the old narrow gauge surface track in the urban area of Catania has been transformed in a double track standard gauge electric underground railway, as the first section of the subway of the Etna city. At present time, a 3.8 km subway line (Borgo-Galatea Porto) is under operation in Catania. An extension of 5 km will be operating at the end of 2016 (Galatea-Stazione C.le- Stesicoro 1.9 km; Borgo-Nesima 3.1 km). A further west extension of 3.9 km (Nesima-Misterbianco) is already designed and financed as well as a south extension of 6.8 km (Stesicoro-Airport). A metro railway line 20 km long from Misterbianco to Catania Airport and 24 stations are therefore expected to be in operation within the next EU programming horizon 2014-2020.

As far as it concerns the suburban railway line up to Randazzo, only the section between Adrano and Paternò (15.5 km) has been affected by major interventions for the realignment and the construction of three tunnels to eliminate several level crossings in the urban areas.

The Strategic Master Plan of the Circumetnea Railway provides the extension of the metro line, mainly in surface and double-track, from Misterbianco to Paternò, for a total length of 10.5 km. The modernization of the Paternò-Adrano section was already designed to be compatible for a future global electrification of the line and the widening of the gauge to the standard size, giving the potential for extending the metro service up to Adrano (46 km and 39 stations).

Finally, also the sections Adrano-Randazzo and Randazzo-Riposto, characterized by landscapes of major natural importance partly within the Etna Park (part of the Unesco heritage), will be improved.

Today the Circumetnea Railway transport about three millions of passengers each year by different services:

- *railway transit service operated by 23 diesel train and 10 passenger coaches over 110 km of surface line with narrow gauge;*
- *a street transit service operated by 70 buses which integrates the rail service reinforcing its coverage within the urban areas;*
- *a metro transit service on a short electrified line and ordinary gauge in urban Catania which currently provides six stations.*

2.2. The study area

Catania is a functional node of the transport system for six of the nine provinces of Sicily along the main north-south corridor. In this context the study area has been selected as the territory bounded on the south by the city of Catania, as pole of final destination, and bordered by the municipalities along the main corridors Catania-Paternò on the west, Adrano-Randazzo on the north and Randazzo-Fiumefreddo-Acireale on the east.

Within the study, reference was made to the data provid-

OSSERVATORIO

10,5 km. L'ammmodernamento della tratta Paternò-Adrano è stato già concepito in modo da potere consentire, in futuro, l'elettrificazione dell'attuale linea esercita con trazione Diesel e la trasformazione dello scartamento da ridotto a ordinario, estendendo così il servizio "metropolitano" fino ad Adrano per complessivi 46 km e 39 stazioni.

Infine, per la tratta Adrano-Randazzo, caratterizzata da un tracciato che attraversa, così come la tratta Randazzo-Riposto, paesaggi di importante rilevanza naturalistica in parte all'interno del Parco dell'Etna, patrimonio Unesco, è previsto un intervento di ammodernamento che prevede la rettifica di alcune parti del tracciato e la trasformazione in linea ferroviaria elettrificata, con eventuale proseguimento di tali tipo di intervento fino a Riposto.

Con riferimento agli attuali servizi di trasporto offerti dalla Ferrovia Circumetnea ad un numero di circa 3 milioni di utenti, gli stessi sono espletati mediante:

- un servizio ferroviario esercito con 23 automotrici a trazione Diesel e 10 rimorchiare su una linea di 110 km a scartamento ridotto che attraversa e collega tra di loro e con Catania gli stessi centri abitati dell'anno della fondazione;
- una flotta di 70 autobus che integrano e affiancano il servizio ferroviario in modo più capillare all'interno dei centri urbani con una percorrenza annua di oltre 1 milione di km;
- un servizio di metropolitana su un breve tratto di linea elettrificata e a scartamento ordinario nell'ambito urbano di Catania che prevede attualmente 6 stazioni.

2.2. Il territorio

Catania costituisce, per sei province siciliane su nove, la cerniera funzionale del sistema complessivo dei trasporti sulla direttrice principale sud-nord. In tale contesto è stata definita l'area di approfondimento dello studio riferita al comparto territoriale delimitato a sud dalla città di Catania, quale polo di destinazione finale, e delimitato dai comuni che insistono a ovest sulla direttrice Catania-Paternò, a nord sulla direttrice Adrano-Randazzo e ad est sulla direttrice Randazzo-Fiumefreddo-Acireale, individuando successivamente le relazioni infrastrutturali che connettono a tale area il territorio circostante.

Nell'ambito dello studio si è fatto riferimento ai dati forniti dall'ISTAT e relativi ai censimenti relativi a "Popolazione" e "Industria e Servizi" del 1971, 1981, 1991 e 2001, nonché agli ultimi aggiornamenti demografici del 2010, che hanno costituito la base per la proiezione e l'analisi della domanda di trasporto futura. Si tratta soprattutto dei dati storici relativi alla popolazione attiva (dai 15 ai 65 anni) e al numero di addetti delle unità locali.

Il dato relativo alla popolazione residente all'interno dell'area di studio ha evidenziato la polarità caratterizzata dalla città di Catania, alla quale si affiancano realtà

ed by ISTAT and the census related to 'Population' and 'Industry and Services', 1971, 1981, 1991 and 2001 as well as the latest updates demographics of 2010, which formed the basis for the screening and analysis of transport demand future. These are mainly of historical data concerning the active population (aged 15 to 65 years) and the number of employees of the local economic activities.

The data on resident population within the study area highlighted the centrality of the city of Catania, together with other urban nodes of significant size (Misterbianco, Acireale, Paternò but also Giarre and Adrano) characterized by an intense exchange of daily commuter flows with Catania, which becomes almost a symbiotic relationship with the municipalities of the first ring conurbation.

The demographic change within the study area (fig. 2 left) shows a phenomenon of depolarization that has been characterizing the province of Catania over the last fifty years: the decrease of resident population (and work force) of Catania is offset by an increase of this indicator in the population of the neighbour municipalities. This relocation of resident population has not been supported by an adequate land use planning to settle new services and economic activities, that have remained concentrated in Catania, as can be derived from the distribution of the number of employees (fig. 2 right). It is possible to think that most of those who in the past decade have moved in the neighbouring municipalities continue to carry out their daily activities in the capital city, helping to further congestion during rush hour, the road system of the area.

The key role played by Catania in the transport system is clearly confirmed when the spatial distribution of the movements are analysed within the study area. In particular, Catania is the centre of a radial infrastructure network (fig. 1) running along some specific corridors which provide the main link among the three different territorial districts which traditionally constitute the whole province of Catania (metropolitan area of Catania, Ionian foothills area, and area of Caltagirone), and the relation with the other Sicilian provinces:

- *Ionic corridor: it runs along the ionic coastline and is bordered by the province of Messina on the north and by the province of Siracusa on the south. It is affected by the commuting flows of the metropolitan area of Catania (to and from south-Etna), by the traffic surrounding the volcano Etna from Catania to Riposto through Misterbianco, Paternò, Adrano, Bronte, Randazzo e Linguaglossa; also the flows between Messina and Siracusa is part of the Ionic corridor traffic;*
- *East-West corridor: it provides access with the central and west area of Sicily; it is mainly characterized by relevant flows between Catania and Palermo;*
- *North-South corridor: it serves the relations between Catania and the territorial area of Caltagirone, from the Ionian Sea to the provinces of Ragusa and Caltanissetta.*

OSSERVATORIO

urbane di significativa grandezza (Misterbianco, Acireale, Paternò ma anche Giarre e Adrano) caratterizzate da uno stretto rapporto di scambio di flussi giornalieri con il capoluogo etneo, rapporto che diviene quasi simbiotico con riferimento ai paesi della prima fascia pedemontana.

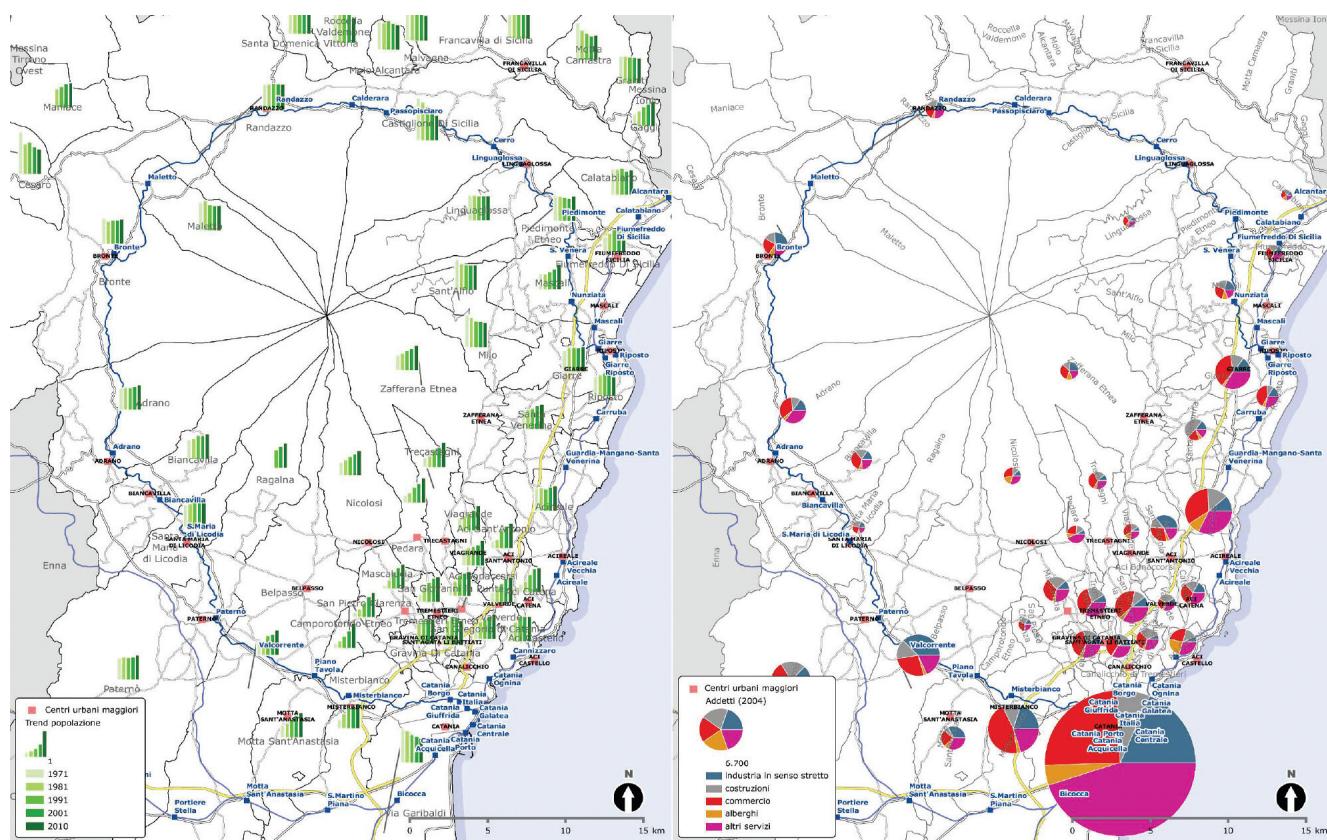
L'evoluzione demografica che ha caratterizzato lo sviluppo del territorio in analisi negli ultimi cinquant'anni (fig. 2 sinistra) evidenzia questo sistema di depolarizzazione che caratterizza ormai da tempo la provincia etnea, con una decrescita in termini di popolazione residente (e popolazione attiva) del capoluogo bilanciata da un aumento di tale indicatore demografico nei comuni limitrofi. Purtroppo questa redistribuzione nel territorio della popolazione residente non è stata supportata da un'adeguata pianificazione dei poli attrattori socio-economici ed il conseguente riequilibrio di attrezzature, attività e servizi che sono rimasti concentrati a Catania, così come è possibile evincere dalla distribuzione del numero di addetti (fig. 2 destra): è possibile pensare che la maggior parte di coloro che negli ultimi dieci anni si sono trasferiti nei comuni limitrofi continuano a svolgere la propria attività giornaliera nella città capoluogo, contribuendo ad intasare ulteriormente, durante l'ora di punta, il sistema viario del territorio.

The railway network of Sicily has significant lacks of the infrastructure and of the transit service as well. The deficiencies of the infrastructure network are present along the Tyrrhenian and Ionian lines and also in the lines of regional interest (for example, only just over 50% of the network is electrified Sicilian, against 63% of the national figure). The lack of capacity is the main cause of the high saturation of the line Catania-Messina along the eastern coastline.

As in the case of the road network, the most relevant railway axes run along the three corridors above mentioned.

In particular, along the Ionian corridor the electrified railway line Messina-Siracusa is double track except for the sections Giampileri-Fiumefreddo, Catania Ognina-Catania C.le, Catania Zurria-Catania Acquicella, Catania Bicocca-Targia. It is part of the primary national rail network, both for passenger and freight traffic, and partly used for regional and local traffic too.

We must highlight that today the role of rail transport is secondary to that of road, as evidenced by some data on the traffic of the Messina-Catania: the average daily traffic (passengers getting on and off) of the central station of Catania is about 4,000 passengers only; the daily traffic in



(Fonte: elaborazione su dati ISTAT - Source: elaboration from data by ISTAT)

Fig. 2 - Variazioni negli anni della popolazione residente (sinistra) e rappresentazione del numero di addetti per settore (destra).
Fig. 2 - Evolution of resident population (left) and mapping of employees by sector (right).

OSSERVATORIO

Il ruolo nodale svolto dal capoluogo etneo nel sistema dei trasporti è facilmente evidenziabile anche quando si analizza la diretta connessione tra il territorio e la distribuzione spaziale degli spostamenti dall'interno di esso. In particolare l'attuale assetto infrastrutturale (fig. 1) si sviluppa in maniera radiale rispetto al capoluogo secondo alcune specifiche direttrici principali di mobilità terrestre che garantiscono il collegamento tra i tre differenti comparti territoriali in cui viene tradizionalmente ripartito l'intero territorio della Provincia Regionale di Catania (area metropolitana di Catania, area pedemontana-ionica, area del calatino), nonché l'interazione con le altre province siciliane:

- direttrice ionica: si sviluppa soprattutto lungo il litorale ionico ed è delimitata a nord e a sud, rispettivamente, dai territori provinciali di Messina e Siracusa. Interagisce con essa, trasversalmente, la mobilità pendolare dell'area metropolitana catanese (da e per la zona Etna-sud); perietnea, attorno al vulcano Etna, da Catania a Riposto per Misterbianco, Paternò, Adrano, Bronte, Randazzo, Linguaglossa; oltre alla mobilità verso il capoluogo etneo è rilevante quella di collegamento col messinese e col siracusano;
- direttrice est-ovest: garantisce il collegamento con il centro e la parte occidentale dell'isola, caratterizzata dalla forte attrazione esercitata da Catania e da Palermo;
- direttrice nord-est/sud-ovest: garantisce il collegamento tra il capoluogo e l'area del calatino, che va dal mar Jonio alle province di Ragusa e Caltanissetta.

Importante contributo all'armatura infrastrutturale del territorio dovrebbe essere attribuito alla rete ferroviaria, che tuttavia presenta attualmente notevoli carenze nell'offerta del servizio. Le carenze della rete infrastrutturale ferroviaria si rilevano sia lungo le due dorsali tirrenica e ionica sia nelle linee di interesse regionale (ad esempio soltanto poco più del 50% della rete siciliana è elettrificata, contro il 63% circa del dato nazionale). In particolare, le maggiori criticità dell'offerta attuale sono rappresentate dalla saturazione sulla direttrice Est siciliana nel tronco Catania-Messina.

Come nel caso dei principali assi stradali, anche in ambito ferroviario le più rilevanti infrastrutture sono disposte lungo le direttrici sopra specificate. In particolare, in corrispondenza della direttrice ionica, è presente la ferrovia Messina-Siracusa. Tale infrastruttura è interamente elettrificata presentando lunghi tratti a doppio binario, ad eccezione dei segmenti Giampilieri-Fiumefreddo, Catania Ognina-Catania C.le (lavori in corso), Catania Zurria-Catania Acquicella, Catania Bicocca-Targia (quasi l'intero collegamento con Siracusa). La tratta ferroviaria in questione fa parte delle linee "commerciali" di valenza nazionale della RFI ed è utilizzata sia per il trasporto di merci (lo scalo di Bicocca è tra i più importanti per i trasferimenti "a treno completo"), sia per il trasporto passeggeri di lunga percorrenza (per il resto

the line is 80 trains, 20 long-distance, 30 regional-local, 30 goods, quite below the line potentiality; commuting trips towards the centre and with origins outside the city of Catania occur in 86% of cases by private car and only in 2% of cases by train

This line continues from Syracuse to Gela, on single-track and non-electrified.

3. Analysis of the impact on traffic

3.1. Building of the multimodal network model

The analysis is divided into two parts: the first concerns the reconstruction of the present situation of the transport system, in terms of mobility demand for different modes of transport and transport supply (infrastructures and services), and the parallel building and calibration of the network model; the second consists in the comparative analysis, carried out thanks to the model developed, of the different design alternatives (infrastructural and/or operational).

The model of analysis was built to allow the estimation of all the indicators necessary for economic and financial analyses. Therefore, it results to be sensitive to the variations of the 'critical' variables, in order to support the subsequent sensitivity and risk analyses. In particular, the model consists of the following elements:

- multimodal network graph, composed of the primary, principal and secondary road network of the study area, FCE and RFI railway network and related rail services, FCE bus network and others operating in the area;
- schematization of the transport demand made through origin-destination matrixes that are consistent with the adopted zoning;
- assignment procedures of the private transport demand (based on Deterministic User Equilibrium) to the road network and of the public transport demand (timetable-based assignment algorithm) to the network of road and rail services;
- calibration procedure based on present demand, reconstructed from the available data specifically integrated with field surveys;
- procedure for the estimation of future transport demand through projections of historical data in terms of inhabitants and socio-economic data;
- modal switching model, capable of estimating the modal distribution on the basis of a generalized cost function sensitive to the design variables (commercial speed of lines, frequency of services, travel times on roads, fares and their integration, availability of modal interchange infrastructures).

The zoning was done in order to make the analysis approximations acceptable, based on the municipal areas which data are available in aggregate form. A major zone detail was adopted within the city of Catania, divided into 50 urban areas. On the other hand, a municipal zoning was

OSSERVATORIO

d'Italia) e, in minima parte, per collegamenti in ambito locale-regionale.

Bisogna evidenziare come ad oggi il ruolo del trasporto su ferro sia secondario rispetto a quello su gomma, così come evidenziato da alcuni dati sull'utilizzo della tratta Messina-Catania: la frequentazione giornaliera media (passeggeri saliti e discesi) della stazione di Catania centrale è pari a circa solo 4.000 unità; i treni instradati giornalmente nel tratto sono circa 20 di lunga percorrenza, 30 regionali-locali, 30 merci ben al di sotto delle una potenzialità della tratta; gli spostamenti per motivi di lavoro verso il capoluogo e con origine all'esterno dell'area comunale di Catania avvengono nell'86% dei casi con auto privata e solo nel 2% dei casi col treno (Rif.: Schema di massima del Piano territoriale provinciale di Catania). Tale linea prosegue da Siracusa fino a Gela, su singolo binario e linea non elettrificata.

A completamento di tale analisi occorre introdurre la linea RFI, oggi dismessa, da Alcantara a Randazzo, la rivitalizzazione della quale può essere un importante strumento di sviluppo territoriale.

3. L'analisi dell'impatto sul traffico

3.1. Costruzione del modello di rete multimodale

L'analisi è suddivisa in due parti: la prima attiene alla ricostruzione dello stato dell'attuale sistema dei trasporti, in termini di domanda di mobilità per le diverse modalità di trasporto e di offerta di trasporto (infrastrutture e servizi), e la parallela costruzione e calibrazione del modello di funzionamento del sistema; la seconda consiste nell'analisi comparativa, condotta grazie al modello messo a punto, delle diverse alternative di progetto (infrastrutturale e/o di esercizio).

Il modello di analisi è stato costruito in modo da consentire la stima di tutti gli indicatori necessari alle analisi economiche e finanziarie. Esso presenta, dunque, caratteristiche tali da essere sensibile alle variazioni delle variabili "critiche", in modo da essere di supporto alle successive analisi di sensibilità e rischio. In particolare, il modello è composto dei seguenti elementi:

- grafo di rete multimodale composto dalla rete viaria primaria, principale e secondaria dell'area di studio, dalla rete ferroviaria FCE ed RFI e dai relativi servizi ferroviari, dalla rete di autolinee FCE e degli altri operatori dell'area;
- schematizzazione della domanda di trasporto effettuata tramite matrici origine-destinazione coerenti con la zonizzazione adottata;
- procedure di assegnazione della domanda di trasporto privato (basata sul Deterministic User Equilibrium) alla rete viaria e della domanda di trasporto pubblico (basata sull'algoritmo di assegnazione ad orari) alla rete dei servizi su gomma e ferro;

adopted within the Province of Catania, and it was even less detailed for the outside areas. Each zone was assigned a number which coincides with the centroid that represents it.

In particular, the identified study area is composed of the following types of zones, illustrated in fig. 3:

- *municipalities within the study area, marked by the codes 870xx (for those that are part of the Metropolitan Area and the 'Pedemontana-Ionica' Area of the Province of Catania) and 830xx (some municipalities in the Province of Messina adjacent to the northern boundary of the Province of Catania) and represented in white;*
- *intra-municipality areas for the main city territory (in addition to the suburb 'Canalicchio di Tremestieri Etneo'), marked by the numbers 871xx and substantially coincident with the zoning of the General Urban Traffic Plan of Catania; these areas are shown in green;*
- *outside areas resulting from the aggregation of several municipalities or entire provinces, in grey.*

The following table 1 shows the coding criteria used for the entire zoning.

3.1.1. The supply model

From the analysis of the set of road links and intersection nodes, which constitute the infrastructures serving the study area, a selection of the considered elements was made until a basic network, compatible with the level of detail of the zoning adopted, was obtained. In particular, the following tables 2 and 3 show the coding criteria used respectively for road links and intersection nodes.

The access from the network to the traffic areas is made through the connections, which are represented by fictitious links that do not have any correspondence with real elements of the network. The connections represented in the graph correspond to the coding criteria in the following table 4.

The set of existing links and nodes defines the network graph of the present situation as shown in fig. 4. The figure shows the following information:

- *traffic zones, bounded by a pink perimeter and identified by a code;*
- *road and rail links (in black) with the route of the Circumetnea railway highlighted (thicker lines);*
- *connections between the traffic zones and the network nodes (red dashed line);*
- *the road nodes (small black circle);*
- *the stopping points of transit services (green circle).*

The stopping points of transit services and the road and rail transit lines for all the companies operating in the area were identified on this network, of course including Ferrovie Circumetnea.

For each line (service) one or more paths (typically round-trip) were defined and the actual timetables were assigned specifying the travel times of the transport service, to

OSSERVATORIO

- procedura di calibrazione basata sulla domanda attuale, ricostruita in base ai dati disponibili appositamente integrati con rilievi sul campo;
- procedura di stima della domanda di trasporto futuro mediante proiezione dei dati storici in termini di popolazione residente e dati socioeconomici;
- modello di switching modale in grado di stimare la ripartizione modale sulla base di una funzione di costo generalizzato sensibile alle variabili di progetto (velocità commerciale delle linee, frequenza dei servizi, tempi di percorrenza sulle strade, tariffe e loro integrazione, disponibilità di strutture per l'interscambio modale).

La suddivisione in zone è stata fatta in modo da rendere accettabile le approssimazioni dell'analisi, rifacendosi alle aree territoriali comunali per le quali sono disponibili dati in forma aggregata. Si è adottato un dettaglio delle zone maggiore all'interno della città di Catania, suddivisa in 50 zone urbane. È stata invece adottata una zonizzazione comunale all'interno della Provincia di Catania, e di dettaglio ancora minore per le aree esterne. Ad ogni zona è stato attribuito un numero coincidente con quello del centroide che la rappresenta.

In particolare, l'area di studio individuata è composta dalle seguenti tipologie di zone, illustrate in fig. 3:

- comuni interni all'area di studio, contrassegnati dai codici 870xx (per quelli che fanno capo all'Area Metropolitana ed all'Area Pedemontana-Ionica della Provincia di Catania) e 830xx (alcuni comuni della Provincia di Messina contigui al confine Nord della Provincia di Catania) e rappresentati in bianco;
- zone intracomunali per il territorio del comune capoluogo (oltre alla frazione Canalicchio di Tremestieri Etneo), contrassegnate dai numeri 871xx e sostanzialmente coincidenti con la zonizzazione del Piano Generale del Traffico Urbano di Catania; tali zone sono rappresentate in verde;
- zone esterne risultanti dall'aggregazione di più comuni o da intere province, rappresentate in grigio.

Nella tabella 1 si riportano i criteri di codifica utilizzati per l'intera zonizzazione.

3.1.1. Il modello di offerta

Dall'analisi dell'insieme degli archi stradali e dei nodi intersezione che costituiscono le infrastrutture a servizio dell'area di studio si è operata una selezione degli elementi considerati sino ad ottenere una rete di base compatibile con il livello di dettaglio della zonizzazione adottata. In particolare, nelle tabelle 2 e 3 si riportano i criteri di codifica utilizzati rispettivamente per gli archi stradali e per i nodi intersezione.

L'accesso dalla rete alle zone di traffico avviene attraverso le connessioni, che sono rappresentate da archi fittizi e non hanno alcuna corrispondenza con elementi rea-

TABELLA 1 – TABLE 1

Tipi di zone
Types of zones

Tipo di zona <i>Type of zone</i>	Descrizione <i>Description</i>
1	Zona interna al comune di Catania <i>Zone inside the municipality of Catania</i>
2	Zona interna all'area di studio <i>Zone inside the study area</i>
3	Zona esterna all'area di studio <i>Zone outside the study area</i>

TABELLA 2 – TABLE 2

Tipi di arco
Types of links

Tipo di arco <i>Type of link</i>	Descrizione <i>Description</i>
2	Ferrovie elettrificate a doppio binario <i>Electrified double track railways</i>
4	Ferrovie elettrificate a singolo binario <i>Electrified single track railways</i>
6	Linea ferroviaria FCE <i>FCE railway line</i>
8	Linea metropolitana FCE <i>FCE metro line</i>
10-18	Autostrade <i>Motorways</i>
30-39	Extraurbane principali <i>Major Highways</i>
40-49	Extraurbane secondarie <i>Minor Highways</i>
50-59	Urbane di scorrimento <i>Urban expressways</i>
60-69	Urbane di quartiere <i>Inter-neighbourhood streets</i>
70-74	Urbane locali <i>Local streets</i>
79	Arco pedonale <i>Pedestrian link</i>
80-85	Rampe autostradali <i>Motorway ramps</i>

TABELLA 3 – TABLE 3

Tipi di nodo
Types of nodes

Tipo di nodo <i>Type of node</i>	Descrizione <i>Description</i>
0	Generico stradale <i>Road generic</i>
4	Stazione RFI <i>RFI station</i>
5	Stazione FCE <i>FCE station</i>

OSSERVATORIO

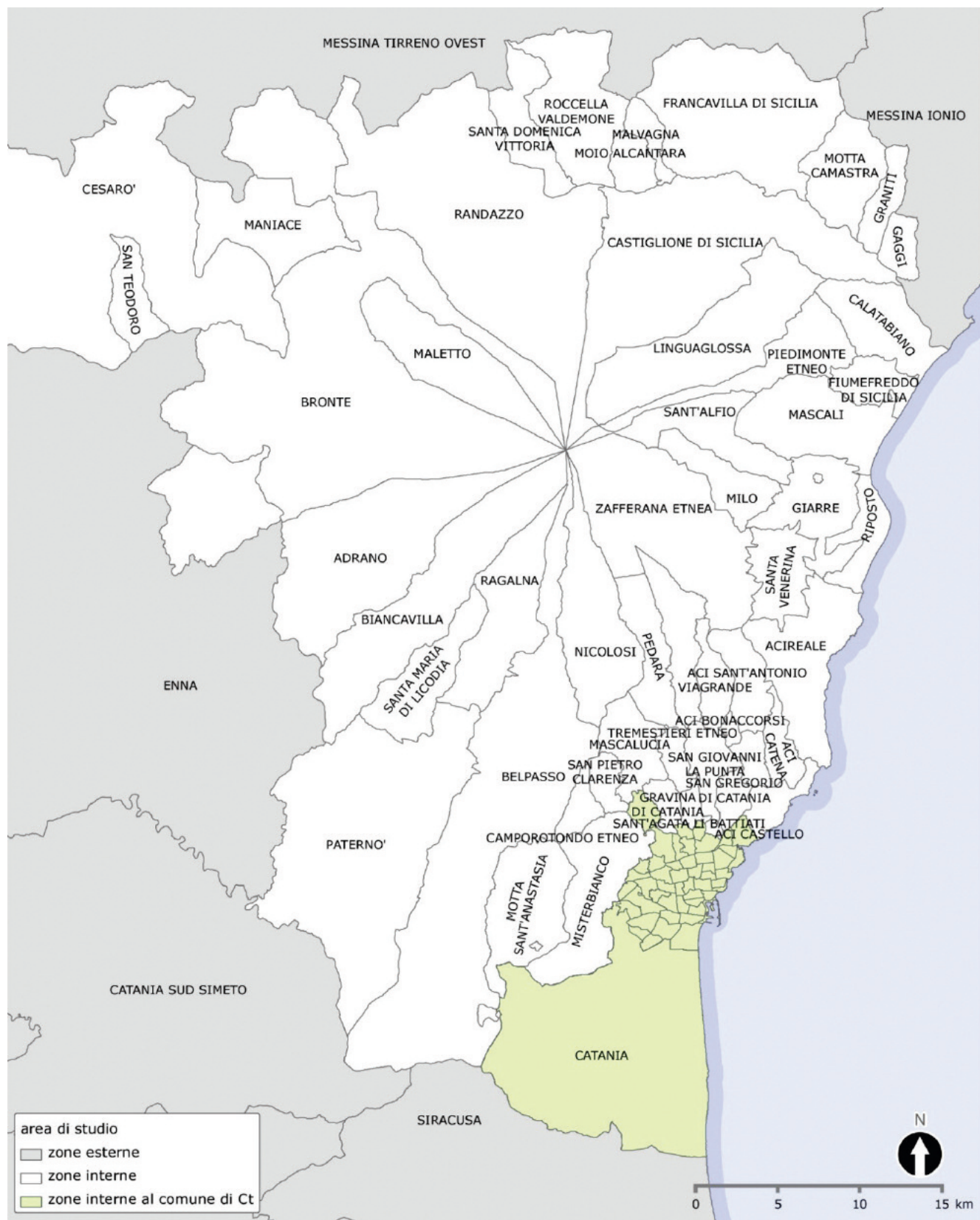


Fig. 3 – Area di studio e zonizzazione.
Fig. 3 - Study area and zoning.

OSSERVATORIO

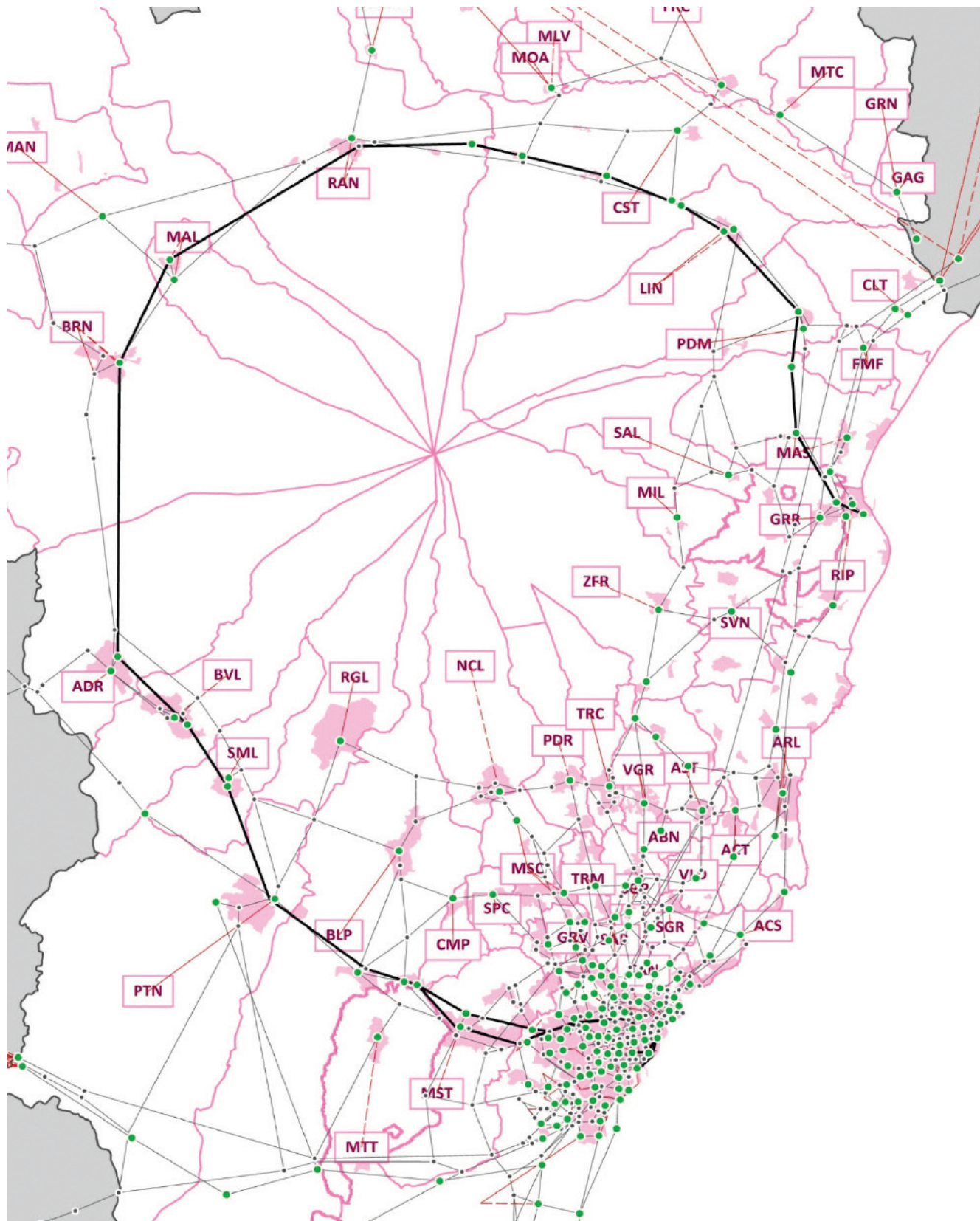


Fig. 4 - Grafo di rete multimodale dell'area di studio.
Fig. 4 - Multimodal network graph of the study area.

OSSERVATORIO

3.1.2. La domanda di trasporto

Nel caso del territorio in esame, che in buona parte presenta una connotazione di tipo metropolitano, con una schematizzazione di dettaglio dell'area urbana catanese, per la domanda di trasporto si è scelto un ambito temporale di riferimento coincidente con l'ora di punta del giorno feriale e scolastico medio. Il motivo di questa scelta è legato alla necessità di tenere conto dei gravi fenomeni di congestione di buona parte della rete stradale che si verificano solo in corrispondenza del periodo di punta, identificato nell'intervallo dalle 7:30 alle 8:30, e che possono condizionare in maniera rilevante le scelte di spostamento dell'utenza.

Le matrici O/D di prima stima, successivamente calibrate secondo la procedura descritta nel seguito, sono state ricavate incrociando essenzialmente due fonti di dati: spostamenti dei pendolari relativi all'ultimo censimento ISTAT (2001); dati di domanda ottenuti come rielaborazione delle matrici O/D del PGU di Catania. Si è dunque pervenuti alla costruzione delle due matrici di domanda di prima stima:

- la matrice O/D del trasporto privato (autovetture), che contempla circa 120.000 spostamenti interzonalari nell'ora di punta, corrispondenti a quasi 157.000 persone;
- la matrice O/D del trasporto pubblico (tutte le modalità di trasporto), con un totale di quasi 39.000 spostamenti (passeggeri) nello stesso intervallo.

Ai fini della ricostruzione della domanda di trasporto attuale e della conseguente calibrazione del modello di rete multimodale dei trasporti, tale informazione è stata integrata sia mediante i dati disponibili presso gli enti il cui territorio o infrastruttura è direttamente interessato dalla presente analisi, sia mediante rilievi condotti sul campo:

- conteggi di traffico veicolare su alcune sezioni lungo le principali direttrici (SS284 e SS121);
- conteggi di traffico veicolare effettuati nell'ambito del Piano della Mobilità e Sicurezza (PMS) di Bronte;
- conteggi di traffico veicolare effettuati nell'ambito dello Studio di Fattibilità relativo all'ammodernamento della SS120;
- dati di traffico lungo l'Autostrada A18 provenienti dal Consorzio Autostrade Siciliane;
- serie storica di dati di vendita di titoli di viaggio FCE su ferrovia e autoservizi per origine/destinazione e/o per fasce chilometriche (fig. 6).

and that can significantly influence the travel choices of the users.

The first estimate O/D matrices, then calibrated as described below, were obtained by crossing two main data sources: commuting trips from the last ISTAT (2001) census; demand data obtained as a re-elaboration of the Catania PGU O/D matrices. Therefore, the two first estimate demand matrices were built:

- the O/D matrix of private transport (cars), which covers about 120,000 interzonal trips during peak hour, corresponding to nearly 157,000 people;
- the O/D matrix of public transport (all modes of transport), with a total of nearly 39,000 trips (passengers) in the same range.

In order to reconstruct the present transport demand and subsequently calibrate the multimodal transport network model, such information was integrated both by the available data from entities whose area or infrastructure is directly affected by this analysis, both through the field surveys made:

- counts of vehicular traffic on some sections along the main routes (SS284 and SS121);



Rilievi SS 284 - maggio 2011

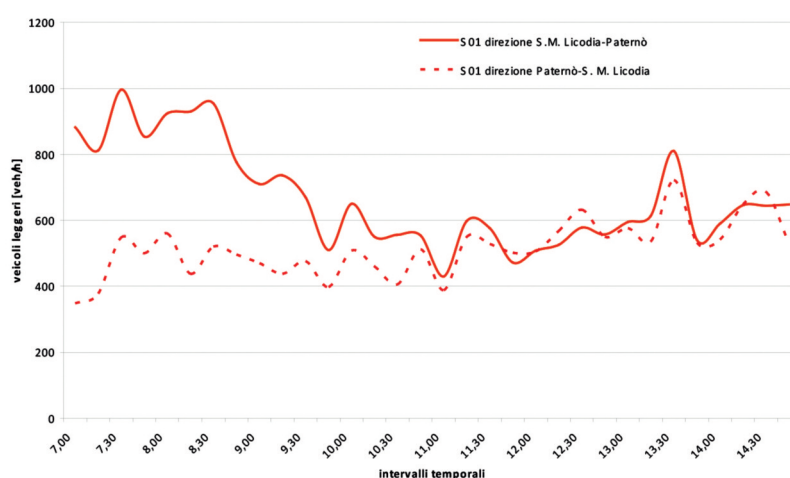


Fig. 6 - Esempio di sezione di conteggio del traffico veicolare.
Fig. 6 - Example of vehicular traffic count section.

OSSERVATORIO

Tali dati sono stati ulteriormente integrati con rilievi condotti dalle 7.00 alle 15.00 nei giorni 17, 18 e 19 maggio 2011, effettuati utilizzando schede simili a quella riportata nella fig. 7. I rilievi in questione, come già specificato, sono stati effettuati presso le principali fermate servite dalle autolinee FCE: Misterbianco, Paternò, Adrano, Randazzo, Linguaglossa, Giarre.

Inoltre, per la calibrazione del modello di switching modale, sono state utilizzate delle interviste condotte appositamente presso un campione della popolazione dell'area di studio, del quale sono state registrate le abitudini di mobilità attuali (*Revealed Preferences*) e la propensione alla diversione modale in presenza di scenari ipotetici (*Stated Preferences*).

Il campione intervistato consta di 1300 utenti, su di un totale di circa 11.600 spostamenti. I dati raccolti nelle interviste effettuate sono stati incrociati, isolati e rielaborati al fine di ottenere informazioni significative e rappresentative dell'utenza, in termini di comportamento in relazione all'attuale preferenza modale nella scelta del trasporto, per propensione al passaggio a trasporto pubblico locale e di criticità nella scelta dello stesso.

A titolo esemplificativo, in fig. 8 si riporta la distribuzione percentuale dei motivi di mancato utilizzo del trasporto pubblico rispetto alle diverse possibili risposte; dal diagramma emerge che la componente del campione d'indagine non in grado di spiegare il motivo del mancato utilizzo del TPL è quella più rilevante (circa il 29% del totale) a dimostrazione di una certa ritrosia preconcepita tale da escludere a priori l'utilizzo di mezzi di trasporto alternativi al mezzo privato. Tra i fattori di criticità espliciti quello che appare più rilevante è senza dubbio l'inaffidabilità del servizio (in termini di puntualità

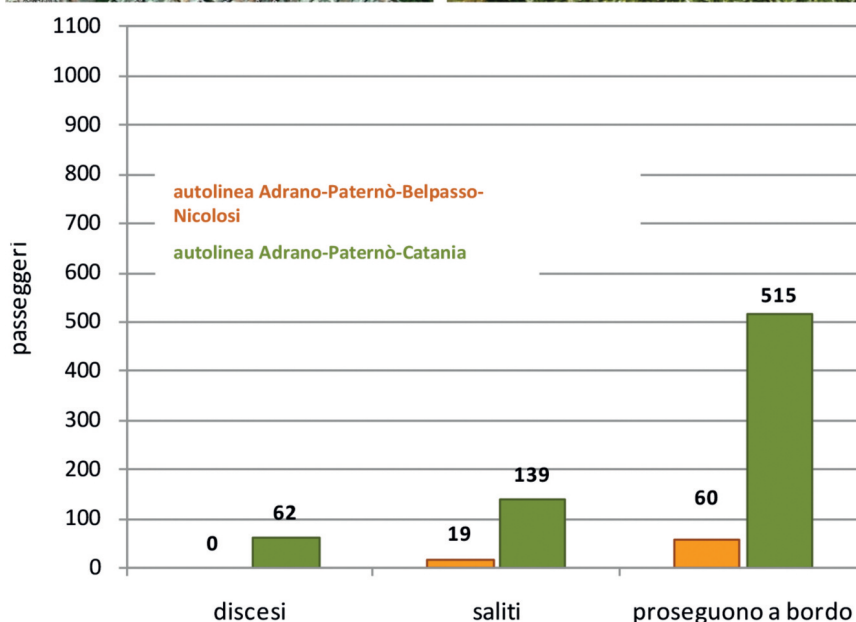
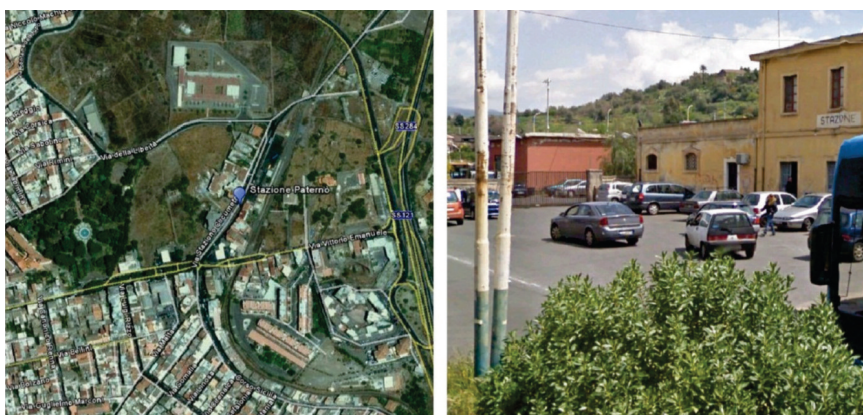


Fig. 7 - Esempio di fermata di conteggio dei passeggeri saliti/discesi (Paternò).

Fig. 7 - Example of count of boarding/alighting passengers (Paternò).

- counts of vehicular traffic carried out as part of Bronte Mobility and Safety Plan (PMS);
- counts of vehicular traffic carried out as part of the feasibility study on the modernization of the SS120;
- traffic data along the A18 motorway from the Sicilian Motorways Consortium;

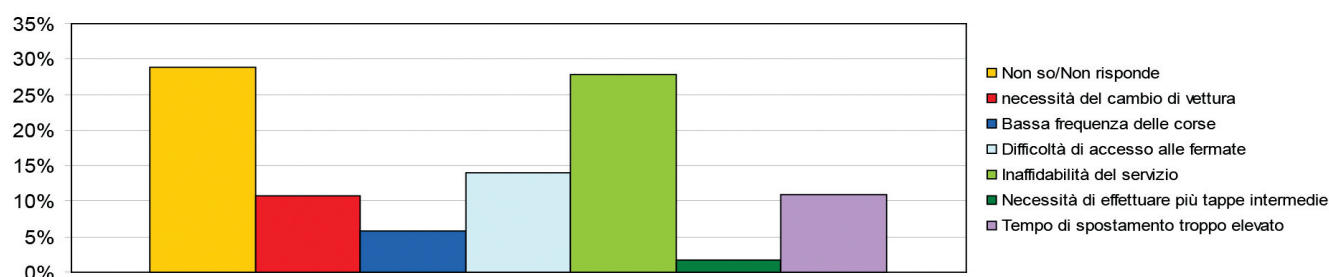


Fig. 8 - Distribuzione percentuale delle principali criticità nel mancato utilizzo del TPL.

Fig. 8 - Percent distribution of main reasons for not using public transport.

OSSERVATORIO

delle corse) per il quale quasi il 28% del campione dichiara di non trovare appetibile l'uso del TPL. Percentuali meno rilevanti del campione e sostanzialmente uguali tra loro (poco più del 10%) trovano invece nel tempo di percorrenza del tragitto e nella necessità di cambiare più vetture un fattore determinante nel mancato utilizzo del TPL, così come solo il 14% degli intervistati trova nella difficoltà di accesso alle fermate un elemento di criticità. Significativo appare il fatto che solo un'esigua minoranza del campione, poco meno del 6%, indica nella frequenza delle corse un fattore critico di scelta, mentre è pressoché irrilevante la quantità di intervistati che non utilizza il TPL a causa della necessità di dover effettuare più soste (cioè più destinazioni) nell'ambito dello stesso spostamento.

Nella seconda sezione sono stati invece prospettati al campione d'indagine tre ipotetici scenari di riassetto dell'offerta di trasporto pubblico locale al fine di valutare l'eventuale propensione allo scambio modale e il differente grado di appetibilità delle tre soluzioni proposte. La fig. 9 raccoglie tali informazioni relative alla propensione del campione intervistato allo scambio modale da trasporto privato a trasporto pubblico locale: emerge come circa il 55% del campione intervistato si dichiara disponibile all'utilizzo del TPL nell'ipotesi in cui il mezzo di trasporto pubblico impiegasse per il tragitto il medesimo tempo che attualmente impiega l'utente col proprio mezzo e che il tempo medio d'attesa alla fermata più vicina fosse non superiore a 5 minuti (scenario 1). Una percentuale ben più consistente del campione degli intervistati (circa il 75%) si dichiara invece disponibile all'utilizzo del TPL nelle stesse ipotesi predette ma con una fermata del mezzo nelle immediate vicinanze della propria abitazione (scenario 2), La medesima percentuale del campione, infine, è disponibile all'utilizzo del TPL nell'ipotesi in cui venga allestito un parcheggio scambiatore (ubicato in zone nevralgiche e facilmente accessibili a secondo del singolo bacino d'indagine) che consenta all'utenza di effettuare lo scambio da TPR a TPL e che il mezzo di trasporto pubblico possa impiegare, nel percorrere il tragitto dello spostamento, un tempo pari alla metà di quello attualmente impiegato col mezzo di trasporto privato (scenario 3); a dimostrazione che la riduzione di utilità percepita dall'utente per raggiungere col proprio mezzo l'accesso al TPL (rispetto all'ipotesi più favorevole di fermata in prossimità della propria abitazione) può essere compensata dal pari incre-

- *time series data of sales of FCE tickets for travels by rail and bus services for origin/destination and/or distance range (fig. 6).*

These data were further integrated with surveys carried out from 7.00 to 15.00 on 17th, 18th and 19th May 2011, made using cards similar to the one shown in fig. 7. These surveys, as already stated, were carried out at the main stops served by the FCE bus lines: Misterbianco, Paternò, Adrano, Randazzo, Linguaglossa, Giarre.

Moreover, for the calibration of the switching modal model, interviews carried out specifically on a population sample of the study area have been used, with records of the present travel habits (Revealed Preferences) and the tendency to modal diversion in presence of hypothetical scenarios (Stated Preferences).

The sample consists of 1,300 users, out of a total of about 11,600 trips. The data collected in the interviews were crossed, isolated and processed in order to obtain meaningful and user representing information, in terms of behaviour in relation to the present modal preference of the transport choice, tendency to shift to local public transport and critical issues of this choice.

As an example, fig. 8 shows the percent distribution of the reasons for non-use of public transport compared to the various possible answers; the diagram shows that the component of the survey sample that is not able to explain the reason for the non-use of the public transport is the most significant (about 29% of the total), demonstrating a certain pre-conceived reluctance so as to exclude a priori the use of modes of transport alternative to private car. Among the explicit critical factors, what seems most important is undoubtedly the unreliability of the service (in terms of punctuality of routes), so that almost 28% of respondents say they do not find attractive the use of public transport. Less relevant sample percentages and substantially equal to each other (just over 10%), instead, found travel time and the need to change more vehicles to be determining factors in the failure to use the public transport, as well as only 14% of respondents found the difficulty of access to bus stops to be a critical element. What is significant is the fact that only a small minority of the sample, just under 6%, indicates the frequency of service as a critical factor of choice, while the amount of respondents not using public transport because of the need to have multiple stops (i.e. multiple destinations) within the same travel is almost irrelevant.

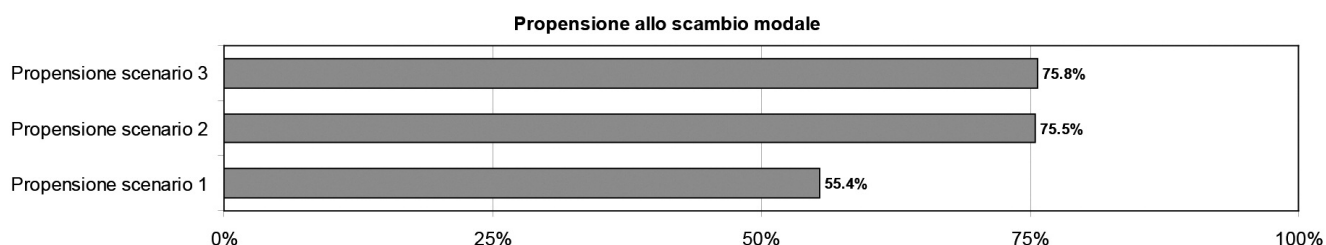


Fig. 9 - Propensione allo scambio modale del campione d'indagine (1300 utenti di alcuni comuni dell'area di studio, su di un totale di circa 11.600 spostamenti).

Fig. 9 - Tendency to modal shift in the survey sample (1,300 users out of a total of about 11,600 trips).

OSSERVATORIO

mento di appetibilità del TPL dovuto ad una ridotta durata del tragitto verso il luogo di destinazione finale.

La simulazione dell'interazione tra la domanda e l'offerta per il traffico privato è stata effettuata mediante un modello di assegnazione basato sulla procedura DUE (Deterministic User Equilibrium). Il modello è stato calibrato secondo la procedura elaborata da [13] a partire dai dati di traffico acquisiti e rilevati. I risultati della calibrazione del modello di rete sono sinteticamente rappresentati in fig. 10. Il grafico "scattergram" mostra una buona corrispondenza tra l'attributo del modello (il volume di traffico stimato) e il valore osservato (il volume di traffico rilevato). Si registra un elevato valore di R^2 , pari a 0,93.

3.2. Analisi e proiezione della domanda di trasporto

Lo scopo di questo paragrafo è quello di descrivere i metodi utilizzati per incorporare, nell'andamento della domanda durante la vita utile della linea, i tassi di variazione indotti dalle modificazioni nelle variabili demografiche e socioeconomiche del territorio. A tal fine si è fatto riferimento ad un approccio classico per la stima della domanda di trasporto mediante modelli matematici, che utilizza un modello a quattro stadi del tipo:

$$d_{od}(s,m,k)=d_o(s) \cdot p(d/os) \cdot p(m/ods) \cdot p(k/mods)$$

essendo:

- $d_o(s)$: il sottomodello di emissione che simula la scelta di effettuare o meno lo spostamento per il motivo s ;
- $p(d/os)$: il sottomodello di distribuzione che simula la scelta di recarsi alla destinazione d , avendo origine in o e motivo dello spostamento s ;
- $p(m/ods)$: il sottomodello di scelta modale che simula

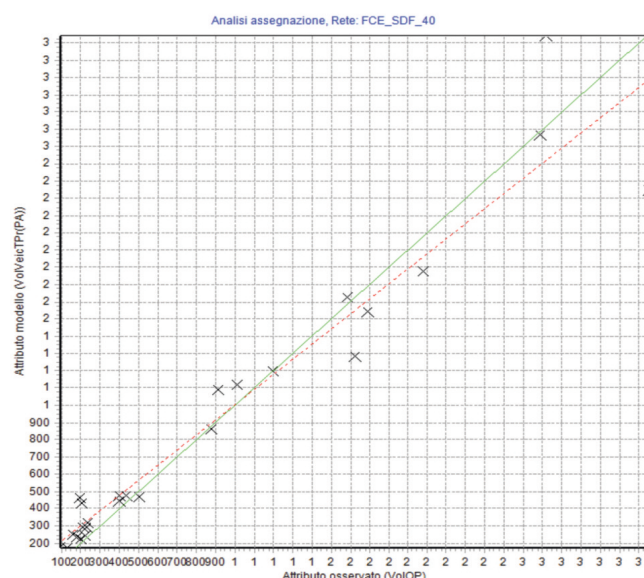


Fig. 10 - Risultati della calibrazione e aggiornamento della matrice O/D.

Fig. 10 - Results of O/D matrices calibration and updating.

In the second section, instead, three hypothetical scenarios of reorganization of the public transport supply were projected to the sample survey in order to evaluate the potential tendency to modal shift and the different degree of attractiveness of the three proposed solutions. Fig. 9 collects such information related to the propensity of respondents to the modal shift from private transport to public transport: it emerges that approximately 55% of the sample is willing to use public transport assuming that it would take the same travel time by public transport as the one the users currently experience with their own cars, and that the average waiting time at the nearest stop would not be more than 5 minutes (scenario 1). On the contrary, a much larger percentage of respondents (about 75%) are willing to use public transport in the same abovementioned hypotheses but with a vehicle stop in the immediate proximity of their house (scenario 2). Finally, the same sample percentage is willing to use public transport assuming that an exchange parking would be set up (located in hotspots, easily accessible according to the single survey area) allowing users to shift from private transport to public transport, and assuming that the public transport would spend, making the route, a time equal to half of that currently experienced with private transport (scenario 3); this demonstrates that the reduction of the user perceived utility because of the access to public transport by their own car (compared to the more favourable hypothesis to have a stop near their house) can be compensated by an equivalent increase in the attractiveness of public transport due to a reduced travel time to the final destination.

The simulation of the interaction between private traffic demand and supply was performed by an assignment model based on DUE (Deterministic User Equilibrium) procedure. The model was calibrated according to the procedure developed by [13] starting from the collected and recorded traffic data. The results of the network model calibration are briefly shown in fig. 10. The scattergram graph shows a good match between the model attribute (the estimated traffic volume) and the observed value (the amount of traffic detected). There is a high value of R^2 , equal to 0.93.

3.2. Analysis and projection of the transport demand

The aim of this section is to describe the methods used to incorporate the variation rates induced by changes of territorial demographic and socio-economic variables, in the evolution of demand during the service life of the line. To this effect, a classical approach was referred to, to estimate the transport demand through mathematical models, using a four-stage model like this:

$$d_{od}(s,m,k)=d_o(s) \cdot p(d/os) \cdot p(m/ods) \cdot p(k/mods)$$

with:

- $d_o(s)$: the trip emission sub-model that simulates the choice to perform or not perform the displacement for the reason s ;
- $p(d/os)$: the trip distribution sub-model that simulates the choice to go to the destination d , with the origin o for the reason s ;

OSSERVATORIO

la scelta del mezzo m da utilizzare per spostarsi da o a d per il motivo s ;

- $p(k/mods)$: il sottomodello di scelta che del percorso simula la scelta del percorso k da usare per spostarsi da o a d per il motivo s con il modo m .

Il modello di emissione più utilizzato è del tipo *indice per categoria*, dove la categoria è quella cui appartiene il potenziale utente del sistema di trasporto che si suppone sia costituita da utenti i cui comportamenti sono omogenei rispetto al motivo considerato.

Per implementare il modello si suddivide la popolazione residente nell'area di studio in "categorie omogenee", cioè in gruppi costituiti da soggetti con mobilità simile si individua un parametro, $n_o(c)$, che misura la dimensione di questi gruppi (numero di residenti, di attivi, di studenti, di famiglie, nell'accezione data a questi termini dall'ISTAT); si misura il valore $n_o(c)$ che, nella zona di origine o e con riferimento alla categoria c , assume il parametro scelto; si stima il numero di spostamenti $m_c(s)$ effettuato dai soggetti di categoria c , per ogni categoria, per il motivo s nell'intervallo di tempo considerato.

La domanda totale emessa per zona viene quindi calcolata come:

$$d_o(s) = \sum_c n_o(c) \cdot m_c(s)$$

In effetti una buona proiezione dell'andamento demografico nel tempo può essere utilizzata per misurare la variazione del parametro $n_o(c)$ nel tempo, cioè la dimensione dei gruppi di persone che producono gli spostamenti, mentre il tasso di variazione annuale del PIL può costituire un indicatore significativo dell'attitudine di tali individui a compiere spostamenti, cioè per misurare la variazione del parametro $m_c(s)$. È stata dunque condotta un'analisi di trend della variazione demografica e del PIL durante il periodo di vita dell'opera.

Il numero di abitanti di una data realtà insediativa è legato ad una molteplicità di fattori la cui previsione diventa sempre più incerta al crescere della distanza temporale di proiezione. Per aumentare l'attendibilità delle stime si è proceduto mediante l'adozione di diversi metodi di analisi probabilistica, sia nel breve periodo, sia nel lungo periodo, mediando infine i risultati ottenuti, per ottenere valori più vicini alla futura realtà.

Tutte le analisi scaturiscono dai dati ISTAT relativi ai censimenti generali effettuati ogni 10 anni e relativi alle annualità 1971, 1981, 1991, 2001, oltre ai dati ISTAT del 2010; i risultati si riferiscono alle proiezioni relative agli anni che vanno dal 2011 al 2048.

I metodi di base utilizzati sono cinque (tabella 5):

1. metodo della progressione lineare nel periodo 1971-2010;
2. metodo dell'incremento medio nel periodo 1971-2010;
3. metodo dell'incremento medio nel periodo 1991-2010;
4. metodo dell'incremento mediano nel periodo 1991-2010;
5. metodo dell'incremento logistico.

- $p(m/ods)$: the mode choice sub-model that simulates the choice of transportation mode m to move from the origin o to the destination d for the reason s ;
- $p(k/mods)$: the route choice sub-model that simulates the choice of route k to move from the origin o to the destination d for the reason s with the transportation mode m .

The most commonly used type of trip emission model is index by category. The potential transport system user belongs to this category, and it is supposed that the category consists of users of a homogeneous behavior concerning the considered reason.

To implement the model, the resident population of the study area is subdivided into 'homogeneous categories'. In other words, a parameter $n_o(c)$ is identified for groups of individuals with similar mobility, which measures the size of these groups (active population, number of residents, students, families, within the meaning given to these terms by ISTAT). The value of $n_o(c)$ is measured, which assumes the value of the selected parameter in the area of origin o and referring to category c . Moreover, the number of trips $m_c(s)$, made by the subjects of category c , for each category, for the reason s during the considered time interval is estimated.

Therefore, the total demand emitted by zone is calculated as:

$$d_o(s) = \sum_c n_o(c) \cdot m_c(s)$$

In effect, a good projection of demographic trend during the time can be used to measure the variation of the parameter $n_o(c)$ during the time, that is the size of groups of people producing displacements, whereas the annual rate of change of GDP can represent a significant indicator of the aptitude of these groups to perform displacements, i.e. to measure the variation of the parameter $m_c(s)$. Therefore, a trend analysis was conducted of the demographic and GDP variations during the period of infrastructure's service life.

The number of inhabitants of a settlement depends on many factors whose prediction becomes increasingly uncertain with the increasing temporal distance projection. In order to increase the reliability of these factors' estimation, different probabilistic analysis methods have been used, both in short-term, and in long term, and finally mediating the obtained results, to get values closer to the future reality.

All analyses derive from ISTAT data related to general census conducted every 10 years and for the years 1971, 1981, 1991, 2001, besides the ISTAT data of 2010; the results refer to the projections for the years from 2011 to 2048.

The basic methods used are five (table 5):

1. the linear progression method in the period 1971-2010;
2. the average increase method in the period 1971-2010;
3. the average increase method in the period 1991-2010;
4. the median increase method in the period 1991-2010;
5. the logistic increase method.

TABELLA 5 – TABLE 5

Metodi di proiezione della domanda di trasporto
Methods for tran sport demand projection

<p>Metodo della progressione lineare Questo metodo tiene conto dell'incremento demografico nel lungo periodo (1971-2010), suddividendo l'incremento del numero tota le degli abitanti negli anni di riferimento, e proiettando questo dato negli anni futuri. Linear progression method <i>This method takes into account the long-term population growth (1971-2010), by dividing the increase in the total number of inhabitants during the reference years, and by projecting this data in the future years.</i></p>	$r = \frac{P - P_0}{T_0}$ $P_t = P_0 + r \cdot t_0$
<p>Metodo dell'incremento medio nel lungo periodo Questo metodo tiene conto dell'incremento demografico nel lungo periodo (1971-2010), facendo ricorso alla formula dell'interesse composto, per ottenere il tasso di crescita annuale percentuale, da applicare agli anni futuri. Long-term average increase method <i>This method takes into account the long-term population growth (1971-2010), by using the compound interest's formula, to get the annual growth percentage rate, to be applied to the future years.</i></p>	$P = P_0(1 + r)^{T_0}$ $r = \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{1}{T_0}} - 1$ $P_t = P_0(1 + r)^{t_0}$
<p>Metodo dell'incremento medio nel breve periodo Analogamente al precedente, anche questo metodo tiene conto dell'incremento demografico, ma nel breve periodo (1991-2010), facendo ricorso alla formula dell'interesse composto, per ottenere il tasso di crescita annuale percentuale, da applicare agli anni futuri. Short-term average increase method <i>Similarly to the previous one, this method takes into account the demographic growth, but in the short-term (1991-2010), by using the compound interest's formula, to get the annual growth percentage rate, to be applied to the future years.</i></p>	$P = P_1(1 + r)^{T_1}$ $r = \left(\frac{P}{P_1}\right)^{\frac{1}{T_1}} - 1$ $P_t = P_1(1 + r)^{t_1}$
<p>Metodo dell'incremento mediano nel breve periodo Analogamente al precedente, anche questo metodo tiene conto dell'incremento demografico nel breve periodo (1991-2010), facendo ricorso alla formula dell'interesse composto, per ottenere il tasso di crescita annuale percentuale, riferito al decennio 1991-2001 e successivamente al quinquennio 2001-2010, da cui si ricava il tasso medio nel periodo 1981-2010, da applicare agli anni futuri. Short-term average increase method <i>Similarly to the previous one, this method takes into account the demographic growth, but in the short-term (1991-2010), by using the compound interest's formula, to get the annual growth percentage rate, to be applied to the future years.</i></p>	$P = P_1(1 + r)^{t_1}$ $r_1 = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{T_1}} - 1$ $r_2 = \left(\frac{P}{P_2}\right)^{\frac{1}{T_2}} - 1$ $r_M = \frac{r_1 + r_2}{2}$ $P_t = P_1(1 + r_M)^{t_1}$
<p>Metodo della curva logistica Il metodo della curva logistica si basa sull'ipotesi che le tendenze demografiche in atto (riduzione della popolazione nell'area urbana e forte suburbanizzazione nell'area metropolitana) siano soggette ad esaurirsi nel tempo con un tasso di variazione prima crescente, poi costante, infine tendente a zero. È infatti ragionevole ritenere che le possibilità di localizzare nuovi insediamenti nell'area metropolitana tenderà a ridursi per effetto della saturazione degli indici di accettabilità urbanistica, mentre le crescenti esternalità legate alla inevitabile pendolarità sull'area urbana, indurranno un nuovo aumento dei residenti in Catania. Logistic curve method <i>The logistic curve method is based on the hypothesis that the current demographic trends (population reduction in the urban area and strong suburbanization in the metropolitan area) are subject to run out over time before with an increasing variation rate, then constant, and finally tending to zero. Indeed, it is reasonable to assume that the possibility of locating new settlements in the metropolitan area will tend to decrease due to the saturation of the acceptability urban indices, whereas the growing externalities related to the inevitable pendularity in the urban area, will induce a new rise of residents in Catania.</i></p>	$P_t = P_{t-\Delta t} \cdot \left[1 + r \left(1 - \frac{1}{1 + b \cdot e^{c \cdot \Delta t}}\right)\right]^{\Delta t}$
<p>dove: where:</p> <p>P_0 = popolazione all'anno 1971; P_0 = population in the year 1971; P_1 = popolazione all'anno 1991; P_1 = population in the year 1991; P_2 = popolazione all'anno 2001; P_2 = population in the year 2001; P = popolazione all'anno 2010; P = population in the year 2010; r = tasso di incremento annuo della popolazione; r = annual growth rate of population; r_1 = tasso di incremento annuo 1991-2001 (%); r_1 = annual growth rate 1991-2001 (%); r_2 = tasso di incremento annuo 2001-2010 (%); r_2 = annual growth rate 2001-2010 (%); r_M = tasso medio di incremento annuo (%); r_M = annual average growth rate (%); T_0 = intervallo di tempo del periodo di analisi 1971-2010 in anni; T_0 = time interval of the analysis period 1971-2010 expressed in years; T_1 = intervallo di tempo del periodo di analisi 1991-2010 in anni; T_1 = time interval of the analysis period 1991-2010 expressed in years; T_2 = intervallo di tempo del periodo di analisi 2001-2010 in anni; T_2 = time interval of the analysis period 2001-2010 expressed in years; t_0 = intervallo di tempo dal 1971 all'anno t; t_0 = time interval from 1971 to the generic year t; t_1 = intervallo di tempo dal 1991 all'anno t; t_1 = time interval from 1991 to the generic year t; P_t = popolazione all'anno t; P_t = population in the generic year t; b, c parametri che determinano la forma della curva logistica; b, c parameters that determine the logistic curve's shape</p>	

OSSERVATORIO

Le analisi effettuate sul lungo periodo (1971-2010), partendo dal presupposto che l'incremento demografico è approssimativamente lineare forniscono valori molto probabili, ma non tengono conto di fenomeni abbastanza recenti, quali l'abbassamento del tasso di crescita della popolazione, oggi in Italia vicina allo zero, o la saturazione delle aree più popolate, con conseguente migrazione verso siti periferici.

Le analisi riferite al breve periodo (1991-2010), fotografano una realtà più attuale, che proprio per questo motivo può anche essere transitoria e non rispecchiare il futuro andamento reale perché legato più ai flussi migratori dovuti ad insediamenti produttivi che non al naturale tasso di crescita della popolazione.

Pertanto i valori ottenuti con i cinque metodi elencati, di seguito nello schema, sono stati mediati al fine di ottenere risultati più omogenei, definendo i risultati finali come media dei valori nei diversi anni.

La media dei valori di proiezione demografica, calcolati con i cinque metodi sopra descritti, ottenuta per ciascun anno compreso tra il 2011 e il 2048, consente di pervenire al tasso di variazione demografica annuale, sia nell'area urbana di Catania, sia nell'area di riferimento. In questo senso si riesce a tenere in debito conto della stabilità della popolazione verificatasi negli ultimi anni, grazie al differente peso conferito a tale periodo con ciascun metodo.

I risultati sono mostrati nella fig. 11.

Come risultato della proiezione demografica, i tassi di variazione annuali ottenuti r_{urb} nell'area urbana e r_{ext} nell'area metropolitana estesa sono applicati alle componenti di domanda deviata rispettivamente urbana ed extraurbana, sia su mezzo pubblico sia su mezzo privato. Alla domanda generata sono applicati invece i tassi complessivi dell'area metropolitana estesa inclusa Catania.

Ad esempio, dunque, il valore di domanda deviata di tipo urbana per il generico anno t , $d_{dev}(t)$, è incrementata o diminuita del valore di domanda relativa alla variazione demografica, mediante l'espressione

$$d_{dev}(t) \times [1 + r_{urb}(t)]$$

Analogamente per la domanda deviata di tipo extraurbana si adotterà la relazione

$$d_{dev}(t) \times [1 + r_{ext}(t)]$$

Per la domanda generata $d_{gen}(t)$ vale invece la relazione

$$d_{gen}(t) \times [1 + r_{tot}(t)]$$

essendo $r(t) = [P(t)/P(t-1) - 1]$.

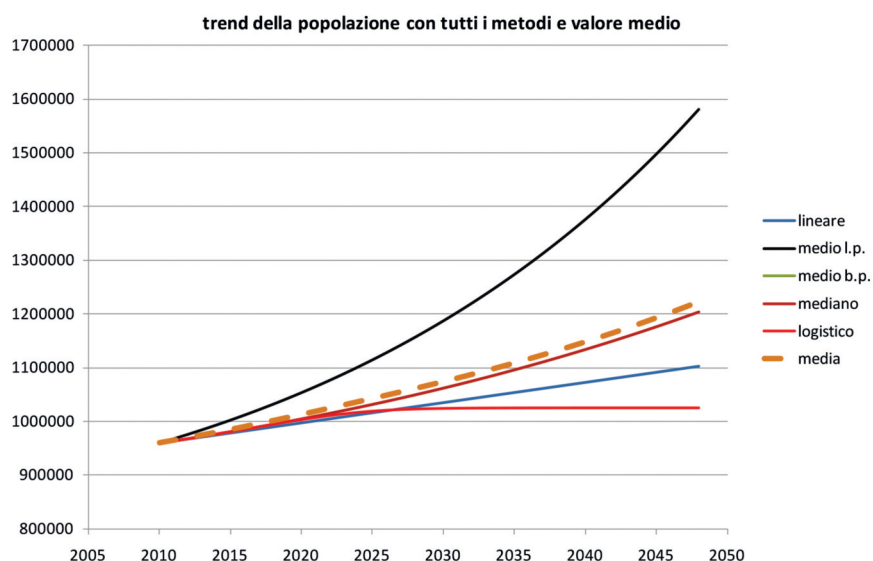


Fig. 11 - Proiezione demografica con la media dei metodi.
Fig. 11 - Demographic projection with the average of methods.

In the assumption that population growth is approximately linear, the long-term analysis carried out (1971-2010) provide very probable values, but they do not take into account relatively recent phenomena, such as the lowering rate of population growth, today close to zero in Italy, or the saturation of the most densely populated areas, with consequent migration toward peripheral sites.

The short-term analyses (1991-2010), represent a picture of a more current reality. For this reason it can also be considered a transient reality that do not reflect the real future trend because it is more linked to migration flows due to manufacturing settlements than to the natural rate of population growth.

Therefore, the obtained values with the five listed, as the reported scheme, methods have been mediated in order to get more homogeneous results, and final results have been defined as average of the values in the various years.

The average of the population projection values, calculated with the five methods above described, and obtained for each year from 2011 to 2048, allows to get the annual variation rate of population, both in the urban area of Catania, and in the reference area. The demographic stability of the last years is taken into account thanks to the different relevance it assumes according to the different methods.

The results are shown in fig. 11.

As the result of population projection, the annual variation rates obtained r_{urb} in the urban area and r_{ext} in the extended metropolitan area are applied to the components of deviated demand respectively urban and extraurban demand, and on public and private transport. Instead, the overall rates of the extended metropolitan area, included Catania, are applied to the generated demand.

OSSERVATORIO

Traendo spunto dalle indicazioni di programma contenute nel Documento di Programmazione Economica e Finanziaria della Regione Siciliana per gli anni 2010-2013 si ritiene di adottare una stima prudentiale di crescita del PIL della Regione Sicilia di 0,7% annuo, pari a quello tendenziale e di poco inferiore a quello programmatico (0,8%).

Nella valutazione del trend di crescita della domanda per ciascun anno di vita utile dell'opera, è stata considerata l'elasticità effettiva della domanda di trasporto alla popolazione e l'elasticità della domanda di trasporto al PIL. A tal fine si fa riferimento ad una elaborazione condotta sui dati della Direzione Generale per l'Energia della Commissione Europea (2010) che porta al grafico di fig. 12.

Come risulta dall'esame del grafico sui tassi di crescita, l'elasticità rispetto alla popolazione è piuttosto variabile, mentre quella rispetto al PIL è abbastanza costante a partire dal 2015 e pari a circa 0,5. Si ritiene pertanto abbastanza prudente assumere un'elasticità unitaria per stimare la variazione della domanda rispetto alla popolazione e pari a 0,5 per la variazione della domanda rispetto al PIL.

I valori scelti per l'elasticità della domanda fanno sì che questa in origine segua le stesse variazioni percentuali dell'indice demografico (elasticità uguale a 1) e che la stessa, in destinazione, sia soggetta ad una variazione dimezzata (elasticità pari a 0,5) rispetto all'indice socio-economico. Ad esempio, il flusso O/D da Adrano a Paternò subisce un incremento del 7% in origine (la stessa crescita presunta della popolazione di Adrano al 2025) ed un incremento del 6% (a fronte di un 12% di crescita media tra PIL e numero di addetti), realizzando nel complesso un incremento del 13%.

La proiezione della domanda di trasporto dallo stato di fatto allo scenario tendenziale, ottenuta applicando al-

Therefore, for example, the value of the urban deviated demand for the generic year t , $d_{dev}(t)$, is increased or decreased by the demand value relating to the demographic variation, using this expression

$$d_{dev}(t) \times [1 + r_{urb}(t)]$$

Similarly for the extraurban deviated demand the relation to be used is

$$d_{dev}(t) \times [1 + r_{ext}(t)]$$

Instead, for the generated demand $d_{gen}(t)$ a valid relation is

$$d_{gen}(t) \times [1 + r_{tot}(t)]$$

with $r(t) = [P(t)/P(t-1) - 1]$.

Inspired by the program instructions contained in the Economic and Financial Planning Document of the Sicilian Region for the years 2010-2013 it is advisable to adopt a prudential estimation of GDP growth of the Region of Sicily by 0.7% per year, equivalent to the tendential one and slightly lower than programmatic one (0.8%).

In the evaluation of the demand growth trend for each year of service life of the infrastructure, it was considered the effective elasticity of transport demand to the population and the elasticity of transport demand to GDP. To this end, reference is made to an elaboration conducted on data from the General Directorate for Energy of European Commission (2010) which leads to the graph of fig. 12.

As it results from the examination of the growth rates graph, the elasticity compared to the population is rather variable, whereas that one in comparison to the GDP is fairly constant from 2015 and equal to about 0.5. Therefore, it is considered quite prudent to assume a unitary elasticity to estimate the demand variation compared to the population and equal to 0.5 for the demand variation compared to the GDP.

The select values for the demand elasticity are such that in origin it follows the same percentage variations of the demographic index (elasticity equal to 1) and in destination, it is subject to a halved variation (elasticity equal to 0.5) compared socio-economic index. For example, the O/D flow from Adrano to Paternò suffers an increase of 7% in origin (the same presumed population growth of Adrano to 2025) and an increase of 6% (compared with an average increase of 12% in GDP and number of employees), realizing a total increase of 13%.

The projection of transport demand by the state of fact to the tendential scenario, obtained by applying to the current O/D matrices the illustrated multiplicative scheme, produces a general average variation (weighted according

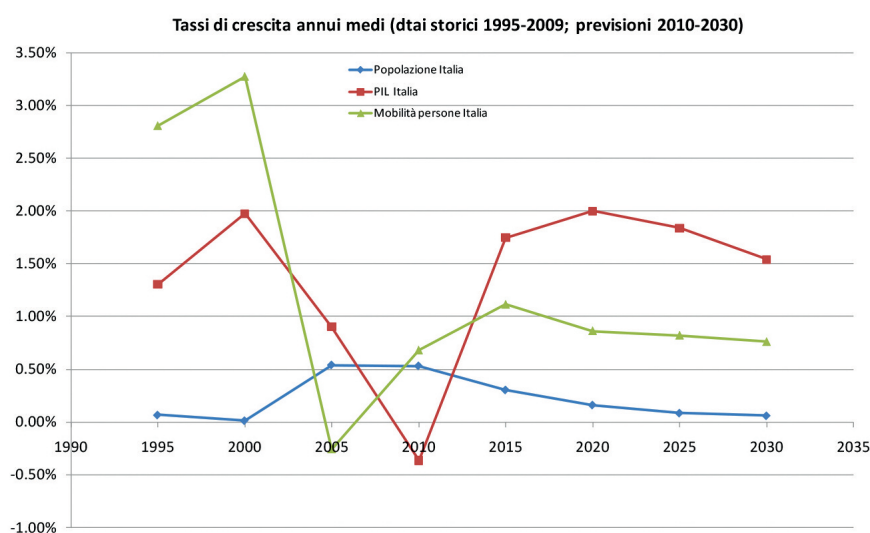


Fig. 12 - Previsione dei tassi di crescita popolazione, PIL e mobilità in Italia sino al 2030 (elaborazione degli autori su dati ISTAT, DPEF Regione Siciliana 2010-2013, [9]).

Fig. 12 - Growth rates forecast of population, GDP and mobility in Italy until 2030 (authors' elaboration based on data of ISTAT, DPEF Regione Siciliana 2010-2013, [9]).

OSSERVATORIO

le matrici O/D attuali lo schema moltiplicativo illustrato, realizza una variazione complessiva media (pesata in base ai flussi di domanda) pari al +10,0% per il trasporto privato ed al +10,5% per il trasporto pubblico.

3.3. La stima della domanda deviata: il modello di diversione modale

La stima della domanda deviata, che viene trasferita cioè dal sistema di trasporto privato al sistema di trasporto pubblico (e viceversa) viene fatta ricorrendo ad un modello cosiddetto di "switching". Si tratta di un modello a scelta discreta che riproduce il comportamento di scelta dell'utente di fronte ad un numero finito di alternative, nel caso in questione le diverse modalità di trasporto disponibili [8] [2].

Particolarmente importante per il funzionamento del modello è la definizione del criterio di scelta, che non è altro che una funzione di costo (o di utilità negativa) che tiene conto di diversi attributi e dei valori che questi assumono per tutti gli spostamenti "desiderati" dagli utenti con le diverse modalità di trasporto (se ne assumono due nel caso in esame: trasporto privato e trasporto pubblico). In particolare:

- tempi (di accesso e a bordo per il trasporto pubblico, di viaggio e di parcheggio per l'auto privata);
- costi (tariffari per il trasporto pubblico, percepiti per il trasporto privato).

I pesi di questi attributi di scelta sono stati stabiliti mediante la procedura di calibrazione di seguito descritta. Per simulare il comportamento degli utenti è stato utilizzato un modello di scelta discreta basato sul concetto di utilità casuale [4]. Come è noto, si tratta di un modello comportamentale stocastico, fondato sull'ipotesi che ogni utente, eventualmente appartenente ad una classe di utenti omogenei dal punto di vista comportamentale, sia un *decisore razionale* ovvero un massimizzatore dell'utilità relativa alle proprie scelte.

Il generico decisore i associa a ciascuna alternativa j del suo insieme di scelta I_i (può essere diverso per utenti diversi) una utilità o "attrattività" percepita U_{ij} e sceglie l'alternativa che massimizza tale utilità in base agli attributi propri dell'alternativa, cioè a caratteristiche misurabili che sono confrontate con quelle delle altre alternative.

L'utilità associata dal generico decisore i all'alternativa j non è nota con certezza dall'analista e, pertanto, è una variabile aleatoria per la quale è possibile esprimere la probabilità di scelta condizionata al suo insieme di scelta I_i .

Si assume che l'utente non scelga una alternativa in termini assoluti, ma piuttosto l'insieme delle caratteristiche proprie di quella alternativa confrontandolo con gli insiemi delle caratteristiche delle altre alternative disponibili; non è dunque possibile prevedere con certezza

to demand flows) equal to + 10.0% for the private transport and to 10.5% for the public transport.

3.3. The diverted demand estimation: the modal switching model

The diverted demand estimation, which is transferred from the private transport system to the public transport system (and vice versa) is done applying a switching model. It is a discrete choice model that reproduces the behavior of the user's choice with a finite number of alternatives, in this case the different available transport modes [8] [2].

The definition of the choice criterion is particularly important for the functioning of the model. It is a function of cost (or of negative utility) that takes into account the different attributes and the values they assume for all 'desired' displacements by users with different transport modes (in this case two transport modes are assumed: the private transport and public transport). In particular:

- times (times of access and on-board for the public transport, times of trip and parking time for the private vehicle);
- costs (tariff costs for public transport, perceived costs for private transport).

The weights of these attributes of choice were established through the calibration procedure described below. A discrete choice model based on the concept of casual utility [4] was used to simulate the users behavior. As it is known, it is a stochastic behavioural model, based on the assumption that each user, possibly which belongs to a class of homogeneous users from the behavioural point of view, is a rational decision-maker or a utility maximizer related to his own choices.

The generic decision-maker i associates to each alternative j of his choice set I_i (it can be different for different users) a utility or a perceived 'attractiveness' U_{ij} and he chooses the alternative that maximizes this utility based on the proper attributes of the alternative, i.e. to measurable characteristics that are compared with those of the other alternatives.

The associated utility from the generic decision-maker i to the alternative j is not known with certainty by the analyst and, therefore, it is an aleatory variable for which it is possible to express the choice probability conditioned to its choice set I_i .

It is assumed that user does not choose an alternative in absolute terms, but rather he chooses the set of characteristics of that alternative by comparing this set with sets of characteristics of other available alternatives; therefore it is not possible to predict with certainty what alternative will be select but it is possible to calculate the probability of it:

$$p_i[j/I_i] = \Pr[U_{ij} > U_{ik}] \quad \text{for each } k \neq j \in I_i$$

The perceived utility U_{ij} can be expressed as the sum of

OSSERVATORIO

quale alternativa sarà scelta ma calcolarne la probabilità di esserlo:

$$p_i[j/I_i] = \Pr[U_{ij} > U_{ik}] \quad \text{per ogni } k \neq j, k \in I_i$$

L'utilità percepita U_{ij} può essere espressa come somma di una componente razionale di utilità sistematica V_{ij} , che rappresenta la media dell'utilità percepita tra tutti gli utenti con lo stesso contesto di scelta del decisore i , e di un residuo aleatorio e_{ij} che rappresenta lo scostamento dell'utilità percepita dall'utente i . In formule

$$U_{ij} = V_{ij} + e_{ij}$$

Essendo per ipotesi

$$V_{ij} = E[U_{ij}], \sigma_{ij}^2 = \text{Var}[U_{ij}]$$

$$E[V_{ij}] = V_{ij}; \text{Var}[V_{ij}] = 0$$

$$E[e_{ij}] = 0; \text{Var}[e_{ij}] = \sigma_{ij}^2$$

si ha

$$p_i[j/I_i] = \Pr[V_{ij} - V_{ik} > e_{ik} - e_{ij}] \quad \text{per ogni } k \neq j, k \in I_i$$

Quindi la probabilità di scelta di un'alternativa dipende dalle utilità sistematiche di quelle concorrenti e dalla legge di distribuzione congiunta dei residui aleatori e_j ; minore è la dispersione dei residui e_j , migliore sarà la capacità previsionale del modello.

È possibile dimostrare che, sotto specificate ipotesi per la distribuzione dei residui aleatori e_j , la probabilità di scelta può essere calcolata con un modello di tipo Logit:

$$p^i(j) = \frac{e^{(\alpha V_j^i)}}{\sum_{k \in I_i} e^{(\alpha V_k^i)}}$$

L'utilità sistematica associata alla scelta j , è assunta come una combinazione lineare dei parametri e degli attributi propri della scelta:

$$V_j^i = \sum_k \beta_k x_{kj}^i$$

All'interno della funzione di utilità sistematica V_j è possibile distinguere tra *attributi generici* e *attributi specifici dell'alternativa*. I primi compaiono nella funzione di utilità di tutte le alternative di scelta (col medesimo valore del relativo parametro β), mentre i secondi sono presenti solo in alcune. Inoltre, è buona pratica inserire anche un attributo specifico di tipo dummy (valore pari a 1) il cui parametro è una misura di tutti gli aspetti non quantificabili relativi all'alternativa (comfort, sicurezza, gradimento). Il carattere additivo proprio della funzione di utilità, per come schematizzata, consente di introdurre questo attributo solo per $N-1$ alternative, assumendolo nullo per l'alternativa N .

Il funzionamento del modello necessita la conoscenza dei valori che gli attributi x_j (X in termini vettoriali) della funzione di utilità sistematica V_j assumono per un campione di utenti per i quali sia noto il comportamento di scelta. A partire dalle risposte ottenute nell'ambito dell'indagine, mediante l'ausilio del modello di rete messo a punto, è possibile

a rational component of systematic utility V_{ij} , which represents the average of perceived utility among all users with the same context of choice of the decision-maker I , and of an aleatory residual e_{ij} that represents the deviation of perceived utility by the user i . In formulas:

$$U_{ij} = V_{ij} + e_{ij}$$

For hypothesis

$$V_{ij} = E[U_{ij}], \sigma_{ij}^2 = \text{Var}[U_{ij}]$$

$$E[V_{ij}] = V_{ij}; \text{Var}[V_{ij}] = 0$$

$$E[e_{ij}] = 0; \text{Var}[e_{ij}] = \sigma_{ij}^2$$

it is

$$p_i[j/I_i] = \Pr[V_{ij} - V_{ik} > e_{ik} - e_{ij}] \quad \text{per ogni } k \neq j, k \in I_i$$

Therefore the choice probability of an alternative depends on the systematic utilities of the competing alternatives and from the law of joint distribution of the aleatory residues e_j ; the forecasting capacity of the model will be better when the dispersion of residues e_j is lower.

It is possible to show that, under specified assumptions for the distribution of aleatory residues e_j , the choice probability can be calculated with a Logit model like this:

$$p^i(j) = \frac{e^{(\alpha V_j^i)}}{\sum_{k \in I_i} e^{(\alpha V_k^i)}}$$

The systematic utility associated with the choice j , it is assumed as a linear combination of the parameters and the attributes of the choice j :

$$V_j^i = \sum_k \beta_k x_{kj}^i$$

Within the function of systematic utility V_j it is possible to distinguish between generic attributes and specific attributes of the alternative. The first ones appear in the utility function of all the alternatives of choice (with the same value of the related parameter β), while the seconds are only present in some utility functions. Besides, it is also a good practice to insert a specific 'dummy' attribute (value equal to 1), whose parameter is a measure of all non-quantifiable aspects related to the alternative (comfort, safety, satisfaction). The additive nature of the utility function, like schematized, allows the introduction of this attribute only for $N-1$ alternatives, assuming it equal to zero for the alternative N .

The functioning of the model requires the knowledge of the values that the attributes x_j (X in vectorial terms) of the function of systematic utility V_j assume for a sample of users for which the behavior of choice is known. Starting from the answers obtained in the investigation, through the aid of the developed network model, it is possible to identify the attributes x_j of each user. On the other hand, from the functional specification assumed on the model, it is possible to force the model to reproduce the probabilities of choice which in fact have been detected, modifying the value of beta parameters of the function of systematic utility

OSSERVATORIO

risalire agli attributi x_j di ogni utente. D'altro canto, a partire dalla specificazione funzionale ipotizzata per il modello, è possibile forzarlo a riprodurre le probabilità di scelta che di fatto sono state rilevate, modificando il valore dei parametri beta della funzione di utilità sistematica e del parametro alfa del modello logit, cioè in sostanza è possibile calibrare il modello affinché riproduca la situazione attuale.

Nella specifica schematizzazione, le alternative a disposizione dell'utente considerate, sono:

- auto privata;
- trasporto pubblico (tutte le modalità).

Gli attributi generici, propri cioè di tutte le alternative, sono:

- tempo di viaggio;
- costo.

L'unico attributo specifico dell'auto privata considerato è il tempo di parcheggio, comprensivo del tempo per il raggiungimento della destinazione finale. Per l'alternativa modale del trasporto pubblico, i parametri specifici sono:

- tempo d'accesso (comprensivo di tempo di attesa alla fermata);
- attributo dummy.

3.3.1. Calibrazione del modello

La procedura di calibrazione del modello è stata condotta secondo il metodo della massima verosimiglianza [1] [11]. Il metodo consiste nell'individuazione del set di parametri che rende massima la probabilità composta (calcolata con il modello) che si verifichino tutti gli eventi osservati (dichiarati). Viene impostato un problema di massimizzazione vincolata (i parametri possono assumere valori all'interno di range considerati attendibili) risolto il quale, la forma del modello è determinata.

Lo stimatore di massima verosimiglianza è dato da:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n p^i [j(i)](\mathbf{x}^i, \beta)$$

E la procedura di ottimizzazione consiste nella massimizzazione del logaritmo naturale della funzione di massima verosimiglianza:

$$\arg \max \ln L(\beta) = \arg \max \sum_{i=1}^n \ln p^i [j(i)](\mathbf{x}^i, \beta)$$

La procedura ha portato all'individuazione dei seguenti valori per i parametri:

- parametro tempo di viaggio = -0,0228 [1/min];
- parametro tempo d'accesso = -0,0398 [1/min];
- parametro costo = -0,0850 [1/€];
- parametro tempo di parcheggio = -0,0150 [1/min];
- parametro dummy trasporto pubblico = -2,013.

and the alpha parameter of the Logit model. In substance, it is possible to calibrate the model in order to reproduce the current situation.

In the specific schematization, the available alternatives to the user, are:

- private vehicle;
- public transport (all modes).

The generic attributes, proper to all alternatives, are:

- travel time;
- cost.

The only specific attribute of the private vehicle which is considered is the parking time, including the time to reach the final destination. For the modal alternative of the public transport, the specific parameters are:

- access time (including waiting time at the bus stop);
- dummy attribute.

3.3.1. Model calibration

Model calibration procedure was conducted using the Method of Maximum Likelihood [1] [11]. The method consists in identifying the set of parameters that maximizes the composite probability of occurrence (computed by the model) of all the observed events (declared).

A constrained optimization problem is set (parameters can take values within the reliable range); resolved that, the shape of the model is determined.

The maximum likelihood estimator is given by:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n p^i [j(i)](\mathbf{x}^i, \beta)$$

And the optimization procedure consists of maximizing the natural logarithm of the function of maximum likelihood:

$$\arg \max \ln L(\beta) = \arg \max \sum_{i=1}^n \ln p^i [j(i)](\mathbf{x}^i, \beta)$$

The procedure resulted in the identification of the following values for the parameters:

- travel time parameter = -0,0228 [1/min];
- access time parameter = -0,0398 [1/min];
- cost parameter = -0,0850 [1/€];
- parking time parameter = -0,0150 [1/min];
- dummy public transport parameter = -2,013.

The goodness of approach control indicator is based on statistical rho-squared:

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ln L(\beta^{ML})}{\ln L(0)}$$

which, giving a value of 0.5056, confirms a widely ac-

OSSERVATORIO

L'indicatore di controllo della bontà dell'accostamento è basato sulla statistica rho-quadro:

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ln L(\beta^{ML})}{\ln L(0)}$$

la quale ha fornito un valore pari a 0,5056, che conferma un grado di adattamento del modello ai risultati delle interviste ampiamente accettabile.

A titolo esemplificativo, applicando il modello di switching al caso dello spostamento da Misterbianco a Bronte, l'utilità negativa legata all'alternativa "auto" è pari a -2,9, mentre quella del "tpl" è pari a -4,7. In questo caso, l'utenza si ripartisce all'86% sul trasporto privato ed al 14% sul trasporto pubblico.

Con riferimento all'alternativa AF2 (il significato verrà chiarito nel seguito), in fig. 13 è rappresentata la distribuzione territoriale della domanda deviata dal trasporto privato. Si evidenziano, oltre alle relazioni O/D con destinazione Catania, incrementi significativi lungo l'asse pedemontano da Paternò a Maletto (molto rilevanti le reciproche interrelazioni tra Adrano e Biancavilla) e lungo la direttrice Giarre-Catania.

3.3.2. Input del modello

Per quanto riguarda i tempi del trasporto privato, questi sono stati computati mediante il modello multimodale messo a punto, e tengono conto del deterioramento delle prestazioni degli archi stradali per via del traffico dell'ora di punta. Per ciascuna coppia origine/destinazione sono calcolati i tempi medi di percorrenza sui diversi percorsi alternativi, pesati in funzione dei volumi di traffico relativi. Allo stesso modo, i tempi per i collegamenti tramite trasporto pubblico sono stati calcolati tramite media dei singoli collegamenti, pesata in funzione dei carichi di passeggeri. In questo caso, tali tempi sono stati disaggregati nelle loro singole componenti, in modo da poter calcolare, per ciascuna coppia origine/destinazione, tempo medio a bordo e tempo medio di accesso, i quali influenzano in maniera diversa lo switching modale.

I costi del trasporto privato sono stati computati in base alla distanza media percorsa su tutti i percorsi alternativi che collegano ciascuna coppia origine/destinazione, assumendo un costo chilometrico medio di 0,30

acceptable degree of adaptation of the model to the results of the interviews.

For example, while applying the switching model to the case of the shift from Misterbianco to Bronte, the negative utility associated with the alternative 'auto' is equal to 2.9, while the one of public transport is equal to -4.7. In this case, the users are distributed for the 86% on private transport and for the 14% on public transport.

With reference to the alternative AF2 (whose meaning will be explained below), fig. 13 shows the spatial distribution of the demand diverted from private transport. There are shown, in addition to the O/D relations with Catania as destination, significant increases along the foothill axis from Paternò to Maletto (with very relevant mutual interrelationships between Adrano and Biancavilla) and along the Giarre-Catania vector.

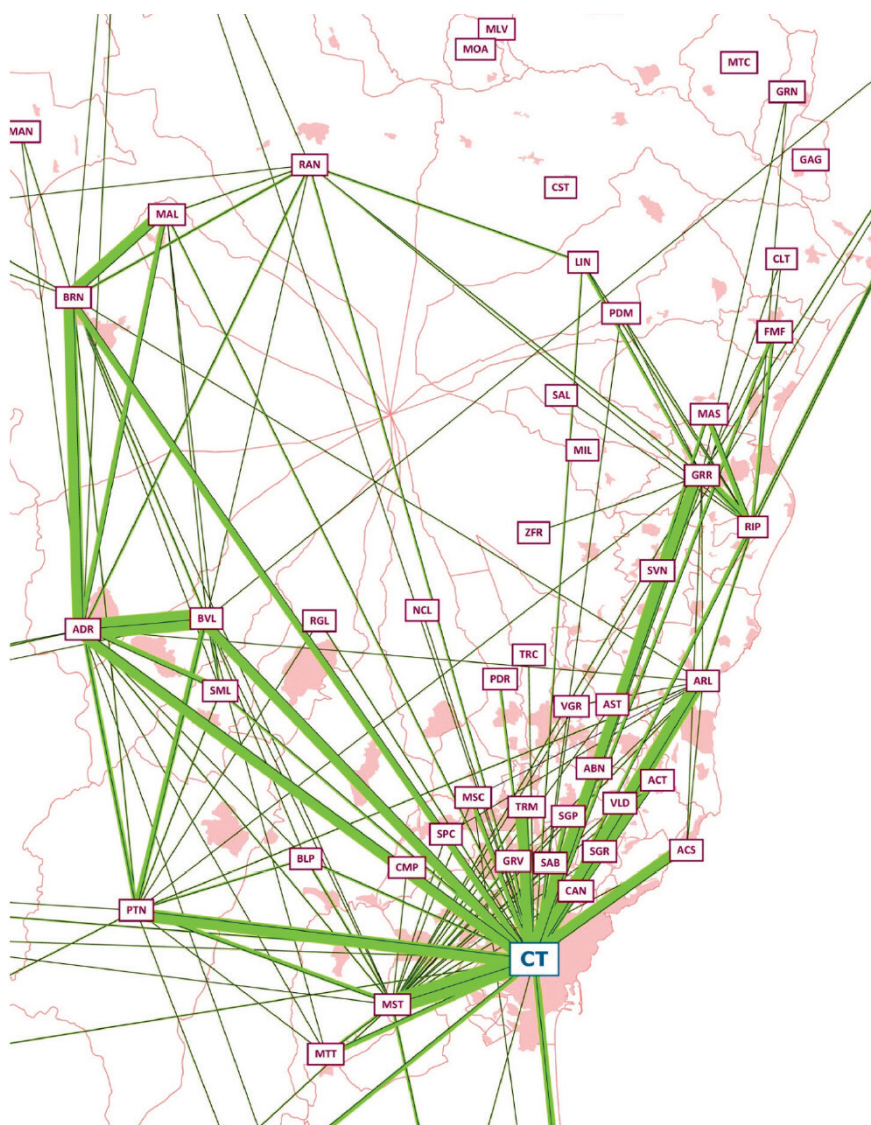


Fig. 13 - Rappresentazione della domanda deviata sul sistema di trasporto collettivo.
Fig. 13 - Representation of the diverted demand on the public transport system.

OSSERVATORIO

euro. Per quanto attiene ai costi del trasporto pubblico per l'utente, ai fini dell'analisi comparativa delle alternative di progetto descritte più avanti, si è scelto al momento di non applicare una particolare configurazione tariffaria in modo da effettuare una valutazione di tipo esclusivamente prestazionale delle soluzioni individuate. Relativamente alle tariffe del trasporto pubblico, si è pertanto fatto riferimento a quelle di riferimento per il trasporto pubblico extraurbano attualmente vigenti in Sicilia. Vista comunque la naturale tendenza seguita grosso modo da tutti i sistemi di trasporto collettivo a scala urbana e metropolitana, all'interno del modello di studio, sia per quanto attiene allo scenario tendenziale sia all'interno delle varie declinazioni dello scenario di progetto, si è supposta l'adozione di uno schema di tariffazione integrata tra i diversi vettori che eserciscono i diversi sistemi di trasporto.

3.4. Risultati delle simulazioni e comparazione delle alternative di progetto

La simulazione dell'interazione domanda/offerta mediante il calcolo dei flussi di traffico sulle diverse componenti del sistema in analisi ha permesso il calcolo delle prestazioni e degli impatti dell'attuale sistema di trasporto.

Un primo risultato è illustrato in fig. 14 sotto forma di linee di desiderio, ossia di "barre" ideali il cui spessore è

3.3.2. Model input

About timing of private transport, this was calculated using the developed multimodal model, taking into account the deterioration of the road arches' performance because of the rush hour traffic. For each origin/destination pair average travel times are calculated on different alternative paths and they are weighted according to the related volume of traffic. In the same way, timing for public transport connections have been calculated using the average of the individual connection, weighted according to the passengers load. In this case, these times were broken down into their individual components, in order to calculate, for each origin/destination pair, average time on board and average access time, which both affect in a different way modal switching.

The costs of private transport were calculated according to the average distance of all the alternative paths that connect each origin/destination pair, assuming an average cost per kilometer of 0.30 euro. Regarding the public transport cost related to the user, with the purpose of a comparative analysis of design alternatives described below, it was decided at this stage not to implement a particular fares' configuration in order to give an assessment based exclusively on the performance of the identified solutions. About fares of public transport, a reference to those for the urban pub-

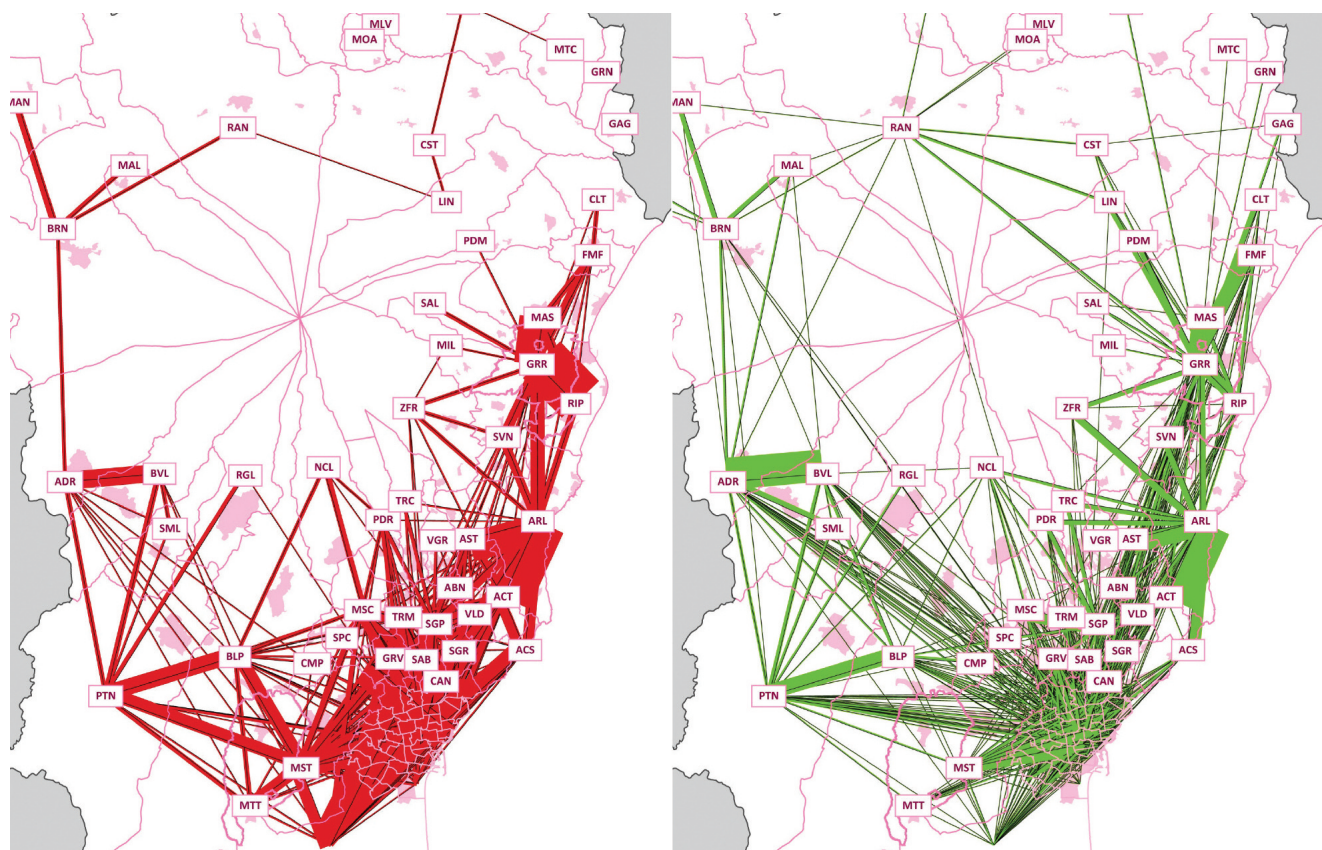


Fig. 14 - Linee di desiderio del trasporto privato (sinistra) e pubblico (destra).
Fig. 14 - Desire lines of private (left) and public (right) transport.

OSSERVATORIO

proporzionale alla domanda di mobilità esistente (rispettivamente su trasporto privato e su trasporto pubblico) tra le zone che esse collegano. Appare evidente la forte attrazione esercitata da Catania nei confronti di gran parte dell'area di studio e quelle, anche se meno consistenti, prodotte, soprattutto in termini di traffico privato, dagli altri centri principali (Adrano, Paternò, Misterbianco, Acireale, Giarre) verso i territori limitrofi. Occorre comunque sottolineare che, avendo preso in considerazione soltanto gli spostamenti sistematici, le relazioni individuate possono presentare approssimazioni significative allorché siano interessate da un'aliquota consistente di spostamenti non sistematici. Si è comunque ritenuto che la modellazione effettuata possa fornire l'ordine di grandezza della mobilità che interessa il sistema in analisi, garantendo una sufficiente stima della domanda ai fini della formulazione delle caratteristiche dell'offerta.

L'analisi più dettagliata delle informazioni riportate in fig. 14 permette di mettere in evidenza, oltre alla polarizzazione del sistema in direzione del capoluogo etneo, l'esistenza di poche relazioni stabili tra alcuni dei principali comuni dell'area in esame (Adrano-Biancavilla, Paternò-Belpasso, Motta Sant'Anastasia-Misterbianco e Giarre-Riposto). Solo alcune di queste relazioni (Adrano-Biancavilla, Paternò-Belpasso) vengono confermate nell'analisi del trasporto pubblico evidenziando peculiarità relazionali tra i comuni interessati.

Relativamente alla domanda di trasporto pubblico attualmente presente, si nota soprattutto, l'esistenza di una sorta di divisione del bacino di utenza delle linee in corrispondenza della tratta Maletto-Randazzo, per cui si vengono a formare due fasce di domanda:

- ad est, lungo la direttrice Randazzo-Linguaglossa-Riposto;
- ad ovest, lungo la direttrice Bronte-Paternò-Catania.

In tale contesto, al fine di confrontare più efficacemente domanda e offerta relativi al trasporto pubblico su ferro, occorre tenere conto in maniera opportuna dei parametri di esercizio che caratterizzano il servizio nello stato di fatto, così come riportato in tabella 6.

La determinazione di un sistema di trasporto "capoluogocentrico" è ancora più evidente laddove si analizzano i volumi di traffico che interessano l'area, anche con riferimento al solo trasporto pubblico. Nella fig. 15 si riportano i volumi di traffico su autolinee (blu) e ferrovia (rosso). Il dato evidenzia la scarsa competitività ferroviaria nel tratto Adrano-Catania, laddove invece lungo la costa ionica tale modalità di trasporto presenta vo-

lic transport currently operating in Sicily has been done. However in this model of study, given the natural tendency followed generally from all public transport systems at urban and metropolitan scale, the adoption of a scheme of integrated pricing between different carriers which operate the various transport systems has been supposed, both in terms of the trend scenario both within the various facets of the project scenario.

3.4. Simulation results and comparison of design alternatives

The simulation of the supply/demand interaction obtained by calculating traffic flows on the different components of the analyzed system allowed the calculation of performance and impacts of the current transport system.

A first result is illustrated in fig. 14 in the form of desire lines, i.e. of ideal 'bars' whose thickness is proportional to the existent mobility demand (respectively on private transport and on public transport) between the areas connected by them. There is a clearly attraction strength of Catania towards most of the study area and those, though less consistent, produced, especially in terms of private traffic, from the other main centers (Adrano, Paternò, Misterbianco, Acireale, Giarre) towards the neighboring territories. It should however be emphasized that, taking into account only the systematic trips, the relationships identified may present significant approximations where these are affected by substantial rate of unsystematic trips. Anyway the model performed was considered able to provide the order of magnitude of mobility that affects the analyzed system, ensuring a sufficient demand estimation for the formulation of the characteristics of the supply.

TABELLA 6 - TABLE 6

Parametri d'esercizio (stato di fatto)
Operating Parameters (present situation)

Tratta in esercizio Operating route	Tempo di percorrenza [min] Travel time [min]		Intertempo (minuti) Intermediates (minuti)
	Parziale Partial	Progressivo Progressive	
Riposto - Piedimonte	28	28	
Piedimonte - Linguaglossa	13	41	
Linguaglossa - Randazzo	35	76	
Randazzo - Maletto	18	94	
Maletto - Bronte	14	108	
Bronte - Adrano	27	135	
Adrano - Biancavilla	13	148	
Biancavilla - Paternò	20	168	
Paternò - Misterbianco	19	187	
Misterbianco - Borgo	14	201	
Borgo - Stazione FS	10	211	15

OSSERVATORIO

lumi significativi anche in virtù delle lunghe percorrenze di Trenitalia. Il territorio compreso tra Adrano e Randazzo presenta una scarsa domanda di trasporto pubblico da imputare anche alla poca efficienza dell'offerta.

Dall'analisi della figura 15 si evince, anche, come la domanda di trasporto su ferro che ha origine o destinazione nelle zone dislocate nella parte Nord della Provincia di Catania (come Maniace) o nei comuni limitrofi del Messinese (la fascia da Santa Domenica Vittoria fino a Francavilla di Sicilia) che non sono direttamente serviti da una stazione ferroviaria non è solo più bassa, come sarebbe naturale, ma è invece praticamente inesistente. Il motivo sta probabilmente, oltre che nell'attuale velocità commerciale della linea (che ne influenza soprattutto l'entità globale della domanda) nell'assenza di veri e propri autoservizi di tipo *feeder* coordinati spazio-temporalmente con il servizio ferroviario e di nodi di interscambio con il trasporto privato. Relativamente a quest'ultimo

A more detailed analysis of the information in fig. 14 allows to highlight, in addition to the polarization of the system in the direction of Catania, the existence of a few stable relationships between some of the major towns of the study area (Adrano-Biancavilla, Paternò-Belpasso, Motta Sant'Anastasia-Misterbianco and Giarre-Riposto). Only some of these relations (Adrano-Biancavilla, Paternò-Belpasso) are confirmed in the analysis of public transport highlighting relational peculiarities between the towns.

With regard to the currently present demand for public transport, it is particularly noticeable the existence of a kind of division of the users constituency area in correspondence of the route Maletto-Randazzo, for which two bands of demand are formed:

- *to the east, along the Randazzo-Linguaglossa-Riposto;*
- *to the west, along the Bronte-Paternò-Catania.*

In this context, in order to compare more effectively the supply and the demand related to public rail transport, it is more appropriate to take into account operating parameters that characterize the service in the present situation, as shown in table 6.

As known, the transport system is 'centered' on the city of Catania. It is even more evident when analyzing the volumes of traffic affecting the area, even referring only to the public transport. Fig. 15 shows the volume of traffic of buses (blue) and rail (red). The figure highlights the lack of competitiveness of railway in the vector Adrano-Catania, whereas along the Ionian coast this mode of transport has significant volumes also because of long runs of Trenitalia. The territory between Adrano and Randazzo has a low demand for public transportation also due to the lack of efficiency of the supply.

From the analysis of the figure it is shown also as the demand for rail transport that has origin or destination in the areas located in the northern part of the Province of Catania (as Maniace) or in the neighboring province of Messina (the band from Santa Domenica Vittoria up to Francavilla di Sicilia) that are not directly served by a railway station is not only lower, as would be natural, but even nonexistent. The reason can be found probably, more than in the commercial speed of the line (which moreover influences the overall size of the demand), in the absence of real feeder services spatially and temporally coordinated with the rail service and in the lack of interchange nodes with private

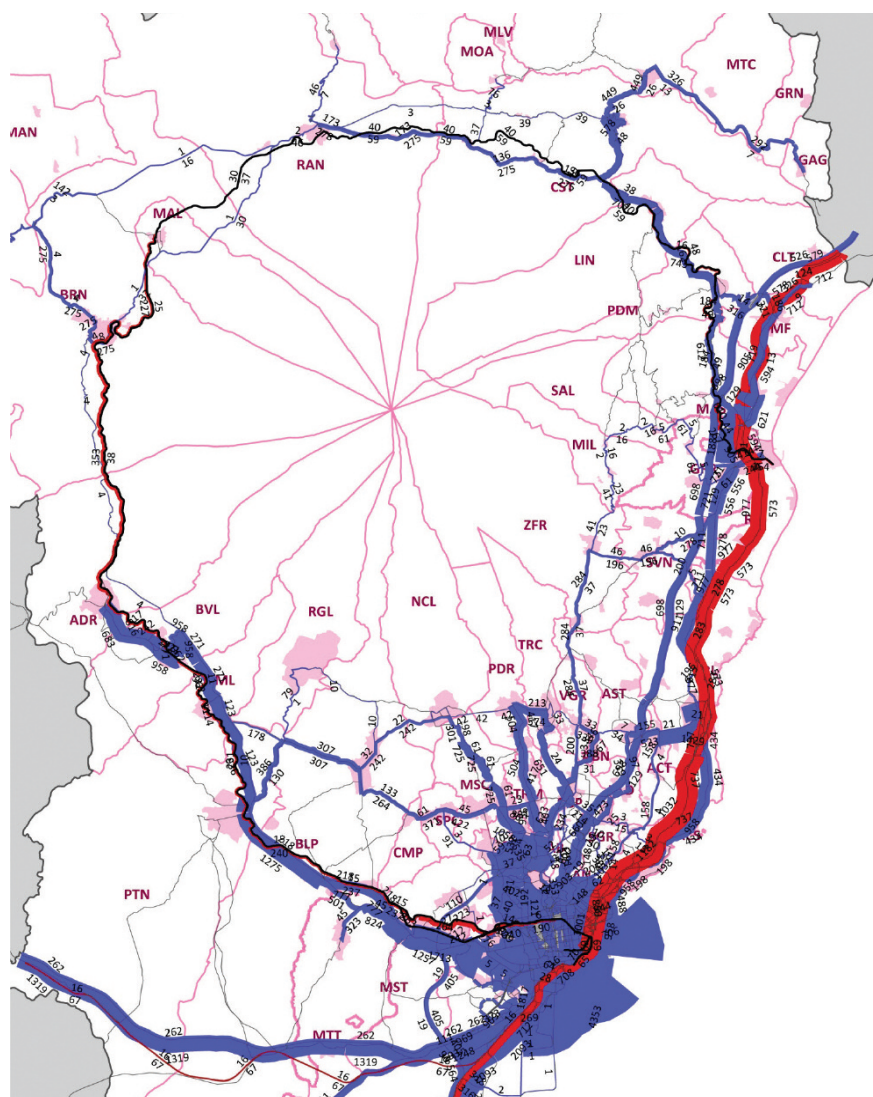


Fig. 15 - Volumi di passeggeri del trasporto pubblico (stato di fatto).
Figure 15: Volume of public transport passengers (present situation)

OSSERVATORIO

punto, si fa notare incidentalmente che gran parte delle stazioni di quest'area, per motivi storici e urbanistici, sono ubicate ai margini dei centri urbani. In prospettiva, se ciò da un lato ne limita la fruibilità da parte degli utenti che vivono nello stesso centro (e deve essere oggetto di specifici interventi a livello comunale), dall'altro in generale ne favorisce l'accessibilità dall'esterno e dunque la raggiungibilità da parte degli autoservizi extraurbani o dei veicoli privati per l'interscambio modale.

In fig. 16 è illustrata la schematizzazione del processo di analisi delle alternative di progetto: in verde sono indicati i set di dati, in rosa le procedure ed in azzurro i momenti di scelta per l'interruzione dei processi ricorsivi. In linea di massima il processo comporta quattro fasi, schematizzate da altrettanti box tratteggiati parzialmente sovrapposti:

- modello di rete dello stato di fatto;
- modello di rete della generica alternativa X;
- stima della diversione modale generata dall'alternativa X;
- analisi comparativa degli scenari.

Si noti come il processo si applichi a qualunque alternativa di progetto, anche quella denominata "scenario tendenziale", di cui si dirà più avanti e che coincide con lo scenario di non intervento.

Il primo step **1** prevede la costruzione del modello di rete relativo allo stato di fatto, la sua calibrazione e l'aggiornamento della domanda di trasporto all'attualità.

Una volta messo a punto il modello complessivo dello stato di fatto, si passa alla costruzione del modello di of-

transport. About this point by the way it should be noticed that most stations in this area, for historical and urban reasons, are located at the edge of urban centers. Looking ahead, if on one hand this limits their usability for users who live in the very town center (and should be the subject of specific interventions at the municipal level), on the other hand generally favors the accessibility from the outside and therefore the accessibility by suburban services or private vehicles for modal interchange.

Figure 16 shows the schematization of the analysis process of project alternatives: green indicates the data set, pink the procedures and blue the choice moments for the interruption of recursive processes. In short, the process involves four phases, schematized by the same number of partially overlapped dashed box:

- network model of the present situation;
- network model of the generic alternative X;
- estimation of modal diversion generated by the alternative X;
- comparative analysis of the scenarios.

It should be noticed how the process applies to any alternative design, also the one called 'trend scenario' which will be discussed later and which corresponds to the non-intervention scenario.

The first step **1** involves the construction of the network model related to the present situation, its calibration and the update of the current transport demand.

Once developed the overall model of the present situation, we can proceed to the construction of the supply mod-

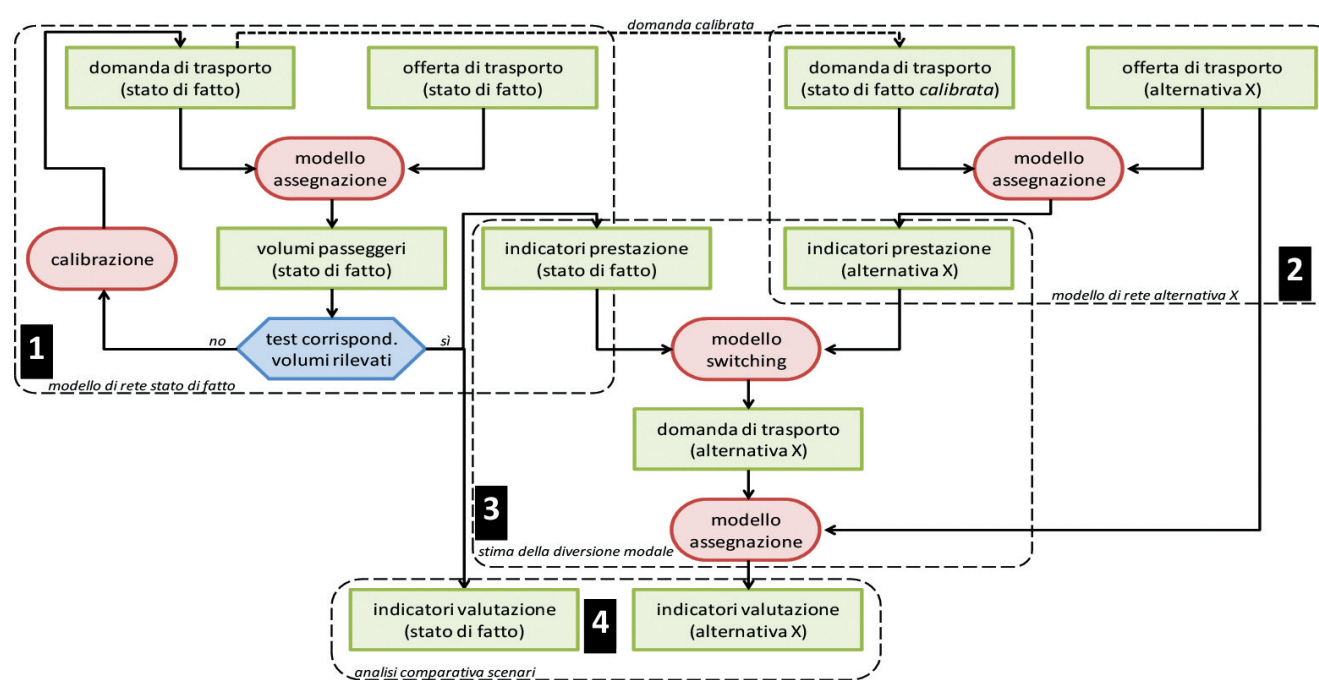


Fig. 16 - Schema della procedura di analisi dello scenario di progetto.
Figure 16: Analysis procedure diagram of the project scenario

OSSERVATORIO

ferta delle varie alternative di progetto **2**, compreso lo scenario tendenziale. Il modello di rete relativo a ciascuna alternativa viene costruito ipotizzando in primo luogo uno scenario di domanda statico, coincidente cioè con quello dello stato di fatto. In presenza di tale domanda vengono stimati gli indicatori di prestazione, cioè i valori delle variabili di input del modello di switching modale (tempi di accesso, percorrenza, costi, ecc.) e grazie a quest'ultimo **3** viene stimata la diversione modale corrispondente a ciascuna alternativa.

Viene parallelamente effettuata la proiezione della domanda di trasporto legata ai fattori demografici e socioeconomici descritti nel seguito, al fine di "traslare" nel tempo gli scenari tendenziale e di progetto tenendo conto dell'evoluzione territoriale. I nuovi scenari di domanda vengono dunque assegnati nuovamente ai modelli di offerta delle alternative di progetto corrispondenti, e vengono successivamente calcolati tutti gli indicatori utili alla valutazione ed al confronto delle alternative **4**.

Le alternative studiate sono caratterizzate da due differenti configurazioni infrastrutturali del tracciato, che determinano altrettanti tempi di percorrenza della linea, a loro volta distinte in termini di programma di esercizio (frequenza delle corse), così come rappresentato schematicamente in fig. 17.

3.4.1. Tempi di percorrenza

I tempi di percorrenza caratterizzano il servizio nelle diverse soluzioni di progetto. Per semplicità di trattazio-

*el of the different design alternatives **2**, including the trend scenario. The network model related to each alternative is constructed assuming at first a static demand scenario, which is coincident with the one of the actual state. In the presence of this demand, performance indicators, i.e. the values of the input variables of the switching modal model (access time, distance, cost, etc.), are estimated and thanks to the model **3** the modal diversion corresponding to each alternative is also estimated.*

*The projection of transport demand linked to demographic and socioeconomic factors described below is performed in parallel, in order to 'translate' the temporal trend scenarios and project taking into account the territorial development. The new demand scenarios are then assigned back to the supply models of the corresponding design alternatives, and then all indicators relevant for evaluation and comparison of the alternatives are calculated **4**.*

The alternatives studied are characterized by two different configurations of the track infrastructure, which determine just as many travel times of the line, which are also distinct in terms of operating program (service frequency), as schematically represented in fig. 17.

3.4.1. Travel times

Travel times characterize the service in different project solutions. For simplicity, an analysis of the solutions distinguishing three 'macro' routes that can also perform functions independent of territorial connection and which are characterized by the times shown in fig. 18 is reported.

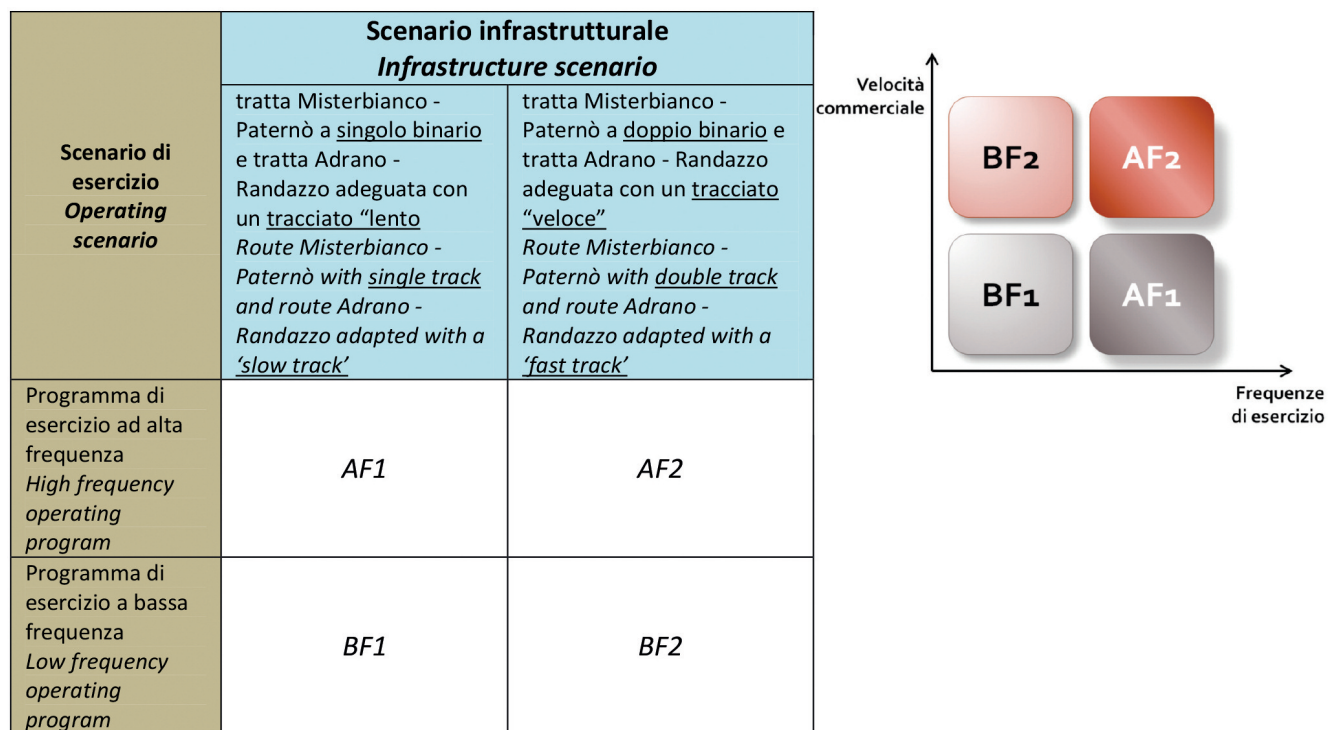


Fig. 17 - Schema logico delle soluzioni di progetto.
Fig. 17 - Diagram of project solutions.

OSSERVATORIO

ne, si riporta un'analisi delle soluzioni distinguendo tre "macro" tratte che possono svolgere funzioni anche indipendenti di connessione territoriale e che sono caratterizzate dai tempi riportati nella fig. 18.

La prima rilevante considerazione può essere determinata analizzando complessivamente il servizio offerto nelle differenti configurazioni: il tempo complessivo per percorrere l'anello etneo Riposto-Borgo che attualmente è stimabile in 201 minuti e che poco cambierà nello scenario tendenziale (198 minuti), si riduce di poco più del 10% nella soluzione di progetto AF1-BF1 (178 minuti), mentre è fortemente abbattuto nella soluzione AF2-BF2 (rispettivamente 133 minuti e 130 minuti) nella quale il risparmio complessivo è superiore ad un'ora (35%).

La fig. 18 evidenzia inoltre che il tratto che più beneficia dell'ammodernamento infrastrutturale è quello che collega Randazzo e Adrano, registrando un dimezzamento dei tempi di percorrenza nella soluzione progettuale AF2-BF2 rispetto allo stato di fatto. Poiché la tratta è quella meno riferibile ad una domanda principalmente attratta dal capoluogo etneo ovvero caratterizzata da scambi bidirezionali delle realtà territoriali presenti al suo interno, il miglioramento del servizio è comunque significativo in tutte le soluzioni di progetto.

La tratta Randazzo-Riposto è caratterizzata da ridu-

The first important consideration can be determined by analyzing overall the service offered in the different configurations: the total time to cover the Etna ring Riposto-Borgo which is currently estimated at 201 minutes and that little will change in the trend scenario (198 minutes), is decreased by just the 10% in the project solution AF1-BF1 (178 minutes), while it is strongly knocked down in the solution AF2-BF2 (respectively 133 minutes and 130 minutes) in which the total savings is more than one hour (35%).

The fig. 18 also shows that the route that most benefits from the modernization of infrastructure is the one connecting Randazzo and Adrano, recording a halving of the travel times in the design solution AF2-BF2 compared to the present situation. Being this route less attributable to a demand mainly attracted by Catania and characterized by two-way exchanges of territories within its own area, the service improvement is however significant in all project solutions.

The route Randazzo – Riposto is characterized by reductions in travel times which, to be fully appreciated, must be analyzed in conjunction with the waiting time for the possible breaks of bulk that users would experience in the ionic connection with Catania, which means in the presence of an uninterrupted service scenario. Moreover the reduc-

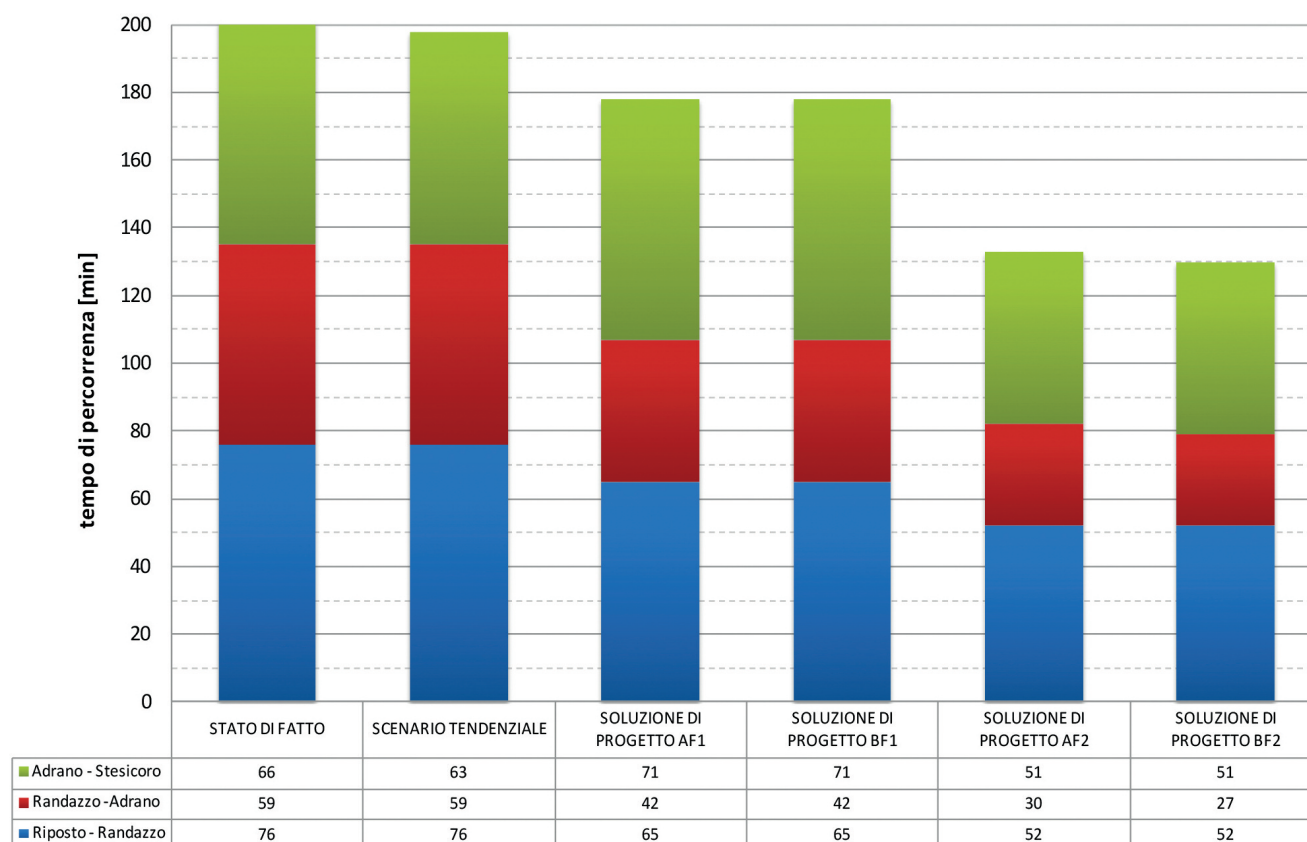


Fig. 18 - Tempi di percorrenza delle diverse soluzioni in analisi per macro tratte.
Fig. 18 - Travel times of the different solutions analyzed for macro sections.

OSSERVATORIO

zioni dei tempi di percorrenza che, per essere compiutamente apprezzabili, devono essere analizzate congiuntamente ai tempi di attesa per l'eventuale rottura di carico che subirebbero gli utenti nel collegamento ionico con Catania, ovvero in presenza di uno scenario di continuità del servizio. Soprattutto la riduzione dei tempi di percorrenza prevista nella soluzione AF1-BF1 (11 minuti) è, infatti, fortemente influenzata dall'eventuale perditempo presso la stazione di Giarre.

3.4.2. Servizi ferroviari

Il modello di assegnazione della domanda di trasporto collettivo è del tipo "ad orari". Questo tipo di assegnazione viene normalmente preferita a quella "a frequenza" nel caso di reti di trasporto pubblico d'ambito extraurbano, come è quella in questione. Tale modello richiede l'esplicita definizione e caricamento del programma di esercizio relativo a tutti i servizi di trasporto pubblico: in aggiunta a quelle relative allo stato di fatto, è dunque necessario inserire le nuove linee.

Per quanto attiene al versante ovest, gli scenari di progetto prevedono un servizio continuo, ossia senza alcuna rottura di carico, da Randazzo fino a Catania (la tratta urbana viene considerata in esercizio fino alla stazione Aeroporto, come da programma di sviluppo FCE) e ritorno. Viene altresì prevista una frequenza variabile lungo la linea. Ad esempio, le alternative AF1 e AF2 prevedono un intervallo di 15 minuti tra Randazzo e Adrano, di 10 minuti tra Adrano e Paternò e di 5 minuti tra Paternò e la stazione Aeroporto. Affinché questo possa avvenire senza imporre cambi di linea (ossia rotture di carico) in corrispondenza dei cambi di frequenza, occorre operare con linee parzialmente sovrapposte e relativi programmi di esercizio tra loro coordinati in modo da realizzare le frequenze richieste.

Sul versante Ovest, per le alternative ad alta frequenza (AF1 e AF2) occorre pertanto articolare il servizio tre linee:

- Linea 1: Randazzo-Aeroporto;
- Linea 2: Adrano-Aeroporto;
- Linea 3: Paternò-Aeroporto.

Le tre linee sono rappresentate in fig. 19 (sinistra), la quale illustra sinteticamente lo sviluppo sul territorio dei servizi ferroviari relativi agli scenari di progetto. Per le alternative a bassa frequenza (BF1 e BF2), a causa dell'ulteriore cambio di frequenza a Misterbianco, occorre aggiungere una quarta linea (Misterbianco-Aeroporto), come illustrato in fig. 19 (destra).

Quanto al versante est, la situazione è semplificata dal fatto che la linea ferroviaria non possiede l'appendice della tratta metropolitana. In questo caso esiste però una biforcazione della linea, in corrispondenza della stazione di Giarre della Ferrovia Circumetnea. Alcuni dei treni provenienti da Randazzo, giunti in questa stazione, passano sul tracciato RFI e proseguono, effettuando le fer-

tion in travel times scheduled in the solution AF1-BF1 (11 minutes) is, in fact, strongly influenced by the eventual waste of time at the station of Giarre.

3.4.2. Railway services

The assignment model of demand for public transport is 'time-based'. This type of assignment is normally preferred to the 'frequency-based' in the case of public transport networks in suburban area, as the one analyzed. This model requires the explicit definition and the loading of the operation program related to all public transport services: in addition to those related to the present situation, it is therefore necessary to include new lines.

With regard to the west side, design scenarios provide a continuous service, i.e. without any break of bulk, from Randazzo to Catania and back (the urban route is considered in operation until the Airport station, as stated by the FCE development program). It is also forecast a variable frequency along the line. For example, the alternatives AF1 and AF2 provide a split of 15 minutes between Randazzo and Adrano, 10 minutes between Adrano and Paternò and 5 minutes between Paternò station and airport. In order for this to happen without imposing changes of the line (i.e. breaks of bulk) in correspondence of the frequency changes, it's necessary to operate with partly overlapped lines and relative operating programs coordinated among themselves so as to achieve the required frequencies.

On the west side, the alternatives for high-frequency (AF1 and AF2) should therefore articulate in the three service lines:

- *Line 1: Randazzo-Airport;*
- *Line 2: Adrano-Airport;*
- *Line 3: Paternò-Airport.*

The three lines are shown in fig. 19 (on the left), which summarizes in the area the development of the rail services related to project scenarios. For the low-frequency alternatives (BF1 and BF2), due to the further change of frequencies in Misterbianco, it's necessary to add a fourth line (Misterbianco-Airport), as shown in fig. 19 (on the right).

In regard to the east side, the situation is simplified by the fact that the railway line does not possess the subway appendix. In this case, however, there is a bifurcation of the line, at the Ferrovia Circumetnea station of Giarre. Some of the trains from Randazzo, arrived at this station, pass on the RFI track and get, doing the main stops, towards the central station of Catania; others remain on the FCE track until the FCE station of Riposto, where they stop their service. The project scenario provides an equal sharing of rides along these two routes and thus produces a frequency on the route between Randazzo and Giarre which is twice than the one present on the downstream routes.

With regard to the intermediate splits of the various design solutions, as already said, the pair of solutions AF1-AF2, for which a 'high' frequency service management is

OSSERVATORIO

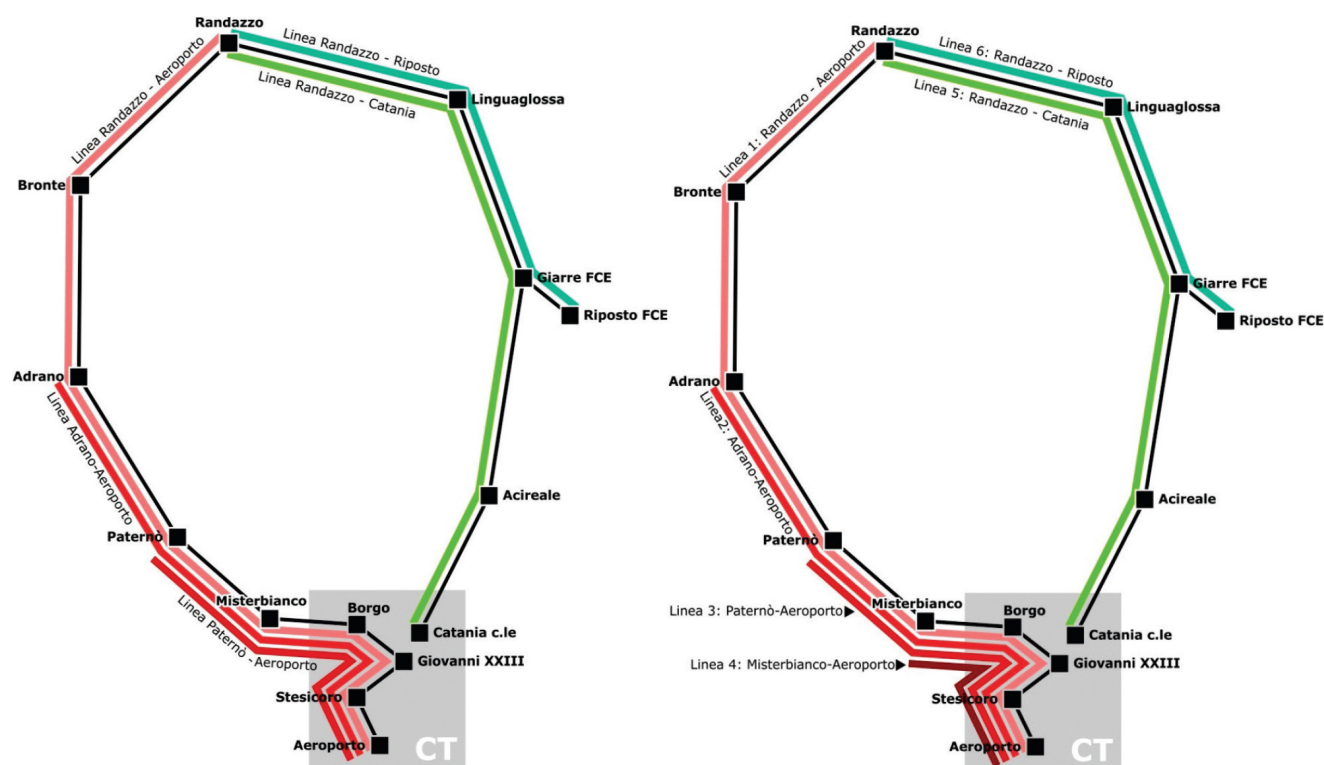


Fig. 19 - Schema geografico dei servizi ferroviari di progetto per le alternative AF (sinistra) e BF (destra).

Fig. 19 - Geographic scheme of rail project alternatives AF (left) and BF (right).

mate principali, verso la stazione Catania centrale; altri rimangono sul tracciato FCE fino alla stazione di Riposto, dove arrestano la corsa. Lo scenario di progetto prevede un'uguale ripartizione di corse lungo questi due itinerari e produce dunque una frequenza sulla tratta tra Randazzo e Giarre che risulta doppia rispetto a quella presente sulle tratte a valle.

Per quanto riguarda gli intertempi delle diverse soluzioni di progetto, come già detto, si distingue la coppia di soluzioni AF1-AF2, per la quale è prevista una gestione del servizio ad "alta" frequenza, dalla coppia di soluzioni BF1-BF2, per la quale, invece, è prevista una gestione del servizio a "bassa" frequenza. Nello specifico, nella tabella 7 sono stati indicati gli intertempi previsti per ciascuna soluzione e per ogni tratta.

I programmi di esercizio dei servizi ferroviari dei quattro scenari di progetto sono stati costruiti sulla base dei tempi di percorrenza e sono tra loro coordinati in modo da realizzare gli intertempi sopra introdotti. Occorre puntualizzare che l'indicazione della frequenza dei servizi ferroviari ha, nella fase di analisi trasportistica, la sola funzione di misurare l'attrattività dei servizi stessi per l'utenza, in modo da consentire la stima dell'entità della domanda deviata da altri sistemi di trasporto. Il modello di assegnazione utilizzato, infatti, non tiene conto dei vincoli di capacità delle linee di trasporto collettivo, di cui invece si tiene conto nella valutazione delle alternative di progetto, come mostrato nel seguito.

provided, can be distinguished from the pair of solutions-BF1 BF2 for which, instead, a 'low' frequency service management is provided. In particular, table 7 shows split times provided by each solution and each route.

The rail services operating programs of the four design scenarios were constructed on the basis of travel times and are coordinated with each other so as to achieve the above mentioned intermediate times. It should be pointed out that the indication of the frequency of rail services has, in the transport analysis phase, the only function to measure the attractiveness of the own services for the user, in order to enable the estimation of the extent of the demand deflected from other systems of transport. The allocation model used, in fact, does not take into account the capacity constraints of collective transport lines. Capacity is taken into account in evaluating project alternatives, as shown below.

3.5. Analysis and comparison of the project alternatives

Here follow the main indicators used for representing and comparing the project alternatives:

- passengers-km, given by the sum of all travelled kilometres on FCE lines during the peak hour (PH). It represents the total amount of transport 'consumed' and it is strictly correlated to revenue;
- production, which represents the amount of service pro-

OSSERVATORIO

TABELLA 7 - TABLE 7

Intertempi delle diverse soluzioni di progetto in analisi
Intermediates of the different design solutions analyzed

Tratta	Soluzione di progetto <i>Project alternatives</i> AF1 [min]	Soluzione di progetto <i>Project alternatives</i> AF2 [min]	Soluzione di progetto <i>Project alternatives</i> BF1 [min]	Soluzione di progetto <i>Project alternatives</i> BF2 [min]
Riposto - Giarre	30	30	60	60
Giarre - Piedimonte	15	15	30	30
Piedimonte - Linguaglossa	15	15	30	30
Linguaglossa - Randazzo	15	15	30	30
Randazzo - Maletto	15	15	30	30
Maletto - Bronte	15	15	30	30
Bronte - Adrano	15	15	30	30
Adrano - Biancavilla	10	10	20	20
Biancavilla - Paternò	10	10	20	20
Paternò - Misterbianco	5	5	10	10
Misterbianco - Borgo	5	5	5	5
Borgo - Stesicoro	5	5	5	5

3.5. Analisi comparativa delle alternative di progetto

I principali indicatori scelti per la rappresentazione e il confronto delle alternative di progetto sono i seguenti.

- passeggeri-chilometro: l'indice è dato dalla somma dei chilometri percorsi a bordo delle diverse linee ferroviarie FCE da tutti gli utenti nell'ora di punta (ODP). Esso indica la quantità di trasporto complessivamente effettuata ed è un indice strettamente legato ai ricavi tariffari;
- produzione: esprime la produzione di servizi complessiva e per ciascun sistema di trasporto, in termini di treni-km nell'ora di punta. L'indice, riportato su base annua, viene generalmente assunto come rappresentativo dei costi di esercizio.
- carico nell'ora di punta in termini di volumi passeggeri su ferrovia e autolinee e sulle singole tratte;
- numero di passeggeri saliti e discesi presso stazioni e fermate ferroviarie.

Con riferimento ai passeggeri-km ed alla produzione in termini di treni-km sulla linea ferroviaria in progetto, nonché all'entità delle vetture-km dei veicoli privati si riportano di seguito i dati quantitativi che caratterizzano il sistema nello stato di fatto, nello scenario tendenziale e nelle quattro soluzioni in cui si articola lo scenario di progetto.

Dall'analisi dei dati contenuti nella tabella 8 emerge piuttosto chiaramente la potenzialità dell'ammodernamento infrastrutturale in progetto di attrarre passeggeri sul servizio ferroviario FCE, a prescindere dall'alternativa in analisi, con incrementi, ad esempio, di un ordine di grandezza del numero di passeggeri chilome-

duced, for each transport system, in terms of train-km during the peak hour. This yearly index is generally used to represent operating costs;

- peak hour volume, in terms of passengers per hour on rail and bus lines for each route leg;
- number of passengers boarded and alighted for each railway station.

The following table contains numeric data about passenger-km and train-km, which describe the transport system considered for the present situation, the tendential situation and the project alternatives.

From data in table 8 it can be clearly noticed the opportunity of attracting new passengers on the FCE railway services given by the infrastructure empowerment, regardless to the considered project alternative. In fact the number of passenger-km can be increased to about ten times the present value, and it is generally assumed as an indicator of the system effectiveness.

In general, the project scenario is characterised by an FCE rail service involving 210-270 thousand passenger-km, with respect to 25,000 in the present situation and almost 50,000 in the tendential situation, as shown in fig. 20.

The analysis of production indicators, which represent the amount of service offered and the relevant operating costs, is influenced by this big demand increase. So, BF solutions result in a production (train-km) 5 times greater than the present situation, which gets 8 times greater in AF solutions.

The values of the mean load factor show that, even when running time does not vary (e.g. for AF2 and BF2 alternatives) and the system attractiveness remains almost

OSSERVATORIO

TABELLA 8 – TABLE 8

Indicatori di valutazione delle alternative di progetto
Indicators for the evaluation of the project alternatives

	2011	2025	2025	2025	2025	2025
Scenario scenario	Stato di fatto <i>Present situation</i>	Scenario tenden- ziale <i>Tendential</i> <i>situation</i>	AF1	AF2	BF1	BF2
pass-km FCE ferro ODP <i>pass-km on FCE rail lines in PH</i>	25.931	53.860	224.280	269.483	213.419	242.439
variazione su SDF <i>variance to present situation</i>		27.929	198.349	243.552	187.487	216.507
variazione % su SDF <i>% variance to present situation</i>		108%	765%	939%	723%	835%
variazione su ST <i>variance to tendential situation</i>			170.420	215.623	159.559	188.579
variazione % su ST <i>% variance to tendential situation</i>			316%	400%	296%	350%
treni-km FCE ferro ODP <i>train-km of FCE rail lines in PH</i>	214	299	1.595	1.595	1.012	1.012
posti-km FCE ferro ODP <i>seat-km of FCE rail lines in PH</i>	53.598	74.830	398.770	398.770	252.980	252.980
coeff. di riempimento <i>load factor</i>	0,48	0,72	0,56	0,68	0,84	0,96
vett-km auto ODP <i>car vehicle-km in PH</i>	1.393.635	1.586.336	1.510.993	1.498.110	1.511.535	1.502.422
variazione su SDF <i>variance to present situation</i>		192.701	117.358	104.474	117.900	108.787
variazione % su SDF <i>%variance to present situation</i>		14%	8,4%	7,5%	8,5%	7,8%
variazione su ST <i>variance to tendential situation</i>			-75.343	-88.227	-74.801	-83.914
variazione % su ST <i>%variance to tendential situation</i>			-4,7%	-5,6%	-4,7%	-5,3%

tro, indicatore usualmente utilizzato per esprimere l'efficacia di un sistema di trasporto collettivo.

In termini assoluti, lo scenario di progetto è caratterizzato da un servizio ferroviario FCE che determina un intervallo di passeggeri chilometro nell'ora di punta oscillanti tra i 210 ed i 270 mila, a fronte degli attuali poco più di 25 mila nello stato di fatto e dei quasi 50 mila dello scenario tendenziale, così come meglio evidenziato in fig. 20.

L'analisi degli indicatori di produzione, rappresentativi della quantità di servizio offerto e dei conseguenti costi d'esercizio, è influenzata, ovviamente, da tale notevole incremento di domanda cosicché le soluzioni BF sono caratterizzate da un numero di treni chilometro circa 5 volte superiore allo stato di fatto, mentre le soluzioni

unchanged (240,000 passenger-km in PH, against 270,000), low frequency services become rather insufficient

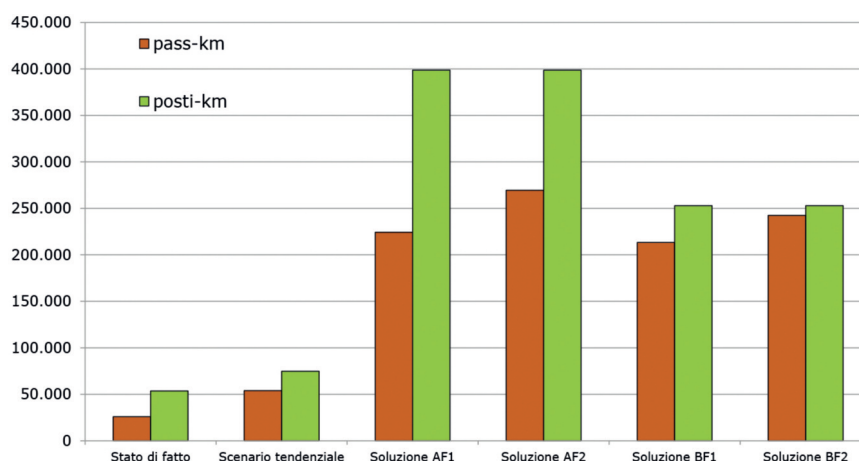


Fig. 20 - Indicatori di valutazione delle alternative di progetto (pass-km ferro ODP – posti-km ferro ODP).

Fig. 20 - Indicators for the evaluation of the project alternatives (pass-km on railway in PH – seat-km on railway in PH).

OSSERVATORIO

AF da un numero di treni addirittura 8 volte più grande di quello che caratterizza lo stato di fatto.

I valori stimati dei coefficienti medi di riempimento mostrano come, a parità di tempi di percorrenza (si veda ad esempio il passaggio dall'alternativa AF2 alla BF2), sebbene l'attrattività del sistema ne risenta relativamente poco (si passa da 240 mila a 270 mila di passeggeri-km nell'ora di punta), i servizi delle alternative a bassa frequenza cominciano a diventare insufficienti in termini di capacità (l'indice passa da 0,68 a 0,96).

Al potenziamento del servizio ferroviario ed al conseguente incremento dei passeggeri-km sulle tratte ferroviarie, corrisponde un decremento del totale dei chilometri percorsi sulla rete dalle autovetture private dell'ordine del 5%. Tale variazione, che in valori assoluti può essere stimata in circa 80.000 chilometri percorsi in meno dalle autovetture nell'ora di punta, determina comunque intuitibili vantaggi per gli utenti del sistema viario ed in generale per l'intera collettività in termini economici, ambientali e sociali (soprattutto in termini di riduzione degli incidenti).

Tali indicatori forniscono una visione complessiva degli impatti sulla mobilità associati ad ogni soluzione di progetto. Nel seguito si vuole dapprima fornire una valutazione complessiva dell'incidenza dell'intervento di am-

in terms of transport capacity (the mean load factor goes from 0,68 to 0,96).

The empowerment of the railway services and the consequent increase in passenger-km produce a decrease in the travelled kilometres by individual cars of about 5%, which corresponds to about 80,000 km during the peak hour. This is a great benefit for the other road users and generally for the whole community in economic, environmental and social (reduction in car accidents) terms.

These indicators provide a comprehensive vision of the effects on mobility for each project alternative. In the following, an assessment of the impact of the whole infrastructure empowerment (AF2 alternative) is first given. Then, in detail, the differences among the project alternatives are analysed.

3.5.1.1. Comparing the project scenario and the tendential situation

The indicators describing the project alternative AF2 in terms of public transport passenger volume and traffic at stations, shown in fig. 21, can be used as a reference to understand the impact of the project itself.

In terms of passenger volume (fig. 21 on the left) the rail system (red bars) becomes attractive even on the leg Adrano-Misterbianco, besides doubling the passengers vol-

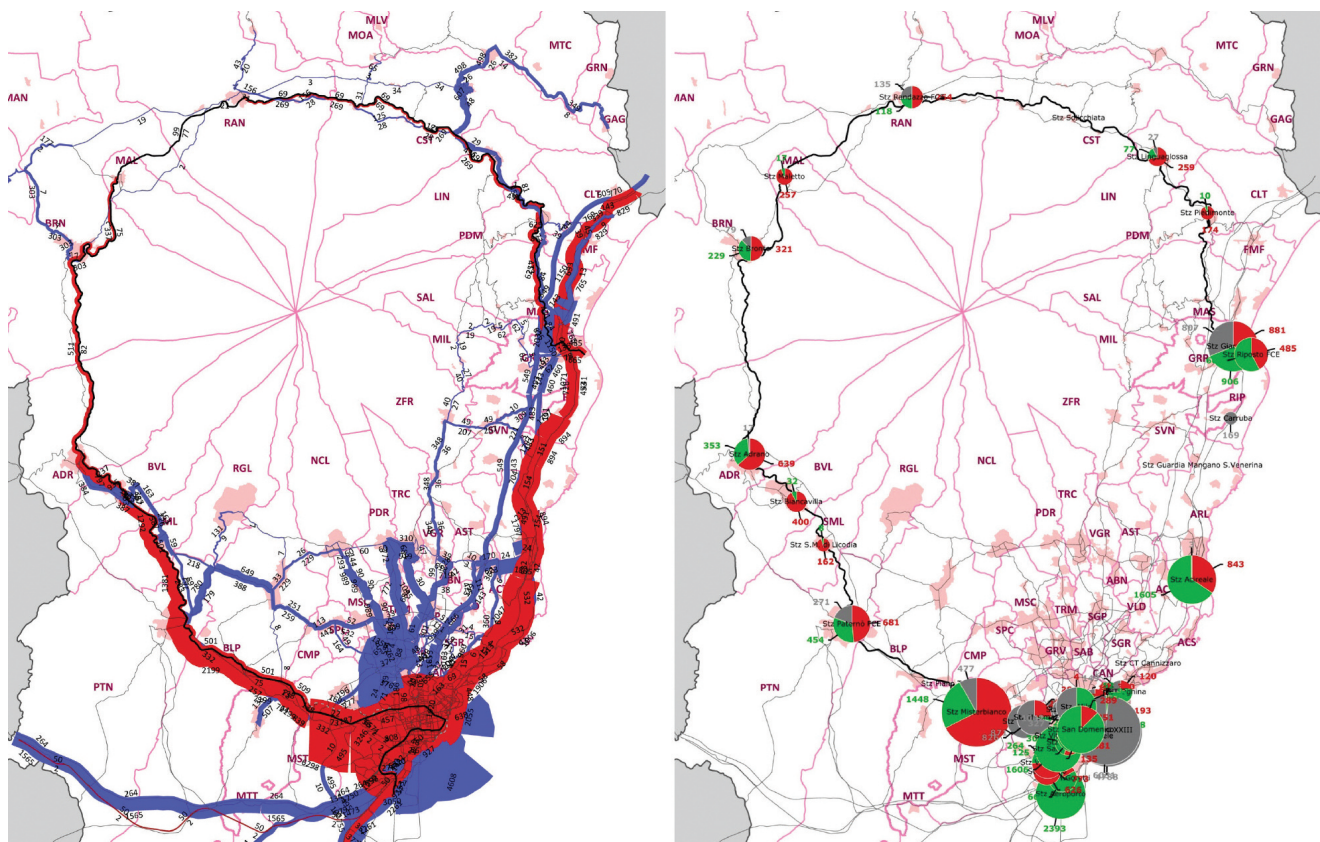


Fig. 21 - Alternativa AF2 - Volumi di passeggeri del trasporto pubblico sulle tratte (sinistra) e nelle stazioni (destra).
Fig. 21 - AF2 alternative - Public transport passengers traffic on the line (left) and in the stations (right).

OSSERVATORIO

modernamento rispetto allo scenario tendenziale, facendo riferimento a tal scopo all'alternativa di progetto AF2. Successivamente, e più nel dettaglio, si analizzano le differenze riscontrate tra le diverse alternative proposte.

3.5.1.1. Comparazione del progetto con lo scenario tendenziale

I valori degli indicatori che caratterizzano la soluzione di progetto AF2 in termini di volume di passeggeri del trasporto pubblico e di numero di passeggeri saliti e discesi, riportati in fig. 21, possono essere utilizzati come dato di riferimento per comprendere in valore assoluto cosa accade al sistema di trasporto dell'area nello scenario di progetto.

In termini di volumi passeggeri (fig. 21, sinistra), il sistema ferroviario (rappresentato dalle barre rosse) diviene competitivo e attrattivo anche nell'intera tratta Adrano-Misterbianco, raddoppiando inoltre i volumi già molto significativi dello scenario tendenziale relativamente al tratto metropolitano Misterbianco-Catania.

La ferrovia diviene un sistema di trasporto pubblico competitivo anche nel tratto etneo tra Adrano e Bronte. I volumi non elevatissimi sulle tratte specificatamente oggetto dell'intervento non traggano in inganno: l'effetto è comunque quello di realizzare percorrenze significative e soprattutto di alimentare le tratte a frequenza più elevate (la Misterbianco-Stesicoro ma anche la Paternò-Misterbianco).

Le tratte Bronte-Randazzo e Randazzo-Castiglione presentano valori di spostamenti meno rilevanti, che invece crescono lungo la tratta Castiglione-Fiumefreddo-Riposto, in virtù della vicinanza di tali stazioni con l'asse ferroviario ionico, ed al fatto che alcune delle linee sulla tratta Randazzo-Giarre proseguono (senza rottura di carico) lungo il tracciato di RFI da Giarre a Catania centrale.

In fig. 21 (destra) sono riportati i valori di traffico relativi alle singole stazioni per l'alternativa AF2. Per ciascuna stazione ferroviaria sono individuate le seguenti categorie di traffico:

- i passeggeri in origine (in rosso): coloro che iniziano il proprio spostamento nella stazione di riferimento, raggiunta a piedi dalla propria origine;
- i passeggeri in destinazione (in verde): coloro che terminano il proprio spostamento nella stazione di riferimento e che raggiungono a piedi la destinazione;
- i passeggeri in trasbordo (in grigio): coloro che "usano" la stazione per scambiare dal treno verso un altro sistema (ad esempio bus) o che provengono da un altro sistema e prendono il treno in stazione.

La fig. 22 consente di confrontare le variazioni di traffico complessivo alle stazioni tra le diverse alternative di progetto ed il tendenziale.

Relativamente a tale scenario (AF2), oltre alle stazioni interne al capoluogo etneo che sono evidentemente caratterizzate da un forte scambio con il sistema di TPL urba-

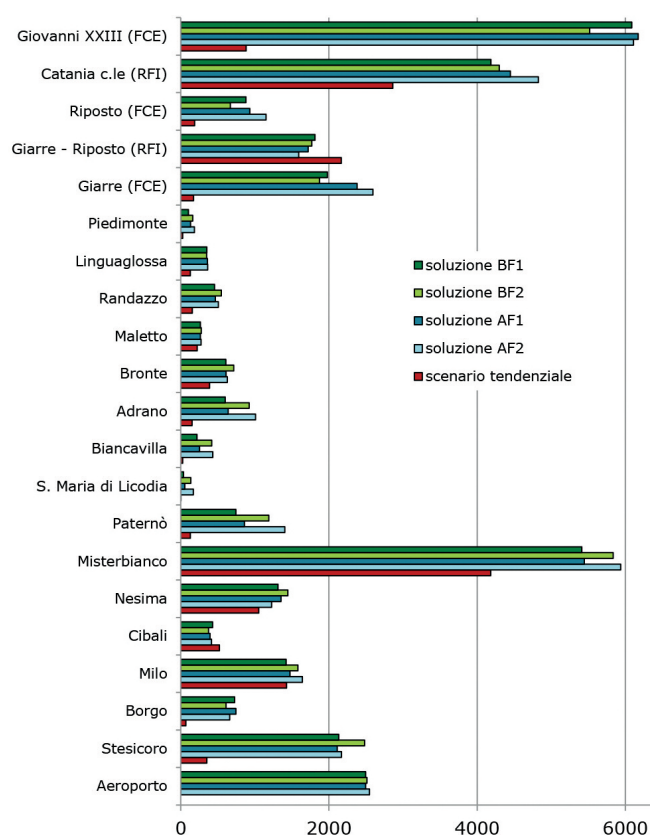


Fig. 22 - Traffico nelle stazioni (confronto tra le alternative e lo scenario tendenziale).

Fig. 22 - Traffic in stations (comparison among the alternatives and the tendential situation).

umes on the metro leg Misterbianco-Catania, quite heavy in the tendential situation indeed.

The railway becomes an attractive transport system also in the leg Adrano-Bronte. Though traffic volumes along the track are not that high, they produce a significant amount of passengers-km (due to distance) and feed higher frequency services (Misterbianco-Stesicoro and Paternò-Misterbianco).

Bronte-Randazzo and Randazzo-Castiglione legs collect lighter traffic volumes, that increase from Castiglione and Fiumefreddo to Riposto, thanks to the closeness of the stations to the national railway line (RFI) along the coast and, also, to the opportunity for several services from Randazzo to Giarre to prosecute on the RFI track until Catania central station.

In fig. 21 (on the right) station passenger traffic is shown for the AF2 alternative. The following traffic categories are indicated:

- departing passengers (in red), which begin their trip in the relevant station, where they arrive on foot;
- arriving passengers (in green), which finish their trip in the relevant station and reach their final destination on foot;

OSSERVATORIO

no, le stazioni con una maggiore propensione per l'intercambio risultano quelle di Paternò, Randazzo, Giarre e, in parte, Misterbianco, per la presenza di attestamenti di linee di TPL extraurbano su gomma dai territori circostanti. Adrano e Bronte sono le altre stazioni che presentano i valori più elevati di passeggeri saliti/discesi, oltre ovviamente alle stazioni metropolitane da Misterbianco (quella col carico maggiore in assoluto) a Stesicoro. La rappresentazione dell'indicatore nell'ora di punta del mattino determina l'evidente preponderanza in quasi tutte le stazioni dei passeggeri saliti in direzione Catania centro.

La fig. 23 rappresenta il confronto tra l'alternativa AF2 e lo scenario tendenziale in termini di differenza di volumi di passeggeri che si servono del trasporto pubblico nei due scenari. In verde sono rappresentati gli incrementi di traffico che si registrano a seguito della realizzazione del progetto, in rosso i decrementi (si ricorda che il tracciato ferroviario FCE è indicato con un tratto più spesso).

Nello specifico, la fig. 23 evidenzia ancora di più gli incrementi di attrattività che caratterizzano sia la tratta Adrano-Catania nello scenario di progetto, che attrae volumi da quanti utilizzano le autovetture e le autolinee, sia la Bronte-Randazzo, seppure in questo caso la variazione dei volumi sia non particolarmente elevata, sia la Randazzo-Riposto. Dal confronto con le variazioni subite dalle autolinee, si nota come il nuovo traffico sulla tratta Randazzo-Adrano non corrisponda ad un pari decremento nel traffico su autolinea, segno di una diversione modale dall'autovettura più marcata. Nella tratta Randazzo-Riposto invece, a fronte di una più modesta diversione dal trasporto privato, si osserva un significativo decremento del traffico su autolinea. Questa rappresentazione consente ulteriori approfondimenti che permettono di comprendere l'elevato incremento di passeggeri chilometro evidenziato nel paragrafo precedente.

Questa rilevante variazione è fortemente influenzata da quanti nella soluzione AF2 utilizzano le tratte FCE più vicine al capoluogo, ammodernate e rese competitive, andando altresì a caricare la tratta metropolitana interna alla città. L'assenza di rottura di carico a Misterbianco per quanti provengono dal versante ovest determina un duplice effetto: innanzitutto una maggiore efficienza economica della tratta Misterbianco-Stesicoro che vede incrementato il numero di utenti (la barra verde di incremento dei vo-

- *transfer passengers (in grey), which change transport system (train to bus or bus to train) in the relevant station.*

Fig. 22 allows to compare the variation in the total station traffic among the different project alternatives and the tendential situation.

For the AF2 alternative, besides stations inside the city of Catania, which present a strongly integrated traffic with the urban transport system, the most important transfer stations are Paternò, Randazzo, Giarre and partly Misterbianco, mainly for the presence of many bus services connecting the surrounding area. Also Adrano and Bronte stations have significant boarded/alighted passenger traffic and, of course, the metro stations from Misterbianco (the station with the heaviest traffic among all) to Stesicoro.

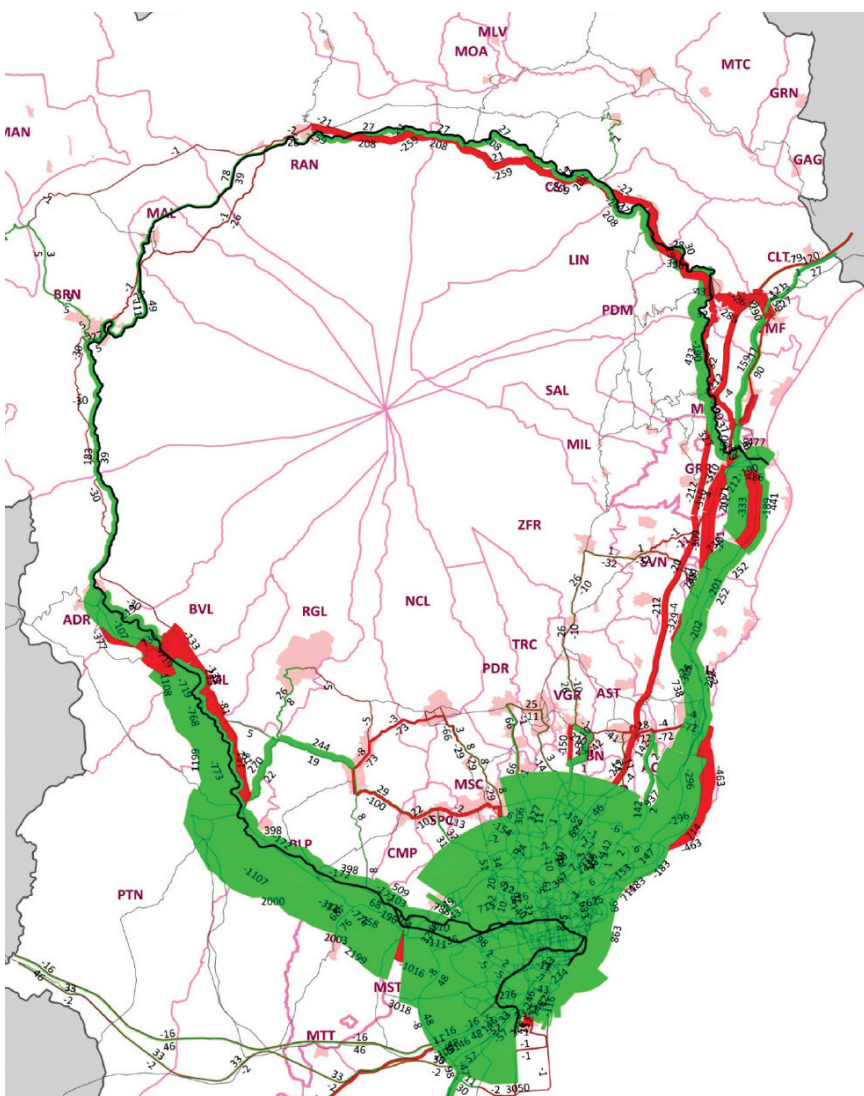


Fig. 23 - Volumi di passeggeri del trasporto pubblico - differenza tra alternativa AF2 e scenario tendenziale.

Fig. 23 - Public transport passenger volumes – difference between the AF2 alternative and the tendential situation.

OSSERVATORIO

lumi è decisamente significativa anche nella tratta interna al capoluogo) e, in termini complessivi, un maggior “peso” in termini di passeggeri-km di quanti, nello scenario di progetto, entrano sulla rete nei paesi esterni al capoluogo e potenzialmente percorrono oltre alla tratta di ingresso alla città anche una significativa porzione della Misterbianco-Stesicoro.

Tale riflessione permette di dedurre come gli effetti dell’ammodernamento dell’anello FCE non debbano essere ricercati soltanto nell’incremento del numero di passeggeri che salgono alle singole stazioni interessate dall’intervento bensì anche nel complessivo maggiore utilizzo della tratta metropolitana Misterbianco-Stesicoro.

3.5.1.2. Confronto tra le alternative di progetto

Dall’analisi dei dati contenuti nella tabella 7 emergono informazioni già utili all’analisi comparata delle differenti soluzioni di progetto. È possibile infatti evidenziare come le soluzioni AF1 e BF1, caratterizzate da frequenze differenti nel servizio ma da velocità di percorrenza analoghe, presentano una analoga efficacia del servizio, pari a 220 mila passeggeri-km nell’ora di punta, il che suggerisce che nel caso di soluzione di progetto “1” (bassa velocità commerciale), una frequenza del servizio più elevata non è percepita come un significativo miglioramento del servizio complessivo, pur determinando ovviamente costi di esercizio maggiori.

Confrontando la BF1 con la soluzione BF2, i valori riportati nella tabella 7 evidenziano come le due soluzioni caratterizzate da tempi di percorrenza diversi e frequenze del servizio analoghe, presentano una differente efficacia del servizio rappresentata da un 10% di passeggeri-km in più per la soluzione BF2, che si riflette su un incremento del coefficiente di riempimento dei treni nell’ora di punta. In termini di traffico attratto dal sistema dei veicoli privati le due soluzioni, invece, differiscono poco l’una dall’altra.

Con la stessa rappresentazione grafica già utilizzata per localizzare sulla rete le differenze nei volumi dei passeggeri del trasporto pubblico nell’ora di punta, in fig. 24 vengono riportati i confronti tra alternativa AF2 e, rispettivamente, AF1 (stessa frequenza ma velocità commerciale più bassa) e BF2 (stessa velocità commerciale ma frequenza minore).

Rispetto all’alternativa AF1, la AF2 evidenzia, soprattutto, un maggior numero di passeggeri nella tratta Adrano-Stesicoro (barra in verde nell’ordine di grandezza dei 1000 passeggeri), mentre sono meno significative le variazioni negli altri tratti di rete. Tutto ciò si riflette in un numero di passeggeri km superiore del 25% per la soluzione AF2 seppure in termini di traffico attratto dal sistema dei veicoli privati le due soluzioni differiscono poco l’una dall’altra (tabella 7), per cui tale incremento è riferibile ad una maggiore diversione dal TPL extraurbano su gomma.

Tali soluzioni, analoghe in termini di frequenze di servizio, differiscono per la velocità commerciale garantita dai tracciati e quindi per il costo di realizzazione degli interventi di ammodernamento. In tal senso, la soluzione AF1

Since the values refer to the morning PH, most traffic is addressed towards Catania city centre.

Fig. 23 represents a comparison among the alternatives and the tendential situation in terms of difference in public transport passenger volumes. Traffic increase is represented in green colour, traffic decrease in red (please note that FCE railway track is indicated with the thicker line).

In detail, fig. 23 highlight even more the attractiveness of the Adrano-Catania leg in the project scenario, which takes traffic from both individual cars and bus services, the Bronte-Randazzo leg (even if the variation is not so high) and the Randazzo-Riposto leg. When comparing this variation with traffic on bus services, it can be noticed that the new traffic on Randazzo-Adrano rail line is greater than the decrease on the relevant bus services, due to a greater modal switch from individual cars. On the contrary, along the Randazzo-Riposto leg a smaller modal switch from individual cars and a greater passengers decrease on bus lines are observed. The representation in figure allows several other reflections in order to understand the high increase in passenger-km, which has been highlighted in the previous paragraph.

This high increase is due to passengers using FCE rail lines closer to the city centre in AF2 solution, empowered and attractive, raising traffic levels on the metro city line. Since passengers coming from west side do not need to change train in Misterbianco, a greater economic efficiency of Misterbianco-Stesicoro line is observed, with an increased passenger traffic (volume green bar is quite thicker also inside the city centre). In addition, an extension of travelled distances can be noticed, which determines a greater amount of passenger-km for passengers entering the network from the surrounding boroughs and travel also inside the city boundaries along the Misterbianco-Stesicoro line.

It can be stated that the empowerment of the FCE rail ring determines not only an increase in the number of passengers boarding the trains at the involved stations, but also in a comprehensive greater usage of the metro city line.

3.5.1.2. Comparison among the project alternatives

The analysis of data in Table 7 highlights some information useful also for the comparison of the project alternatives. It can be noticed that AF1 and BF1 solutions, which have different service frequency and similar commercial speed, show a similar effectiveness (they both collect about 220 thousand passenger-km during the peak hour) so that for the low commercial speed alternatives (XX1) a higher frequency is not perceived as a significant improvement of the service, but it produces higher operating costs.

When comparing BF1 and BF2 solutions, which have different commercial speed and similar service frequency, indicators show a greater increase (about 10%) in effectiveness and a relevant increase in the load factor during the peak hour. The two solutions slightly differ in terms of traffic diversion from individual cars.

OSSERVATORIO

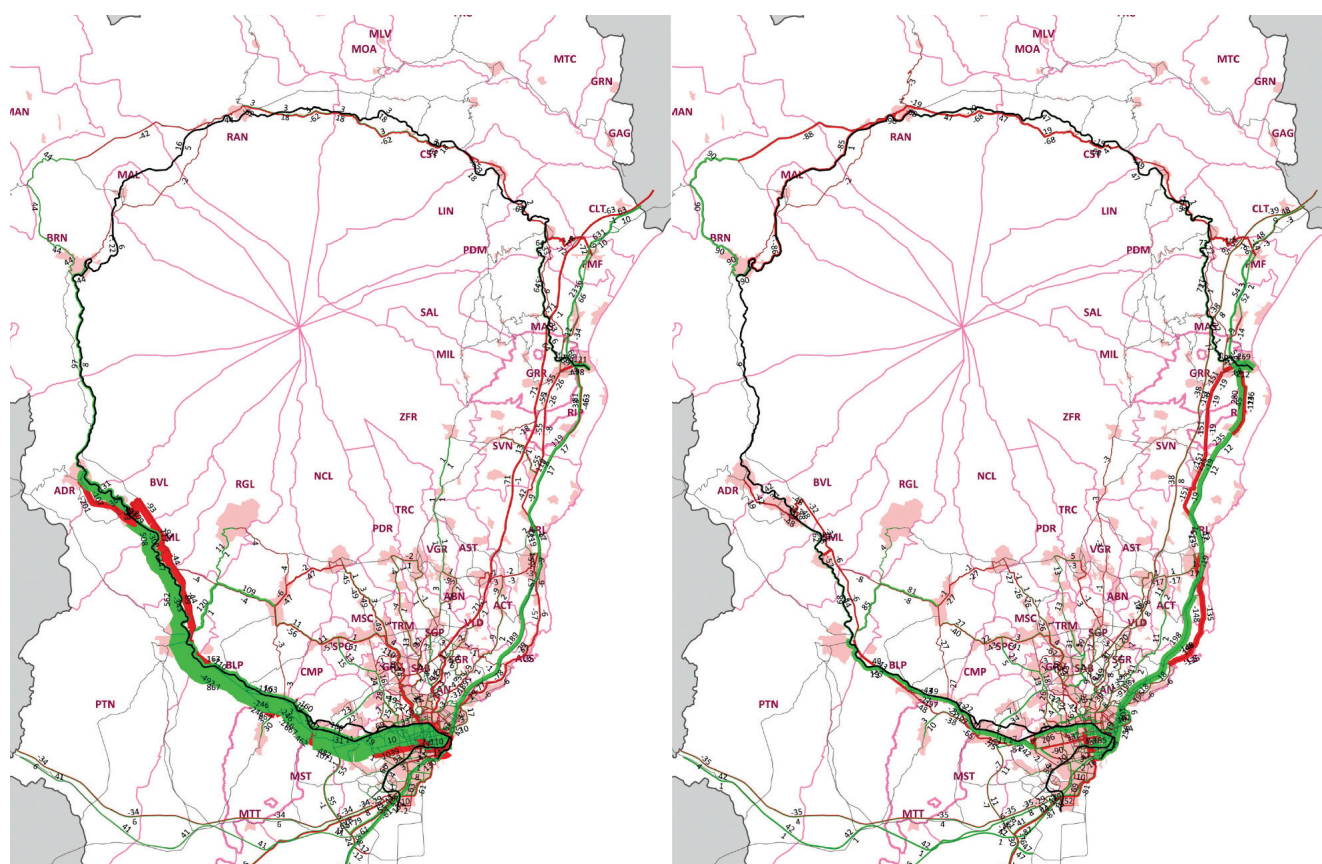


Fig. 24 - Volumi di passeggeri del trasporto pubblico - differenza tra AF2 e AF1 (sinistra) e AF2 e BF2 (destra).
 Fig. 24 - Public transport passenger volumes – difference between AF2 and AF1 alternatives (left) and between AF2 and BF2 alternatives (right).

ha il vantaggio di costare meno in fase di realizzazione dell'intervento, ma produce effetti troppo simili alla soluzione BF1, la quale a sua volta costa meno anche dal punto di vista dell'esercizio: se ne deduce che è poco produttivo incrementare la frequenza di servizio su linee con tempi di percorrenza più elevati, ritenendo pertanto di poter scartare la soluzione AF1 dal processo decisionale di scelta.

In quest'ottica diventa significativa la comparazione della soluzione AF2 con la soluzione BF1, poste agli estremi in termini di costi di realizzazione e di esercizio. La soluzione AF2 presenta circa 55 mila passeggeri km in più nell'ora di punta. Il coefficiente di riempimento dei treni nell'ora di punta è meno produttivo per la soluzione AF2, tuttavia quello relativo alla BF1 rischia di determinare eventuali problemi di capacità.

Il confronto tra l'alternativa AF2 e la BF2 produce dei lievi effetti migliorativi lungo la Paternò-Stesicoro, ma anche lungo la tratta Giarre-Catania (nell'ordine di grandezza di 200 passeggeri) mentre sono decisamente meno significative le variazioni negli altri tratti di rete. In termini complessivi la soluzione AF2 è caratterizzata da circa il 10% in più di passeggeri km nell'ora di punta (pari a 25 mila).

La soluzione BF2 presenta il bilanciamento più efficiente (coefficiente di riempimento pari a 0,96 nell'ora di punta) tra domanda e offerta, che pone quasi con certez-

The graphic representation used to locate on the network the differences in the peak hour passenger volume is used in fig. 24 to show the comparison between alternatives AF2 and, respectively, AF1 (same service frequency but lower commercial speed) and BF2 (same commercial speed but lower service frequency).

The alternative AF2 mainly shows, with respect to the alternative AF1, a heavier passenger traffic along the Adrano-Stesicoro leg (green bar of about 1000 passengers per hour), while less significant are the differences in the rest of the network. That results in a total amount of passenger-km that is 25% higher, even if in terms of modal diversion from individual cars the two alternatives differ little one from the other (table 7). So, this increase is mainly due to traffic attraction from bus services.

These solutions, which are similar in terms of service frequency, have different commercial speed due to faster tracks in AF2 and different construction costs. The alternative AF1 is more affordable, but it has too similar effects to the solution BF1, which is even more affordable due to lower operating costs: it can be said that it is not the case to raise service frequency on slower tracks: so, the solution AF1 can be excluded from the range of feasible alternatives.

It becomes significant the comparison between AF2 and BF1 solutions, which are extremely different in terms of

OSSERVATORIO

za la necessità di prevedere, almeno sulle corse più caricate, un potenziamento del servizio. Il costo di realizzazione dell'intervento è analogo, mentre varia il costo di esercizio delle due alternative.

Naturalmente, il confronto tra l'alternativa AF2 e la BF1 evidenzia come la prima spunti prestazioni migliori e di conseguenza attragga complessivamente più traffico, seppur con costi di realizzazione e gestione superiori.

Rispetto alla AF2, l'alternativa BF2 costituisce una scelta intermedia di pari impegno infrastrutturale ma con costi d'esercizio inferiori. Tra le due, potrebbe essere preferibile la prima perché maggiormente attrattiva per la domanda, e comunque in grado di essere modulata nel tempo in modo da ridurre i costi di esercizio nei periodi in cui ciò dovesse rendersi necessario.

Anche la BF1, rispetto alla BF2, costituisce una scelta intermedia, stavolta con costi di costruzione inferiori e pari esercizio. In questo caso, la seconda alternativa appare meno conveniente perché determina ulteriori decrementi della domanda, senza possibilità di intervento mediante potenziamento dell'esercizio (come si vede dalla AF1, questo avrebbe scarsissimi effetti).

4. Conclusioni

Lo studio effettuato conferma la grande importanza degli interventi di miglioramento e potenziamento dell'infrastruttura ferroviaria nell'ottica di realizzare un cambio di modalità a favore del trasporto pubblico, conseguendo tutta una serie di ulteriori risultati, quali riduzione della congestione, incremento della sicurezza stradale per la contrazione degli incidenti, diminuzione delle altre esternalità (tra le quali la dipendenza energetica dal petrolio e le emissioni di CO₂). Ciò è naturalmente ancora più vero nei casi, come quelli in oggetto, in cui gli interventi risultano particolarmente onerosi dal punto di vista dell'impatto territoriale e finanziario, quando gli incrementi di performance anche di pochi punti percentuali producono risultati comunque piuttosto significativi in termini assoluti.

Il modello di diversione modale, calibrato in base ai comportamenti attuali degli utenti e a quelli da loro dichiarati, ha consentito di dare il giusto peso alle variabili in base alle quali gli utenti stessi scelgono una modalità di trasporto piuttosto che un'altra, potendo così stimare l'effetto più importante di un intervento di questo tipo, ossia appunto la "cattura" di una quota di traffico dal trasporto privato e non solo da altri sistemi di trasporto pubblico eventualmente in competizione con i servizi ferroviari in oggetto. Il tutto è stato "complicato" dalla necessità di prevedere un orizzonte temporale di riferimento particolarmente lungo (2025) e dunque la necessità di prevedere una variabilità della domanda complessiva di trasporto nell'area, legata a questioni meramente territoriali e socioeconomiche.

L'insieme di tutti questi elementi, necessari non solo per la scelta dell'alternativa di progetto migliore ma anche per la valutazione di coerenza del progetto con la pianificazione

both operating and construction costs. AF2 solution presents about 55,000 passenger-km more than BF1 during peak hour. The AF2 load factor is less efficient, but the value found for BF1 probably produces capacity issues.

Compared to BF2, AF2 alternative shows slight improvements along the Paternò-Stesicoro line, but also along the Giarre-Catania line (about 200 more passengers), while variations in the rest of the network are negligible. Generally, the AF2 solution has about 10% more passenger-km during the peak hour (about 25,000).

The BF2 solution has the highest load factor (0,96 during the peak hour), that certainly requires to empower services, at least on higher traffic routes. The construction cost is almost the same, while operating costs are different for the two alternatives.

Of course, the comparison between the alternatives AF2 and BF1 shows that the first realizes a better performance and attracts generally more traffic, even with higher construction and operating costs.

The alternative BF2, with respect to AF2, represent an intermediate step with similar infrastructure and lower operating costs. The AF2 might be preferable, because it can attract a higher share of demand and can be modulated in order to reduce operating cost during low traffic time intervals.

Also BF1 represent an intermediate step with respect to BF2. It has lower construction costs and the same operating costs. BF2 solution can be considered less feasible because it produces a further decrease in demand and there is little space for empowerments (as in AF1 solution, it would produce negligible effects).

4. Conclusions

This case study confirm the great effectiveness that improvements on rail infrastructure can have in order to determine a modal shift towards public transport. Significant results can be achieved, such as road congestion decrease, road safety improvement due to accident reduction, externalities mitigation (the main being oil energetic dependence and CO₂ emissions). Even more when, as in this case, infrastructural measures to be undertaken are quite heavy in terms of territorial and financial impact and even slight performance increases can produce significant results.

The modal switching model, calibrated according to the revealed and stated users' behaviour, allowed to consider the main variables that determine users' modal choices. So, it has been possible to assess the main effect of the project, that is demand diversion from individual car traffic, not only from other competing public transport services. The analysis has been 'complicated' also by assuming a planning horizon quite far (2025), which implies a variability of the comprehensive transport demand due to territorial and socioeconomic issues.

OSSERVATORIO

locale e, soprattutto, le politiche europee ha reso lo studio completo in termini di relazioni con il contesto sociale e istituzionale e col sistema economico. Ciò anche grazie al fatto, come già accennato, di aver considerato gli effetti dell'intera rete e di non essersi limitati ad una analisi di "corridoio".

Uno studio così complesso e basato su una grande mole di dati territoriali e trasportistici ha naturalmente messo in luce alcune criticità, legate soprattutto al contesto culturale e professionale in cui si trova ad operare chi si occupa di analisi quantitativa per la pianificazione dei trasporti.

La principale di queste è la carenza di informazioni ben strutturate sulla mobilità: l'assenza cioè di un database aggiornato di dati sulla domanda di trasporto (per esempio regionale), di previsioni attendibili degli scenari demografici, territoriali e di (de)crescita economica durante la vita utile dell'opera, di sistemi di monitoraggio del traffico certificati e funzionanti. Tutto questo incide non tanto sulla possibilità di ottenere stime attendibili degli indicatori di mobilità e accessibilità, quanto piuttosto limita la "ripetibilità" dei processi e la confrontabilità con altri studi che incidono sullo stesso territorio o su aree ad esso contigue, la cui coerenza sarebbe invece determinante per una più corretta valutazione dei risultati del singolo studio.

All these elements were needed for both the selection of the most feasible project alternative and the assessment of the project compatibility with local planning and European policies. They made the study complete in terms of relation with social and institutional context and the economic system, also because the analysis have been extended to the whole network and it has not be limited to the transport corridor.

Such a complex study, based on a big amount of data about transport and territory, highlighted some critical points, strictly related to cultural and professional context where transport planners and analysts operate.

The main of these is the lack of well-structured information about mobility: in detail, there is no constantly updated data base about transport demand, no accurate forecast of demographic, territory and growth scenarios, no certified traffic monitoring systems. That affects not only the opportunity of obtaining accurate evaluation of transport and accessibility indicators, but it mainly limits the 'repeatability' of process and the possibility to compare results among different studies on the same territory or in the surrounding area, in order to evaluate correctly the coherence of each analysis and validate it.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] M. BEN AKIVA, S. LERMAN, *"Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand"*, MIT Press, Cambridge, Mass, 1985.
- [2] M. BEN AKIVA, T. MORIKAWA, *"Estimation of switching models from revealed preferences and stated intentions"*, Transportation Research Part A: General, 24 (6) pp. 489-495, 1990.
- [3] E. CASCETTA, *"Metodi quantitativi per la Pianificazione dei sistemi di trasporto"*, CEDAM, 1990.
- [4] E. CASCETTA, *"Teoria e Metodi dell'Ingegneria dei Sistemi di Trasporto"*, UTET, 2004.
- [5] E. CASCETTA, A. PAPOLA, F. PAGLIARA, V. MARZANO, D. GENTILE, *"Mobility and location impacts analysis of the HS line Roma-Napoli"*, Ingegneria Ferroviaria, volume 64, issue 7-8, pp. 649-665, 2009.
- [6] R. D'ARMINI, P.G. D'ARMINI, *"Interaction between project, zonal accessibility and generated demand"*, Ingegneria Ferroviaria, volume 67, issue 12, pp. 983-998, 2012.
- [7] M. DE LUCA, *"Manuale di Pianificazione dei trasporti"*, Franco Angeli, 2000.
- [8] S. DE LUCA, A. CARTENI, *"A multi-scale architecture for estimating of transport mode choice induced by a new railway connection: The Salerno-University of Salerno – Mercato Severino route"*, Ingegneria Ferroviaria, Volume 68, Issue 5, pp 447-473, 2013.
- [9] EC, EU energy trends to 2030 - UPDATE 2009. doi:10.2833/21664, 2010.
- [10] M. GALLO, B. MONTELLA, L. D'ACIERNO, *"The transit network design problem with elastic demand and internalisation of external costs: an application to rail frequency optimisation"*, Transport Research Part C, 19, pp 1276-1305, 2011.
- [11] M. IGNACCOLO, S. CAPRÌ, U. GIUNTA, G. INTURRI, *"Discrete Choice Model for Defining a Parking-Fee Policy on Island of Ortigia, Siracusa"*, Journal of Urban Planning And Development, ASCE, vol. 132 - No. 3; p. 147-155, 2006.
- [12] Y. LEE, V. VUCHIC, *"Transit Network design with variable demand"*, Journal of Transportation Engineering, 13(1) pp 1-10, 2005.
- [13] J. ROSINOWSKI, *"Entwicklung und Implementierung eines ÖPNV-Matrixkorrekturverfahrens mit Hilfe von Methoden der Theorie unscharfer Mengen (Fuzzy-Sets-Theorie)"*, Master thesis, University of Karlsruhe, 1994.