



Un'architettura modellistica multi-scala per la stima delle ripartizioni modali indotte da un nuovo collegamento ferroviario: il caso studio della tratta Salerno-Università di Salerno-Mercato San Severino

A multi-scale modelling architecture for estimating of transport mode choice induced by a new railway connection: the Salerno-University of Salerno-Mercato San Severino Route

Prof. Ing. Stefano DE LUCA^(*) - Dott. Ing. Armando CARTENI^(**)

1. Introduzione

Una delle principali problematiche nella modellazione di un sistema di trasporto è rappresentata dal livello di dettaglio da adottare nella specificazione dei modelli di stima della domanda di mobilità. Il problema è tanto più rilevante quanto maggiori sono l'estensione e l'eterogeneità delle aree influenzate dalle opzioni d'intervento.

La pratica comune tipicamente persegue un approccio mono-scala, modellando l'intero sistema di trasporto mediante un unico modello, coerente con la scala territoriale dell'area di studio e indifferente alle eventuali specificità territoriali e/o trasportistiche. Un tale approccio, in presenza di evidenti eterogeneità, può condurre a sotto-stime o sovra-stime dei flussi di domanda modali e, pertanto, a stime non corrette degli impatti interni ed esterni su utenti e non utenti del sistema di trasporto stesso.

In questo lavoro si propone un'architettura modellistica multi-scala per la stima dei flussi di domanda modali generabili da un nuovo collegamento ferroviario. In particolare è stato analizzato l'adeguamento e potenziamento del collegamento ferroviario a servizio della tratta Salerno-Fisciano-Avellino. Il collegamento, benché a servizio di un'area di ridotte dimensioni, induce effetti a larga scala in virtù del sistema fortemente integrato di metropolitana regionale di cui diviene parte.

L'architettura modellistica si basa sull'individuazione di macro-aree omogenee rispetto agli effetti che le opzioni d'intervento potranno indurre sui comportamenti di

1. Introduction

One of the main problems in the modelling of a transport system is the level of detail required in the specification of travel demand models. The problem is all the more significant as the greater the extension and diversity of areas influenced by intervention options is.

Common practice typically pursues a mono-scale approach, modelling the entire transport system using a single model, consistent with the territorial scale of the study area and indifferent to any territorial and/or transportation specificities. Such an approach, in the presence of apparent heterogeneity, can lead to under or over-estimates of modal demand flows and, therefore, to incorrect estimates of internal and external impacts on users and non-users of the transport system itself.

This work proposes a multi-scale modelling architecture for estimating modal demand flows that can be generated by a new railway connection. In particular, the adaptation and upgrading of the railway connection serving the Salerno-Fisciano-Avellino link was analysed. Although serving a small area, the link induces large-scale effects by virtue of the highly integrated regional metropolitan system of which it becomes part.

Architecture modelling is based on the identification of homogeneous macro areas compared to the effects that intervention options can induce on travel behaviours of the area itself. Supply and mode choice models were spec-

^(*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno.

^(**) Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università di Napoli "Federico II".

^(*) Department of Civil Engineering, University of Salerno.

^(**) Department of Civil, Building and Environmental Engineering, University "Federico II" of Naples.

spostamento dell'area stessa. Per ciascuna macro-area omogenea sono stati specificati modelli di offerta e di scelta del modo di trasporto coerenti con il livello di dettaglio necessario a simulare i principali effetti trasportistici. Particolare attenzione è stata posta sulla modellazione della scelta modale e, pertanto, sulla calibrazione di specifici modelli di scelta discreta a partire da informazioni su comportamenti di spostamento rilevati (reali) e dichiarati (rispetto allo scenario di progetto). Sono stati, pertanto, specificati e calibrati due modelli di scelta modale alla scala provinciale (uno per i motivi dello spostamento sistematici ed uno per i motivi non sistematici), tre modelli alla scala locale (studenti residenti a Salerno, studenti non residenti a Salerno, dipendenti), un modello di *switching* modale per gli utenti direttamente serviti dal collegamento ferroviario.

Gli elementi di interesse e di originalità del contributo sono di natura metodologica e applicativa:

- l'architettura modellistica, benché basata su metodi consolidati, è originale sia nella sua articolazione che nella sua specificazione. Inoltre, il livello di dettaglio perseguito e la gerarchia di modelli di scelta modale proposti non sono consueti nelle pratiche applicazioni;
- la specificazione e i risultati di calibrazione dei parametri dei modelli di scelta modale rappresentano un contributo allo stato dell'arte nell'ambito dei modelli di scelta del modo di trasporto alla scala extra-urbana ed allo stato dell'arte dei meno diffusi modelli di *switching* modale;
- i risultati delle calibrazioni rappresentano una soluzione trasferibile a casi studio simili;
- la metodologia proposta e la sua articolazione possono essere una sorta di linea guida per la stima degli impatti trasportistici di opzioni di intervento rilevanti da un punto di vista finanziario, ambientale e trasporti stico;
- i risultati evidenziano differenze non trascurabili tra le stime ottenibili mediante un approccio multi-scala rispetto ad un approccio mono-scala.

Il contributo si articola in 5 paragrafi oltre l'introduzione. Nel paragrafo 2 sono brevemente introdotti il caso studio e le motivazioni del lavoro. Nel paragrafo 3 è descritta la metodologia. Nel paragrafo 4 sono descritti la specificazione e i risultati di calibrazione dei modelli di scelta del modo di trasporto. Nel paragrafo 5 sono proposti i risultati dell'applicazione della metodologia a differenti opzioni di servizio del potenziale collegamento ferroviario Salerno-Università di Salerno-Mercato San Severino. Nel paragrafo 6 sono sintetizzate le principali conclusioni metodologiche e applicative.

2. Contesto applicativo e motivazioni

La costante e continua crescita dell'Università di Salerno ubicata nel comune di Fisciano (10 facoltà, 45.000 iscritti, 26.000 spostamenti giornalieri), il consolidarsi di

ified for each homogeneous macro-area consistent with the level of detail necessary to simulate the main transport effects. Particular attention has been placed on modal choice modelling and, therefore, on the calibration of specific discrete choice models starting from information on revealed travel behaviours and stated travel behaviours (compared to the project scenario). Two mode choice models at the provincial scale have therefore been specified and calibrated, three models at the local scale (students residing in Salerno, students not residing in Salerno, employees), one switching model for users directly served by the railway link.

The items of interest and the originality of the contribution are of a methodological and applicative nature:

- *modelling architecture, although based on established methods, is original both in its articulation and in its specification. In addition, the level of detail sought and the hierarchy of modal choice models proposed are unusual in practical applications;*
- *the specification and calibration of mode choice models results represent a contribution to the state-of-the-art within the context of the transport mode choice models at extraurban scale and to the state-of-the-art of less common switching models;*
- *the calibration results represent a solution transferable to similar case studies;*
- *the proposed methodology and its articulation can be a sort of guideline for estimating transport impacts of important intervention options from a financial, environmental and transportation point of view;*
- *the results show significant differences between the estimates obtained using a multi-scale approach compared to a mono-scale approach.*

The contribution is divided into 5 paragraphs in addition to the introduction. The case study and work motivations are briefly introduced in paragraph 2. Paragraph 3 describes the methodology. Paragraph 4 describes the specification and calibration results of transport mode choice models. Paragraph 5 presents the results of the application of the methodology to different service options of the potential rail link Salerno - University of Salerno-Mercato San Severino. Paragraph 6 summarises the main methodology and application conclusions.

2. Application and motivation context

The constant and continuous growth of the University of Salerno located in the town of Fisciano (10 departments, 45,000 members, 26,000 daily trips), the consolidation of an urban fabric strongly interacting with the city of Salerno, the settlement of the IKEA shopping centre in Baronissi and the future establishment of a logistics platform at Mercato San Severino are causing radical changes in the structure of the demand for mobility and strong impacts on the

un tessuto urbano fortemente interagente con la città di Salerno, l'insediamento del centro commerciale IKEA a Baronissi e il futuro insediamento di una piattaforma logistica presso Mercato San Severino stanno inducendo radicali modifiche della struttura della domanda di mobilità e forti ripercussioni sul sistema viario locale, nonché sul raccordo stradale Salerno-Avellino (RA02 / E841) e sull'autostrada Caserta-Salerno (A30).

In un siffatto scenario due esigenze sono diventate improrogabili: il decongestionamento del raccordo autostradale e l'incremento dell'accessibilità su trasporto collettivo da e verso il campus di Fisciano dell'Università di Salerno. A tal fine si è ritenuto opportuno adeguare e potenziare la linea ferroviaria esistente che si sviluppa tra Salerno e Mercato San Severino ("Circumsalernitana") e tra Mercato San Severino e Avellino e, in particolare, studiare la fattibilità tecnica e funzionale dell'elettrificazione e rimozione dei passaggi a livello, della realizzazione di una variante di tracciato tra Baronissi e Mercato San Severino e della costruzione di una nuova stazione a servizio del campus di Fisciano dell'Università di Salerno.

Siffatto scenario trasportistico è stato investigato applicando un modello mono-scala tradizionale utilizzato durante le fasi di progettazione del Sistema Metropolitano Regionale (SMR) della regione Campania [10], [11]. I risultati ottenuti hanno evidenziato stime dei flussi di domanda non coerenti con quanto rilevato dall'aggiornamento del Piano Provinciale dei Trasporti e da indagini di mobilità svolte ad hoc e, soprattutto, stime di *shift* modale per gli spostamenti interessanti l'area di progetto trascurabili a fronte di un intervento finanziariamente rilevante. Tali risultati hanno richiesto successivi approfondimenti che, a loro volta, hanno portato alla definizione di un'architettura modellistica multi-scala di seguito descritta.

3. Metodologia

L'architettura modellistica proposta trae spunto dalla suddivisione dell'area di studio in tre sub-aree omogenee da un punto di vista trasportistico (fig. 1):

- **AREA 1:** area potenzialmente influenzata dagli scenari di progetto. Tutti i comuni della regione Campania che non presentano una forte interazione con i comuni dell'area di progetto e/o, allo stesso tempo, non sono interessati da un sensibile miglioramento dell'accessibilità /raggiungibilità in seguito agli scenari di progetto.
- **AREA 2:** area direttamente influenzata dagli scenari di progetto. Tutti i comuni dell'area di progetto e tutti i comuni che con essa hanno interazioni dirette. Benché sia difficile tracciare una linea di demarcazione e al fine di mantenere una certa omogeneità di confini provinciali, si può assumere che l'area coincida con i confini delle province di Salerno e di Avellino.
- **AREA 3:** area fortemente influenzata dagli scenari di

local road system, as well as on the Salerno-Avellino (RA02/E841) road junction and on the Caserta – Salerno (A30) motorway.

Two requirements have become urgent in such a scenario: the decongestion of the road junction and the increase of accessibility on public transport to and from the campus of the University of Salerno in Fisciano. To this end, it was considered appropriate to adapt and develop the existing railway line which runs between Salerno and Mercato San Severino ("Circumsalernitana") and between Mercato San Severino and Avellino and, in particular, to study the technical and practical feasibility of electrification and removal of level crossings, the development of a route variant between Baronissi and Mercato San Severino and the construction of a new station serving the Fisciano campus of the University of Salerno.

Such transportation scenario was investigated by applying a traditional mono-scale model used during the design phases of the Regional Metropolitan System (RMS) of the Campania region [10], [11]. The results obtained showed travel demand flows estimates not consistent with that revealed by the upgrade of the Provincial Transport Plan and from mobility surveys conducted ad hoc and, above all, insignificant modal shift estimates for trips concerning the project area against a financially significant intervention. These results have prompted further investigations which, in turn, have led to the definition of a multi-scale modelling architecture described below.

3. Methodology

The proposed modelling architecture draws inspiration from the subdivision of the study area into three homogeneous sub-areas from a transportation point of view (fig. 1):

- **AREA 1:** area potentially affected by the project scenarios. All municipalities of the Campania region that do not have a strong interaction with the municipalities of the project area and/or, at the same time, are not affected by a marked reachability/accessibility improvement as a result of the project scenarios.
- **AREA 2:** area directly affected by the project scenarios. All municipalities of the project area and all municipalities that have direct interactions with it. Although it is difficult to draw a line of demarcation and in order to maintain a certain uniformity of provincial boundaries, we can assume that the area coincides with the boundaries of the province of Salerno and of Avellino.
- **AREA 3:** an area heavily influenced by project scenarios. All municipalities that are home to new stations and all municipalities connected to them by the rail link. In this case, the area is immediately limited to the town of Fisciano and to all municipalities served by the Circumsalernitana service and belonging to the Nocera Inferiore - Mercato San Severino and the Mercato San Severino - Avellino railway line.

progetto. Tutti i comuni che sono sede di nuove stazioni e tutti i comuni ad essi collegati dal collegamento ferroviario. In questo caso è immediato circoscrivere l'area al comune di Fisciano e a tutti i comuni serviti dal servizio Circumsalernitana e appartenenti alla direttrice ferroviaria Nocera Inferiore-Mercato San Severino e Mercato San Severino-Avellino.

L'architettura modellistica analizza con un diverso livello di dettaglio le singole aree e le interazioni tra ciascuna coppia di aree. Il livello di dettaglio decresce al decrescere dell'influenza indotta dagli scenari di progetto: scala regionale per l'AREA 1, scala provinciale per l'AREA 2, scala locale per l'AREA 3.

Per quanto ha riguardato l'offerta di trasporto, il modello è stato costruito come unione di tre sotto-modelli: quello urbano per la simulazione degli spostamenti emessi/attratti dal comune di Salerno (AREA 3), quello provinciale per gli spostamenti emessi/attratti dall'AREA 2 e dall'AREA 3 e quello regionale [11] per la simulazione degli spostamenti riferiti alla restante parte dell'area di studio.

Per quanto ha riguardato la domanda di mobilità, sono stati analizzati i motivi dello spostamento sistematici e non sistematici e si è assunta variabile (elastica) solamente la scelta del modo di trasporto.

La stima dei flussi di domanda origine-destinazione è stata condotta utilizzando le matrici coerenti con i livelli territoriali in esame (matrice origine-destinazione regionale, matrici provinciali e matrice relativa al solo campus).

I flussi di domanda modali sono stati stimati modellando la scelta del modo di trasporto mediante specificazione e implementazione di modelli differenti al variare del contesto geografico in cui si svolgono gli spostamenti (tabella 1). Tutti i modelli sono stati specificati nell'ambito del paradigma teorico dell'utilità aleatoria [5] e, in particolare, sono stati specificati e calibrati 3 modelli di *holding* e un modello di *switching* modale. I modelli di *holding* hanno riguardato gli utenti della Provincia di Salerno e gli utenti del Campus Universitario di Fisciano non influenzati direttamente dal nuovo collegamento ferroviario, il modello di *switching* ha riguardato gli utenti direttamente influenzati.

Per gli spostamenti emessi dalle Province di Avellino, Caserta e Napoli è stato implementato il modello alla scala regionale calibrato all'interno dello studio Progetto di Sistema di Metropolitana Regionale poi aggiornato ed integrato [10], [11].

Per gli spostamenti interni alla Provincia di Salerno è stato specificato e calibrato un modello su dati disaggregati alla scala provinciale. Per gli spostamenti attratti dal-

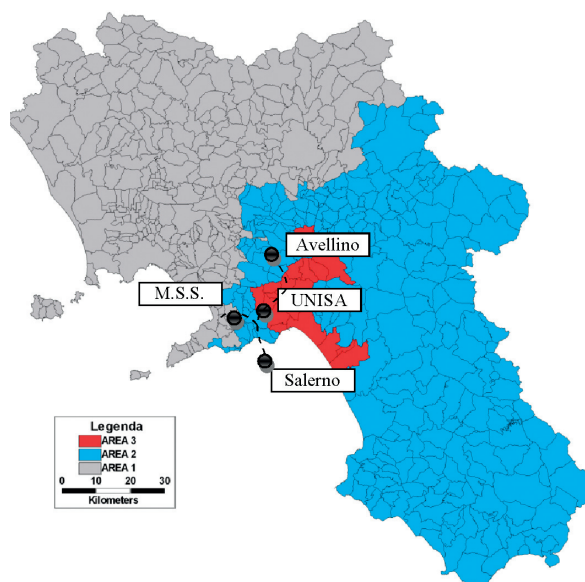


Fig. 1 – Aree di simulazione omogenee e tracciato collegamento ferroviario.
Fig. 1 – Homogeneous simulation areas and rail link route.

The modelling architecture analyses the individual areas and the interactions between each pair of areas with a different level of detail. The level of detail decreases as the impact induced by the project scenarios decreases: regional scale for AREA 1, provincial scale for AREA 2, local scale for AREA 3.

Regarding the transport supply, the model was built as a combination of three sub-models: the urban one for the simulation of trips originated/attracted by the municipality of Salerno (AREA 3), the provincial one for the trips originated/attracted from AREA 2 and from AREA 3 and the regional one [11] for the simulation of trips referring to the remainder of the study area.

Regarding the travel demand, systematic and non-systematic travel purposes were analysed and only the transport mode choice was taken as variable.

The origin/destination demand flows estimate was conducted using matrices consistent with territorial levels under study (regional origin/destination matrix, provincial matrices and matrix relating only to campus).

Modal demand flows were estimated modelling the transport mode choice by specifying and implementing different models with varying geographic context in which trips take place (table 1). All models were specified within the theoretical paradigm of random utility [5] and, in particular, 3 holding models and 1 switching model were specified and calibrated. The holding models focused on users of the Province of Salerno and users of the Universi-

SCHEMA DELLE SOLUZIONI MODELLISTICHE ADOTTATE

MODELLING SOLUTIONS ADOPTED

	AREA 1	AREA 2	AREA 3
AREA 1	Tutti gli spostamenti - All trips <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: SMR • supply model: RMS • flussi O/D: indagine di mobilità • O/D flows: mobility survey • scelta modale: modello SMR • mode choice: RMS model 	Tutti gli spostamenti - All trips <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: SMR • supply model: RMS • flussi O/D: indagine di mobilità • O/D flows: mobility survey • scelta modale: modello SMR • mode choice: RMS model 	Destinazione Campus - Campus dest. <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: SMR • supply model: RMS • flussi O/D: indagine di mobilità • O/D flows: mobility survey • scelta modale: modelli calibrati su di una indagine di tipo preferenze rivelate (RP) • mode choice: models calibrated on revealed preferences-type survey (RP) Altre destinazioni - Other destinations <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: SMR • supply model: RMS • flussi O/D: indagine di mobilità • O/D flows: mobility survey • scelta modale: modello SMR • mode choice: RMS model
AREA 2	Tutti gli spostamenti - All trips <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: SMR • supply model: RMS • flussi O/D: indagine di mobilità • O/D flows: mobility survey • scelta modale: modello SMR • mode choice: RMS model 	Destinazioni Provincia Salerno <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: PPT • supply model: PPT • flussi O/D: PPT • O/D flows: PPT • scelta modale: modelli calibrati su RP • mode choice: models calibrated on RPs. Altre destinazioni - Other destinations <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: SMR • supply model: RMS • flussi O/D: indagine di mobilità • O/D flows: mobility survey • scelta modale: modello SMR • mode choice: RMS model 	Destinazione Campus - Campus dest. <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: SMR • supply model: RMS • flussi O/D: indagine di mobilità • O/D flows: mobility survey • scelta modale: modelli calibrati su RP • mode choice: models calibrated on RPs. Altre destinazioni - Other destinations <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: PPT • supply model: PPT • flussi O/D: PPT • O/D flows: PPT • scelta modale: modelli calibrati su RP • mode choice: models calibrated on RPs
AREA 3	si veda interazione - see interaction AREA 1-AREA 3	si veda interazione - see interaction AREA 2-AREA 3	Destinazione Campus - Campus dest. <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: PPT • supply model: PPT • flussi O/D: indagine di mobilità • O/D flows: mobility survey • scelta modale: modelli di switching calibrati su preferenze dichiarate (SP) • mode choice: switching models calibrated on stated preferences (SP). Altre destinazioni - Other destinations <ul style="list-style-type: none"> • modello di offerta: PPT • supply model: PPT • flussi O/D: PPT • O/D flows: PPT • scelta modale: modelli calibrati su RP • mode choice: models calibrated on RPs*

* Legenda - Legend

AREA 1	comuni appartenenti all'Area potenzialmente influenzata dal progetto <i>municipalities belonging to the Area potentially affected by the project</i>
AREA 2	comuni appartenenti all'Area direttamente influenzata dal progetto <i>municipalities belonging to the Area directly affected by the project</i>
AREA 3	comuni appartenenti all'Area fortemente influenzata dal progetto <i>municipalities belonging to the Area strongly affected by the project</i>
PPT	PPT (Piano Provinciale dei Trasporti della Provincia di Salerno) TPP (Transport Provincial Plan of the province of Salerno)
SMR	Studio Metropolitana Regionale - Regione Campania [10], [11] Regional Metropolitan Study - Campania Region [10], [11]

l'Università di Salerno sono stati specificati e calibrati differenti modelli per gli utenti (studenti e dipendenti) non serviti dal collegamento ferroviario e per gli utenti direttamente serviti. Nel primo caso è stato specificato e calibrato un modello di scelta modale a partire da un'indagine di tipo preferenze rilevate. Per la stima della ripartizioni modali degli utenti (solo studenti) direttamente serviti dal nuovo collegamento ferroviario sono stati calibrati modelli di *switching* modale a partire dai risultati di un'indagine di tipo preferenze dichiarate.

I modelli proposti rappresentano le più efficaci soluzioni tra le numerose calibrate e confrontate secondo il protocollo di validazione proposto in DE LUCA e CANTARELLA [7] e applicato in [2] e in [8].

Nel successivo paragrafo si riporta una descrizione dettagliata dei modelli di scelta modale. Per il modello di scelta modale applicato alla scala regionale si rimanda agli studi del Progetto di Sistema di Metropolitana Regionale (SMR) ([10], [11]) nonché al lavoro di CASCETTA and CARTENI [6].

4. L'architettura modellistica multi-scala

4.1. Il modello di scelta modale alla scala provinciale

Il modello è stato appositamente specificato e calibrato a partire da un'indagine motivazionale di tipo preferenze rilevate all'uopo progettata e condotta nell'inverno 2005. L'indagine è stata telefonica, ha coinvolto un campione di 1400 residenti della provincia di Salerno estratti casualmente secondo campionamento stratificato in base al genere, la condizione professionale e l'età. Le risultanze sperimentali hanno consentito di rilevare le caratteristiche socioeconomiche degli utenti, le caratteristiche spazio-temporali degli spostamenti extra-urbani e i comportamenti di scelta del modo di trasporto.

I motivi dello spostamento considerati sono stati *casa-lavoro* e *casa-altri motivi*, il motivo *casa-scuola* è stato trascurato vista la scarsa o totale non-disponibilità del modo auto da parte dei potenziali decisori. Per ciascuna soluzione modellistica introdotta si è deciso di privilegiare lo studio e la simulazione di un contesto di scelta a due modi di trasporto, *auto* e *collettivo*, trascurando le alternative poco utilizzate quali il modo *moto*, *l'auto da passeggero* e il *car-pool*. Il modo *collettivo* tiene conto dei servizi di trasporto su *gomma* e su *ferro* esistenti tra le coppie origine-destinazione oggetto dell'indagine ed è rappresentativo della migliore soluzione disponibile per ciascuna coppia. Benché le due soluzioni potrebbero essere studiate separatamente, le risultanze sperimentali dell'indagine e l'offerta di trasporto hanno evidenziato: (i) la bassa incidenza del *ferro* (circa il 5%) nella ripartizione modale, (ii) il frequente utilizzo combinato dei due modi di trasporto, (iii) la bassa sovrapposizione dei servizi, (iv) la scarsa competitività dei servizi su *ferro* per le coppie O/D servite da entrambe le alternative. La disponibilità delle alternative è stata valutata a partire dalle informazioni socio-

ty Campus of Fisciano not directly affected by the new railway link, the switching model involved directly affected users.

For trips originated by the Provinces of Avellino, Caserta and Naples, the regional scale model calibrated within the Regional Metropolitan System Project later updated and integrated [10], [11] was implemented.

For trips within the Province of Salerno a model calibrated on disaggregated data at the provincial scale was specified. For trips attracted by the University of Salerno different models for users (students and employees) not served by the rail link and for directly served users were specified and calibrated. In the first case a mode choice model starting from a revealed preferences-type survey was specified and calibrated. For the estimate of mode choice (only students) of users directly served by the new rail link, switching models starting from the results of a stated preferences type survey were calibrated.

The proposed models are the most effective solutions among many calibrated and compared ones according to the validation protocol proposed in DE LUCA and CANTARELLA [7] and applied in [2] and in [8].

The next paragraph gives a detailed description of the modal choice models. For the modal choice model applied at the regional scale, please refer to the study of the Regional Metropolitan System Project (RMS) ([10], [11]) and to the work by CASCETTA and CARTENI [6].

4. Multi-scale modelling architecture

4.1. The modal choice model at the provincial scale

The model was purposely specified and calibrated from a revealed preferences-type motivational survey designed and conducted to that end in the winter of 2005. The survey was by phone, it involved a sample of 1400 residents of the province of Salerno randomly drawn according to stratified sampling based on gender, professional status and age. The experimental findings allowed detecting users' socio-economic characteristics, the space-time characteristics of extra-urban trips and transport mode choice behaviours.

The trip purposes taken into account were home-work and home-other purposes, the home-school purpose was unconsidered due to lack or total non-availability of the car mode on the part of potential decision-makers. For each modelling solution introduced, it was decided to give priority to the study and to the simulation of a two transport modes choice context, car and collective, ignoring the scarcely used alternatives such as motorcycles, passenger cars and car-pool mode. The collective mode takes into account the road transport and rail services existing between the source-destination pairs under investigation and represents the best solution available for each pair. Although the two solutions could be studied separately, the experimental findings of the survey and the transport supply have highlighted: (i) the low incidence

economiche disponibili dall'indagine e dalla reale disponibilità di servizi di trasporto collettivo per ciascun comune di origine dello spostamento.

Comune a tutte le classi di modelli è stata la formulazione matematica *Logit-binomiale*. Allo stesso modo è stata utilizzata una formulazione dell'utilità sistematica lineare in cui sono stati introdotti attributi di livello di servizio, socio-economici e di natura geografica. I costi monetari dello spostamento sono stati stimati a partire dai costi del biglietto e dell'abbonamento, calcolando un costo medio giornaliero che ha tenuto conto dei diversi titoli di viaggio che mediamente un utente può utilizzare. Per l'auto è stato stimato un costo monetario unitario chilometrico, calcolando le minime distanze di viaggio mediante assegnazione della matrice di domanda provinciale alla rete rappresentativa del modello di offerta alla scala provinciale. I tempi di viaggio sono stati stimati mediante assegnazione della matrice di domanda provinciale alla rete rappresentativa del modello di offerta provinciale.

Le specificazione delle soluzioni modellistiche calibrate sono di seguito proposte (tabella 2).

Per entrambe i motivi dello spostamento i valori dei coefficienti sono tutti significativi, i segni sono coerenti con le aspettative e la capacità riproduttiva dei modelli è soddisfacente. Per i motivi sistematici si osserva un valore del tempo pari a circa 4 euro per i motivi sistematici e pari a circa 3 euro. Il primo è coerente con i valori calibrati per motivi dello spostamento simili nell'ambito dello studio della metropolitana regionale (SMR) o proposti nei lavori di DE LUCA e PAPOLA [9], CANTARELLA e DE LUCA [4] e BIFULCO et al. [3]. Il valore del tempo per i motivi non sistematici è inferiore ai valori che è possibile calibrare per motivi simili in altri contesti geografici, ma è coerente con il contesto socio-economico che vede la maggior parte dei comuni della Provincia di Salerno con un reddito medio inferiore alla media regionale e significativamente inferiore alla media nazionale.

Insieme agli attributi di livello di servizio è stata sperimentata l'influenza di attributi di natura socio-economica, dipendenti dal tipo di origine e dal tipo di destinazione dello spostamento. Per quanto ha riguardato gli attributi di natura socio-economica, per entrambe i motivi sono risultati significativi il genere dell'utente, l'età e la condizione professionale.

Il genere maschile incide positivamente nell'utilità del modo auto con un peso maggiore ad 1 euro equivalente per i motivi sistematici e pari circa 50 centesimi per i motivi non sistematici. Tale risultato evidenzia la maggiore propensione all'uso dell'auto degli utenti di genere maschile e che tale propensione è maggiore per gli spostamenti che si ripetono sistematicamente. Laddove la sistematicità viene meno l'incidenza del genere, seppure presente, si ridimensiona significativamente.

L'età incide con segno positivo nell'utilità auto per i motivi sistematici e con segno negativo per i motivi non

of rail (approximately 5%) in the modal distribution, (ii) the common combined use of the two transport modes, (iii) the low superposition of services, (iv) the lack of competitiveness of rail services for O/D pairs served by both alternatives. The availability of the alternatives was assessed from socio-economic information available from the survey and from the actual availability of collective transport services for each municipality of origin of the trip.

The binomial-Logit mathematical formulation was common to all classes of models. Similarly a formulation of systematic linear utility was used where service level, socio-economic and geographical nature attributes were introduced. Travel monetary costs were estimated from the cost of the ticket and season ticket calculating an average daily cost that took account of the different tickets that on average a user can use. A unitary monetary car cost per kilometre was estimated, calculating the minimum travel distances through allocation of provincial demand matrix to the network representative of the supply model at the provincial scale. Travel times were estimated by assigning the provincial demand matrix to the network representative of the provincial supply model.

The specifications of the calibrated modelling solutions are proposed below (table 2).

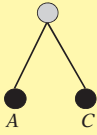
For both trip purposes the values of the coefficients are all significant, signs are consistent with expectations and the reproductive capacity of the models is satisfactory. For systematic purposes a value of time equal to 4 Euros approximately can be observed for systematic purposes and equal to approximately 3 Euros. The first is consistent with similar calibrated values for trip purposes within the regional Metropolitan study (RMS) or proposed in works by DE LUCA and PAPOLA [9], CANTARELLA and DE LUCA [4] and BIFULCO et al. [3]. The value of time for the non-systematic purposes is less than values that can be calibrated for similar purposes in other geographical contexts, but is consistent with the socio-economic context which sees most of the municipalities in the Province of Salerno, with an average income lower than the regional average and significantly lower than the national average.

The influence of socio-economic attributes, dependent on the origin type and the destination type of the trip was tested together with the service level attributes. Regarding the attributes of socio-economic nature, the user's gender, age and professional status were significant for both purposes.

The male gender influences the utility of the car mode positively with a greater weight at 1 Euro equivalent for systematic purposes and equal to about 50 cents for non-systematic purposes. This result highlights the greater propensity of male gender users to use the car and that this propensity is greater for trips that occur systematically. For non-systematic trip purposes, the impact of the gender significantly downsizes, even if present.

TABELLA 2 – TABLE 2

MODELLO DI SCELTA MODALE – RESIDENTI DELLA PROVINCIA DI SALERNO
 MODE CHOICE MODEL – RESIDENTS OF THE PROVINCE OF SALERNO

	Motivi sistematici Systematic purposes	Motivi non sistematici Non-systematic purposes	
N° interviste - <i>N° interviews</i>	470	491	
Numero di attributi - <i>Number of attributes</i>	7	7	
pseudo- ρ^2	0.74	0.46	
pseudo- ρ^2 corretto - ρ^2 correct	0.72	0.44	
$p[j] = \frac{\exp(V_j/\theta)}{\sum_{m \in I} \exp(V_m/\theta)}$			
<p>$p[j]$ è la probabilità di scelta del generico modo di trasporto j <i>is the choice probability of transport mode j</i></p> <p>V_j è l'utilità sistematica del generico modo j; è solitamente espressa come combinazione lineare di attributi mediante coefficienti di omogeneizzazione da calibrare: $\sum_k \beta_k \cdot X_{j,k}$ <i>is the systematic utility of mode j; is usually expressed as linear combination of attributes through coefficient to be calibrated: $\sum_k \beta_k \cdot X_{j,k}$</i></p> <p>$I$ è l'insieme delle alternative di scelta <i>is the choice set</i></p> <p>θ parametro del modello <i>model parameter</i></p>			
<p>Specificazione delle utilità sistematiche (motivi sistematici): <i>Specification of systematic utility (systematic purposes):</i></p> <p>$V_{\text{auto}} = \beta_1 \cdot Cm + \beta_2 \cdot T + \beta_3 \cdot ASA + \beta_4 \cdot \text{orig_SA} + \beta_5 \cdot \text{dest_SA} + \beta_6 \cdot \text{conditio_alta} + \beta_7 \cdot \text{genere} + \beta_8 \cdot \text{età}_{\leq 40}$ $V_{\text{collettivo}} = \beta_1 \cdot Cm + \beta_2 \cdot T$</p> <p>Specificazione delle utilità sistematiche (motivi non sistematici): <i>Specification of systematic utility (non-systematic purposes):</i></p> <p>$V_{\text{auto}} = \beta_1 \cdot Cm + \beta_2 \cdot T + \beta_3 \cdot ASA + \beta_4 \cdot \text{orig_SA} + \beta_5 \cdot \text{dest_SA} + \beta_6 \cdot \text{conditio_alta} + \beta_7 \cdot \text{genere} + \beta_8 \cdot \text{età}_{\leq 40}$ $V_{\text{bus}} = \beta_7 \cdot Cm + \beta_2 \cdot T$</p>			
Risultati della calibrazione Calibration results	Motivi sistematici Systematic purposes	Motivi non sistematici Non-systematic purposes	
C_m	-1.058	-0.793	costo monetario (€) <i>monetary cost (€)</i>
T	-4.758	-2.303	tempo totale di viaggio (h) <i>total travel time (h)</i>
orig_SA	1.314	0.972	attributo binario pari a 1 se l'origine dello spostamento è la città di Salerno <i>binary attribute equal to 1 if the travel origin is the city of Salerno</i>
dest_SA	-0.732	-0.244	attributo binario pari a 1 se l'origine dello spostamento è destinato verso città di Salerno <i>binary attribute equal to 1 if the travel origin is towards the city of Salerno</i>
conditio_alta	1.478	1.995	attributo binario pari a 1 se l'utente ha condizione professionale ad alto reddito (imprenditore, libero prof., dirigente) <i>binary attribute equal to 1 if the user has a high income professional status (entrepreneur, self-employed professional, manager)</i>
genere	1.198	0.272	attributo binario uguale a 1 se l'utente è di genere maschile, 0 se di genere femminile <i>binary attribute equal to 1 if the user is male gender, 0 if female gender</i>
età _{≤40}	0.243	-1.848	attributo binario uguale a 1 se l'utente ha età minore di 40 anni <i>binary attribute equal to 1 if the user is less than 40 years old</i>
ASA	0.243	3.361	attributo specifica dell'alternativa <i>alternative specific attribute</i>
<p>(*) Tutte le stime dei coefficienti sono significativamente diverse da zero con una probabilità del 95% (*) All coefficient estimates are significantly different to zero with a probability of 95%</p>			

sistematici. In particolare, essendo l'attributo età un attributo binario che segmenta l'utenza in classi di utenti con più di 40 anni o con meno di 40 anni, emerge che utenti più giovani associano una maggiore utilità all'alternativa auto per i motivi sistematici (circa 20 centesimi equivalenti) alla stessa alternativa per motivi non sistematici. Il risultato è interpretabile alla luce delle differenti tipologie di lavoro che, ormai, caratterizzano gli utenti più giovani. Nell'ambito del motivo casa-lavoro è noto come negli ultimi anni la sistematicità dello spostamento sia solo nella quotidianità degli spostamenti ma non nella destinazione degli stessi, e ciò è particolarmente vero per gli occupati giovani. Gli spostamenti sistematici avvengono verso destinazioni maggiormente distribuite sul territorio, spesso sempre differenti e, pertanto, raramente servite da servizi di trasporto frequenti e/o coerenti con gli orari di lavoro. Dall'altro lato, gli spostamenti non sistematici (acquisti, affari, servizi personali) avvengono, usualmente, verso realtà geografiche di maggiore importanza che, oltre ad essere servite meglio dal trasporto collettivo, possono essere raggiunte con una maggiore flessibilità di orari. In questo caso l'utenza più giovane e con minore disponibilità a pagare preferisce modalità di trasporto di tipo collettivo.

La condizione professionale, rappresentata da un attributo binario che assume valore unitario per gli utenti di alto reddito, incide positivamente nella utilità dell'auto e incide con peso non trascurabile in entrambe i motivi. Appare evidente che gli utenti dal reddito maggiore e dalle responsabilità maggiori, preferiscono una maggiore flessibilità nei loro spostamenti, sia perché hanno orari meno sistematici, sia perché hanno una maggiore disponibilità a pagare, sia perché si spostano verso destinazioni sempre differenti. Il peso relativo dell'attributo è pari a circa 1.5 euro equivalenti per i motivi sistematici e pari a circa 3 euro equivalenti per i motivi non sistematici. La differenza è legata alla maggiore disponibilità a pagare per godere della flessibilità dell'auto per motivi dello spostamento non direttamente legati ad attività di lavoro.

Gli attributi geografici utilizzati sono di tipo binario ed assumono valore unitario se la destinazione o l'origine dello spostamento appartiene ad una specifica area geografica. Benché siano state sperimentate diverse tipologie di aggregazioni geografiche delle origini e/o delle possibili destinazioni, due sono risultate le aggregazioni più significative: *dest_SA*, se la destinazione è la città di Salerno, *orig_SA*, se l'origine è la città di Salerno.

La stima dei coefficienti ha evidenziato che per tutti gli utenti che si spostano dalla città di Salerno esiste una extra-utilità associata al modo *auto*. Un tale risultato può essere interpretato in due modi: (i) la scarsa copertura ed affidabilità dei servizi di trasporto collettivo verso destinazioni esterne alla città di Salerno; (ii) la maggiore estensione del tessuto urbano della città che fa sì che le origini elementari dello spostamento non sono sempre vicine alle fermate dei servizi di trasporto collettivo offerti.

Age has a positive impact on the utility of the car for systematic purposes and a negative impact for non-systematic purposes. In particular, being the age attribute a binary attribute segmenting users into classes of users with more than 40 years or less than 40 years, it appears that younger users associate greater utility to the car alternative for systematic purposes (about 20 equivalent cents) and associate a strong uselessness (approximately 2.5 euro equivalent) to the same alternative for non-systematic purposes. The result is interpretable in the light of the different types of work that now characterise younger users. Within the home-work trip purpose, it is known how in recent years, the systematic nature of the trip is only in everyday life trips but not in their destination and this is especially true for young workers. Systematic shifts occur towards destinations mainly distributed in the territory, often always different and, therefore, rarely served by frequent transport services and/or consistent with work schedules. On the other hand, non-systematic trips (purchases, business, personal services) are usually towards geographical realities of greater importance that, besides being better served by public transport, can be reached with greater flexibility of timetables. In this case, younger users and with less willingness to pay prefer collective type transport modes.

The professional status, represented by a binary attribute that takes on a unit value for users with a high income, has a positive impact on the car's utility and with non-negligible weight in both purposes. It appears clear that higher income users and with major responsibilities, prefer greater flexibility in their trips, both because they have less systematic timetables, and because they have a greater willingness to pay, and because they move towards always different destinations. The relative weight of the attribute is approximately 1.5 Euros equivalent for systematic purposes and approximately 3 Euros equivalent for non-systematic purposes. The difference is linked to greater willingness to pay to enjoy car flexibility for the sake of trip purposes not directly linked to working activities.

*The geographical attributes used are binary and assume a unitary value if the destination or the origin of the trip belongs to a specific geographical area. Although different types of aggregations of geographical origins and/or of possible destinations have been experienced, two were the most significant aggregations: *dest_SA*, if the destination is the city of Salerno, *orig_SA*, if the origin is the city of Salerno.*

The estimated coefficients showed that extra utility exists for all users moving from the city of Salerno associated with the car mode. Such a result can be interpreted in two ways: (i) the poor coverage and reliability of public transport services to destinations outside the city of Salerno; (ii) a major extension of the urban fabric that causes primary origins of the trip being not always close to stops for collective transport services offered. For all users commuting to the city of Salerno, the phenomenon is reverse. Although the relative weight is less than 1 Euro equivalent, the values and the sign taken by the attribute highlight that Salern

Per tutti gli utenti che si spostano verso la città di Salerno il fenomeno è inverso. Per quanto il peso relativo è inferiore a 1 euro equivalente, i valori ed il segno assunti dall'attributo evidenziano che Salerno in qualità di capoluogo gode di un'offerta di trasporto collettivo competitiva rispetto all'alternativa auto.

Un'ultima considerazione va fatta per i valori dei coefficienti specifici delle alternative. Se per i motivi sistematici il peso relativo è trascurabile, lo stesso non accade per i motivi sistematici, leggermente inferiore ai 5 euro equivalenti, evidenziando una extra-utilità associata all'auto non interpretabile mediante attributi di livello di servizio e/o socio-economici.

4.2. I modelli di scelta modale degli utenti del Campus di Fisciano dell'Università di Salerno

Il modello di scelta modale degli utenti del campus universitario si articola in tre sottomodelli. Al fine di segmentare l'utenza in classi il più possibile omogenee, sono stati specificati e calibrati differenti modelli per gli studenti e per i dipendenti. All'interno della classe degli studenti, sono stati specificati differenti modelli per gli utenti provenienti dalla città di Salerno (serviti da un servizio di trasporto collettivo a frequenza - sistema "Salerno-Università") e per gli utenti provenienti dai restanti comuni del bacino di utenza (serviti da un servizio di trasporto collettivo di tipo a corse - sistema "Area di Studio Extraurbana A.S.E.-Università"). I modelli sono stati calibrati a partire da indagini campionarie condotte durante l'anno accademico 2006/2007 all'interno del campus universitario in corrispondenza dei principali luoghi di aggregazione o di lavoro. Per gli studenti si è proceduto ad una stratificazione del campione in base alla facoltà e all'anno di frequenza; per i dipendenti si è proceduto ad una stratificazione in base al profilo lavorativo (docenti, non docenti, amministrativi).

Per quanto ha riguardato gli studenti, l'insieme di scelta preso in considerazione è costituito da quattro modi di trasporto: *auto da conducente (A)*, *auto da passeggero (P)*, *car-pool (CP)* e *bus (B)*. Per *auto da conducente* si è voluto intendere il modo di trasporto in cui l'utente utilizza in prima persona l'automobile ed affronta interamente i costi del viaggio; per *auto da passeggero* il modo di trasporto in cui l'utente usufruendo di un passaggio riesce a raggiungere la propria destinazione in automobile senza affrontare alcun costo di viaggio; per *car-pool* il modo di trasporto in cui due o più studenti si muovono insieme in automobile dividendo le spese di viaggio; per *bus* il modo di trasporto collettivo su "gomma".

La disponibilità oggettiva delle singole alternative è stata valutata a partire dalle caratteristiche socio-economiche degli utenti (possessione auto e/o patente), dalle risposte fornite di ciascun utente per i modi *car-pool* e *auto da passeggero*, dalla reale disponibilità di un trasporto collettivo fissando soglie spaziali (1.5 km) sulla distanza a piedi dalla più vicina fermata del trasporto collettivo.

no as capital enjoys a competitive collective transport supply in relation to the car as an alternative.

One last consideration should be made for the values of the specific coefficients of alternatives. If the relative weight is negligible for systematic purposes, the same is not the case for non-systematic purposes, slightly less than 5 euro equivalent, highlighting an extra-utility associated with the car not interpretable using service level and/or socio-economic attributes.

4.2. Mode choice models of users of the University of Salerno

The mode choice model of users of the campus consists of three sub-models. Different models for students and employees were specified and calibrated in order to segment users as much as possible into classes. Within the class of students, different models have been specified for users coming from the city of Salerno (served by a frequency based transit transportation service: the "Salerno-University" system) and for users coming from other towns in the catchment area (served by a run based collective transport service: the "Suburban A.S.E. study Area - University"). The models were calibrated from surveys conducted during the academic year 2006/2007 within the university campus at main aggregation or work places. For students we proceeded with a stratification of the sample based on attended faculty and attendance year; for employees, a stratification was carried out according to the working profile (professors, non teaching staff, clerical workers).

As far as students were concerned, the ensemble of choice taken into account consists of four transport modes: *car as driver (A)*, *car as passenger (P)*, *car-pool (CP)* and *bus (B)*. *Car as driver* is understood as the transport mode in which the user personally uses the car and bears all travel costs; *car as passenger* understood as the way of transportation in which the user using a lift, manages to reach its destination by car without facing any travel costs; *car-pool* is understood as the transport mode in which two or more students move together in the car sharing travel expenses; *bus* is the public transport mode.

The availability of each alternative was assessed from socio-economic characteristics of users (car possession and/or licence), from the answers provided by each user for the car-pool and passenger cars modes, from the actual availability of collective transport by setting space thresholds (1.5 km) on the walking distance from the nearest public transport stop.

The specified models are based on a random utility theory, in particular, different modelling solutions have been given in closed form of a Multinomial Logit and Hierarchical Logit type. In the specification of the systematic utilities, attributes of a socio-economic, service level nature were used along with attributes according to the purpose of the trip. The service level attributes were calculated using the equilibrium assignment model of the provincial

I modelli specificati sono basati sulla teoria dell'utilità aleatoria; in particolare, sono state specificate differenti soluzioni modellistiche in forma chiusa del tipo *Logit Multinomiale* e *Logit Gerarchizzato*. Nella specificazione delle utilità sistematiche sono stati utilizzati attributi di natura socioeconomica, di livello di servizio ed attributi funzione del motivo dello spostamento. Gli attributi di livello di servizio sono stati calcolati mediante modello di assegnazione all'equilibrio della matrice provinciale alla rete di trasporto regionale; i costi monetari in auto sono stati stimati in termini di costo di carburante e dei possibili pedaggi; i costi del car-pool sono stati ricavati dividendo i costi auto per un coefficiente di riempimento pari a due; i costi del modo bus sono stati stimati in base alla frequenza settimanale degli spostamenti associando il costo del biglietto e/o della quota giornaliera dell'abbonamento.

Per il sistema "Salerno - Università" (tabella 3) la formulazione modellistica più efficace è risultata essere il modello *Logit gerarchizzato*. I risultati, infatti, evidenziano una significativa correlazione tra le utilità percepite associate ai modi di trasporto individuali ma promiscui (*car-pool* e *auto da passeggero*).

I valori e i segni dei coefficienti delle utilità sistematiche sono coerenti con le ipotesi comportamentali e sono tutti statisticamente significativi. In particolare, è stato possibile disaggregare il tempo di viaggio su trasporto collettivo in un tempo a bordo, un tempo di attesa ed un tempo di accesso/egresso a piedi. I rapporti reciproci tra i coefficienti degli attributi rappresentativi del tempo di viaggio ed il coefficiente dell'attributo costo monetario (disponibilità a pagare in €/ora – valore del tempo, V.O.T.) sono pari circa 2 euro per il tempo a bordo, 4 euro per il tempo di attesa e il tempo di accesso/egresso. Siffatti risultati sono coerenti con la scarsa disponibilità a pagare da parte degli studenti per viaggiare in tempi minori e ciò è strettamente legato alla natura del motivo dello spostamento in esame ed alla condizione socioeconomica tipica dello studente. È interessante, comunque, notare la maggiore disponibilità a pagare per i tempi di attesa e di accesso/egresso; ciò conferma la correttezza riguardo l'ipotesi di caratterizzare lo spostamento del sistema "Salerno - Università" alla stregua di uno spostamento con caratteristiche urbane, ovvero con un servizio a frequenza. Inoltre, la non significatività dell'attributo specifico dell'alternativa *bus* consente di ritenere che i suddetti attributi misurano in maniera soddisfacente la disutilità percepita dagli studenti nell'utilizzare il modo di trasporto collettivo. È altresì interessante l'incidenza di attributi relativi al tipo di attività svolta in destinazione e, in particolare, il tempo di permanenza all'interno del complesso e la frequenza degli spostamenti settimanali. Come era logico aspettarsi, una permanenza al di sotto dei 60 minuti penalizza i modi *bus* e *car-pool*; permanenze molto lunghe (alcune ore) incrementano l'utilità del modo *auto*. In particolare, gli attributi *Tsosta(1,3)*, *Tsosta(3,5)* e *Tsosta(>5)* definiscono delle soglie temporali che permettono di determinare la variazione dell'utilità del modo *auto* al

matrix to the regional transport network; monetary costs by car were estimated in terms of fuel cost and possible road tolls; car-pool costs were obtained by dividing the car costs by a fill factor of two; the bus mode costs were estimated on the basis of the weekly travel rate by associating the cost of the ticket and/or the cost of the daily share of the season ticket.

For the "Salerno - University" system (table 3) the most effective modelling formulation was found to be the hierarchical Logit model. Indeed, results show a significant correlation between perceived utilities associated with individual transport but promiscuous modes (car-pool and passenger car).

*The values and signs of the coefficients of systematic utilities are consistent with behavioural assumptions and are all statistically significant. In particular, it was possible to disaggregate the travel time on public transport in a time on board, a waiting time and an access/egress time on foot. The mutual ratios between the coefficients of representative attributes of travel time and the monetary cost attribute coefficient (willingness to pay in €/hour – value of time, V.O.T.) are equal to about 2 Euros for the time on board, 4 euros for the waiting time and the access/egress time. These results are consistent with the lack of willingness to pay of students, so as to travel in shorter times and this is closely related to the nature of the travel purpose under examination and the student's typical socio-economic status. It is however interesting to note the greater willingness to pay for waiting and access/egress times; this confirms the correctness of the hypothesis to characterise the travel of the "Salerno-University" system regarded as a travel with urban characteristics, i.e. with a frequency service. In addition, the non-significance of the specific attribute for bus alternative allows assuming that these attributes satisfactorily measure the uselessness perceived by students to use the public transport mode. The incidence of attributes for the type of activity in the destination is also interesting and, in particular, the stay time inside the complex and the frequency of weekly shifts. As it was logical to expect a stay under 60 minutes penalises the bus and car-pool modes; very long stays (several hours) increase the utility of the car mode. In particular, the attributes *Tstop (1,3)*, *Tstop (3,5)* and *Tstop (> 5)* define temporal thresholds that determine the variation of the utility of the car mode as the permanence time of students varies. Interestingly, this variation is not linear and, in general, longer stays increase the utility of the car mode and there is a maximum utility of using the car for permanence times ranging between 3 and 5 hours. The frequency allows understanding how a high weekly frequency of shifts tends to encourage trips in organised forms of individual transport (car-pool) or rather the use of public transport.*

Systematic utility functions are completed with socio-economic attributes such as the availability of cars and the kind of student. The gender attribute (being female) value may be linked to fears, to greater discomfort or less

TABELLA 3 – TABLE 3

MODELLO DI SCELTA MODALE – STUDENTI APPARTENENTI AL SISTEMA “SALERNO-UNIVERSITÀ”
 MODE CHOICE MODEL – STUDENTS BELONGING TO THE “SALERNO-UNIVERSITY” SYSTEM

N° interviste - N° interviews		962	Struttura gerarchizzata calibrata Calibrated hierarchical structure
Numero di attributi - Number of attributes		14	
pseudo-ρ²		0.53	
pseudo-ρ² corretto - ρ² correct		0.52	
$p[j] = p[g] \cdot p[j/g] = \frac{\exp(\delta Y_g)}{\sum_{t \in G} \exp(\delta Y_t)} \cdot \frac{\exp(V_j/\theta)}{\sum_{i \in I_g} \exp(V_i/\theta)}$			
<p>$p[j]$ è la probabilità di scelta del generico modo di trasporto j is the choice probability of the transport mode j</p> <p>V_j è l'utilità sistematica del generico modo j; è solitamente espressa come combinazione lineare di attributi mediante coefficienti di omogeneizzazione da calibrare: $\sum_k \beta_k \cdot X_{j,k}$ is the systematic utility of mode j; it is usually expressed as linear combination of attributes through coefficients to be calibrated: $\sum_k \beta_k \cdot X_{j,k}$</p> <p>$g$ è il generico gruppo di alternative is the general group of alternatives;</p> <p>G il numero totale dei gruppi is the total number of groups</p> <p>I_g è l'insieme delle alternative appartenenti al gruppo g is the set of alternatives belonging to group g</p> <p>Y_{I_g} è l'attributo di soddisfazione (logsum) e calcolabile per ciascun gruppo, I_g, in cui sono state classificate le alternative elementari is the satisfaction (logsum) attribute and computable for each group, I_g in which the elementary alternatives have been classified</p> <p>θ, δ parametri del modello model parameters</p>			
Specificazione delle utilità sistematiche - Specification of systematic utilities			
$V_A = \beta_1 T_{AUTO} + \beta_2 CM_{AUTO} + \beta_6 Tsosta_{(1,3)} + \beta_7 Tsosta_{(3,5)} + \beta_8 Tsosta_{(>5)}$ $V_P = \beta_1 T_{AUTO} + \beta_3 PAX$ $V_{CP} = \beta_1 T_{AUTO} + \beta_2 CM_{CAR POOL} + \beta_{10} Freq + \beta_9 Tsosta_{(<=1)} + \beta_{11} Disp_{Auto} + \beta_4 CAR POOL$ $V_B = \beta_1 T_{BUS} + \beta_2 CM_{BUS} + \beta_{12} T_{ATTESA} + \beta_{13} T_{ACCESSO} + \beta_{14} Gen + \beta_{10} Frequenza + \beta_9 Tsosta_{(<=1)}$			
Risultati della calibrazione - Calibration results			
T_{CAR}^{AUTO}	-2.43	tempo di viaggio in auto (h) travel time by car (h)	
T_{BUS}^{BUS}	-2.43	tempo di viaggio in Bus (h) travel time by Bus (h)	
T_{ATTESA}^{ATTESA} T_{WAIT}^{WAIT}	-3.50	tempo di attesa alla fermata (h) waiting time at the stop (h)	
$T_{ACCESSO}^{ACCESSO}$ T_{ACCESS}^{ACCESS}	-3.41	tempo di accesso alla fermata (h) access time to bus stop (h)	
CM	-1.11	costo monetario (€) monetary cost (€)	
Gen	1.06	attributo binario pari a 1 se l'utente è di genere femminile binary attribute equal to 1 if the user is of female gender	
Freq	0.66	attributo binario pari a 1 se l'utente si reca non meno di tre volte all'Università binary attribute equal to 1 if the user goes to the University at least three times	
DispAUTO	2.54	disponibilità del modo auto (numero auto / numero componenti famiglia) car mode availability (number of cars / number of family components)	
$Tsosta_{(<=1h)}$ $Tstop_{(<=1h)}$	-0.76	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è minore o uguale a 1 ora binary attribute equal to 1 if the stop time is less or equal to 1 hour	
$Tsosta_{(1,3)}$ $Tstop_{(1,3)}$	0.62	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è compreso tra 1 e 3 ore binary attribute equal to 1 if the stop time is between 1 and 3 hours	
$Tsosta_{(3,5)}$ $Tstop_{(3,5)}$	0.97	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è compreso tra 3 e 5 ore binary attribute equal to 1 if the stop time is between 3 and 5 hours	
$Tsosta_{(>5h)}$ $Tstop_{(>5h)}$	0.80	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è maggiore o uguale a 5 ore binary attribute equal to 1 if the stop time is greater or equal to 5 hours	
ASA – Passeggero ASA – Passenger	-5.02	attributo specifico dell'alternativa - alternative specific attribute	
ASA – Car-pool	-2.15		
δ	0.73	parametro del modello indice del livello di correlazione tra le alternative model parameter, index of the correlation level between the alternatives	
(*) Tutte le stime dei coefficienti sono significativamente diverse da zero con una probabilità del 95% (*) All coefficient estimates are significantly different to zero with a probability of 95%			

variare del tempo di permanenza degli studenti. È interessante notare che tale variazione non è lineare e che, in generale, le permanenze più lunghe incrementano l'utilità del modo *auto* e che l'utilità di usare l'auto è massima per tempi di permanenza compresi tra 3 e 5 ore. La frequenza permette di comprendere come un'elevata frequenza settimanale degli spostamenti tende a favorire spostamenti in forme organizzate di trasporto individuale (*car-pool*) ovvero l'utilizzo del trasporto collettivo.

Le funzioni di utilità sistematica si completano con attributi socioeconomici quali la disponibilità dell'auto e il genere degli studenti. Il valore dell'attributo *genere femminile* può essere legato alle paure, al maggiore disagio o ad una minore disponibilità ad utilizzare modi individuali. L'attributo *DispAuto* evidenzia, in generale, la maggiore propensione a scegliere il modo *car-pool* se si possiede un'automobile; gli "equipaggi" si formano tra utenti che hanno disponibile un'automobile e che in questo modo non solo dividono le spese ma anche gli svantaggi dell'uso della propria auto (rischio furto e/o incidente, stress di guida, tempi di accompagnamento). Per gli studenti che non hanno disponibile l'automobile l'utilità del *car-pool* è pressoché simile all'utilità del modo *auto da passeggero*.

Per il sistema "A.S.E.-Università" si è seguito l'approccio utilizzato per il sistema "Salerno-Università" con poche ma necessarie differenziazioni legate alle caratteristiche del servizio di trasporto collettivo che risulta organizzato secondo orari prefissati e caratterizzato da una buona regolarità. In questa ottica il tempo di attesa è stato assunto nullo e il tempo di accesso alle fermate è stato stimato in funzione della estensione di ciascun comune e assumendo l'esistenza di almeno due fermate all'interno del territorio comunale. Come riportato nella tabella 4, la calibrazione dei modelli ha evidenziato la significatività statistica delle stesse alternative e della medesima struttura di correlazione del modello "Salerno-Università". Il risultato, oltre ad essere coerente con le aspettative, rappresenta un elemento di robustezza per entrambe le ipotesi modellistiche.

Le stime dei parametri calibrati evidenziano segni coerenti con le aspettative e coerenti con i risultati ottenuti per il modello "Salerno-Università". Se da un lato le stesse tipologie di attributi (genere, disponibilità dell'auto, frequenza degli spostamenti settimanali e durata della sosta) sono risultate statisticamente significative, è interessante notare che il peso degli attributi di livello di servizio è minore rispetto agli attributi socioeconomici e rispetto agli attributi specifici delle alternative. L'assenza di un servizio di trasporto collettivo ad alta frequenza ed affidabile determina una scelta modale abbastanza rigida rispetto al tempo di viaggio e maggiormente influenzata da fattori indipendenti dal reale livello di servizio offerto. La suddetta circostanza può essere anche interpretata in funzione della maggiore lunghezza dello spostamento che mediamente gli studenti non salernitani sono costretti ad affrontare per raggiungere il complesso universitario.

Per quanto ha riguardato i dipendenti, i modelli di

willingness to use individual modes. The CarAvail attribute indicates, in general, the greater propensity to choose the car-pool mode if you own a car; "groups" are formed between users who have a car and that this way do not only share costs but also the disadvantages of using their own car (risk of theft and/or accidents, driving stress, accompaniment times). For students who do not have a car available the car-pool utility is almost similar to the passenger car one.

For the "A.S.E.-University" system the approach used for the "Salerno-University" system was used with few but necessary differentiations related to the characteristics of the collective transport service which is organised according to predetermined time schedules and characterised by a good regularity. With this in mind, the waiting time was assumed as null and the access time was estimated as a function of the extent of each municipality and assuming the existence of at least two stops within the municipal territory. As shown in table 4, the calibration of the models showed statistical significance of these alternatives and the same correlation structure of the "Salerno-University" model. The result, in addition to being consistent with expectations, represents an element of strength for both modelling assumptions.

Calibrated parameters estimates show signs consistent with expectations and consistent with the results obtained for the "Salerno-University" model. Although the same types of attributes (gender, car availability, frequency of weekly shifts and duration of stopover) were statistically significant, it is interesting to note that the weight of service level attributes is less than socio-economic attributes and the specific attributes of the alternatives. The absence of a high frequency and reliable collective transport service determines a fairly rigid modal choice with respect to travel time and more influenced by factors independent of the actual level of service offered. This condition can also be interpreted as a function of the greater trip length that students not from Salerno are on average forced to face to reach the University facility.

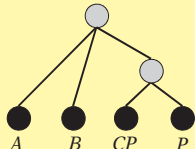
As far as employees were affected, the mode choice models have been calibrated on a total sample of users without distinguishing the "Salerno-University" system from the "A.S.E.-University" system given the reduced number of employees residing in Salerno.

Although the survey results highlight eight possible transport modes, the foot and motorbike modes were not taken into account due to the small number of users using them. In addition, we proceeded to incorporate similar transport modes, car-pool and paying passenger modes under car-pool and car-accompanied and non-paying passenger modes under the entry passenger cars. We therefore came to the same set of choice already observed and modelled for students: car (A), bus (B), car-pool (C), passenger car (AP).

The availability of each transport mode has been evaluated based on socio-economic characteristics of the user

TABELLA 4 - TABLE 4

MODELLO DI SCELTA MODALE – STUDENTI APPARTENENTI AL SISTEMA “A.S.E.-UNIVERSITÀ”
 MODE CHOICE MODEL – STUDENTS BELONGING TO THE “A.S.E.- UNIVERSITY” SYSTEM

N° interviste - <i>N° interviews</i>	1.910	Struttura gerarchizzata calibrata <i>hierarchical structure</i>
Numero di attributi - <i>Number of attributes</i>	12	
pseudo- ρ^2	0.38	
pseudo- ρ^2 corretto - <i>ρ^2 correct</i>	0.35	
		
Specificazione delle utilità sistematiche - <i>systematic utilities</i>		
$V_A = \beta_1 T_{Auto} + \beta_2 CM_{Auto} + \beta_6 Tsosta_{(1,4)} + \beta_7 Tsosta_{(>4)}$ $V_P = \beta_1 T_{Auto} + \beta_3 PAX$ $V_{CP} = \beta_1 T_{Auto} + \beta_2 C_{CAR POOL} + \beta_9 Freq. + \beta_{10} DispAuto + \beta_8 Tsosta_{(<=1)} + \beta_4 CAR POOL$ $V_B = \beta_1 T_{Bus} + \beta_2 CM_{Bus} + \beta_9 Freq + \beta_{11} Sesso. + \beta_8 Tsosta_{(<=1)} + \beta_5 BUS$		
Risultati della calibrazione - <i>Calibration results</i>		
T_{Auto} T_{CAR}	-0.17	tempo di viaggio in auto (h) <i>travel time by car (h)</i>
T_{BUS} T_{BUS}	-0.22	tempo di viaggio in Bus (h) <i>travel time by Bus (h)</i>
CM	-0.23	costo monetario (€) <i>monetary cost (€)</i>
Gen	1.37	attributo binario pari a 1 se l'utente è di genere femminile <i>binary attribute equal to 1 if the user is of female gender</i>
Freq	0.63	attributo binario pari a 1 se l'utente si reca non meno di tre volte all'Università <i>binary attribute equal to 1 if the user goes to the University at least three times</i>
DispAUTO CARAvail	1.66	disponibilità del modo auto (numero auto / numero componenti famiglia) <i>car mode availability (number of cars / number of family components)</i>
$Tsosta_{(<=1h)}$ $Tstop_{(<=1h)}$	-0.48	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è minore o uguale a 1 ora <i>binary attribute equal to 1 if the stop time is less or equal to 1 hour</i>
$Tsosta_{(1,4)}$ $Tstop_{(1,4)}$	0.33	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è compreso tra 1 e 4 ore <i>binary attribute equal to 1 if the stop time is between 1 and 4 hours</i>
$Tsosta_{(>4h)}$ $Tstop_{(>4h)}$	0.37	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è maggiore di 4 ore <i>binary attribute equal to 1 if the stop time is greater than 4 hours</i>
ASA – Passeggero ASA – Passenger	-3.13	attributi specifici dell'alternativa - <i>alternative specific attributes</i>
ASA – Bus	-2.35	
ASA – Car-pool	-2.06	
δ	0.52	parametro del modello indice del livello di correlazione tra le alternative <i>model parameter, index of the correlation level between the alternatives</i>
^(*) Tutte le stime dei coefficienti sono significativamente diverse da zero con una probabilità del 95% ^(*) All coefficient estimates are significantly different to zero with a probability of 95%		

scelta modale sono stati calibrati su di un campione complessivo di utenti senza distinguere il sistema “Salerno-Università” dal sistema “A.S.E.- Università” data la ridotta numerosità dei dipendenti residenti a Salerno.

Benché i risultati dell'indagine evidenzino otto possibili modi di trasporto, il modo *piedi* ed il modo *moto* non sono stati presi in considerazione per l'esiguo numero di utenti che li utilizzano. Inoltre, si è proceduto ad accorpare i modi di trasporto simili, i modi *car-pool* e *passeggero* pagante sotto la voce *car-pool* ed i modi *auto accompagnato* e *passeggero non pagante* sotto la voce *auto da passeggero*. Si è giunti, pertanto, allo stesso insieme di scelta già osservato e modellato per gli studenti: *auto (A)*, *bus (B)*, *Car-pool (C)*, *auto da passeggero (AP)*.

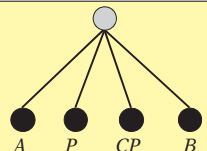
and, where necessary, it was treated by excluding alternatives that the user stated as not available from the set of choice. Even in this case random utility models in closed form of Multinomial Logit and Hierarchical Logit were investigated. Under the specifications of utility functions, socio-economic attributes, service level and trip related attributes were used.

The calibration results (table 5) showed that the Multinomial Logit formulation presents a better reproductive capacity, unlike previous analyses. The result is consistent with the fact that the car-pool mode involves car and expenditure sharing with other employees of the University, while the passenger car means car sharing with users

TABELLA 5 – TABLE 5

MODELLO DI SCELTA MODALE – DIPENDENTI DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

MODE CHOICE MODEL – EMPLOYEES OF THE UNIVERSITY OF SALERNO

N° interviste - <i>N° interviews</i>	298	$p[j] = \frac{\exp(V_i/\theta)}{\sum_{m \in I} \exp(V_m/\theta)}$ 
Numero di attributi - <i>Number of attributes</i>	10	
pseudo-ρ²	0.32	
pseudo-ρ² corretto - <i>ρ² correct</i>	0.28	
Specificazione delle utilità sistematiche - <i>systematic utilities</i>		
$V_A = \beta_1 \cdot CM_{CAR} + \beta_2 \cdot T + \beta_3 \cdot ASA_{car} + \beta_4 \cdot T_{stop>10} + \beta_5 \cdot NO_{torni}$ $V_P = \beta_2 \cdot T$ $V_{CP} = \beta_1 \cdot CM_{CARPOOL} + \beta_2 \cdot T + \beta_{10} \cdot Freq>4 + \beta_{11} \cdot CAR_{avail}$ $V_B = \beta_1 \cdot CM_{BUS} + \beta_2 \cdot T + \beta_6 \cdot ASA_{bus} + \beta_7 \cdot T_{stop[5,8]} + \beta_8 \cdot Gender + \beta_9 \cdot Non\ docente - Non\ teaching$		
Risultati della calibrazione - <i>Calibration results</i>		
T	-1.51	tempo totale di viaggio (h) <i>total travel time (h)</i>
CM	-0.31	costo monetario (€) <i>monetary cost (€)</i>
$T_{stop>10}$	-0.68	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è maggiore di 10 h <i>binary attribute equal to 1 if stop time is greater than 10 hrs</i>
$T_{stop[5,8]}$	0.78	attributo binario pari a 1 se il tempo di sosta è compreso tra [5,8] ore <i>binary attribute equal to 1 if stop time is between [5, 8] hrs</i>
$Freq>4$	0.34	attributo binario pari a 1 se l'utente si sposta più di quattro volte alla settimana <i>binary attribute equal to 1 if the user travel more than four times a week</i>
$DISP_{auto}$ CAR_{avail}	0.31	attributo binario pari a 1 se l'utente ha disponibile l'auto <i>binary attribute equal to 1 if the user has a car available</i>
NO_{torni}	1.22	attributo binario pari a 1 se non torna a casa direttamente <i>binary attribute equal to 1 if the user does not return to home directly</i>
Genere <i>Gender</i>	-1.81	attributo binario pari a 1 se l'utente è di genere maschile <i>binary attribute equal to 1 if the user is of male gender</i>
Genere <i>Gender</i>	1.09	attributo binario pari a 1 se l'utente è non docente <i>binary attribute equal to 1 if the user is of non-teaching staff</i>
ASA_{auto} ASA_{car}	3.43	attributo specifico dell'alternativa auto <i>alternative specific attribute</i>
(*) Tutte le stime dei coefficienti sono significativamente diverse da zero con una probabilità del 95%		
(*) All coefficient estimates are significantly different to zero with a probability of 95%		

La disponibilità del singolo modo di trasporto è stata valutata in base alle caratteristiche socio-economiche dell'utente e, ove necessario, è stata trattata escludendo dall'insieme di scelta le alternative che l'utente ha dichiarato non disponibili. Anche in questo caso sono stati investigati modelli di utilità aleatoria in forma chiusa del tipo *Logit Multinomiale* e *Logit Gerarchizzato*. Nelle specificazioni delle funzioni di utilità sono stati utilizzati attributi di natura socioeconomica, di livello di servizio e attributi caratteristici del motivo dello spostamento.

I risultati di calibrazione (tabella 5) hanno evidenziato che la formulazione *Logit Multinomiale*, a differenza delle precedenti analisi, presenta una migliore capacità riproduttiva. Il risultato è coerente con il fatto che il modo *car-pool* comporta la condivisione dell'auto e delle spese con altri dipendenti dell'Ateneo, mentre l'*auto da passeggero* comporta la condivisione dell'auto con utenti diretti verso destinazioni differenti. In questo caso è ragionevole immaginare che le utilità percepite delle due alter-

headed towards different destinations. In this case it is reasonable to imagine that the perceived utilities of the two alternatives are unrelated to each other and that the two modes are perceived as different. In the case of students, both modes had in common the sharing of the transport means and the same destination and therefore perceived as similar.

With regard to the estimates of the coefficients of the attributes, we can notice that all are statistically significant, the signs are consistent with expectations, the time value is equal to 6 euros and is consistent with literature values for the sake of home-work trip. Although less relevant in terms of values, it is interesting to note that representative attributes of the weekly frequency of trips, of the duration of the activity at the campus and car availability continue to be statistically significant. Attributes thresholds clearly change: for stopover time the threshold of 5-8 hours of stay in favour of the bus and the greater threshold of 10 hours in favour of cars were significant; for the weekly frequency

native siano non correlate tra loro e che i due modi siano percepiti come differenti. Nel caso degli studenti, entrambe i modi erano accomunati dalla condivisione del mezzo di trasporto e della stessa destinazione e, pertanto, percepiti come simili.

Per quanto concerne le stime dei coefficienti degli attributi, si può notare che tutti sono statisticamente significativi, i segni sono coerenti con le aspettative, il valore del tempo è pari a 6 euro ed è coerente con i valori di letteratura per motivi dello spostamento casa-lavoro. Benché meno rilevanti in termini di valori assunti, è interessante notare che continuano ad essere statisticamente significativi attributi rappresentativi della frequenza settimanale degli spostamenti, della durata dell'attività presso il campus e della disponibilità dell'auto. Chiaramente cambiano le soglie degli attributi: per il tempo di sosta sono risultate significative la soglia 5-8 ore di permanenza a favore dell'utilità *bus* e la soglia maggiore di 10 ore a favore dell'utilità *auto*; per la frequenza settimanale è risultata significativa la soglia di quattro spostamenti/settimana. Interessanti sono i risultati degli attributi binari che segmentano i comportamenti di scelta in base al genere, al tipo di inquadramento lavorativo (*non_docente*) e al successivo spostamento (*No_torni*). L'essere un dipendente amministrativo aumenta l'utilità del modo *bus* in virtù della maggiore sistematicità settimanale ed oraria dello spostamento. Il non tornare a casa direttamente rende l'auto una soluzione più appetibile perché garantisce maggiore flessibilità di spostamento. Infine, gli utenti maschi hanno una maggiore propensione all'utilizzo del modo auto.

4.3. Il modello di switching modale degli utenti del Campus di Fisciano dell'Università di Salerno

Il modello di *switching* modale è finalizzato a stimare la probabilità di cambio del modo di trasporto in seguito alla introduzione del collegamento ferroviario ed al variare delle caratteristiche di livello di servizio offerte dalle modalità di trasporto disponibili. I modelli di *switching* sono stati calibrati per gli studenti provenienti da comuni direttamente influenzati dalla realizzazione del collegamento ferroviario. Pertanto, i contesti di scelta studiati sono stati due e entrambi di tipo binario: (1) continuare ad utilizzare l'auto o scegliere il treno; (2) continuare ad utilizzare l'autobus o scegliere il treno.

La calibrazione è stata condotta a partire da un'indagine motivazionale di tipo preferenze dichiarate appositamente condotta su di un campione statisticamente significativo di utenti del campus universitario e potenzialmente influenzabili dal nuovo collegamento ferroviario (1330 unità). La indagine campionaria è stata condotta durante l'anno accademico 2005/2006 all'interno del campus universitario in corrispondenza dei principali luoghi di aggregazione, procedendo ad una stratificazione del campione in base alla facoltà e all'anno di frequenza.

A ciascun utente sono stati proposti scenari di scelta opportunamente progettati mediante le tecniche tipiche

the threshold of four trips per week was significant. The results of binary attributes that segment choice behaviour based on gender, type of business organisation (non_teaching staff) and subsequent displacement (No_torni) are interesting. Being an administrative employee increases the utility of the bus mode by virtue of greater weekly and hourly trip orderliness. Not returning home directly makes the car more appealing because it guarantees greater travel flexibility. Finally, male users have a greater propensity to use the car mode.

4.3. The switching model of the University of Salerno's users

The switching model is designed to estimate the probability of changing the transport mode usually chosen due to the introduction of the new rail connection and as the level of service offered by the available transport mode varies. Switching models were calibrated for students from municipalities directly influenced by the construction of the rail link. Therefore, the choice contexts studied were two and both of a binary type: (1) continue to use the car or choose the train; (2) continue to use the bus or choose the train.

Calibration has been carried out starting from a motivational survey of declared preferences type specifically conducted on a statistically significant sample of users of the University campus and potentially influenced by the new railway connection (1330 units). The sample survey was conducted during the academic year 2005/2006 within the university campus at major aggregation sites, making a sample stratification based on the department and year of attendance.

Properly designed choice scenarios were proposed to each user using the typical investigation techniques with declared preferences and the control attributes used were the typical service level attributes: travel time, frequency of service, the travel monetary cost.

With regards to the switching model, the calibrated model pursues an approach based on random utility theory and resumes the methodological proposal by BEN-AKIVA and MORIKAWA [1] to offset the risks that occur in stated preferences surveys. In fact, in declared switching behaviours two phenomena may occur: (i) the excessive willingness to change (if the current level of service provided is unsatisfactory and/or not very reliable), (ii) the inertia to change own choices (if the project scenario is unclear and/or unreliable). This phenomenon, that can usually be overcome by combining revealed preferences type surveys and declared preferences type surveys, cannot be easily overcome in investigations aimed at observing switching phenomena given the difficulty to observe revealed switching behaviours (real). BEN-AKIVA and MORIKAWA [1] showed that such behaviours could be captured using a preliminary introduction (calibration) of the specific attributes of the alternative and subsequent elimination of the attributes themselves when applying the model. Experi-

MODELLO DI SWITCHING MODALE – UTENTI UNIVERSITÀ DI SALERNO
MODE SWITCHING MODEL - UNIVERSITY OF SALERNO USERS

N° interviste - <i>N° interviews</i>		1300	$p[\text{switch}] = \frac{\exp(V_{\text{switch}}/\theta)}{\exp(V_{\text{switch}}/\theta) + \exp(V_{\text{noswitch}}/\theta)}$
Numero di attributi - <i>Number of attributes</i>		8	
pseudo- ρ^2		0.61	
Specificazione delle utilità sistematiche - <i>systematic utilities</i>			
$V_{\text{switch}} = \beta_1 \cdot \Delta T + \beta_2 \cdot \Delta f + \beta_3 \cdot C_{\text{sosta}} + \beta_4 \cdot \text{Genere}_F + \beta_5 \cdot \text{Età}_{<23} + \beta_6 \cdot \#_{\text{giorni}} + \beta_7 \cdot \text{DISP}_{\text{auto}} + \beta_8 \cdot \text{ASC}$ $V_{\text{no-switch}} = I$			
Risultati della calibrazione - <i>Calibration results</i>			
ΔT	0.11	differenza tra il tempo di viaggio offerto dal nuovo collegamento ferroviario (minuti) e il tempo di spostamento con il modo abitualmente usato <i>difference between travel time supplied by the new rail link (minutes) and the transfer time with the usual mode used</i>	
Δf	0.5	differenza tra il numero di corse offerte dal nuovo collegamento ferroviario (rispetto all'ora di punta) e il numero di corse/ora offerte dall'offerta di trasporto su "gomma" <i>difference between the number of runs offered by the new rail link (compared to peak hour) and the number of runs/hours proposed by the bus transit system</i>	
C_{sosta}	2.1	costo della sosta all'interno del campus. negli scenari applicativi l'attributo è, tuttavia, sempre pari a zero <i>stop time within the campus. In the investigated scenarios the attribute is however always equal to zero</i>	
Genere_F	0.7	attributo binario uguale a 1 se l'utente è di genere femminile <i>binary attribute equal to 1 if the user is of female gender</i>	
$\text{Età}_{<23}$	0.43	attributo binario uguale a 1 se l'utente ha età inferiore ai 23 anni <i>binary attribute equal to 1 if the user is less than 23 years old</i>	
$\#_{\text{giorni}}$	0.82	attributo continuo pari al numero di spostamenti settimanali <i>continuous attribute equal to the number of weekly trips</i>	
$\text{DISP}_{\text{auto}}$	-2.45	attributo continuo pari ai rapporti tra numero di auto disponibili in famiglia e il numero di componenti del nucleo familiare <i>continuous attribute equal to the ratios between number of cars available in the family and the number of family members</i>	
ASC	0.82	attributo specifico dell'alternativa <i>alternative specific attribute</i>	
^(*) Tutte le stime dei coefficienti sono significativamente diverse da zero con una probabilità del 95%			
^(*) All coefficient estimates are significantly different to zero with a probability of 95%			

delle indagini con preferenze dichiarate e gli attributi di controllo utilizzati sono stati i tipici attributi di livello di servizio: tempo di spostamento, frequenza del servizio, costo monetario dello spostamento.

Per quanto ha riguardato il modello di switching modale, il modello calibrato persegue un approccio basato sulla teoria dell'utilità aleatoria e riprende la proposta metodologica di BEN-AKIVA e MORIKAWA [1] per ovviare ai rischi insiti nella metodologia di indagine di tipo preferenze dichiarate. Infatti, nei comportamenti di switching dichiarati possono verificarsi due fenomeni: (i) la eccessiva propensione a cambiare (se l'attuale livello di servizio offerto è poco soddisfacente e/o poco affidabile), (ii) l'inerzia a modificare le proprie scelte (se lo scenario di progetto è poco chiaro e/o poco affidabile). Tale fenomeno, usualmente superabile mediante la combinazione di indagini di tipo preferenze rivelate e di tipo preferenze dichiarate, non può essere facilmente superato nelle indagini finalizzate ad osservare fenomeni di switching data la difficoltà ad osservare comportamenti di switching rivelati (reali). BEN-AKIVA e MORIKAWA [1] hanno evidenziato che siffatti comportamenti possono essere catturati mediante una preliminare introduzione (calibrazione) di

mental results showed a good reproductive ability during validation of models.

The results of the surveys show a marked propensity to change one's own habitual choice (an average of approximately 80%) and consistently the calibrated value of the coefficient of the specific attribute of the alternative turns out to be positive. By removing the attribute involved, the average probability of changing the usual choice is equal to about 62%, a definitely more realistic and however prudential value. The mathematical formulation of the model and the attributes used are provided in table 6.

The calibration results show a fair reproductive capacity of the model and attribute signs consistent with expectations. Interestingly, already significant attributes in mode choice models of campus students continue to play a role in switching models: users of feminine gender and younger users have a greater propensity to change the modal choice, weekly travel frequency continues to have a non-negligible weight, car availability is a major cause of inertia to change own choice. It is also useful to note that, if the possible increase of travel monetary cost is one of

attributi specifici dell'alternativa ed una successiva eliminazione degli attributi stessi in fase di applicazione del modello. Risultati sperimentali hanno evidenziato una buona capacità riproduttiva in fase di validazione dei modelli.

I risultati delle indagini evidenziano una marcata propensione a modificare la propria scelta abituale (mediamente pari a circa l'80%) e, coerentemente, il valore calibrato del coefficiente dell'attributo specifico dell'alternativa risulta essere positivo. Eliminando l'attributo in questione, la media delle probabilità di modificare la scelta abituale risulta pari a circa il 62%, valore sicuramente più realistico e, comunque, prudente. La formulazione matematica del modello e gli attributi utilizzati sono proposti nella tabella 6.

I risultati di calibrazione evidenziano una discreta capacità riproduttiva del modello e segni degli attributi coerenti con le aspettative. È interessante notare come attributi già significativi nei modelli di scelta modale degli studenti del campus universitario continuano ad giocare un ruolo nei modelli di *switching*: gli utenti di genere femminile e gli utenti più giovani presentano una maggiore propensione a modificare la scelta modale, la frequenza settimanale degli spostamenti continua a giocare un peso non trascurabile, la disponibilità dell'auto è una delle principali cause di inerzia a modificare la propria scelta modale. È altresì utile notare che, se il possibile aumento del costo monetario dello spostamento è uno dei maggiori determinanti dello *switching* modale, le differenze di tempo di viaggio hanno un peso significativo solo per significative differenze di valori e ciò accade unicamente se il modo di trasporto abitualmente utilizzato è l'autobus. Il ruolo della frequenza del servizio non è trascurabile.

5. Applicazione dell'architettura modellistica

L'architettura modellistica proposta nei paragrafi precedenti è stata implementata a differenti scenari di servizio di una stessa opzione progettuale: il collegamento ferroviario Salerno - Università di Salerno universitario - Mercato S. Severino.

Gli scenari sono stati confrontati mediante stima dei: (i) le nuove ripartizioni modali (auto e trasporto collettivo); (ii) le variazioni degli attributi di livello di servizio (tempo a bordo, tempo di attesa alle fermate, tempo di accesso alle fermate e tempo di egresso dalle fermate, numero di trasbordi); (iii) i flussi di passeggeri sulla nuova linea ferroviaria (passeggeri/7:00-9:30 e passeggeri/ora di massimo carico). Le analisi sulle ripartizioni modali sono servite per una preliminare scrematura di scenari chiaramente non efficienti e/o efficaci, le restanti analisi per la stima dell'efficacia tra scenari rimanenti. Sono state, inoltre, riportate le stime ottenute dall'applicazione del modello mono-scala ([10], [11]).

È, infine, bene evidenziare che l'ottica è stata quella di applicare l'architettura modellistica multi-scala a differen-

the major determinants of modal switching, the differences in travel time have a significant weight only for significant differences of values and this happens only if the commonly used transport mode is the bus. The role of service frequency is not negligible.

5. Application of modelling architecture

The modelling architecture proposed in the preceding paragraphs has been implemented at different service scenarios with the same design option: the rail link Salerno - Salerno University- Mercato S. Severino.

The scenarios were compared using estimates of: (i) the new transport mode shares (collective transport and car); (ii) variations of service level attributes (time aboard, waiting time, access times to bus stops and egress times from bus stops, number of transfers); (iii) the passengers flows on the new railway line (passengers/07:00-9:30 and passengers per hour of maximum load). The analyses on transport mode shares were used for a preliminary selection of not efficient and/or effective scenarios while the remaining analysis were used for the estimate of the effectiveness of the remaining scenarios. The estimates obtained from the application of the mono-scale model are also proposed ([10], [11]).

Finally, it is good to point out that the aim was to apply the multi-scale modelling architecture to different project scenarios and compare them in terms of performance and in terms of ability to transport the generated demand. The evaluation of the final project solution is a different problem that disregards the analysis of benefits (not only transport benefits) and costs of construction, service production and operation management of individual intervention scenarios.

5.1. Simulated scenarios

The construction of the new rail link Baronissi - University Campus - Mercato S. Severino and the adaptation of the current Salerno - Baronissi section, envisages the use of electric traction rolling stock (Minuetto model) and railway operation programme in peak hours consisting of:

- *two pairs per hour of train runs on the Battipaglia - Salerno - Baronissi - Campus-Avellino section;*
- *two pairs per hour of train runs on the Battipaglia - Salerno - Baronissi - University Campus - Mercato S. Severino - Nocera Inferiore section.*

Downstream of the aforementioned operation plan, four simulation scenarios have been defined (table 7): no-intervention scenario (NI) and 3 project scenarios (P).

In the NI scenario all interventions on the transport supply foreseen in the study Regional Metropolitan System Project [11] with a time horizon of 2020 were considered. In other scenarios, in addition to the services assumed at 2020, the new railway connection according to three oper-

ti scenari di progetto e di confrontarli in termini di prestazioni e in termini di capacità di trasportare la domanda generata. Problema differente è la valutazione della soluzione di progetto finale, che non può che prescindere da un'analisi dei benefici (non solo trasportistici) e dei costi di realizzazione, di produzione del servizio e di gestione dell'esercizio dei singoli scenari di intervento.

5.1. Scenari simulati

La realizzazione del nuovo collegamento ferroviario Baronissi - Campus universitario - Mercato S. Severino e l'adeguamento della tratta attuale Salerno - Baronissi prevede, a regime, l'utilizzo di materiale rotabile a trazione elettrica (modello Minuetto) ed programma di esercizio ferroviario nelle fasce di punta composto da:

- due coppie/ora di corse ferroviarie sulla relazione Battipaglia - Salerno - Baronissi - Campus - Avellino;
- due coppie/ora di corse ferroviarie sulla relazione Battipaglia - Salerno - Baronissi - Campus universitario - Mercato S. Severino - Nocera Inferiore.

A valle del suddetto piano di esercizio sono stati definiti quattro scenari di simulazione (tabella 7): lo scenario di non intervento (NI) e 3 scenari di progetto (P).

Nello scenario NI sono stati considerati tutti gli interventi sull'offerta di trasporto previsti nello studio *Progetto di Sistema di Metropolitana Regionale* [11] all'orizzonte temporale del 2020. Nei restanti scenari, oltre ai servizi ipotizzati al 2020, è stata considerata l'entrata in esercizio del nuovo collegamento ferroviario secondo le tre modalità di esercizio proposte in tabella. Inoltre sono stati ipotizzati i seguenti interventi sull'offerta di trasporto:

- l'entrata in esercizio della linea metropolitana di Salerno fino a Battipaglia;
- il collegamento con la metropolitana di Salerno;
- la realizzazione di numerosi e strategici punti di interscambio oltre quelli ferro-ferro, anche tra le differenti modalità di trasporto ferro-gomma trasporto collettivo e ferro-gomma trasporto privato;
- la riorganizzazione delle linee su gomma extra-urbane. Per le urbane si è previsto solamente una migliore adduzione verso le stazioni ferroviarie, sia esistenti, sia future.

Rappresentati i nuovi servizi di trasporto collettivo nello scenario di progetto si è proceduto al calcolo degli attributi di livello di servizio (tempi e costi di viaggio) necessari per poter stimare le variazioni di scelta modale da parte degli utenti direttamente influenzati dal nuovo collegamento ferroviario.

Per la stima della domanda catturabile dal nuovo collegamento ferroviario sono state considerate due fasce orarie distinte: la fascia di punta antimeridiana (7:00 - 9:30) del giorno ferial medio invernale e l'ora di massimo carico del giorno ferial medio invernale. La doman-

TABELLA 7 - TABLE 7

SCENARI SIMULATI SIMULATED SCENARIOS

Scenario Scenario	Tempo viaggio in treno Travel time by train	Intertempo (min.) headway (min.)
NI	-	-
P_10	T _{progetto}	10
P_20	T _{progetto}	20
P_30	T _{progetto}	30

ating modes shown in the table was considered. Furthermore, the following interventions on the transportation supply were assumed:

- the Salerno to Battipaglia metropolitan line;
- the Salerno metropolitan line;
- the realisation of numerous and strategic interchange points besides the rail-rail ones, even between different transport modes: rail-road public transport and rail-road private transport;
- the reorganisation of road lines outside urban areas.

Having represented the new collective transport services in the project scenario, we proceeded with the calculation of service level attributes (travel time and costs) needed to estimate changes in mode choice by users directly affected by the new rail link.

For the demand catchable by the new rail link two distinct time bands were considered: the peak morning session (07:00 - 9:30) of the average winter weekday and the maximum load hour of the average winter weekday.

For the representation of the transport supply, only the rail rides and the suburban bus routes whose departure falls within the considered time range were taken into account. The origin-destination flows matrix (O/D) referring to the rush hour morning session (07:00-9:30) used in the no-intervention scenario, resulted from the union of several sub-matrices. The trips attracted and/or bound to the University of Salerno Fisciano Campus were estimated using supplementary investigations carried out during the study, trips with origin and/or destination belonging to the province of Salerno (excluding direct ones/from the Campus) were simulated from the O/D matrix of the provincial transport Plan of Salerno, the remaining trips were simulated using the O/D matrix estimated in the Regional Metropolitan System Project study [11] using correction techniques with vehicular counts [12]. The transport mode choice models previously described were applied for the estimate of the O/D matrix related to the intervention scenario (project scenario) and it was therefore possible to estimate a new O/D matrix, 07:00-9:30, referring to the intervention scenario, and the passenger flows caught by the new rail link through the demand-supply interaction model.

TABELLA 8 – TABLE 8

EFFETTI SUGLI SPOSTAMENTI SU TRASPORTO COLLETTIVO RISPETTO ALLO SCENARIO
DI NON INTERVENTO (NI)

EFFECTS ON TRIPS ON PUBLIC TRANSPORT COMPARED TO THE NO-INTERVENTION SCENARIO (NI)

Scenario Scenario	Convogli ferroviari necessari Trains needed	Var. % totale Total Var. % (P – NI)	Var. % spost. interni all'AREA 3 Var. % of transfers within AREA 3	Var. % spost. Università Var. % trips University	Var. % spost. scambio e attraversamento (AREA 3) Var. % exchange and crossing trips (AREA 3)
Approccio multi-scala - Multi-scale approach					
Sc_10	+15	13,40%	9,40%	42,00%	5,20%
Sc_20	+ 8	10,90%	7,80%	34,00%	4,00%
Sc_30	+ 1	2,20%	1,10%	7,10%	1,20%
Approccio mono-scala - Mono-scale approach					
Sc_10	+15	4,10%	2,30%	8,50%	1,60%
Sc_20	+ 8	2,75%	1,23%	7,10%	1,20%
Sc_30	+ 1	1,15%	0,72%	3,10%	0,82%

da di mobilità considerata è quella interna alla regione, esclusa quindi la quota di scambio con l'esterno ed inclusa quella in ambito urbano per il comune di Salerno.

Per la rappresentazione dell'offerta di trasporto si è tenuto conto delle sole corse ferroviarie e delle autolinee extraurbane il cui orario di partenza ricade nella fascia temporale considerata. La matrice dei flussi origine-destinazione (O/D) riferita alla fascia di punta antimeridiana (7:00-9:30) utilizzata nello scenario di non intervento, è risultata dall'unione di più sottomatrici differenti. Gli spostamenti attratti e/o diretti al Campus di Fisciano dell'Università degli Studi di Salerno sono stati stimati mediante le indagini integrative svolte durante lo studio, gli spostamenti con origine e/o destinazione appartenente alla provincia di Salerno (esclusi quelli diretti/provenienti dal Campus) sono stati simulati a partire dalla matrice O/D del Piano provinciale dei trasporti di Salerno, la restante parte degli spostamenti è stata simulata attraverso la matrice O/D stimata nello studio *Progetto di Sistema di Metropolitana Regionale* [11] mediante tecniche di correzione con conteggi veicolari [12]. Per la stima della matrice O/D riferita allo scenario di intervento (scenario di progetto) sono stati applicati i modelli di scelta del modo di trasporto descritti in precedenza e, pertanto, è stato possibile stimare una nuova matrice O/D, 7:00-9:30, riferita allo scenario di intervento, e tramite il modello di interazione domanda-offerta, i flussi di passeggeri catturati dal nuovo collegamento ferroviario.

5.2 Analisi dei risultati

Da una prima analisi sulle ripartizioni modali (tabella 8) è possibile evidenziare la bassa efficacia dello scenario *P_30* che, pur garantendo un collegamento diretto, determina un incremento di spostamenti su trasporto collettivo poco superiori al 2%. Dal confronto tra gli scenari *P_10* ed *P_20* emerge una sostanziale equità di benefici prodotti in termini di spostamenti catturati dalla modalità "auto"; infatti a fronte di un incremento di spostamenti del 13% per

5.2 Analysis of results

From a preliminary analysis on transport mode shares (table 8), we can highlight the low effectiveness of the *P_30* scenario that, while maintaining a direct connection, determines an increase of trips of just over 2% on public transport. From a comparison between *P_10* and *P_20* scenarios a substantial equity of benefits produced emerges, in terms of trips captured by the "car" mode; in fact, against a 13% increase of shifts for the *P_10* scenario there is one of about 11% for the *P_20* scenario. However, the realisation of scenario *P_10* would involve an increase in terms of trains (+15 trains to ensure the expected split time in the morning peak hour timeslot) definitely higher than that produced by the creation of the *P_20* scenario (+8 trains). These results allow stating that the increase in operating cost in order to achieve the service represented by scenario *Sc_10* rather than the *Sc_20* scenario, is not justified by the benefits produced.

The comparison of multi-scale and mono-scale approach highlights significant differences in terms of reproductive capacity of effects on mode shares and therefore on modal demand flows. We can see how the *Sc_10* simulated scenario with mono-scale approach leads to estimates similar to those obtained for the *Sc_30* simulated scenario with a multi-scale approach. In addition, the mono-scale approach leads to an almost indifference between the three service options and generally induces strong uncertainties about the appropriateness of the design option. In such a context, the efficiency of the multi-scale approach seems clear, albeit at the expense of greater time and costs for informational bases and for the specification of the models.

In order to assess the effects of the new railway connection in an aggregate manner, a synthetic indicator for calculating the respective percentage variations weighed on demand flows (see table 9) was proposed for different service level attributes and for every type of trip. The ser-

lo scenario P_{10} ne corrisponde uno di circa l'11% per lo scenario P_{20} . Tuttavia, la realizzazione dello scenario P_{10} comporterebbe un incremento in termini di convogli ferroviari (+15 convogli ferroviari per garantire l'intertempo previsto nella fascia oraria di punta antimeridiana) decisamente superiore rispetto a quello prodotto dalla realizzazione dello scenario P_{20} (+ 8 convogli ferroviari). Tali risultati permettono di affermare che l'incremento di costo di esercizio per realizzare il servizio rappresentato dallo scenario Sc_{10} anziché quello dello scenario Sc_{20} , non è giustificato dai benefici prodotti.

Il confronto tra approccio multi-scala e mono-scala evidenzia significative differenze in termini di capacità riprodotiva degli effetti sulle ripartizioni modali e, pertanto, sui flussi di domanda modali. È possibile notare come lo scenario Sc_{10} simulato con approccio mono-scala conduce a stime simili a quelle ottenute per lo scenario Sc_{30} simulato con approccio multi-scala. Inoltre, l'approccio mono-scala conduce ad una quasi indifferenza tra le tre opzioni di servizio e, in generale, induce forti perplessità circa la opportunità stessa della opzione progettuale. In un tale contesto, appare chiara la maggiore efficacia dell'approccio multi-scala, ancorché a scapito di maggiori tempi e costi per la realizzazione delle basi informative e per la specificazione dei modelli.

Al fine di valutare in maniera aggregata gli effetti del nuovo collegamento ferroviario, si è proposto, per differenti attributi di livello di servizio e per ogni tipologia di spostamento, un indicatore sintetico per il calcolo delle rispettive variazioni percentuali pesate sui flussi di domanda (si veda la tabella 9). Gli attributi di livello di servizio presi in considerazione sono stati il tempo a bordo (minuti), il tempo di attesa alle fermate ove (minuti), il tempo di accesso alle fermate e tempo di ingresso dalle fermate (minuti) e il numero di trasbordi. L'indicatore sintetico utilizzato è di seguito riportato:

$$\Delta_{j,k}^w = \frac{\sum_{i \in N_k} T_{i,j}^P \cdot d_i^{NI} - \sum_{i \in N_k} T_{i,j}^{NI} \cdot d_i^{NI}}{\sum_{i \in N_k} d_i^{NI} - \sum_{i \in N_k} d_i^{NI}} \quad \forall j \in \{1, 2, 4\}; \forall k \in \{1, 2, 3\}$$

dove le famiglie di variabili sono così definite:

- $\Delta_{j,k}^w$ è l'indicatore *variazione percentuale pesata* associato all'attributo *j-esimo* e alla tipologia di spostamento *k-esima*; in particolare sono stati considerati i quattro attributi precedentemente descritti e tre tipologie di spostamenti: spostamenti interni all'area di progetto; spostamenti destinati al Campus dell'Università di Salerno; spostamenti di scambio ed attraversamento dell'area di progetto;
- $T_{j,k}^w$ è il valore dell'attributo *j-esimo* (es. tempo a bordo) sulla relazione origine-destinazione *i-esima* e riferito allo scenario di progetto (scenario di progetto);

vice level attributes taken into account were the on-board time (minutes), the waiting time at stops (minutes), the access time to stops and egress time from stops (minutes) and number of trips. The synthetic indicator used is reported below:

$$\Delta_{j,k}^w = \frac{\sum_{i \in N_k} T_{i,j}^P \cdot d_i^{NI} - \sum_{i \in N_k} T_{i,j}^{NI} \cdot d_i^{NI}}{\sum_{i \in N_k} d_i^{NI} - \sum_{i \in N_k} d_i^{NI}} \quad \forall j \in \{1, 2, 4\}; \forall k \in \{1, 2, 3\}$$

where the families of parameters are so defined:

- $\Delta_{j,k}^w$ is the weighted percentage variation indicator associated with the *j-th* attribute and with the *k-th* travel type; in particular the four previously described attributes and three types of travels were considered: travel within the project area; travel towards the Campus of the University of Salerno; exchange travels and crossing of the project area;
- $T_{j,k}^w$ is the value of the *j-th* attribute (e.g. time on board) on the *i-th* origin-destination relation and referred to the project scenario (project scenario);
- $T_{j,k}^w$ is the value of the *j-th* attribute (e.g. time on board) on the *i-th* origin-destination relation and referred to the no intervention scenario;
- $d_{j,k}^w$ is the demand value on the *i-th* origin-destination relation and referred to the no intervention scenario;
- $N_{j,k}^w$ is the set of traffic areas (origins and/or destinations) belonging to the *k* trip type..

Confirming what has been previously stated, we can see even from the results in table 9, how little significant the differences are in terms of changes in service-level attributes between the two P_{10} and P_{20} scenarios. For this reason, subsequent calculations have been carried out exclusively for the P_{20} scenario, that is the best compromise between costs and benefits produced (in terms of demand flows captured). From table 9 we can also observe (for the P_{20} scenario) a significant reduction in average time on board with an average savings of time aboard equal to 15%, for trips within Area 3, of 10% for trips towards the Campus and about 2% for the rest of the regional trips involving the project area (but less influenced by the new rail link). The same trend is found for percentage changes weighted with respect to the average waiting time at stops for which there is a reduction of more than 8% for trips within Area 3; a reduction of approximately 2% for trips towards the Campus (already sufficiently well connected by public transport services on road with competitive frequencies); and a reduction of more than 2% for other regional trips. Even the number of trips decreases on average, especially for all those origin-destination relations not including the University Campus (now well connected to the sur-

- T_{jk}^w è il valore dell'attributo j-esimo (es. tempo a bordo) sulla relazione origine-destinazione i-esima e riferito allo scenario di non intervento;
- d_{jk}^w è il valore di domanda sulla relazione origine-destinazione i-esima e riferito allo scenario di non intervento;
- N_{jk}^w è l'insieme delle zone di traffico (origini e/o destinazioni) appartenenti alla tipologia di spostamento k.

A conferma di quanto affermato in precedenza, anche dai risultati della tabella 9 è possibile osservare come poco significative sono le differenze in termini di variazioni di attributi di livello di servizio tra i due scenari P_10 ed P_20. Per tale motivo, le successive elaborazioni sono state eseguite esclusivamente per lo scenario P_20 che risulta il miglior compromesso tra costi di esercizio e benefici prodotti (in termini di flussi di domanda catturati). Sempre dalla tabella 9 è possibile osservare (per lo scenario P_20) una significativa riduzione dei tempi medi a bordo con un risparmio medio del tempo a bordo del 15%, per gli spostamenti interni all'Area 3, del 10% per gli spostamenti diretti al Campus e di circa il 2% per la restante parte degli spostamenti regionali interessanti l'area di progetto (ma meno influenzati dal nuovo collegamento ferroviario). Lo stesso trend si riscontra per le variazioni percentuali pesate rispetto al tempo medio di attesa alle fermate per le quali si osserva una riduzione di oltre l'8% per gli spostamenti interni all'Area 3; una riduzione di circa il 2% per gli spostamenti diretti al Campus (già sufficientemente ben collegato da un servizio di trasporto collettivo su gomma con frequenze competitive); e da una riduzione di oltre il 2% per gli altri spostamenti regionali. Anche il numero di trasbordi mediamente diminuisce specialmente per tutte quelle relazioni origine - destinazione non comprendenti il Campus universitario (oggi ben collegato con il territorio circostante attraverso una rete capillare di servizi di trasporto collettivo su gomma). Le uniche variazioni di segno positivo riguardano i tempi di accesso ed egresso; tale circostanza si giustifica in virtù della minore diffusione sul territorio delle fermate (stazioni) di un servizio di trasporto

rounding territory through a capillary network of collective transport services on road). The only positive sign changes concern access and egress times; that circumstance is justified by virtue of lower diffusion on the territory of stops (stations) of collective transport on rails, compared to a similar service on road, this implies that a significant reduction of generalised cost of transportation can be an increase in access and egress time.

Regarding the transport mode choice, the new rail link will catch in the morning peak hour time 07:00-9:30 (table 10): (i) approximately 4% of trips within Area 3 that currently use the car (+563 in for the collective transport); (ii) over 23% of trips to the university Campus of Fisciano that currently use the car (+2.211 on collective transport); (iii) approximately 2% of the remaining part of trips concerning the project area that currently use the car (+737 for collective transport range).

Altogether over 3.500 trips will be "captured" that will add to the more than 32.000 trips that currently use collective transport services, in Area 3, in the morning peak hour and that will allow a reduction of over 2.500 cars on the main road network of the project area. Regarding passenger flows on individual arcs of the new railway connection in the P_20 project scenario, it should be noted that the university campus will attract on average more than 6.600 trips on rail in the morning peak hour and over 3.600 trips in the maximum load hour. Altogether the new Salerno-Mercato San Severino link will capture almost 9.000 boarding trips and over 10.000 unboarding trips in the morning peak hour. Compared to the total boarding and unboarding on the Salerno-Mercato San Severino route, both in the morning rush hour and in the maximum load hour (table 11 and 12), we can observe that the station planned at the Fisciano Campus will attract about 36% of boarding and unboarding passengers on the Salerno-Mercato San Severino route and about 65% of unboarding ones.

From the passenger flows analysis (fig. 2) on the project line in the morning peak hour, we can see that the most loaded route is the Pontecagnano-Campus one with arc flows exceeding 4.700 passengers. On the Salerno-

TABELLA 9 – TABLE 9
VARIAZIONE PERCENTUALE PESATA DEGLI ATTRIBUTI DI LIVELLO DI SERVIZIO RISPETTO
ALLO SCENARIO DI NON INTERVENTO
WEIGHTED PERCENTAGE VARIATION OF SERVICE LEVEL ATTRIBUTES COMPARED TO THE NO
INTERVENTION SCENARIO

Tipologia di spostamento Transfer type	Scenario Scenario	Tempo bordo Acc.-egr. on-board	Tempo attesa Acc.-egr. time	Tempo acc.-egr. Acc.-egr. time	Numero trasbordi Number of trips
Interni all'AREA 3	P_10	-15.2%	-12.0%	2.5%	-2.0%
Within AREA 3	P_20	-15.1%	-8.4%	1.6%	-4.0%
Verso l'Università	P_10	-11.9%	-5.8%	2.3%	-1.1%
To the University	P_20	-9.6%	-1.9%	1.8%	-1.3%
Scambio ed attraversamento dell'AREA 3	P_10	-2.0%	-3.3%	1.2%	-1.6%
Exchange and crossing of AREA 3	P_20	-1.7%	-2.2%	1.0%	-1.6%

collettivo su ferro, rispetto ad un analogo servizio su gomma, ciò comporta che ad una riduzione significativa del costo generalizzato di trasporto può corrispondere un aumento dei tempi di accesso ed egresso.

Per quanto riguarda la scelta modale, il nuovo collegamento ferroviario permetterà di catturare nella fascia di punta antimeridiana 7:00-9:30 (tabella 10): (i) circa il 4% degli spostamenti interni all'Area 3 che attualmente utilizzano l'automobile (+563 spostamenti nella fascia su trasporto collettivo); (ii) oltre il 23% degli spostamenti diretti al Campus universitario di Fisciano che attualmente utilizzano l'automobile (+2.211 spostamenti nella fascia su trasporto collettivo); (iii) circa il 2% della restante parte degli spostamenti interessanti l'area di progetto che attualmente utilizzano l'automobile (+737 spostamenti nella fascia su trasporto collettivo).

Complessivamente oltre 3.500 spostamenti verranno "catturati" che si andranno a sommare agli oltre 32.000 spostamenti che attualmente, nell'Area 3, utilizzano i servizi di trasporto collettivo nella fascia di punta antimeridiana e permetteranno una riduzione di oltre 2.500 autovetture nella fascia sulla rete stradale principale dell'area di progetto. Per quanto riguarda i flussi di passeggeri sui singoli archi del nuovo collegamento ferroviario nello scenario di progetto *P₂₀*, si evidenzia che il campus universitario attrarrà mediamente oltre 6.600 spostamenti su ferro nella fascia di punta antimeridiana e oltre 3.600 spostamenti nell'ora di massimo carico. Complessivamente il nuovo collegamento Salerno- Mercato San Severino catturerà quasi 9.000 spostamenti in salita e oltre 10.000 spostamenti in discesa nella fascia di punta antimeridiana. Rispetto al totale dei saliti e dei discesi sulla tratta Salerno- Mercato San Severino, sia nella fascia di punta antimeridiana che nell'ora di massimo carico (tabella 11 e 12), si può osservare che la stazione prevista in corrispondenza del Campus di Fisciano attrarrà circa il 36% dei saliti e discesi sulla tratta Salerno-Mercato San Severino e circa il 65% dei discesi.

Dall'analisi dei flussi di passeggeri (fig. 2) sulla linea di progetto nella fascia di punta antimeridiana si può osservare che la tratta più carica risulta quella Pontecagnano - Campus con flussi di arco che superano i 4.700 passeggeri. Sul-

TABELLA 10 – TABLE 10
VARIAZIONE PERCENTUALE DEGLI SPOSTAMENTI SU TRASPORTO COLLETTIVO
RISPETTO ALLO SCENARIO DI NON INTERVENTO (7:00-9:30)
PERCENTAGE CHANGE OF TRIPS ON COLLECTIVE TRANSPORT COMPARED
TO THE NO INTERVENTION SCENARIO (07:00-9:30)

Tipologia di spostamento <i>Transfer type</i>	Variazione numero spostamenti <i>Variation of number of trips</i>			% numero spostamenti in auto <i>% number of trips in car</i>
Interni all'AREA 3 <i>Within AREA 3</i>	7 181	+563	+7.8%	-3.6%
Diretti l'Università <i>To the University</i>	6 409	+2.211	+34.0%	-23.5%
Scambio ed attraversamento dell'AREA 3 <i>Exchange and crossing of AREA 3</i>	18 701	+737	+4.0%	-1.7%

Mercato San Severino route there is a greater load north-bound representative of students that go to the Campus daily.

If we look at the maximum load hour (estimated as union of the maximum hourly loads of different flow rates), as well as the degree of flow/capacity ratio on the proposed railway line (fig. 3), one can see how the service offered is capable of absorbing the demand flows it generates and the average degree flow/capacity is nearing its capacity (ratio in the 0.8 -1 range) only on the Pontecagnano - Salerno FS – Fratte and Lancusi – Campus route northbound, and Salerno FS - Pontecagnano route, southbound.

6. Conclusions

The issues related to the development of models and methods for estimating transport impacts play a central role in the planning process. In particular, the choice of the most appropriate level of detail of simulation models is a delicate task that can significantly affect the estimates of travel demand and therefore estimates of internal and external impacts of possible intervention options.

Starting from these considerations, the issue of what approach modelling would allow the best compromise between effectiveness of estimates and implementation costs

TABELLA 11 – TABLE 11
SALITI E DISCESI SULLA NUOVA TRATTA FERROVIARIA
NELLA FASCIA DI PUNTA 7:00-9:30
BOARDING AND UNBOARDING PASSENGERS ON THE NEW RAILWAY LINE
IN THE 07:00-9:30 PEAK HOUR

Tipologia spostamento <i>Transfer type</i>	Saliti <i>Boarding</i>	%	Discesi <i>Unboarding</i>	%	Totale <i>Total</i>	%
Area di progetto tratta SA-M.S.S. <i>SA-M.S.S. route Project Area</i>	8.660	98%	3.617	35%	12.277	64%
Stazione Campus <i>Campus station</i>	167	2%	6.617	65%	6.784	36%
Totale <i>Total</i>	8.827	100%	10.234	100%	19.061	100%

la tratta Salerno- Mercato San Severino si osserva un carico maggiore in direzione nord rappresentativo degli studenti che quotidianamente si recano al Campus.

Se si analizza il massimo carico orario (stimato come unione dei massimi carichi orari delle differenti aliquote di domanda), nonché il grado di riempimento (rapporto flusso/capacità) sulla tratta ferroviaria proposta (fig. 3), è possibile notare come il servizio offerto è in grado di assorbire i flussi di domanda che genera ed il grado di riempimento medio è prossimo alla capacità (rapporto flusso/capacità compreso nell'intervallo 0,8-1) solo sulla tratta Pontecagnano-Salerno FS – Fratte e Lancusi-Campus, in direzione nord, e Salerno FS-Pontecagnano, in direzione sud.

6. Conclusioni

Le problematiche connesse allo sviluppo di modelli e metodi per la stima degli impatti trasportistici all'interno di documenti di programmazione dei trasporti riveste un ruolo centrale nel processo di pianificazione. In particolare, la scelta del più opportuno livello di dettaglio dei modelli di simulazione è attività delicata che può pregiudicare significativamente le stime dei flussi di domanda di mobilità e, pertanto, le stime degli impatti interni ed esterni delle possibili opzioni di intervento.

A partire da queste considerazioni, nel presente studio si è affrontato il problema di quale approccio modellistico consentisse il migliore compromesso tra costi di implementazione ed efficacia delle stime: un unico modello per tutte le realtà (modello alla scala regionale) o modelli differenti per ciascuna area. Partendo dai risultati insoddisfacenti derivanti dall'applicazione di un modello tradizionale mono-scala (quello implementato dalla Regione Campania per la simulazione dell'intero sistema metropolitano regionale), è stata proposta ed implementata un'architettura di modelli multi-scala per la stima degli impatti trasportistici di un nuovo collegamento ferroviario nella provincia di Salerno.

TABELLA 12 – TABLE 12
SALITI E DISCESI SULLA NUOVA TRATTA FERROVIARIA NELL'ORA DI MASSIMO CARICO
BOARDING AND UNBOARDING PASSENGERS ON THE NEW RAILWAY LINE IN THE MAXIMUM LOAD HOUR

Tipologia spostamento Transfer type	Saliti Boarding	%	Discesi Unboarding	%	Totale Total	%
Area di progetto tratta SA-M.S.S. SA-M.S.S. route Project Area	4.763	98%	1.989	35%	6.752	64%
Stazione Campus Campus station	92	2%	3.639	65%	3.731	36%
Totale Total	4.855	100%	5.628	100%	10.483	100%

was addressed in this study: a unique model for all realities (regional scale model) or different models for each area. Starting from unsatisfactory results resulting from the application of a traditional mono-scale model (the one implemented by the Campania Region for the simulation of the entire regional metropolitan system), an architecture of

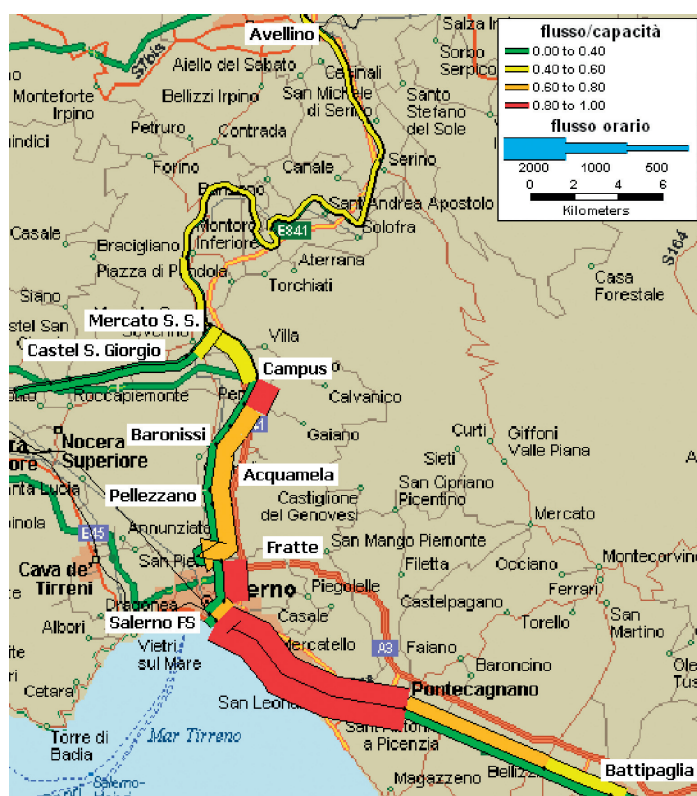


Fig. 2 – Flussi di passeggeri sulla tratta Salerno- Università - Mercato S. S. (7:00-9:30).

Fig. 2 – Passenger flows on the Salerno-University-Mercato S. S. route (7:00-9:30).

L'architettura modellistica è stata specificata rispetto a differenti scale territoriali (utenti dell'università residenti a Salerno, utenti non residenti a Salerno, residenti della provincia), a differenti scale socio-economiche (studenti, dipendenti), a differenti scale motivazionali (motivi sistematici, motivi non sistematici) e a differenti contesti di scelta (reale, virtuale).

Gli elementi di interesse e di originalità del contributo sono di natura sia metodologica che applicativa. L'architettura modellistica, benché basata su metodi consolidati, è originale sia nella sua articolazione che nella sua specificazione. Il livello di dettaglio perseguito e la gerarchia di modelli di scelta modale proposti non sono consueti nelle pratiche applicazioni e rappresentano un contributo allo stato dell'arte nell'ambito dei modelli di scelta del modo di trasporto alla scala extra-urbana e nell'ambito dei meno diffusi modelli di *switching* modale; i risultati di calibrazione hanno evidenziato la opportunità di un approccio multi-scala e multi-utente; le specificazioni possono essere utili come linea guida per studi di fattibilità analoghi oltre a fornire soluzioni trasferibili a casi studio simili.

I risultati delle calibrazioni hanno evidenziato significatività statistica di attributi simili ma, allo stesso tempo, rapporti di reciproca sostituzione differenti: dai 2 euro/ora degli studenti, ai 6 euro/ora dei dipendenti e residenti della Provincia di Salerno, ai 3 euro/ora dei residenti della Provincia di Salerno che si spostano per motivi non sistematici. Altrettanto interessanti sono i differenti insiemi di scelta emersi al variare del livello territoriale coinvolto. Se per la scala provinciale i modi di trasporto significativi sono risultati due (auto e trasporto collettivo), per la scala locale i modi di trasporto sono risultati quattro (auto, passeggero, car-pool e bus). Inoltre, a parità di insieme di scelta e a parità di scala territoriale, sono risultate significative differenze strutturali di correlazione al variare del tipo di utenza: senza correlazione per i dipendenti dell'Università; con correlazione tra le utilità percepite del car-pool e del bus per gli studenti. Allo stesso modo è interessante notare come i modelli relativi agli utenti del campus universitario (studenti e dipendenti), indipendentemente dal fatto che siano rappresentativi di comportamenti di *holding* o di *switching*, presentano attributi delle funzioni di utilità pressoché identici. Tale risultanza, ricordando che le indagini sono state svolte a utenti differenti, fornisce robustezza ai risultati e all'intero quadro modellistico. Infine, per tutti i modelli è bene rimarcare il ruolo non trascurabile degli attributi di natura socio-economica (genere, disponibilità dell'auto e condizione economica) e degli attributi caratteristici dell'attività svolta in destinazione (frequenza settimanale degli spostamenti e durata dell'attività in destinazione). Anche in questo caso il peso reciproco varia sensibilmente al variare della scala territoriale e del tipo di utente coinvolto.

Da un punto di vista applicativo, il contributo evidenzia la opportunità di perseguire un approccio multi-scala, anche a fronte dei maggiori costi e tempi per la implementazione dell'architettura modellistica. Infatti, per ciascuna scala territoriale sono risultate statisticamente si-

multi-scale models was proposed and implemented for estimating transport impacts of a new railway connection in the province of Salerno.

The modelling architecture was specified at different territorial scales (University users residing in Salerno, users not residing in Salerno, residents of the province), at different socio-economic scales (students, employees), at different motivational scales (systematic purpose, non-systematic purposes) and in different contexts of choice (real, virtual).

The items of interest and the originality of the contribution are both of a methodological and applicative nature. The modelling architecture, although based on established methods, is original both in its articulation and in its specification. The level of detail sought and the hierarchy of modal choice models proposed are not usual in application practice and represent a contribution to the state of the art within the context of the choice models of transport mode at non-urban scale and under less common modal switching models; the calibration results have highlighted the opportunity of a multi-scale and multi-user approach; the specifications can be useful as a guideline for similar feasibility studies as well as providing transferable solutions to similar case studies.

The results of calibrations showed statistical significance of similar attributes but at the same time different mutual replacement ratios: from 2 Euros/hour for students, to 6 Euros/hour for employees and residents of the province of Salerno, to 3 Euros/hour for residents of the province of Salerno who move for non-systematic purposes. The different sets of choice that emerged at different territorial levels involved are equally interesting. If for the provincial scale the major transport modes were two (cars and public transport), for the local scale the transport modes turned out to be four (car, passenger, car-pool and bus). In addition, with the same set of choice and the same territorial scale, there were significant different correlation structures as the type of user varies: no correlation for the employees of the University; with correlation between the perceived utilities of car-pool and bus for students. Similarly it is interesting to note how the models relating to the university campus users (students and employees), regardless of whether they are representative of holding or switching behaviours, have almost identical attributes of utility functions. This finding, pointing out that investigations were performed on different users, provides reliability to the results and to the whole modelling framework. Finally, for all models it is good to emphasize the significant role of socio-economic attributes (type, availability of car and economic condition) and of the characteristic attributes of the activity carried out at destination (weekly trip frequency and activity duration at destination). Also in this case the mutual weight varies considerably as different territorial scales and types of users involved vary.

From an application point of view, the contribution highlights the opportunity to pursue a multi-scale approach, even against higher costs and times for the implementation of the modelling architecture. In fact, for each

gnificative differenti specificazioni modellistiche e, a parità di specificazione, i pesi assunti dagli attributi delle funzioni di utilità sistematica sono risultati significativamente differenti. L'applicazione dei modelli ha evidenziato, inoltre, che l'approccio mono-scala e l'approccio multi-scala presentano forti differenze in termini di stima dei flussi di domanda modali. Se era ragionevole immaginare che un approccio mono-scala fosse meno elastico rispetto agli attributi di livello di servizio, è stato interessante notare come le stime dell'approccio mono-scala nello scenario migliore (intertempo treni 10 minuti) sono risultate simili alle stime ottenibili dall'approccio multi-scala per lo scenario peggiore (intertempo 30 minuti).

In conclusione, i risultati delle stime degli impatti hanno mostrato come la metodologia complessiva sia efficace nel simulare i fenomeni alle diverse scale territoriali e, soprattutto, efficace nella simulazione dei benefici trasportistici che il nuovo collegamento ferroviario potrà apportare al sistema di trasporto delle Province di Salerno e Avellino. La capacità riproduttiva dei modelli è soddisfacente, i modelli hanno carattere generale e, pertanto, sono trasferibili anche scenari progettuali che prevedano opzioni di intervento alle diverse scale: regionale, provinciale e locale.

territorial scale different modelling specifications were statistically significant, and with equal specification, the weights given by the attributes of the systematic utility functions turned out to be significantly different. Moreover, the application of the models showed that the mono-scale approach and the multi-scale approach have strong differences in terms of estimate of modal demand flows. If it was reasonable to imagine that a mono-scale approach would be less flexible compared to service level attributes, it was interesting to note that the estimates of the mono-scale approach in the best scenario (train split-time of 10 minutes) were similar to the estimates obtained from the multi-scale approach for the worst-case scenario (split-time of 30 minutes).

Lastly, the results of the impact estimates showed that the overall methodology is effective in simulating the phenomena at different territorial scales and, above all, effective in the simulation of transport benefits that the new rail link may bring to the transport system of the Province of Salerno and Avellino. The reproductive capacity of the models is satisfactory, the models have a general nature and, therefore, planning scenarios involving intervention options at different scales (regional, provincial and local) are also transferable.

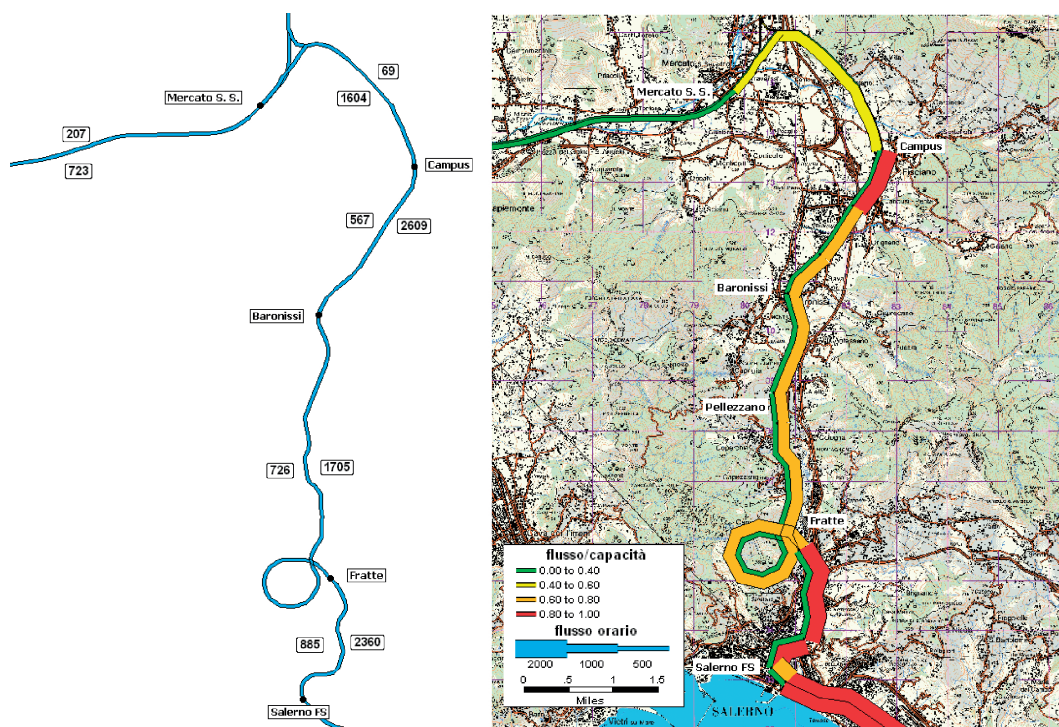


Fig. 3 – I flussi di passeggeri sulla tratta Salerno- Università - Mercato S. S. (massimo carico orario).

Fig. 3 – Passenger flows on the Salerno-University- Mercato S. S. route (maximum hourly load).

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] BEN-AKIVA M., MORIKAWA T. (1990), "Estimation of Switching Models from Revealed Preferences and Stated Intentions", *Transportation Research A*, 24A(6), pp. 485-495.
- [2] BIFULCO G.N., CANTARELLA G.E., DE LUCA S., DI PACE R. (2011), "Analysis and modelling the effects of information accuracy on travellers' behavior", *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, art. no. 6082961, pp. 2098-2105.
- [3] BIFULCO G.N., CARTENÌ A., PAPOLA A. (2010), "An activity-based approach for complex travel behaviour modeling", *European Transport Research Review*, 2(4), pp. 209-221.
- [4] CANTARELLA G.E., DE LUCA S. (2005), "Multilayer feed forward networks for transportation mode choice analysis: an analysis and a comparison with random utility models", *Transportation Research Part C*, 13(2), pp. 121-155.
- [5] CASCETTA E. (2009), "Transportation System Modeling: Theory and Applications", New York: Springer.
- [6] CASCETTA E., CARTENÌ A., CARBONE A., (2013), "La progettazione quality-based nel trasporto pubblico locale. Il sistema di metropolitana regionale della Campania", *Ingegneria Ferroviaria*, Vol. 3, pp. 241-261.
- [7] DE LUCA S., CANTARELLA G.E. (2009), "Validation and comparison of choice models", in: SALEH W., SAMMER G., (Eds.), "Success and Failure of Travel Demand Management Measures", UK: Ashgate publications, pp. 37-58.
- [8] DE LUCA S., DI PACE R. (2012), "Modelling passenger departure airport choice: implicit vs. explicit approaches", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, pp. 875-885.
- [9] DE LUCA S., PAPOLA A. (2001), "Evaluation of travel demand management policies in the urban area of Naples", *Advances in Transport*, 8, pp. 185-194.
- [10] SMR (2002) - Regione Campania, Assessorato ai trasporti, Progetto di Sistema di Metropolitana Regionale.
- [11] SMR (2012) - Regione Campania, Assessorato ai trasporti, Progetto di Sistema di Metropolitana Regionale.
- [12] CARTENÌ A. (2007), "Updating demand vectors using traffic counts on congested networks: a real case application", *WIT Transactions on the Built Environment* 96, pp. 211-221.

**AL FINE DI AGEVOLARE LE COMUNICAZIONI
I SIGNORI SOCI O ABBONATI CHE SONO IN POSSESSO
DI INDIRIZZO E-MAIL
SONO PREGATI DI SEGNALARLO
ALLA SEGRETERIA GENERALE DEL COLLEGIO
ALL'INDIRIZZO: areasoci@cifi.it**