

L'impiego di strumenti open-source per la definizione del piano spostamenti casa-lavoro: il caso dell'Ente Autonomo Volturino

The use of open-source tools for the definition of the home-work trip plan: the case of Ente Autonomo Volturino

Luca D'ACIERNO^(*)
Mario D'AVINO^(**)
Marilisa BOTTE^(*)
Luigi PARIOTA^(*)
Florindo DAMIANO^(*)

Sommario – Il lavoro presenta un sistema di supporto alle decisioni per la redazione del *Piano Spostamenti Casa-Lavoro (PSCL)*. In particolare, è stata sviluppata una metodologia innovativa di stima aggregata della domanda di mobilità, opportunamente integrata dal ricorso a strumenti di tipo open-source. Al fine di mostrare la bontà dell'approccio proposto, esso è stato applicato al caso di una azienda realmente esistente: *l'Ente Autonomo Volturino (EAV)*.

1. Introduzione

Secondo l'ultimo censimento ISTAT effettuato nel 2011 [1], in Campania, ogni giorno, i lavoratori pendolari compiono più di 1 milione di spostamenti; se a questi si aggiungono anche gli spostamenti effettuati per il motivo casa-studio, tale cifra supera i 2,5 milioni. Tali dati palezano l'immediata necessità di un'opportuna razionalizzazione delle scelte di mobilità, attraverso l'adozione di politiche mirate a disincentivare il trasporto individuale motorizzato (auto e moto) a favore dell'utilizzo di sistemi di trasporto non motorizzati (pedonale [2] e bicicletta [3]) e/o collettivi (gomma [4] e ferro [5]) anche mediante opportune politiche di mitigazione di eventuali disservizi [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Ovviamente, una più attenta gestione della mobilità porterebbe innumerevoli vantaggi per tutti gli attori coinvolti. Innanzitutto, sia la collettività che gli utenti del sistema di trasporto trarrebbero beneficio da una riduzione dei livelli di inquinamento (atmosferico ed acustico), incidentalità e congestione. Inol-

Summary - The work presents a decision support system for the drafting of the "Home-Work Trip Plan (Italian acronym PSCL)". In particular, an innovative methodology of aggregated estimate of the mobility demand was developed, appropriately integrated by the use of open-source tools. In order to show the goodness of the proposed approach, it has been applied to the case of a truly existing company: the Ente Autonomo Volturino (EAV).

1. Introduction

According to the last ISTAT census carried out in 2011 [1], in Campania, every day, workers travel for a total of more than 1 million trips; if these are also added to the trips performed for home-study reasons, this figure exceeds 2.5 million. These data reveal the immediate need for an appropriate rationalisation of mobility choices, through the adoption of policies aimed at discouraging individual motorised transport (cars and motorcycles) in favour of the use of non-motorised transport systems (pedestrian [2] and bicycle [3]) and/or collective (road [4] and rail [5]) also through appropriate mitigation policies for possible inefficiencies [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Obviously, a more careful management of mobility would bring countless advantages for all the actors involved. First of all, both the community and the users of the transport system would benefit from a reduction in pollution (atmospheric and acoustic), accident and congestion levels. Moreover, in the particular case of the home-work systematic displacements, there is an additional structure to consider that is repre-

^(*) Università di Napoli Federico II.

^(**) EAV – Direzione Trasporto Ferroviario, Mobility Manager.

^(*) University of Naples Federico II.

^(**) EAV - Railway Transport Management, Mobility Manager.

tre, nel caso particolare degli spostamenti sistematici casa-lavoro, c'è un'ulteriore compagine da considerare che è rappresentata dalle aziende presenti sul territorio, le quali si trovano a dover fare i conti con personale spesso stressato e in ritardo. Dunque, politiche di razionalizzazione mirate ad ottimizzare gli spostamenti casa-lavoro andrebbero ad incrementare anche la produttività delle aziende che potrebbero così contare su una maggiore puntualità e propensione al lavoro da parte dei propri dipendenti.

Ed è proprio in quest'ottica che si inserisce il Decreto Ronchi del 27 marzo 1998 [12], il quale investe le aziende stesse della responsabilità di provvedere ad una opportuna gestione della mobilità dei propri dipendenti, attraverso il cosiddetto *Piano Spostamenti Casa-Lavoro (PSCL)*, la cui redazione è affidata alla figura del Mobility Manager aziendale. Ad integrazione del suddetto Decreto, troviamo il Decreto del Ministro dell'Ambiente del 20 dicembre 2000 [13] che, istituisce, altresì, la figura del Mobility Manager d'area. Tale ruolo prevede funzioni di supervisione e coordinamento tra i vari Mobility Manager aziendali, nonché di mediazione tra tutti gli attori coinvolti nel processo di redazione e attuazione del *PSCL*, al fine di agevolare il buon esito dell'intera procedura.

Risulta evidente, dunque, come la redazione di un *PSCL* non sia affatto un automatismo, ma richieda un sapiente sforzo progettuale ed organizzativo, in primis, da parte del Mobility Manager aziendale. Egli, infatti, sarà chiamato ad individuare strategie di gestione della mobilità aziendale che siano adeguate alle specifiche caratteristiche del contesto in esame e che, al contempo, non solo siano appetibili per gli enti territoriali (ad esempio: Comuni, Province e Regioni), ma rappresentino anche un adeguato compromesso tra le esigenze dei dipendenti (in termini di riduzione dei costi monetari e del tempo di viaggio) e quelle dell'azienda (in termini economici e di produttività).

Come già evidenziato, alcune delle possibili strategie di intervento sono: incentivazione di politiche di car pooling e/o car sharing; istituzione di un servizio navetta aziendale; incentivazione all'uso della bicicletta e/o della modalità *bike-and-ride*; disincentivazione all'uso dell'auto privata. Inoltre, anche una razionalizzazione degli orari di lavoro o un piano per l'utilizzo del telelavoro possono rappresentare validi interventi a supporto di una adeguata gestione della mobilità aziendale.

Appare quindi evidente la necessità di fornire al Mobility Manager un valido supporto tecnico che sia capace di adempiere ad una duplice funzione. Infatti, dapprima, sarà necessario valutare le implicazioni di ciascuna strategia di intervento sulle varie compagnie coinvolte, così da individuare le misure ottimali da implementare; successivamente, bisognerà definire gli aspetti tecnologici delle strategie prescelte (ad es. frequenza e percorso del servizio di navetta aziendale, tariffazione della sosta in caso di politiche di disincentivazione all'uso dell'auto privata, dimensionamento delle rastrelliere per incentivare

sented by the companies present in the territory, which are having to deal with personnel who are often stressed and late. Therefore, rationalisation policies aimed at optimising home-work travel would also increase the productivity of companies that could thus rely on greater punctuality and willingness to work of their employees.

And it is precisely with this in mind that it has been issued the Ronchi Decree of March 27, 1998 [12], which invests the companies themselves of the responsibility to provide for an appropriate management of the mobility of its employees, through the so-called "Home-Work Trip Plan (Italian acronym PSCL)", whose drafting is entrusted to the role of the company Mobility Manager. In addition to the aforementioned Decree, there is the Decree of the Minister of the Environment of December 20, 2000 [13] which also establishes the role of the Area Mobility Manager. This role provides supervisory and coordination functions between the various company Mobility Managers, as well as mediation between all the actors involved in the process of drafting and implementing the PSCL, in order to facilitate the success of the entire procedure.

It is evident, therefore, that the drafting of a PSCL is not at all an automatism, but requires a skilful planning and organisational effort, first and foremost by the company Mobility Manager. In fact, he/she will be called to identify strategies for the management of company mobility that are appropriate to the specific characteristics of the context in question and which, at the same time, are not only attractive to local authorities (for example: Municipalities, Provinces and Regions), but also represent an adequate compromise between the needs of employees (in terms of reduction in monetary costs and travel times) and those of the company (in economic and productivity terms).

As already highlighted, some of the possible intervention strategies are: incentive of car pooling and/or car sharing policies; establishment of a company shuttle service; incentive to use the bike and/or bike-and-ride mode; disincentive to the use of private cars. Furthermore, also a rationalisation of working hours or a plan for the use of telework can represent valid interventions to support an adequate management of company mobility.

The need to provide the Mobility Manager with a valid technical support that is able to fulfill a dual function is therefore evident. In fact, at first, it will be necessary to evaluate the implications of each intervention strategy on the various structures involved, so as to identify the best measures to be implemented; subsequently, it will be necessary to define the technological aspects of the chosen strategies (e.g. frequency and route of the corporate shuttle service, parking fees in the event of disincentive policies to the use of the private car, sizing of the racks to encourage the use of the bicycle). Therefore, this article aims to develop a valid decision support system that allows adequate modelling of mobility choices, so as to properly support the action of the Mobility Manager aimed at drafting the PSCL.

l'uso della bicicletta). Dunque, il presente articolo si propone di sviluppare un valido sistema di supporto alle decisioni che permetta una adeguata modellazione delle scelte di mobilità, così da coadiuvare opportunamente l'azione del Mobility Manager finalizzata alla redazione del *PSCL*.

L'articolo è strutturato come di seguito riportato. Nel paragrafo 2 viene descritta la metodologia proposta, evidenziandone l'originalità rispetto alle tecniche tradizionali. Nel paragrafo 3 viene illustrato il ricorso a strumenti di tipo open-source al fine di gestire ed integrare i dati a disposizione. Nel paragrafo 4 è descritta l'applicazione dell'approccio proposto ad un caso-studio, al fine di evidenziarne l'effettiva validità. Nel paragrafo 5, sulla base dei risultati ottenuti, vengono analizzate le possibili strategie di intervento e formulati alcuni validi suggerimenti per l'azienda. Infine, nel paragrafo 6 vengono riportate alcune osservazioni conclusive, insieme a possibili sviluppi futuri della metodologia presentata.

2. La modellazione delle scelte degli utenti

Il primo step della procedura di redazione del *PSCL* è costituito da una fase informativa e di analisi in cui è necessario modellare le scelte di mobilità degli utenti che, in questo specifico caso, sono rappresentati dai dipendenti dell'azienda in questione. Per cui, seguendo l'ormai condiviso concetto di modellazione matematica, è necessario sviluppare un certo modello che riproduca il sistema fisico in esame e mettere appunto delle opportune tecniche risolutive (ad es. algoritmi), così da ottenere risultati numerici che forniscano la soluzione al nostro problema nel mondo reale. In particolare, il nostro obiettivo è quello di modellare la domanda di mobilità, la cui analisi risulta imprescindibile per la valutazione di un qualsiasi intervento che abbia ad oggetto un sistema di trasporto, qualunque esso sia e qualunque caratteristica abbia.

In letteratura, esistono diversi metodi di stima della domanda di mobilità, attuale e/o futura. Come mostrato da [14], essi vengono generalmente classificati secondo tre differenti approcci: stima diretta, disaggregata e aggregata.

Le procedure di stima diretta [15], [16], [17], permettono di definire esclusivamente la domanda attuale, senza alcuna capacità previsionale. A rigore, un'osservazione diretta della matrice O-D richiederebbe l'acquisizione di informazioni di tipo censuario, ossia relative alle caratteristiche di tutti gli spostamenti effettuati nell'area di interesse e nel periodo temporale di riferimento. Quindi, sebbene tecnicamente fattibile, l'osservazione diretta della matrice O-D nella sua interezza non è praticabile, in quanto risulterebbe una procedura antieconomica. Ecco perché, nella pratica, a meno che il dato censuario non sia già disponibile, si procede ad una stima di tipo campionario, poi adeguatamente elaborata attraverso l'utilizzo di tecniche di inferenza statistica.

The article is structured as follows. In paragraph 2 the proposed methodology is described, highlighting its originality with respect to traditional techniques. Paragraph 3 illustrates the use of open-source tools in order to manage and integrate the data available. Paragraph 4 describes the application of the proposed approach to a case study, in order to highlight its effective validity. Paragraph 5, on the basis of the results obtained, analyses the possible intervention strategies and some valid suggestions are made for the company. Finally, in paragraph 6 some conclusive observations are reported, together with possible future developments of the presented methodology.

2. Modelling of user choices

*The first step of the procedure for drafting the *PSCL* consists of an information and analysis phase in which it is necessary to model the users' mobility choices which, in this specific case, are represented by the employees of the company in question. Therefore, following the now shared concept of mathematical modelling, it is necessary to develop a certain model that reproduces the physical system under examination and to put in place appropriate resolution techniques (e.g. algorithms), so as to obtain numerical results that provide the solution to our problem in the real world. In particular, our goal is to model the demand for mobility, the analysis of which is essential for the evaluation of any intervention that has as its object a transport system, whatever it is and feature it has.*

In literature, there are different methods of estimating the current and/or future mobility demand. As shown by [14], they are generally classified according to three different approaches: direct, disaggregated and aggregated estimation.

The direct estimation procedures [15], [16], [17] allow defining only the current demand, without any forecasting capacity. Strictly speaking, a direct observation of the O-D matrix would require the acquisition of census-type information, i.e. relating to the characteristics of all the displacements carried out in the area of interest and in the reference time period. Therefore, although technically feasible, direct observation of the O-D matrix in its entirety is not feasible, as it would be an anti-economic procedure. This is why, in practice, unless the census data is already available, we proceed to a sample-like estimate, then appropriately processed through the use of statistical inference techniques.

The disaggregated estimate of the mobility demand [18], [19], [20], [21], consists in making use of appropriately generated mathematical models, starting from sample data, according to the following steps:

- specification: identification of the functional form and of the model variables;*
- calibration: determination of the numerical values of the model parameters;*

La stima disaggregata della domanda di mobilità [18], [19], [20], [21], consiste nel fare ricorso a modelli matematici opportunamente generati, a partire da dati campionari, secondo le seguenti fasi:

- *specificazione*: identificazione della forma funzionale e delle variabili del modello;
- *calibrazione*: determinazione dei valori numerici dei parametri del modello;
- *validazione*: verifica delle performance del modello nel riprodurre i dati attraverso opportuni test statistici, sia globali che sui singoli parametri.

Infine, per stima aggregata della domanda di mobilità [22], [23], [24], [25], si intende una procedura di correzione e aggiornamento di una matrice O-D già nota a priori, sulla base di informazioni di tipo aggregato rappresentate dai conteggi di traffico. In pratica, si effettua una procedura di ottimizzazione al fine di ottenere una matrice O-D che sia quanto più vicina a quella di partenza e tale che, assegnata alla rete, riproduca il più possibile i flussi rilevati.

In particolare, la metodologia proposta si basa sull'utilizzo della stima disaggregata della domanda di mobilità, implementata allo scopo di simulare il comportamento di scelta modale degli utenti. È necessario precisare che, rispetto ad una stima tradizionale, il caso in esame presenta una duplice semplificazione, dovuta al carattere sistematico degli spostamenti analizzati (spostamenti casa-lavoro) e alla limitata variabilità spaziale delle coppie origine-destinazione nel tempo. Infatti, queste ultime sono rappresentate dai luoghi di residenza e dalle sedi aziendali di ciascun dipendente e, dunque, costituiscono un elemento stabile nel tempo. Quindi, ad esempio, se si volesse applicare la metodologia proposta al caso di sedi universitarie, essa sarebbe valida per il personale docente ed amministrativo; mentre, un diverso approccio andrebbe adottato per modellare la mobilità studentesca. Infatti, in questo caso, gli spostamenti, pur mantenendo il loro carattere sistematico (spostamenti casa-studio), risulterebbero caratterizzati da una maggiore variabilità spaziale nel tempo, dovuta alla durata del ciclo di studi.

Come già detto, un approccio di tipo disaggregato presenta capacità previsionali; ma, oltre a ciò, permette anche una accurata e dettagliata interpretazione della situazione attuale, riuscendo a catturare e modellare adeguatamente le correlazioni esistenti tra le variabili coinvolte. Ed è proprio questo secondo aspetto a costituire l'obiettivo del presente lavoro. Infatti, l'acquisizione e la modellazione degli elementi caratterizzanti lo scenario attuale rappresentano il punto di partenza per qualsiasi successiva valutazione, da parte del Mobility Manager, finalizzata alla razionalizzazione della gestione della mobilità del personale aziendale.

Nello specifico, la metodologia sviluppata nel presente lavoro si configura come un'evoluzione degli approcci già proposti in letteratura [14] e prevede le seguenti fasi:

- validation: *verification of the model's performance in reproducing data through appropriate statistical tests, both global and on individual parameters.*

Finally, by aggregated estimate of the demand for mobility [22], [23], [24], [25], we mean a procedure for the correction and updating of an O-D matrix already known a priori, on the basis of aggregated information represented from traffic counts. In practice, an optimisation procedure is carried out in order to obtain an O-D matrix that is as close as possible to the starting matrix and such that, assigned to the network, reproduces the detected flows as much as possible.

In particular, the proposed methodology is based on the use of the disaggregated estimate of the mobility demand, implemented in order to simulate the behaviour of the users' modal choice. It is necessary to clarify that, compared to a traditional estimate, this case presents a twofold simplification, due to the systematic nature of the displacements analysed (home-work shifts) and to the limited spatial variability of the origin-destination pairs over time. In fact, the latter are represented by the places of residence and the company headquarters of each employee and, therefore, constitute a stable element over time. So, for example, if you wanted to apply the methodology proposed to the case of universities, it would be valid for teaching and administrative staff; while, a different approach should be adopted to model student mobility. In fact, in this case, the shifts, while maintaining their systematic character (home-study trips), would be characterised by greater spatial variability over time, due to the duration of the study cycle.

As already mentioned, a disaggregated approach presents forecasting capabilities; but, in addition to this, it also allows an accurate and detailed interpretation of the current situation, managing to adequately capture and model the connections existing between the variables involved. And it is precisely this second aspect that constitutes the objective of this work. In fact, the acquisition and modelling of the elements characterising the current scenario represent the starting point for any subsequent evaluation, by the Mobility Manager, aimed at rationalising the management of the mobility of company personnel.

Specifically, the methodology developed in this work is configured as an evolution of the approaches already proposed in literature [14] and includes the following phases:

- Phase 1: Specification (traditional approach on the whole sample)

This phase, aimed at identifying the functional form of the model, starts from the identification of the factorial plan related to the various functional alternatives (represented by the combination of the functional form of the utilities and the probabilities). For each of these, a calibration and a validation phase is implemented on the whole sample. This first step ends with the identification of the solution that provides the best performance in the reproduction of data of the entire sample.

- *Fase 1: Specificazione (approccio tradizionale sull'intero campione)*

Questa fase, finalizzata ad individuare la forma funzionale del modello, parte dall'individuazione del piano fattoriale relativo alle diverse alternative funzionali (rappresentate dalla combinazione della forma funzionale delle utilità e delle probabilità). Per ognuna di queste, si implementa una fase di calibrazione e una di validazione sull'intero campione. Questo primo step si conclude con l'individuazione della soluzione che fornisce le migliori performance nella riproduzione dei dati dell'intero campione.

- *Fase 2: Calibrazione/Validazione (approccio proposto applicato sui due sottocampioni)*

Essa è articolata nelle seguenti sotto-fasi:

- *Fase 2.1:* definizione di un certo tasso di ripartizione al fine di determinare la numerosità dei 2 sotto-campioni (ad esempio 75% per il campione di calibrazione/validazione e 25% per il campione di hold-out).
- *Fase 2.2:* esecuzione di un'estrazione casuale, secondo il tasso di ripartizione predefinito, al fine di individuare gli elementi appartenenti a ciascuno dei due sotto-campioni.
- *Fase 2.3:* applicazione delle tecniche di calibrazione sul primo sotto-campione al fine di determinare i valori numerici dei parametri del modello.
- *Fase 2.4:* applicazione delle tecniche di validazione sul primo sotto-campione al fine di determinare, mediante opportuni test statistici, le performance del modello nel riprodurre i soli dati del campione di calibrazione/validazione.
- *Fase 2.5:* applicazione delle tecniche di validazione sul secondo sotto-campione al fine di determinare, mediante opportuni test statistici, le performance del modello nel riprodurre non più i dati del campione di calibrazione/validazione, bensì quelli del campione di hold-out, mai processati sino a questo momento.

Le fasi 2.2-2.5 vengono ripetute per n volte (dove n è un numero predefinito di estrazioni da operare), andando a variare di volta in volta gli elementi appartenenti a ciascuno dei due sotto-campioni (ossia modificando la procedura di estrazione casuale effettuata nella fase 2.2).

Dopodiché, si reiterano le fasi 2.1-2.5 per m volte (dove m è un numero predefinito di ripartizioni), andando a modificare la numerosità dei due sotto-campioni (ossia il tasso di ripartizione fissato nella fase 2.1).

Alla fine, la soluzione prescelta è quella che fornisce le migliori performance statistiche sia sul campione di calibrazione/validazione che sul campione di hold-out.

È necessario evidenziare che la definizione dei valori n (ossia il numero di estrazioni) ed m (il numero di ripartizioni) avviene in maniera empirica, ossia le suddette fasi vengono reiterate finché i risultati ottenuti non risultino essere accettabili per gli scopi dello studio.

- Phase 2: Calibration/Validation (proposed approach applied on the two sub-samples)

It is divided into the following sub-phases:

- Phase 2.1: *definition of a certain partition rate in order to determine the number of the 2 sub-samples (for example 75% for the calibration/validation sample and 25% for the hold-out sample).*
- Phase 2.2: *execution of a random sampling, according to the default partition rate, in order to identify the elements belonging to each of the two sub-samples.*
- Phase 2.3: *application of the calibration techniques on the first sub-sample in order to determine the numerical values of the model parameters.*
- Phase 2.4: *application of the validation techniques on the first sub-sample in order to determine, through appropriate statistical tests, the model's performance in reproducing only the data of the calibration/validation sample.*
- Phase 2.5: *application of the validation techniques on the second sub-sample in order to determine, through appropriate statistical tests, the performances of the model in reproducing no longer the data of the calibration/validation sample, but rather those of the hold-out sample, never processed until now.*

Phases 2.2-2.5 are repeated for n times (where n is a predefined number of samplings to be performed), varying time by time the elements belonging to each of the two sub-samples (i.e. modifying the random sampling procedure carried out in phase 2.2).

Then, phases 2.1-2.5 are repeated for m times (where m is a predefined number of allocations), changing the number of the two sub-samples (i.e. the rate of distribution set in the phase 2.1).

In the end, the chosen solution is the one that provides the best statistical performances both on the calibration/validation sample and on the hold-out sample.

It is necessary to highlight that the definition of the n value (i.e. the number of samplings), as well as the m value (i.e. the number of subdivisions), is empirical, that is to say that the above steps are repeated until the results are acceptable for the purposes of the study.

3. Data integration through the use of open-source tools

In general, the data used in the calibration phase derive mainly from the results of the surveys carried out by submitting a questionnaire to a sample of users. In the case of RP-type surveys, the answers on the actually chosen alternative are to be considered fairly reliable; while, those on the non-chosen alternatives may not be. This may depend, for example, on the fact that the user is unaware of some of the alternatives actually available or, even if it is aware of it, does not perceive them as belonging to his/her choice set.

3. L'integrazione dei dati mediante l'uso di strumenti open-source

In generale, i dati utilizzati in fase di calibrazione derivano principalmente dai risultati delle indagini effettuate sottponendo un questionario ad un campione di utenti. Nel caso di indagini di tipo RP, le risposte sull'alternativa effettivamente scelta sono da considerarsi abbastanza attendibili; mentre, quelle sulle alternative non scelte potrebbero non esserlo. Ciò può dipendere, ad esempio, dal fatto che l'utente non è a conoscenza di alcune delle alternative effettivamente disponibili o, pur essendone a conoscenza, non le percepisce come appartenenti al suo insieme di scelta. Inoltre, potrebbe capitare che l'assenza di alcune risposte costringa l'analista ad eliminare l'intero record relativo a quell'utente, con conseguente riduzione nell'ammontare di dati a disposizione. Per tali motivi, è necessario andare ad integrare opportunamente i dati da indagine. Ciò è possibile tramite il ricorso a strumenti di tipo open-source che permettono di supplire alle informazioni mancanti in maniera agevole ed accurata.

Nel caso del *PSCL*, gli utenti a cui sottoporre il questionario sono rappresentati, ovviamente, dai dipendenti dell'azienda. Per ciascuno di essi, l'azienda conoscerà sicuramente: luogo di residenza (origine dello spostamento), luogo di lavoro (destinazione dello spostamento) e mansione (tipologia di impiego anche in termini di impegno orario). Mentre, potrebbe essere necessario dover integrare i dati relativi agli attributi del modello di offerta come, ad esempio, il tempo di percorrenza per ciascuna modalità e fascia oraria in esame. A questo scopo, è possibile ricorrere alle *Google API* (*Application Programming Interface*) messe a disposizione dalla nota software house nell'ambito della piattaforma Google Maps [26]. In particolare, si tratta di tools, rilasciati pubblicamente, che agevolano la fase di sviluppo di applicativi software con funzioni di geolocalizzazione e di stima delle caratteristiche degli spostamenti effettuati con diverse modalità di trasporto (Fig. 1). Esempi di implementazione di tali strumenti software si trovano in [27], [28], [29], [30], [31], [32].

Tuttavia, non è detto che questi applicativi siano sufficienti ad ottenere una esaustiva integrazione dei dati a disposizione. Infatti, potrebbe capitare, ad esempio, che una certa rete (o servizio) di trasporto collettivo non sia caricata su Google Maps; oppure che si voglia ottenere un livello di elaborazione superiore rispetto a quello fornito dalle suddette *API*. Se la prima ipotesi risulta sempre più difficilmente riscontrabile, data l'ormai capillare opera del colosso Google, il verificarsi della seconda è molto frequente. Un esempio di questo genere, tipico delle analisi ad impronta trasportistica, riguarda la necessità di effettuare una analisi di soglia per la definizione delle aree di influenza delle stazioni dei sistemi trasporto collettivo, al fine di individuare gli utenti potenziali degli spostamenti multimodali del tipo piedi-gomma-piedi o bici-ferro-piedi. Per cui, in simili circostanze, è necessario costruire una rete ad-hoc con l'ausilio di opportuni software GIS e di simulazione. Tuttavia, anche in questo caso,

Moreover, it could happen that the absence of some answers forces the analyst to eliminate the entire record relating to that user, with a consequent reduction in the amount of data available. For these reasons, it is necessary to appropriately integrate the survey data. This is possible through the use of open-source tools that allow making up easily and accurately for missing information.

In the case of the *PSCL*, the users to whom the questionnaire is submitted are obviously represented by the company's employees. For each of them, the company will surely know: place of residence (origin of movement), place of work (destination of movement) and role (type of employment also in terms of time commitment). While, it may be necessary to integrate data related to the attributes of the

 Directions API Google Directions between multiple locations.	 Distance Matrix API Google Travel time and distance for multiple destinations.	 Geocoding API Google Convert between addresses and geographic coordinates.
 Geolocation API Google Location data from cell towers and WiFi nodes.	 Maps Elevation API Google Elevation data for any point in the world.	 Maps Embed API Google Make places easily discoverable with interactive Google Maps.
 Maps JavaScript API Google Maps for your website.	 Maps SDK for Android Google Maps for your native Android app.	 Maps SDK for iOS Google Maps for your native iOS app.
 Maps Static API Google Simple, embeddable map image with minimal code.	 Places API Google Get detailed information about 100 million places	 Places SDK for Android Google Make your Android app stand out with detailed information about 100 million places
 Places SDK for iOS Google Make your iOS app stand out with detailed information about 100 million places	 Roads API Google Snap-to-road functionality to accurately trace GPS breadcrumbs.	 Street View API Google Real-world imagery and panoramas.
 Street View Publish API Google Publishes 360 photos to Google Maps, along with position, orientation, and connectivity	 Time Zone API Google Time zone data for anywhere in the world.	

(Fonte – Source: [33])

Fig. 1 – Google Maps API Console.

Fig. 1 – Google Maps API Console.

esiste uno strumento open-source che agevola l'esecuzione di tale compito: il database Open-Street Map [34]. Esso fornisce dati geografici e mappe su scala mondiale, per lo più ottenuti a partire da informazioni registrate tramite dispositivi GPS, fotografie di aree e immagini satellitari. Tali mappe sono facilmente importabili ed editabili in qualunque software GIS presente in commercio e, dunque, esimono il progettista dal laborioso compito di costruzione di una rete ex-novo.

4. Il caso dell'Ente Autonomo Volturino (EAV)

Al fine di mostrare la validità della metodologia sviluppata, essa è stata applicata al caso di un'azienda realmente esistente: l'*Ente Autonomo Volturino (EAV)*. Si tratta di una storica azienda campana, che nel 2012 ha incorporato le società Circumvesuviana, MetroCampania NordEst e Sepsa. In seguito a tale incorporazione, EAV, quale impresa ferroviaria, effettua l'esercizio dei servizi pubblici per il trasporto ferroviario, su gomma e funivario di persone di interesse regionale e locale e cura la manutenzione del materiale rotabile. Quale gestore dell'infrastruttura effettua la gestione della circolazione dei treni e cura la manutenzione dell'infrastruttura ferroviaria in concessione. Fornisce, inoltre, supporto alla Regione Campania nelle attività di pianificazione, progettazione, programmazione e controllo dei progetti e degli investimenti regionali nel campo della mobilità e del trasporto.

Nello specifico, per quanto concerne il sistema di trasporto su ferro, le linee in concessione a EAV, su cui viene esercito il servizio ferroviario, sono così distinte (Fig. 2):

- Linee vesuviane⁽¹⁾:
 - Napoli – Torre Annunziata – Sorrento;
 - Napoli – Ottaviano – Sarno;
 - Napoli – Nola – Baiano;
 - Napoli – Torre Annunziata – Poggiomarino;
 - Napoli – San Giorgio (via Centro Direzionale);
 - Napoli – Pomigliano – Acerra.
- Linee flegree:
 - Cumana;
 - Circumflegrea.
- Linea metropolitana: Piscinola – Aversa Centro
- Linee suburbane:
 - Napoli – Cancelllo – Benevento.
 - Napoli – Caserta – Santa Maria Capua Vetere – Piedimonte Matese.

⁽¹⁾ La sovrapposizione esistente tra le diverse linee vesuviane non consente di distinguere gli utenti per singola linea; pertanto, nel seguito, si farà riferimento genericamente alla ferrovia Vesuviana, individuando, di volta in volta, le tratte oggetto di analisi.

offer model such as, for example, the travel time for each mode and time slot under examination.

For this purpose, it is possible to use the Google API (Application Programming Interface) made available by the well-known software house within the Google Maps platform [26]. In particular, these are tools, released publicly, which facilitate the development of software applications with geolocation and estimate of the characteristics of the displacements performed with different transport modes (Fig. 1). Examples of implementation of these software tools can be found in [27], [28], [29], [30], [31], [32].

However, it is not certain that these applications are sufficient to obtain a complete integration of the data available. In fact, it could happen, for example, that a certain public transport network (or service) is not loaded on Google Maps; or that you want to obtain a processing level higher than that provided by the aforementioned API. If the first hypothesis is increasingly difficult to find, given the now widespread work of the giant Google, the occurrence of the second is very frequent. An example of this kind, typical of transport-type analyses, concerns the need to carry out a threshold analysis for the definition of the areas of influence of the stations of collective transport systems, in order to identify the potential users of multimodal shifts of the pedestrian-road-pedestrian or bike-rail-pedestrian type.

Therefore, in such circumstances, it is necessary to build an ad-hoc network with the help of appropriate GIS and simulation software. However, even in this case, there is an open-source tool that facilitates the execution of this task: the Open-Street Map database [34]. It provides geographical data and maps on a global scale, mostly obtained from information recorded via GPS devices, photographs of areas and satellite images. These maps can be easily imported and edited in any GIS software available on the market and, therefore, exempt the designer from the laborious task of building a new network.

4. The case of Ente Autonomo Volturino (EAV)

In order to show the validity of the developed methodology, it has been applied to the case of a truly existing company: the Ente Autonomo Volturino (EAV). It is a historic company from the Campania area, which in 2012 incorporated the companies Circumvesuviana, MetroCampania NordEst and Sepsa. Following this incorporation, EAV, as a railway company, carries out rail, road and cableway public passenger transport services of regional and local interest and takes care of the maintenance of rolling stock. As infrastructure manager it manages train traffic and maintains the railway infrastructure under concession. It also provides support to the Campania Region in the planning, design, programming and monitoring of projects and regional investments in the mobility and transport field.

Specifically, as far as the rail transport system is concerned, the lines under concession to EAV, on which the



Fig. 2 - Rete ferroviaria dell'EAV.

Fig. 2 - EAV railway network.

Per queste ultime due, tuttavia, è necessario precisare che, nelle tratte Napoli – Cencello e Napoli – Santa Maria Capua Vetere, il gestore dell'infrastruttura è la società Rete Ferroviaria Italiana (RFI).

A valle di tale descrizione, appare evidente come la scelta del caso studio da prendere in esame non sia stata affatto casuale, bensì mirata. Infatti, trattandosi di un'azienda la cui missione consiste proprio nella progettazione e gestione di sistemi di trasporto pubblico, è chiaro che i margini di intervento a disposizione del Mobility Manager sono molto ampi, in quanto è l'azienda stessa a dover mettere in pratica molte delle tipiche misure di razionalizzazione della mobilità richieste nei PSCL (come, ad esempio, l'istituzione di un servizio navetta, l'aumento della frequenza su una certa linea o la predisposizione di parcheggi di interscambio). In altre parole, vengono meno alcune di quelle problematiche relative alla necessità di individuare opportune sinergie di intervento con gli enti erogatori dei servizi di mobilità che, invece, si presenterebbero nel caso di una qualsiasi altra tipologia di azienda.

Come già evidenziato, il primo step da affrontare per la redazione di un PSCL consiste in una fase informativa e di analisi, mirata a costituire una base dati da cui partire per le successive valutazioni. A questo scopo, nel periodo ottobre-dicembre 2016, il Mobility Manager dell'azienda ha somministrato ai dipendenti un questionario relativo alle loro scelte di mobilità. In particolare, ad ogni dipendente, è stato chiesto di fornire informazioni relative alle caratteristiche del proprio spostamento casa-lavoro quali, ad esempio, orario di partenza, distanza da percorrere e modalità di trasporto utilizzata. Si trattava, dunque, di un'indagine di tipo RP, in cui non erano presenti dei veri e propri scenari di tipo SP; tuttavia, essa è stata arricchita da domande relative alla predisposizione del dipendente a cambiare le proprie abitudini di viaggio. Infine, era presente una sezione in cui il dipendente è stato chiamato a fornire eventuali suggerimenti all'azienda, circa l'aggiunta di nuove corse (sia per il servizio su ferro che su gomma), e palesare la propria propensione ad essere trasferito in una sede più vicina al proprio domicilio, qualora disponibile.

È necessario precisare che nella formulazione del questionario, il Mobility Manager aziendale ha ritenuto prioritario garantire la tutela della privacy dei lavoratori. Questa azione, chiaramente, è andata ad inficiare il grado di completezza ed esaustività dell'indagine. A ciò va aggiunto il fatto che la maggior parte dei quesiti, per il medesimo fine, è stata resa non obbligatoria con la conseguenza attesa che numerosi record sono risultati incompleti. Infine, quando è stata condotta l'analisi, parte della rete ferroviaria EAV non era caricata su Google Maps. Per quanto detto, si è resa necessaria una opportuna integrazione dei dati mancanti, al fine di non perdere gran parte delle informazioni raccolte.

Ciò è stato possibile grazie al ricorso agli strumenti open-source descritti nel paragrafo precedente. In particolare, attraverso le Google API, sono stati ottenuti gli attributi del modello di offerta per quanto riguarda le modalità di

railway service is operated, are characterised as follows (Fig. 2):

- *Vesuvian lines*⁽¹⁾:
 - Naples - Torre Annunziata - Sorrento;
 - Naples - Ottaviano - Sarno;
 - Naples - Nola - Baiano;
 - Naples - Torre Annunziata - Poggiomarino;
 - Naples - San Giorgio (via the Business Centre);
 - Naples - Pomigliano - Acerra.
- *Phleorean lines*:
 - Cumana;
 - Circumflegrea.
- *Metro line*: Piscinola - Aversa Centro
- *Suburban lines*:
 - Naples - Cencello - Benevento.
 - Naples - Caserta - Santa Maria Capua Vetere - Piedimonte Matese.

For the latter two, however, it is necessary to clarify that, in the Naples - Cencello and Naples - Caserta - Santa Maria Capua Vetere routes, the infrastructure manager is Rete Ferroviaria Italiana (RFI).

Following this description, it appears evident that the choice of the case study to be examined was not at all random, but rather focused. In fact, it being a company whose mission consists precisely in the design and management of public transport systems, it is clear that the margins of intervention available to the Mobility Manager are very broad, as it is the company itself that has to put into practice many of the typical measures to rationalise the mobility required in the PSCLs (such as, for example, the establishment of a shuttle service, the increase in frequency on a certain line or the provision of interchange parking lots). In other words, some of the problems related to the need to identify appropriate intervention synergies with the providers of mobility services, which, instead, would arise in the case of any other type of company, fail.

As already highlighted, the first step to be taken to prepare a PSCL consists of an information and analysis phase, aimed at setting up a data base from which to proceed for subsequent evaluations. For this purpose, in the period October-December 2016, the company Mobility Manager gave employees a questionnaire related to their mobility choices. In particular, each employee was asked to provide information on the characteristics of his/her home-work trip, such as departure time, distance to travel and transport mode

⁽¹⁾ The overlap between the different Vesuvian lines does not allow distinguishing users by single line; therefore, below, we will refer generically to the Vesuvian railway, identifying the sections subject to analyses, time by time.

trasporto individuale (auto, pedonale e bicicletta) e di trasporto collettivo su gomma. Mentre, dal database Open-Street Map è stata scaricata la rete ferroviaria di interesse, poi elaborata opportunamente attraverso il software commerciale TransCAD [35]. In questo modo, è stato possibile ottenere un grafo costruito ad-hoc che permettesse il calcolo dei tempi di viaggio anche per la modalità trasporto collettivo su ferro, così da completare l'analisi. Tale procedura, ovviamente, va a salvaguardare l'uniformità degli attributi del modello di offerta ottenuti per le varie modalità di trasporto, permettendone una valutazione omogenea, ossia in termini di utilità sistematiche e non percepite.

Inoltre, integrando opportunamente i dati da indagine con i documenti aziendali relativi all'anagrafica dei dipendenti, è stato possibile ottenere una serie di informazioni utili circa le caratteristiche del personale dell'azienda (Tabella 1).

In aggiunta, sono stati individuati gli indirizzi relativi alle residenze (origini dello spostamento) e alle sedi di lavoro (destinazioni dello spostamento) di tutti i dipendenti EAV. Tali siti, identificati da informazioni di tipo testuale, sono stati poi geolocalizzati, ossia caratterizzati in termini di coordinate geografiche (latitudine e longitudine), attraverso l'utilizzo delle Google API. In questo modo, è stato possibile identificare, in forma anonima, 3344 origini, tante quanti erano i dipendenti EAV nel luglio del 2016, e le corrispondenti destinazioni, raggruppate in 107 sedi aziendali. L'output di tale procedura è riportato nelle Figg. 3 e 4.

Nel seguito è descritta la fase di elaborazione dei dati ottenuti in sede di indagine, al fine di condurre un'analisi accurata del fenomeno analizzato e catturarne gli aspetti più significativi. In particolare, dapprima sono illustrati i risultati ottenuti a seguito dell'applicazione dell'approccio statistico tradizionale di espansione all'universo e, successivamente, quelli relativi all'implementazione della metodologia sviluppata, al fine di mostrare le elevate capacità esplicative.

4.1. Elaborazione dei dati da indagine mediante la tradizionale metodologia di espansione all'universo

L'output della fase di indagine, ottenuto andando a processare opportunamente le risposte fornite dal campione di dipendenti al questionario, è riportato in Tabella 2. In particolare, sono stati considerati due diversi schemi di campionamento, ossia un campionamento casuale semplice ed un campionamento casuale stratificato.

used. It was therefore an RP type investigation, in which there were no real SP type scenarios; however, it was enriched by questions relating to the employee's predisposition to change his/her travel habits.

Finally, there was a section in which the employee was asked to provide any suggestions to the company, about the addition of new routes (both for the rail and road service), and reveal its propensity to be transferred to a location closer to home, if available.

It is necessary to clarify that in the formulation of the questionnaire, the company Mobility Manager has considered guaranteeing the protection of the privacy of the workers a priority. This action, of course, has undermined the degree of completeness of the investigation. The fact that most of the questions, for the same purpose, were made not mandatory must also be taken into account with the expected consequence that many records were incomplete. Finally, when the analysis was conducted, part of the EAV rail network was not uploaded on Google Maps. As a result, it was necessary to integrate the missing data in order not to lose much of the information collected.

This was possible thanks to the use of the open-source tools described in the previous paragraph. In particular the attributes of the offer model were obtained, through the Google API, with regard to the individual transport modes (car, pedestrian and bicycle) and collective road transport. While, from the Open-Street Map database the railway network of interest was downloaded, then elaborated appropri-

Tabella 1 – Table 1

Caratteristiche principali del personale EAV
Main features of EAV staff

		Personale(*) Staff(*)	Questionari ricevuti Received questionnaires
Genere <i>Gender</i>	Uomo <i>Male</i>	3017 (90%)	575 (87%)
	Donna <i>Female</i>	327 (10%)	86 (13%)
Tipologia utenti <i>User typology</i>	Isolani <i>Islanders</i>	242 (7%)	106 (16%)
	Non isolani <i>Non-islanders</i>	3102 (93%)	555 (84%)
Divisione <i>Division</i>	Gomma <i>Bus</i>	1037 (31%)	151 (23%)
	Ferro <i>Railway</i>	2307 (69%)	510 (77%)
Mansione <i>Mansion</i>	Turnista <i>Shift worker</i>	2259 (68%)	386 (58%)
	Non turnista <i>Non-shift worker</i>	1085 (32%)	275 (42%)
Totale / Total		3344	661

(*) Dati risalenti all'anno 2016.

(*) Data dating back to 2016.

Il passo successivo è rappresentato dalla procedura di riporto all'universo che consiste nell'espandere, all'intera popolazione, i risultati ottenuti dal campione. L'approccio più semplice, ed anche più utilizzato, si basa sul calcolo del

ately through the commercial software TransCAD [35]. In this way, an ad-hoc built graph was obtained that would allow the calculation of travel times also for the collective transport mode on rail, so as to complete the analysis. Ob-

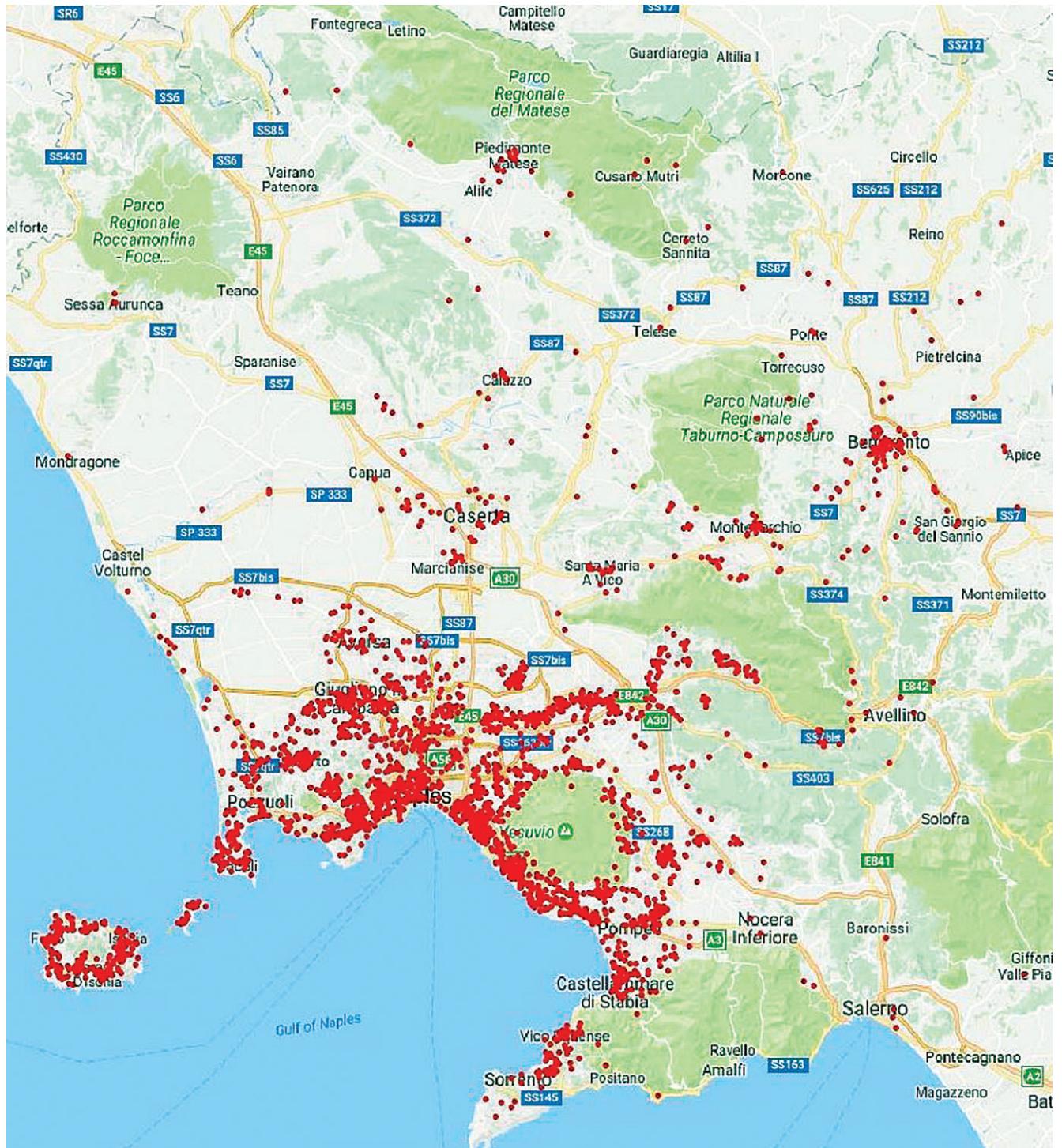


Fig. 3 - Origini degli spostamenti.

Fig. 3 - Trip origins

SCIENZA E TECNICA

cosiddetto coefficiente di espansione α , ottenuto come rapporto tra la numerosità della popolazione N e la numerosità del campione n :

$$\alpha = N/n \quad (1)$$

viously, this procedure safeguards the uniformity of the attributes of the offer model obtained for the various transport modes, allowing a homogeneous evaluation, i.e. in terms of systematic and not perceived benefits.

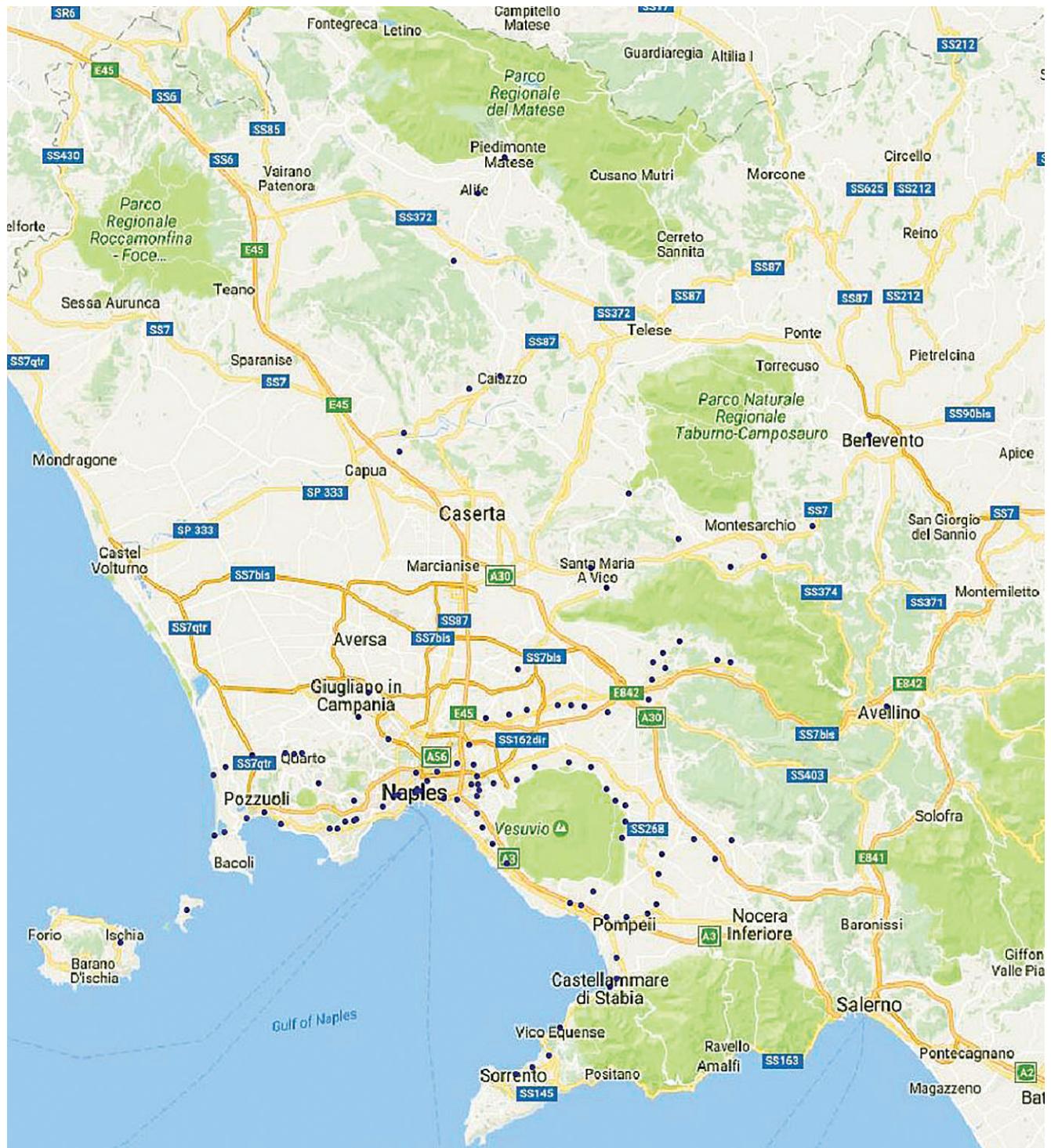


Fig. 4 - Destinazioni degli spostamenti.

Fig. 4 - Trip destinations.

Ovviamente, la procedura varia a seconda della tecnica di campionamento utilizzata, come mostrato di seguito.

4.1.1. Campionamento casuale semplice

Nel primo caso, abbiamo effettuato un campionamento casuale semplice in cui, cioè, tutte le unità formanti la popolazione appartengono ad un'unica lista, senza alcuna distinzione di strati o gerarchie. L'ipotesi di base, in questo caso, prevede che il comportamento di scelta modale degli utenti sia uguale a quello medio del campione, indipendentemente dall'origine e dalla destinazione. Dunque, è stato calcolato un unico coefficiente di espansione il cui valore è pari a 5.059. I risultati ottenuti con tale metodo sono riportati in Tabella 3.

4.1.2. Campionamento casuale stratificato

Un approccio più raffinato consiste nel considerare un campionamento non più di tipo semplice, ma stratificato. In questo caso, il campione (così come la popolazione) viene suddiviso in sotto-gruppi, il più possibile omogenei rispetto al fenomeno da studiare, che vengono appunto definiti strati (Tabella 4).

In addition, a series of useful information about the characteristics of the company personnel was obtained by appropriately integrating survey data with company documents related to employee records (Table 1).

In addition, the home addresses (origins of the transfer) and work addresses (travel destinations) of all EAV employees were identified. These sites, identified by textual information, were then geolocated, i.e. characterised in terms of geographical coordinates (latitude and longitude), through the use of the Google APIs. In this way, 3344 origins were identified in anonymous form, as many as the number of EAV employees in July 2016, and the corresponding destinations, grouped in 107 company offices. The output of this procedure is shown in Figs. 3 and 4.

Below is the description of the data processing phase obtained during the investigation, in order to conduct an accurate analysis of the phenomenon analysed and capture the most significant aspects thereof. In particular, at first the results obtained following the application of the traditional statistical approach of expansion to the universe and, subsequently, those related to the implementation of the developed methodology are illustrated, in order to show its high explanatory abilities.

Tabella 2 – Table 2

Risultati dell'indagine Survey results

Mansione <i>Mansion</i>	Scelta modale <i>Modal choice</i>					
	Auto privata <i>Private car</i>	Trasporto collettivo su gomma <i>Bus public transport</i>	Trasporto collettivo su ferro <i>Rail public transport</i>	Bicicletta <i>Bike</i>	Pedonale <i>Pedestrian</i>	Tutti i modi <i>All modes</i>
Turnista <i>Shift worker</i>	308 (79.79%)	24 (6.22%)	35 (9.07%)	6 (1.55%)	13 (3.37%)	386 (100.00%)
(Non turnista <i>Non-shift worker</i>	155 (56.36%)	30 (10.91%)	73 (26.55%)	2 (0.73%)	15 (5.45%)	275 (100.00%)
Tutti gli utenti <i>All users</i>	463 (70.05%)	54 (8.17%)	108 (16.34%)	8 (1.21%)	28 (4.24%)	661 (100.00%)

Tabella 3 – Table 3

Risultati del metodo del campione casuale semplice Results of the simple random sampling method

Mansione <i>Mansion</i>	Scelta modale <i>Modal choice</i>					
	Auto privata <i>Private car</i>	Trasporto collettivo su gomma <i>Bus public transport</i>	Trasporto collettivo su ferro <i>Rail public transport</i>	Bicicletta <i>Bike</i>	Pedonale <i>Pedestrian</i>	Tutti i modi <i>All modes</i>
Tutti gli utenti <i>All users</i>	2342 (70.05%)	273 (8.17%)	546 (16.34%)	40 (1.21%)	142 (4.24%)	3344 (100.00%)

Nel nostro studio, abbiamo ritenuto opportuno suddividere la popolazione in gruppi omogenei dal punto di vista della mansione ricoperta in azienda. La logica sottesa a tale distinzione risiede nel fatto che una diversa organizzazione degli orari di lavoro può influenzare marcatamente il comportamento di scelta che l'utente adotta per i suoi spostamenti di tipo casa-lavoro e, dunque, un'esplicita modellazione di ciò permette di ottenere un modello più accurato. In particolare, sono stati considerati due strati, ossia dipendenti turnisti e non turnisti. L'ipotesi di base qui adottata prevede che il comportamento di scelta modale degli utenti sia uguale a quello medio dello strato di appartenenza (ossia turnisti e non) indipendentemente dall'origine e/o dalla destinazione. Quindi, è stato calcolato un coefficiente di espansione per ciascuno strato individuato. Nello specifico, esso è risultato pari a 5.852, nel caso di dipendenti turnisti, e pari a 3.945 nel caso di dipendenti non turnisti. I risultati ottenuti con tale approccio sono riportati in Tabella 4. In particolare, appare evidente come i lavoratori turnisti preferiscano ricorrere all'uso dell'auto privata e siano meno propensi, invece, all'uso delle modalità di trasporto collettivo, rispetto ai colleghi non turnisti. Ciò conferma l'utilità di tale stratificazione al fine di ottenere un'analisi più accurata.

4.2. Elaborazione dei dati da indagine con la metodologia proposta

In questa sezione è riportato l'output ottenuto attraverso l'implementazione della metodologia descritta nel paragrafo 2, al fine di mostrarne i vantaggi in termini di accuratezza. Lo scopo è quello di ottenere un modello di ripartizione modale che riesca a riprodurre le dinamiche esistenti nelle scelte di mobilità dei dipendenti dell'azienda analizzata, così da rappresentare un valido strumento di supporto alle decisioni a disposizione del Mobility Manager. Dunque, nel seguito, viene innanzitutto affrontato il problema della definizione dell'insieme di

4.1. Elaboration of survey data using the traditional method of expansion to the universe

The output of the investigation phase, obtained by appropriately processing the answers to the questionnaire provided by the sample of employees, is shown in Table 2. In particular, two different sampling schemes were considered, namely a simple random sampling and a stratified random sampling.

The next step is represented by the reporting procedure to the universe that consists in expanding the results obtained from the sample to the entire population. The simplest and most commonly used approach is based on the calculation of the so-called expansion coefficient α , obtained as the ratio between the number of the population N and the number of the sample n :

$$\alpha = N/n \quad (1)$$

Obviously, the procedure varies according to the sampling technique used, as shown below.

4.1.1. Simple random sampling

In the first case, we carried out a simple random sampling in which all the units forming the population belong to a single list, without any distinction of classes or hierarchies. The basic hypothesis, in this case, provides that the modal choice behaviour of the users is equal to the average one of the sample, regardless of the origin and destination. Therefore, a single coefficient of expansion has been calculated whose value is equal to 5.059. The results obtained with this method are shown in Table 3.

4.1.2. Stratified random sampling

A more refined approach consists in considering a stratified type sampling instead of a simple one. In this case, the sample (as well as the population) is divided into sub-groups, as homogeneous as possible with respect to the phenomenon

Tabella 4 – Table 4

Risultati del metodo del campione casuale stratificato
Results of the stratified random sampling method

Mansione Mansion	Scelta modale Modal choice					
	Auto privata Private car	Trasporto collettivo su gomma Bus public transport	Trasporto collettivo su ferro Rail public transport	Bicicletta Bike	Pedonale Pedestrian	Tutti i modi All modes
Turnista Shift worker	1803 (79.79%)	140 (6.22%)	205 (9.07%)	35 (1.55%)	76 (3.37%)	2259 (100.00%)
(Non turnista Non-shift worker	612 (56.36%)	118 (10.91%)	288 (26.55%)	8 (0.73%)	59 (4.45%)	1085 (100,00%)
Tutti gli utenti All users	2414 (72.19)	259 (7.74%)	493 (14.74%)	43 (1.29%)	135 (4.04%)	3344 (100.00%)

scelta e vengono poi presentati i tre modelli di ripartizione modale sviluppati:

- modello di scelta unico;
- modello di scelta turnisti;
- modello di scelta non turnisti.

In particolare, data la natura dei parametri risultati significativi, i modelli ottenuti si sono rivelati di tipo descrittivo.

4.2.1. Definizione degli insiemi di scelta

Un aspetto cruciale nella definizione di un modello di scelta modale è l'identificazione delle alternative che costituiscono l'insieme di scelta di ciascun utente. A questo scopo, sulla base dell'ampia letteratura analizzata [36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53 e 54], e delle risposte fornite dai dipendenti, sono stati adottati i seguenti criteri.

La modalità auto è stata considerata sempre disponibile, così come la modalità di trasporto collettivo su gomma, dato l'elevato livello di antropizzazione dell'area analizzata (densità abitativa media della provincia di Napoli pari a 2,631 abitanti/km²). Per quanto riguarda il trasporto collettivo su ferro, la modalità di accesso/egresso considerata è quella pedonale e il criterio adottato è quello di individuare un valore soglia relativo alla distanza (pedonale) da percorrere per raggiungere la stazione più vicina. Tale valore, che di fatto identifica il raggio dell'area di influenza di ciascuna stazione, è stato posto pari ad 1 km. Anche per le modalità pedonale e bicicletta sono stati fissati dei valori soglia in base alla distanza da percorrere. È bene precisare, però, che in questo caso, a differenza di quanto avveniva per la modalità di trasporto collettivo su ferro, si fa riferimento alla distanza da percorrere per effettuare l'intero spostamento, dall'origine (residenza) alla destinazione finale (luogo di lavoro). Infatti, tali opzioni sono intese come spostamenti monomodali. In particolare, i valori soglia fissati per le modalità pedonale e bicicletta sono pari, rispettivamente, a 2,5 km e 15 km, in funzione delle diverse velocità di percorrenza.

Ovviamente, è possibile immaginare anche combinazioni articolate delle suddette alternative (ad esempio, piedi-gomma-ferro-piedi oppure piedi-traghetto-ferro-piedi per i dipendenti isolani); tuttavia esse sono state trascurate nel presente studio.

4.2.2. Modello di scelta unico

Il presente modello considera un'unica tipologia di dipendente ed è basato sull'ipotesi che il comportamento di ciascun utente sia uguale a quello degli altri utenti aventi gli stessi attributi di livello di servizio (tempi e costi monetari); mentre l'insieme delle possibili alternative modali a disposizione (ossia l'insieme di scelta) dipende dall'origine (residenza) e dalla destinazione (luogo di lavoro) degli spostamenti. Come già detto, il modello sviluppato è

to be studied, which are precisely defined as classes (Table 4).

In our study, we considered as appropriated to divide the population into homogeneous groups from the point of view of the job held in the company. The logic underlying this distinction lies in the fact that a different organisation of working hours can have a marked influence on the behaviour of choice that the user adopts for his/her home-work transfers and, therefore, an explicit modelling of this allows obtaining a more accurate model. In particular, two classes were considered, namely shift workers and non-shift workers. The basic hypothesis adopted here provides that the modal choice behaviour of users is equal to the average behaviour of the class to which they belong (i.e. shift workers and non) regardless of their origin and/or destination. Thus, an expansion coefficient was calculated for each identified class. Specifically, it was equal to 5.852, in the case of shift workers, and equal to 3.945 in the case of non-shift workers. The results obtained with this approach are shown in Table 4. In particular, it is evident that shift workers prefer to use private cars and are less likely to use public transport modes compared to non-shift workers. This confirms the usefulness of this stratification in order to obtain a more accurate analysis.

4.2. Processing of survey data with the proposed methodology

This section reports the output obtained through the implementation of the methodology described in paragraph 2, in order to show the advantages in terms of accuracy. The aim is to obtain a modal split model that is able to reproduce the dynamics existing in the mobility choices of the employees of the analysed company, so as to represent a valid support tool for the decisions available to the Mobility Manager. Hence, in the following, the problem of defining the set of choices is firstly dealt with and the three modal split models developed are then presented:

- single choice model;
- choice model for shift workers;
- choice model for non shift workers.

In particular, given the nature of the parameters that are significant, the models obtained were descriptive.

4.2.1. Definition of choice sets

A crucial aspect in defining a modal choice model is identifying the alternatives that make up the set of choices for each user. For this purpose, the following criteria were adopted based on the extensive literature analysed [36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53 and 54], and the answers provided by employees.

The car mode was considered always available, as well as the public road transport mode, given the high level of anthropisation of the area analysed (average population density of the province of Naples equal to 2.631 inhabitants/km²). As far as public transport by rail is concerned, the access/egression mode considered is pedestrian and the cri-

stato caratterizzato dalle forme funzionali delle utilità (esprese come di consueto sottoforma di combinazioni di pesi e attribuiti) e della probabilità che hanno ottenuto le migliori performance statistiche nella riproduzione sia del campione di calibrazione/validazione che del campione di sola validazione (campione di hold-out).

In particolare, le forme funzionali delle utilità ottenute per ciascuna alternativa sono le seguenti:

$$V_{\text{AUTO}} = \beta_{\text{TURNISTA}} \cdot \text{TURNISTA} \quad (2)$$

$$V_{\text{GOMMA}} = \beta_{\text{GOMMA}} \cdot \text{GOMMA} \quad (3)$$

$$V_{\text{FERRO}} = 0 \quad (4)$$

$$V_{\text{BICI}} = \beta_{\text{DIST}} \cdot \text{DIST}_{\text{BICI}} \quad (5)$$

$$V_{\text{PIEDI}} = \beta_{\text{DIST}} \cdot \text{DIST}_{\text{PIEDI}} + \beta_{\text{PIEDI}} \cdot \text{PIEDI} \quad (6)$$

dove:

- V_{AUTO} è la funzione di utilità associata all'alternativa auto privata;
- β_{TURNISTA} è il peso associato all'attributo TURNISTA;
- TURNISTA è un attributo binario che vale 1 se il dipendente è turnista, 0 altrimenti;
- V_{GOMMA} è la funzione di utilità associata all'alternativa trasporto collettivo su gomma;
- β_{GOMMA} è il peso associato all'attributo GOMMA;
- GOMMA è la costante specifica dell'alternativa trasporto collettivo su gomma;
- V_{FERRO} è la funzione di utilità associata all'alternativa trasporto collettivo su ferro;
- V_{BICI} è la funzione di utilità associata all'alternativa bicicletta;
- β_{DIST} è il peso associato alla distanza da percorrere durante lo spostamento;
- $\text{DIST}_{\text{BICI}}$ è la distanza da percorrere associata alla modalità bicicletta;
- V_{PIEDI} è la funzione di utilità associata all'alternativa pedonale;
- $\text{DIST}_{\text{PIEDI}}$ è la distanza da percorrere associata alla modalità pedonale;
- β_{PIEDI} è il peso associato all'attributo PIEDI;
- PIEDI è la costante specifica dell'alternativa pedonale.

Mentre, per la probabilità di scelta, la procedura ha restituito un modello di tipo Logit Multinomiale:

$$Pr(X) = \frac{\exp(V_X)}{\sum_{x'} \exp(V_{x'})} \quad (7)$$

dove X rappresenta l' alternativa di riferimento a cui è associata una probabilità di scelta $Pr(X)$ e una funzione di utilità V_x ; X' è la generica alternativa, diversa da X , appartenente all'insieme di scelta, a cui è associata una funzione di utilità $V_{x'}$.

terion adopted is that of identifying a threshold value related to the distance (pedestrian) to travel to reach the nearest station. This value, which in fact identifies the radius of the area of influence of each station, has been set equal to 1 km. Threshold values have been set also for pedestrian and bicycle modes, according to the distance to be covered. It must be pointed out, however, that in this case, unlike what happened for the collective rail transport mode, reference is made to the distance to travel to perform the entire trip, from the origin (home) to the final destination (workplace). In fact, these options are intended as monomodal displacements. In particular, the threshold values set for the pedestrian and bicycle modes are, respectively, 2.5 km and 15 km, depending on the different travel speeds.

Obviously, the articulated combinations of the aforementioned alternatives can also be imagined (for example, pedestrian-road-rail-pedestrian or pedestrian-ferry-rail-pedestrian for the island employees); however they were neglected in this study.

4.2.2. Single choice model

This model considers a single type of employee and is based on the hypothesis that the behaviour of each user is the same as that of other users with the same service level attributes (time and money costs); while the set of possible modal alternatives available (i.e. the set of choices) depends on the origin (home) and the destination (workplace) of the trips. As already mentioned, the developed model was characterised by the functional forms of the utilities (expressed as usual in the form of combinations of weights and attributes) and the probability that they obtained the best statistical performances in the reproduction of both the calibration/validation sample and just the validation sample (hold-out sample).

In particular, the functional forms of the utilities obtained for each alternative are the following:

$$V_{\text{car}} = \beta_{\text{shift worker}} \cdot \text{SHIFT WORKER} \quad (2)$$

$$V_{\text{road}} = \beta_{\text{road}} \cdot \text{ROAD} \quad (3)$$

$$V_{\text{rail}} = 0 \quad (4)$$

$$V_{\text{bike}} = \beta_{\text{dist.}} \cdot \text{DIST}_{\text{bike}} \quad (5)$$

$$V_{\text{pedestrian}} = \beta_{\text{dist.}} \cdot \text{DIST}_{\text{pedestrian}} + \beta_{\text{pedestrian}} \cdot \text{PEDESTRIAN} \quad (6)$$

where:

- V_{auto} is the utility function associated with the private car alternative;
- $\beta_{\text{shift worker}}$ is the weight associated to the SHIFT WORKER attribute;
- SHIFT WORKER is a binary attribute with a value of 1 if the employee is a shift worker, 0 otherwise;
- V_{road} is the utility function associated with the collective transport by road alternative;
- β_{road} is the weight associated with the ROAD attribute;

Il modello Logit Multinomiale, come ampiamente mostrato in letteratura [14] e [21], è caratterizzato dalla proprietà secondo cui il rapporto delle probabilità dipende esclusivamente dalla differenza delle utilità sistematiche e, quindi, si basa su valutazioni relative e non assolute. La presenza di un'utilità identicamente nulla (come indicato dalla relazione 4) esprime, dunque, l'invarianza del valore assunto rispetto a differenti livelli di servizio, e non l'assenza di significatività dell'utilità dell'alternativa associata.

I test statistici che sono stati utilizzati in fase di calibrazione e validazione sono sia di tipo globale che relativi ai singoli parametri.

In particolare, come indicatori globali, sono stati calcolati il coefficiente di determinazione ρ^2 e il parametro ρ^2 corretto (indicato come $\bar{\rho}^2$). Nello specifico, la fase di calibrazione ha restituito un ρ^2 pari a 0.31 e un $\bar{\rho}^2$ pari a 0.30; mentre, in fase di validazione, è stato ottenuto un ρ^2 pari a 0.32 e un $\bar{\rho}^2$ pari a 0.31.

Come test sui singoli parametri è stato implementato, invece, il test *t*-Student, i cui risultati sono mostrati in Tabella 5.

4.2.3. Modello di scelta turnisti e non turnisti

In tale sezione, è descritta l'applicazione della metodologia proposta nel caso di suddivisione del personale in dipendenti turnisti e non, come già avvenuto per la procedura di espansione all'universo con campione stratificato. L'obiettivo è quello di ottenere risultati omogenei e quindi comparabili, così da poter effettuare un confronto tra l'approccio tradizionale e quello sviluppato dagli autori.

In particolare, in questo caso, l'ipotesi di base è che sia possibile suddividere i comportamenti degli utenti in due gruppi: turnisti e non turnisti. In ciascun gruppo, il comportamento di scelta è uguale a quello degli altri utenti aventi gli stessi attributi di livello di servizio (tem-

- *ROAD* is the specific constant of the collective road transport alternative;
- V_{rail} is the utility function associated with the collective rail transport alternative;
- V_{bike} is the utility function associated with the bicycle alternative;
- β_{dist} is the weight associated with the distance to travel during the displacement;
- $DIST_{bike}$ is the distance to travel associated with the bike mode;
- $V_{pedestrian}$ is the utility function associated with the pedestrian alternative;
- $DIST_{pedestrian}$ is the distance to travel associated with the pedestrian mode;
- $\beta_{pedestrian}$ is the weight associated with the *PEDESTRIAN* attribute;
- *PEDESTRIAN* is the specific constant of the pedestrian alternative.

While, for the probability of choice, the procedure provided a Multinomial Logit type model:

$$Pr(X) = \frac{\exp(V_X)}{\sum_{x'} \exp(V_{x'})} \quad (7)$$

where X represents the reference alternative to which a probability of choice $Pr(X)$ and a utility function is associated V_X ; X' is the generic alternative, different from X , belonging to the set of choices, to which a utility function is associated $V_{X'}$.

The Multinomial Logit model, as extensively shown in literature [14] and [21], is characterised by the property that the probability ratio depends exclusively on the difference of the systematic utilities and, therefore, is based on relative and not absolute evaluations. The presence of an identically null utility (as indicated by relation 4) ex-

Tabella 5 – Table 5

Test statistici dei parametri del modello di scelta unico
Parameter statistical tests of the unique choice model

Parametro Parameter	Valore del parametro Parameter value	Fase di calibrazione (campione estratto) Calibration phase (drawn sample)		Fase di validazione (campione di hold-out) Validation phase (hold-out sample)	
		Valore t-Student <i>t</i> -Student value	Soglia (99%) Threshold (99%)	Valore t-Student <i>t</i> -Student value	Soglia (99%) Threshold (99%)
$\beta_{TURNISTA}$ $\beta_{SHIFT\ WORKER}$	+1.0220	4.95	3.52	5.63	2.82
β_{GOMMA} β_{ROAD}	-1.1690	5.80	3.52	6.75	2.82
β_{DIST}	-0.8397	3.57	3.52	4.13	2.82
β_{PIEDI} $\beta_{PEDESTRIAN}$	-1.8920	4.39	3.52	5.14	2.82

pi e costi monetari), mentre l'insieme delle possibili alternative modali a disposizione (ossia l'insieme di scelta) dipende dall'origine (residenza) e dalla destinazione (luogo di lavoro) degli spostamenti.

Nel caso del modello riferito ai dipendenti turnisti, esso è risultato caratterizzato dalle forme funzionali delle utilità riportate nelle seguenti equazioni:

$$V_{\text{AUTO}} = \beta_t \cdot t_{\text{AUTO}} \quad (8)$$

$$V_{\text{GOMMA}} = \beta_{\text{GOMMA}} \cdot \text{GOMMA} \quad (9)$$

$$V_{\text{FERRO}} = \beta_{\text{FERRO}} \cdot \text{FERRO} \quad (10)$$

$$V_{\text{BICI}} = \beta_{\text{DIST}} \cdot \text{DIST}_{\text{BICI}} \quad (11)$$

$$V_{\text{PIEDI}} = \beta_{\text{DIST}} \cdot \text{DIST}_{\text{PIEDI}} \quad (12)$$

dove:

- β_t è il peso associato al tempo di percorrenza;
- t_{AUTO} è il tempo di percorrenza associato all'alternativa auto privata;
- β_{FERRO} è il peso associato all'attributo;
- FERRO è la costante specifica dell'alternativa trasporto collettivo su ferro.
- Mentre, la funzione di probabilità ottenuta è espressa dalla formula:

$$Pr(X) = \frac{\exp(V_x)}{\sum_{x'} \exp(V_{x'})} \quad (13)$$

Inoltre, in fase di calibrazione è stato ottenuto un ρ^2 pari a 0.40 e un $\bar{\rho}^2$ pari a 0.38; mentre, in fase di validazione, il ρ^2 è risultato pari a 0.26 e il $\bar{\rho}^2$ pari a 0.19.

Infine, i risultati del test *t*-Student, effettuato sui singoli parametri, sono riportati nella Tabella 6.

Per quanto riguarda, invece, il modello relativo ai dipendenti non turnisti, esso è risultato caratterizzato dalle forme funzionali delle utilità riportate nelle seguenti equazioni:

presses, therefore, the invariance of the assumed value with respect to different levels of service, and not the absence of significance of the usefulness of the associated alternative.

The statistical tests that were used in the calibration and validation phase are both global and related to the individual parameters.

In particular, as global indicators, the determination coefficient ρ^2 and the correct ρ^2 parameter (indicated as $\bar{\rho}^2$) were calculated. Specifically, the calibration phase returned a value ρ^2 equal to 0.31 and a $\bar{\rho}^2$ value equal to 0.30; while, during the validation phase, a ρ^2 value equal to 0.32 and a value $\bar{\rho}^2$ equal to 0.31 was obtained.

The *t*-Student test was implemented as a test on the individual parameters, the results of which are shown in Table 5.

4.2.3. Shift workers and non-shift workers choice model

In this section, the application of the proposed methodology is described in the case of the division of personnel into shift and non-shift employees, as already done for the expansion to the universe procedure with stratified sample. The objective is to obtain homogeneous and therefore comparable results, so as to make a comparison between the traditional approach and that developed by the authors.

In particular, in this case, the basic hypothesis is that it is possible to divide the behaviour of users into two groups: shift workers and non-shift workers. In each group, the choice behaviour is the same as that of other users with the same service level attributes (time and monetary costs), while the set of possible modal alternatives available (i.e. the set of choices) depends on the origin (home) and destination (workplace) of travel.

In the case of the model referred to shift workers, it was characterised by the functional forms of the utilities reported in the following equations:

Tabella 6 – Table 6

Test statistici dei parametri del modello di scelta turnisti
Parameter statistical tests of the shift-worker choice model

Parametro Parameter	Valore del parametro Parameter value	Fase di calibrazione (campione estratto) Calibration phase (drawn sample)		Fase di validazione (campione di hold-out) Validation phase (hold-out sample)	
		Valore <i>t</i> -Student <i>t</i> -Student value	Soglia (92%) Threshold (92%)	Valore <i>t</i> -Student <i>t</i> -Student value	Soglia (95%) Threshold (95%)
β_t	-0.031	2.22	2.07	49.76	2.32
β_{GOMMA} β_{ROAD}	-2.956	6.38	2.07	49.52	2.32
β_{FERRO} β_{RAIL}	-1.743	4.82	2.07	25.81	2.32
β_{DIST}	-1.160	4.45	2.07	2.37	2.32

$$V_{\text{AUTO}} = \beta_{t1} \cdot t_{\text{AUTO}} \quad (14)$$

$$V_{\text{GOMMA}} = \beta_{\text{GOMMA}} \cdot \text{GOMMA} \quad (15)$$

$$V_{\text{FERRO}} = \beta_{t2} \cdot t_{\text{FERRO}} \quad (16)$$

$$V_{\text{PIEDI}} = 0 \quad (17)$$

dove:

- β_{t1} è il peso associato al tempo di percorrenza sulla modalità auto;
- β_{t2} è il peso associato al tempo di percorrenza sulla modalità trasporto collettivo su ferro;
- t_{FERRO} è il tempo di percorrenza associato all'alternativa trasporto collettivo su ferro.

Mentre, la funzione di probabilità ottenuta è espressa dalla formula:

$$Pr(X) = \frac{\exp(V_X)}{\sum_{x'} \exp(V_{x'})} \quad (18)$$

Similmente a quanto evidenziato per il modello di scelta unico, anche in questo caso la presenza di un'alternativa identicamente nulla (17) esprime l'invarianza del valore assunto rispetto a differenti livelli di servizio, e non l'assenza di significatività dell'utilità dell'alternativa associata.

Inoltre, in fase di calibrazione è stato ottenuto un ρ^2 pari a 0.20 e un $\bar{\rho}^2$ pari a 0.17; mentre, in fase di validazione, il ρ^2 è risultato pari a 0.15 e il $\bar{\rho}^2$ pari a 0.12.

Infine, i risultati del test *t*-Student, effettuato sui singoli parametri, sono riportati nella Tabella 7.

Da un confronto tra i tre modelli, appare evidente come la forma funzionale della probabilità è risultata la medesima; mentre, le funzioni di utilità ottenute cambiano di volta in volta. Ciò dimostra come la distinzione tra turnisti e non turnisti permetta effettivamente di ottenere una più accurata identificazione degli attributi significativi per ciascuna alternativa di scelta. Vale la pena sottolineare il fatto che il costo monetario del trasporto collettivo è risultato non significativo in tutti i modelli. Ciò era alquanto prevedibile, soprattutto considerando il fatto

$$V_{\text{CAR}} = \beta_t \cdot t_{\text{CAR}} \quad (8)$$

$$V_{\text{road}} = \beta_{\text{road}} \cdot \text{ROAD} \quad (9)$$

$$V_{\text{RAIL}} = \beta_{\text{RAIL}} \cdot \text{RAIL} \quad (10)$$

$$V_{\text{BIKE}} = \beta_{\text{DIST}} \cdot \text{DIST}_{\text{BIKE}} \quad (11)$$

$$V_{\text{PEDESTRIAN}} = \beta_{\text{DIST}} \cdot \text{DIST}_{\text{PEDESTRIAN}} \quad (12)$$

where:

- β_t is the weight associated with the travel time;
- t_{CAR} is the travel time associated with the private car alternative;
- β_{RAIL} is the weight associated with the attribute RAIL;
- RAIL is the specific constant of the collective rail transport alternative.

While, the probability function obtained is expressed by the formula:

$$Pr(X) = \frac{\exp(V_X)}{\sum_{x'} \exp(V_{x'})} \quad (13)$$

Furthermore, during the calibration phase, a ρ^2 was obtained equal to 0.40 and $\bar{\rho}^2$ a equal to 0.38 was obtained; while, during the validation phase, the ρ^2 was equal to 0.26 and $\bar{\rho}^2$ was equal to 0.19.

Finally, the results of the *t*-Student test, carried out on the individual parameters, are shown in Table 6.

As regards, instead, the model relating to non-shift workers, it was characterised by the functional forms of the utilities reported in the following equations:

$$V_{\text{CAR}} = \beta_{t1} \cdot t_{\text{CAR}} \quad (14)$$

$$V_{\text{road}} = \beta_{\text{road}} \cdot \text{ROAD} \quad (15)$$

$$V_{\text{RAIL}} = \beta_{t2} \cdot t_{\text{RAIL}} \quad (16)$$

$$V_{\text{PEDESTRIAN}} = 0 \quad (17)$$

where:

- β_{t1} is the weight associated with the travel time on the car mode;
- β_{t2} is the weight associated with the travel time on the collective transport rail mode;

Tabella 7 – Table 7

Test statistici dei parametri del modello di scelta non-turnisti
Parameter statistical tests of the non-shift-worker choice model

Parametro Parameter	Valore del parametro Parameter value	Fase di calibrazione (campione estratto) Calibration phase (drawn sample)		Fase di validazione (campione di hold-out) Validation phase (hold-out sample)	
		Valore <i>t</i> -Student <i>t</i> -Student value	Soglia (90%) Threshold (90%)	Valore <i>t</i> -Student <i>t</i> -Student value	Soglia (89%) Threshold (89%)
β_{t1}	-0.039	2.03	1.99	1.98	1.94
β_{GOMMA} β_{ROAD}	-2.504	4.26	1.99	4.31	1.94
β_{t2}	-0.033	2.47	1.99	2.38	1.94

che molti dipendenti usufruiscono di un servizio di trasporto erogato dalla propria azienda.

4.3. Confronto dei risultati

A questo punto, i tre modelli sviluppati sono stati implementati allo scopo di eseguire la procedura di estensione all'intero universo (totalità dei dipendenti del gruppo EAV). Come già evidenziato, l'obiettivo è quello di effettuare un confronto tra la metodologia proposta e l'approccio tradizionale (basato sul calcolo dei coefficienti di espansione), in termini di accuratezza nella riproduzione delle potenzialità e delle criticità riscontrabili nella situazione attuale, la cui analisi, come già detto, rappresenta il prerequisito essenziale per la redazione del *PSCL* da parte del Mobility Manager.

I risultati ottenuti per il modello unico sono mostrati in Tabella 8, mentre la Tabella 9 riporta l'output relativo ai modelli turnisti e non turnisti.

La maggiore accuratezza del metodo proposto, rispetto alla semplice espansione all'universo, risiede nel fatto di aver caratterizzato l'insieme di scelta di ciascun utente in funzione della sua coppia origine-destinazione ed i relativi attributi di livello di servizio in funzione dei collegamenti realmente esistenti tra l'origine (residenza) e la de-

– t_{RAIL} is the travel time associated with the collective rail transport alternative.

While, the probability function obtained is expressed by the formula:

$$Pr(X) = \frac{\exp(V_x)}{\sum_{x'} \exp(V_{x'})} \quad (18)$$

Similarly to what is highlighted for the unique choice model, even in this case the presence of an identically zero alternative (17) expresses the invariance of the assumed value with respect to different levels of service, and not the absence of significance of the utility of the associated alternative.

Furthermore, during the calibration phase, a ρ^2 equal to 0.20 was obtained and a $\bar{\rho}^2$ equal to 0.17 was obtained ; while, during the validation phase, the ρ^2 was equal to 0.15 and $\bar{\rho}^2$ was equal to 0.12.

Finally, the results of the t-Student test, carried out on the individual parameters, are shown in Table 7.

From a comparison of the three models, it is evident that the functional form of the probability was the same; while, the utility functions obtained change time by time. This shows how the distinction between shift workers and non-shift workers actually allows a more accurate identifi-

Tabella 8 – Table 8

Risultati del modello unico
Results of the unique model

Mansione Mansion	Scelta modale Modal choice					
	Auto privata Private car	Trasporto collettivo su gomma Bus public transport	Trasporto collettivo su ferro Rail public transport	Bicicletta Bike	Pedonale Pedestrian	Tutti i modi All modes
Tutti gli utenti All users	2266 (67.76%)	370 (11.06%)	552 (16.50%)	20 (0.60%)	137 (4.08%)	3344 (100.00%)

Tabella 9 – Table 9

Risultati dei modelli turnisti e non turnisti
Results of the shift-worker and non-shift-worker models

Mansione Mansion	Scelta modale Modal choice					
	Auto privata Private car	Trasporto collettivo su gomma Bus public transport	Trasporto collettivo su ferro Rail public transport	Bicicletta Bike	Pedonale Pedestrian	Tutti i modi All modes
Turnista Shift worker	1686 (74.62%)	206 (9.14%)	287 (12.72%)	34 (1.49%)	46 (2.03%)	2259 (100.00%)
(Non turnista Non-shift worker)	663 (61.11%)	154 (14.21%)	230 (21.20%)	0 (0.00%)	38 (3.48%)	1085 (100.00%)
Tutti gli utenti All users	2349 (70.24%)	361 (10.78%)	517 (15.47%)	34 (1.01%)	84 (2.50%)	3344 (100.00%)

stinazione (sede di lavoro) degli spostamenti. Appare chiaro, dunque, come il contenuto informativo dei dati a disposizione sia più corposo; tuttavia, in termini quantitativi, i due approcci forniscono percentuali di ripartizione modale degli utenti molto simili. Questo è dovuto al carattere descrittivo dei modelli sviluppati. Essi, infatti, restituiscono una fotografia della situazione attuale in funzione degli stessi dati con cui è stato eseguito il ricorso all'universo; pertanto, in un'analisi sintetica, la differenza tra i due approcci è limitata all'ambito dell'errore sperimentale. Il fatto di aver sviluppato un modello, però, ci consente di compiere uno step esplicativo aggiuntivo nell'interpretazione dei dati a disposizione, permettendo valutazioni ulteriori che sarebbero precluse nel caso di approccio tradizionale. Un esempio di quanto detto è la possibilità di individuare il numero di utenti presenti sul sistema di trasporto su ferro con un livello di dettaglio relativo alla singola tratta stazione-stazione. Questo, come sarà mostrato nel successivo paragrafo, ci permette di apportare un valore aggiunto all'analisi fornita, che non si limita a catturare lo stato attuale, ma ne coglie potenzialità e criticità traducendole in opportuni spunti per l'azienda.

5. Analisi delle possibili strategie di intervento

Un'analisi tecnica mirata a supportare la redazione del *PSCL* deve prevedere anche l'identificazione di eventuali suggerimenti per l'azienda, in modo da indirizzare in maniera opportuna la successiva azione decisionale del Mobility Manager.

Preliminarmente, è necessario compiere un'analisi per individuare le modalità di trasporto su cui l'azienda può intervenire in maniera diretta ed immediata. Infatti, per quanto riguarda la modalità pedonale (ossia spostamenti esclusivamente a piedi dal luogo di residenza a quello di lavoro), la propensione alla scelta è connessa alla distanza da percorrere ed al contesto territoriale-urbanistico da attraversare. Essendo tali parametri fuori dal controllo dell'azienda, non è possibile prevedere alcun tipo di misura a riguardo.

Nel caso della modalità bicicletta (ossia spostamenti esclusivamente in bicicletta dal luogo di residenza a quello di lavoro), l'azienda potrebbe prevedere dei servizi accessori (facilities) in destinazione, quali, ad esempio, rastrelliere o appositi spogliatoi a beneficio dei dipendenti, per invogliarli ad optare per tale modalità. Tuttavia, similmente al caso pedonale, l'ago della bilancia è rappresentato dall'ambiente urbano da attraversare nel percorso casa-sede aziendale. Misure di miglioramento di quest'ultimo consistono, ad esempio, nella creazione di percorsi protetti e piste ciclabili, ma ciò, ancora una volta, esula dalle competenze dell'azienda.

Per quanto concerne l'uso dell'auto privata, il Mobility Manager ha il compito di limitare tale tipologia di spostamenti, incentivando uno split modale a favore del trasporto collettivo. Interventi tipici di razionalizzazione dell'uso dell'auto privata sono il *car-sharing* e il *car-pool*.

cation of the significant attributes for each choice alternative. It is worth stressing the fact that the monetary cost of collective transport was not significant in all models. This was quite predictable, especially considering the fact that many employees take advantage of a transport service provided by their company.

4.3. Comparison of results

At this point, the three models developed have been implemented in order to carry out the procedure of extension to the entire universe (total of EAV group employees). As already pointed out, the objective is to compare the proposed methodology and the traditional approach (based on the calculation of the coefficients of expansion), in terms of accuracy in reproducing the potential and the criticality found in the current situation, whose analysis, as already mentioned, is the essential prerequisite for the preparation of the PSCL by the Mobility Manager.

The results obtained for the unique model are shown in Table 8, while Table 9 shows the output related to shift workers and non-shift workers models.

The greater accuracy of the proposed method, compared to the simple expansion to the universe, lies in the fact of having characterised the choice set of each user according to its origin-destination pair and the related service level attributes according to the links actually existing between the origin (home) and the destination (workplace) of the displacements. It seems clear, therefore, how the available data information content is denser; however, in quantitative terms, the two approaches provide very similar user modal split percentages. This is due to the descriptive character of the developed models. In fact, they give a picture of the current situation according to the same data used to make recourse to the universe; therefore, in a synthetic analysis, the difference between the two approaches is limited to the experimental error scope. Having developed a model, however, allows performing an additional explanatory step in the interpretation of the data available, allowing further evaluations that would be precluded in the case of a traditional approach. An example of this is the possibility of identifying the number of users present on the rail transport system with a level of detail relating to the single station-station section. As will be shown in the following paragraph, this allows adding value to the analysis provided, which is not limited to capturing the current status, but captures potential and criticality thereof translating them into appropriate ideas for the company.

5. Analysis of possible intervention strategies

A technical analysis aimed at supporting the preparation of the PSCL must also provide for the identification of possible suggestions for the company, so as to appropriately guide the subsequent decision-making action of the Mobility Manager.

ling. Tali misure, se predisposte in un'ottica di tipo aziendale (*corporate car-sharing*), possono prevedere anche l'acquisizione di 'crediti di mobilità' che rappresentano un incentivo nei piani di welfare aziendale. Tuttavia, la vera criticità da affrontare riguarda il numero elevato di automobili che raggiungono il centro urbano. Dunque, sarebbe utile dirottare tali mezzi verso le zone periferiche, promuovendo l'uso di modalità di tipo park-and-ride. In questo caso, l'azienda, dato il suo ruolo, potrebbe essere parte attiva nell'incentivazione di tali modalità, ad esempio, prevedendo opportuni parcheggi di interscambio custoditi che siano riservati al personale.

Nel caso del trasporto collettivo su gomma, si potrebbe subito pensare ad un miglioramento del servizio urbano, dal momento che numerosi sedi aziendali si trovano all'interno del Comune di Napoli. Tuttavia, va precisato che un servizio di tipo urbano aperto al pubblico non sarebbe compatibile con il ruolo dell'EAV secondo l'attuale normativa regionale. Infatti, le sue competenze sono di interesse extraurbano e, dunque, per fare ciò sarebbe necessario trovare opportune sinergie con l'Azienda Napoletana Mobilità (ANM), deputata alla gestione del servizio urbano. Altra opzione è rappresentata dall'introduzione di un servizio su gomma dedicato, attraverso l'impiego di un servizio di navetta aziendale, che potrebbe essere progettato e gestito direttamente dall'EAV. Ciò, da una parte, agevolerebbe la socializzazione dei lavoratori e quindi, indirettamente, anche la produttività aziendale; ma, dall'altra, comporterebbe elevati costi di gestione da parte dell'azienda, soprattutto dovute alla grossa distribuzione delle residenze sul territorio (come evidenziato in Fig. 3). Inoltre, trattandosi di un servizio ovviamente gratuito, tali costi non troverebbero alcun riscontro in ricavi da traffico. Comunque, per fare ciò, al di là di queste osservazioni di carattere generale, sarebbe necessario un apposito studio di fattibilità che, attraverso una analisi costi-benefici, permetta di valutare la convenienza economica di un intervento di questo tipo.

Dunque, l'unico sistema su cui l'azienda può agire in maniera immediata ed incisiva, migliorandone la qualità (ad. es. con l'aggiunta di ulteriori corse), risulta essere il trasporto collettivo su ferro, in quanto, per la configurazione della rete aziendale (Fig. 2), è possibile conciliare la funzione di raccolta nelle aree extraurbane delle province di Napoli, Caserta e Benevento con la funzione di penetrazione nei centri urbani dei comuni di Napoli e Benevento. Per tale motivo, ci siamo focalizzati su tale modalità. In particolare, abbiamo effettuato un'analisi di soglia che consiste nel calcolare il massimo incremento di flusso ottenibile su ciascuna linea in maniera da supportare il Mobility Manager nell'individuazione delle linee prioritarie su cui agire.

Nell'identificazione del massimo numero di dipendenti potenziali da assegnare alla rete, gioca un ruolo chiave la modalità di accesso/egresso considerata; dal momento che in base ad essa viene definita l'area di influenza a cui fare riferimento. Nel presente studio, le

Preliminarily, it is necessary to carry out an analysis to identify the transport modes on which the company can intervene directly and immediately. In fact, as far as the pedestrian mode is concerned (that is to say, moving only on foot from the place of residence to the workplace), the propensity to choose it is connected to the distance to be covered and to the territorial-urban context to be crossed. Since these parameters are outside the company's control, it is not possible to provide any kind of measure in this regard.

In the case of the bicycle mode (i.e. only cycling from the place of residence to the work place), the company could provide ancillary services (facilities) at destination, such as, for example, racks or special changing rooms for the benefit of employees, to encourage them to opt for this mode. However, similar to the pedestrian case, the scale needle is represented by the urban environment to be crossed in the home-company location itinerary. Measures to improve the latter consist, for example, in the creation of protected paths and cycle paths, but this, once again, goes beyond the company's competences.

*As for the use of private cars, the Mobility Manager has the task of limiting this type of travel, encouraging a modal split in favour of collective transport. Typical measures to rationalise the use of the private car are car-sharing and car-pooling. These measures, if prepared in a corporate-type perspective (*corporate car-sharing*), may also include the acquisition of 'mobility loans' that represent an incentive in company welfare plans. However, the real challenge to be faced concerns the large number of cars that reach the city centre. Therefore, it would be useful to divert these vehicles to suburban areas, promoting the use of park-and-ride modes. In this case, the company, given its role, could be an active part in encouraging such arrangements, for example, by providing suitable interchange car parks that are reserved for personnel.*

In the case of collective road transport, one could immediately think of an improvement in the urban service, since many corporate offices are located within the Municipality of Naples. However, it should be noted that an urban type service open to the public would not be compatible with the role of the EAV according to the current regional legislation. In fact, its competence is of extra-urban interest and, therefore, to do this it would be necessary to find appropriate synergies with the Azienda Napoletana Mobilità (i.e. the Neapolitan Mobility Company, whose acronym is ANM), responsible for managing the urban service. Another option is represented by the introduction of a dedicated road service, through the use of a corporate shuttle service, which could be designed and managed directly by EAV. This, on the one hand, would facilitate the socialisation of the workers and therefore, indirectly, also the business productivity; but, on the other hand, it would entail high management costs on the part of the company, above all due to the large distribution of residences on the territory (as shown in Fig. 3). Moreover, since this service is obviously free, these costs would not be reflected in traffic revenues. In any case, to do this, beyond these general observations, a specific feasibility study would be necessary

modalità di accesso/egresso simulate sono state quella pedonale e la bicicletta. Anche in questa fase, similmente alla definizione degli insiemi di scelta, si è fatto riferimento ai già citati contributi presenti in letteratura. In particolare, nel caso pedonale, è stata considerata un'area di influenza di raggio 0.5 km, sia per la stazione di origine che di destinazione. In questo modo è stato individuato uno spostamento di tipo *casa-piedi-ferro-piedi-sede di lavoro*. Mentre, nel caso della bicicletta, come già evidenziato, si è ipotizzato che l'utente la utilizzi solo nella fase di accesso al sistema (cioè dalla propria abitazione alla stazione di origine), considerando uno spostamento di tipo *casa-bici-ferro-piedi-sede di lavoro*. Infatti, la fase finale dello spostamento per raggiungere la sede di lavoro è generalmente effettuata in modalità pedonale; per cui le aree di influenza relative alla stazione di origine e di destinazione sono diverse tra loro. In particolare, in origine, il raggio dell'area di influenza è stato fissato pari a 3 km, mentre in destinazione pari a 0.5 km, coerentemente con il caso pedonale.

Nel primo caso, basato sulla determinazione del massimo numero di utenti potenziali sul sistema di trasporto ferroviario in ipotesi di accesso esclusivamente pedonale ed egresso esclusivamente pedonale, il modello di simulazione, realizzato sulla base delle reti e della localizzazione delle residenze dei lavoratori, ha fornito un risultato complessivo pari a 963 spostamenti totali (ossia il 29% dei dipendenti EAV), suddivisi in 625 turnisti e 338 non turnisti. Tale valore, se confrontato con le ripartizioni di domanda attuali secondo i modelli su descritti (552 nel modello 1 e 517 nel modello 2), implica che, al massimo, il 14% dei dipendenti EAV può decidere di cambiare l'attuale scelta modale a favore dell'alternativa ferro (con accesso esclusivamente pedonale). Ovviamente, tale valore potrebbe ulteriormente incrementarsi in ipotesi di azioni mirate a favorire il *park-and-ride*.

È opportuno precisare che la suddetta analisi, è stata effettuata limitatamente alle linee del gruppo EAV, allo scopo di evidenziare quali azioni l'azienda potrebbe mettere in campo, in maniera unilaterale, per favorire spostamenti di tipo *green* per i propri dipendenti. Quindi, mediante procedure di caricamento delle reti, si è provveduto a determinare, per ciascuna linea/tratta, il valore dell'aumento massimo di utenza in termini di dipendenti aziendali. Il dato di dettaglio è riportato in Tabella 10.

Si evidenzia che le due linee suburbane Napoli – Caserta – Santa Maria Capua Vetere – Piedimonte Matese e Napoli – Cancello – Benevento hanno delle tratte (Napoli – Caserta – S. Maria Capua Vetere e Napoli – Cancello) in comune con i servizi regionali gestiti dalla compagnia ferroviaria nazionale Trenitalia. Pertanto, poiché la determinazione dei flussi su tali tratte non consente di fare una distinzione tra gli utenti che prenderebbero i servizi ferroviari di EAV e quelli che usufruirebbero dei servizi di Trenitalia, le analisi effettuate sono state implementate considerando solo le tratte esercite in maniera esclusiva dal gruppo EAV.

which, through a cost-benefit analysis, allows evaluating the economic advantage of an intervention of this type.

Therefore, the only system on which the company can act in an immediate and incisive manner, improving its quality (e.g. with the addition of additional trips), is collective rail transport, because, given the configuration of the company network (Fig. 2), it is possible to reconcile the collection function in the extra-urban areas of the provinces of Naples, Caserta and Benevento with the function of penetrating the urban centres of the municipalities of Naples and Benevento. For this reason, we have focused on this method. In particular, we performed a threshold analysis that consists in calculating the maximum flow increase obtainable on each line in order to support the Mobility Manager in identifying the priority lines on which to act.

In the identification of the maximum number of potential employees to be assigned to the network, the access/egression mode considered plays a key role; since according to it the area of influence to refer to is defined. In this study, the simulated access/egression modes were the pedestrian and bicycle ones. Also in this phase, similarly to the definition of the choice sets, reference was made to the contributions already mentioned in literature. In particular, in the pedestrian case, an area of influence with a radius of 0.5 km was considered, both for the station of origin and of destination. In this way a home-pedestrian-rail-pedestrian-workplace transfer type was identified. While, in the case of the bicycle, as already pointed out, it was assumed that the user uses it only during the access phase to the system (i.e. from his/her home to the station of origin), considering a home-bike-rail-pedestrian-workplace shift. In fact, the final phase of the trip to reach the workplace is generally carried out in pedestrian mode; so the areas of influence relating to the origin and destination station are different from each other. In particular, originally, the radius of the area of influence was set at 3 km, while the destination equal to 0.5 km, consistently with the pedestrian case.

In the first case, based on the determination of the maximum number of potential users on the railway transport system in the event of exclusively pedestrian access and exclusively pedestrian egression, the simulation model, based on the networks and location of workers' residences, provided a total result equal to 963 total displacements (i.e. 29% of EAV employees), divided into 625 shift-workers and 338 non-shift workers. This value, when compared with the current demand allocations according to the models described above (552 in model 1 and 517 in model 2), implies that, at most, 14% of EAV employees can decide to change the current modal choice in favour of the railway alternative (with exclusively pedestrian access). Obviously, this value could further increase in the hypothesis of actions aimed at favouring the *park-and-ride* method.

It should be noted that the aforementioned analysis was carried out only on the lines of the EAV group, with the aim of highlighting what actions the company could put in place, in a unilateral way, to favour green shifts for its employees. Therefore, by means of network loading procedures, the value of the maximum user increase in terms of

Tabella 10 – *Table 10*

Risultati dell'analisi di soglia per gli spostamenti piedi-ferro EAV-piedi
Results of threshold analysis in the case of pedestrian-EAV railways-pedestrian trips

Linea ferroviaria <i>Railway line</i>	Carico massimo attuale <i>Current maximum load</i>	Numero massimo di dipendenti potenziali <i>Maximum employees potential number</i>	Tratta <i>Section</i>
Cumana	24	53 (+121%)	Montesanto – Agnano
Circumflegrea	39	68 (+74%)	Piave – Montesanto
Vesuviana	121	223 (+84%)	Barra – Napoli Porta Nolana
Vesuviana	51	72 (+41%)	Casalnuovo – Napoli Porta Nolana
Piscinola – Aversa Centro	5	5 (+0%)	Piscinola – Giugliano
Napoli – Cancello – Benevento	5	17 (+240%)	Benevento – Benevento Appia
Napoli – Caserta – SMCV – Piedimonte	7	13 (+86%)	Caiazzo – Piedimonte
Totale line ferroviarie EAV <i>Total of EAV railway lines</i>	252	451 (+79%)	

Con riferimento alla Tabella 10, è possibile evincere che il massimo incremento di domanda, in termini di dipendenti EAV per effetto di un miglioramento dei servizi ferroviari del gruppo, è mediamente pari al 79%. In termini assoluti, l'incremento massimo si avrebbe sulle linee vesuviane, nella tratta Barra – Napoli Porta Nolana (+102 dipendenti), e sulle linee flegree dell'ex SEPSA (Circumflegrea e Cumana) con un incremento di +29 dipendenti su entrambe.

E' da evidenziare che un eventuale miglioramento della qualità dei servizi ferroviari in termini di frequenza (ottenibile ad esempio aggiungendo delle corse in più nelle ore di punta), incrementerebbe l'attrattività non solo per i dipendenti EAV (conseguendo così gli obiettivi del PSCL), ma anche per i comuni cittadini. Pertanto, l'EAV potrebbe richiedere alla Regione Campania l'istituzione di ulteriori corse da classificare come servizi autorizzati, ossia servizi finanziati dall'azienda stessa (senza alcun contributo regionale) e accessibili anche all'utenza comune. L'investimento necessario, in tal caso, risulterebbe meno impegnativo o, in talune circostanze, addirittura remunerativo, per effetto dei nuovi introiti derivanti dalla vendita dei titoli di viaggio nei confronti della nuova utenza attratta. Ad esempio, recenti studi [55], [56], hanno mostrato che, a fronte di un incremento della frequenza pari ad 1 coppia di corse al giorno sulla linea vesuviana Napoli – Torre Annunziata – Sorrento, che corrisponde ad un incremento dell'offerta pari al 3.03%, il corrispondente incremento di domanda (e, quindi, dei relativi ricavi) è pari allo 4.33%.

Utilizzando la metodologia appena descritta, si è esplorata la possibilità di estendere l'area di influenza del

company employees was determined for each line/route. The detailed information is shown in Table 10.

It should be noted that the two suburban lines Naples - Caserta - Santa Maria Capua Vetere - Piedimonte Matese and Naples - Cancello - Benevento have routes (Naples - Caserta - S.Maria Capua Vetere and Naples - Cancello) in common with the regional services managed by the Trenitalia national railway company. Therefore, since the determination of the flows on these routes does not allow a distinction between the users that would take the EAV rail services and those using the Trenitalia services, the analyses carried out have been implemented considering only the routes operated exclusively by the EAV group.

With reference to Table 10, it can be seen that the maximum increase in demand, in terms of EAV employees due to an improvement in the group's railway services, is on average 79%. In absolute terms, the maximum increase would be on the Vesuvian lines, in the section Barra - Naples Porta Nolana (+102 employees), and on the phlegrean lines of the former SEPSA (Circumflegrea and Cumana) with an increase of +29 employees on both.

It should be pointed out that any improvement in the quality of railway services in terms of frequency (obtainable for example by adding extra trips at peak times) would increase the attractiveness not only for EAV employees (thus achieving the objectives of the PSCL), but also for ordinary citizens. Therefore, the EAV could request the Campania Region to set up additional trips to be classified as authorised services, i.e. services financed by the company itself (without any regional contribution) and also accessible to common

servizio ferroviario in origine (spostamento casa-stazione di origine) facilitando la fase di accesso al sistema mediante l'uso della modalità *bike-and-ride*. In tal caso, l'utenza potenziale sarebbe pari a 2489 dipendenti (ossia il 74% del gruppo EAV), suddivisi in 1694 turnisti e 795 non turnisti. Il dettaglio degli incrementi di utenza massima sulle linee ferroviarie del gruppo EAV è riportato in Tabella 11, dove si registra un aumento medio pari al 354%. In termini assoluti, l'incremento massimo si avrebbe sulle linee vesuviane, nelle tratte Barra – Napoli Porta Nolana (+347 dipendenti) e Casalnuovo – Napoli Porta Nolana (+161 dipendenti), e sulle linee flegree, Circumflegrea e Cumana, su cui si realizzerebbe rispettivamente un incremento di +124 e +112 dipendenti.

Ovviamente, l'implementazione di tale seconda strategia richiede, da un lato, l'incremento della qualità dei servizi ferroviari e, dall'altro, la predisposizione di determinate facilities nelle stazioni di interscambio. A tale scopo, si è provveduto ad individuare le 10 stazioni maggiormente interessate da spostamenti di tipo *bike-and-ride*. Esse sono riportate in Tabella 12.

Anche in questo caso, è possibile immaginare l'introduzione di ulteriori corse nelle ore di punta, da classificare come servizi autorizzati, i cui costi potrebbero essere parzialmente, o completamente, compensati dagli introiti generati dall'aumento dell'utenza comune.

Infine, è necessario precisare che, qualunque strategia messa in campo dovrà poi essere opportunamente pubblicizzata, in maniera da darne la più ampia diffusione e, quindi, massimizzarne l'efficacia.

users. In this case, the necessary investment would be less demanding or, in some circumstances, even profitable, due to the new revenues deriving from the sale of tickets to the new attracted users. For example, recent studies [55], [56] showed that, compared to an increase in the frequency of 1 pair of trips a day on the Vesuvian Naples - Torre Annunziata - Sorrento line, which corresponds to an increase in offer equal to 3.03%, the corresponding increase in demand (and, therefore, in the related revenues) is equal to 4.33%.

Using the methodology described above, the possibility of extending the area of influence of the railway service at origin was explored (home-station of origin displacement) facilitating the access phase to the system through the use of the *bike-and-ride* mode. In this case, the potential users would be 2489 employees (74% of the EAV group), divided into 1694 shift-workers and 795 non-shift workers. The detail of the maximum user increases on the EAV group's railway lines is shown in Table 11, where an average increase of 354% is recorded. In absolute terms, the maximum increase would be on the Vesuvian lines, in the sections Barra - Naples Porta Nolana (+347 employees) and Casalnuovo - Naples Porta Nolana (+161 employees), and on the phlegrean lines, Circumflegrea and Cumana, on which an increase of +124 and +112 employees respectively would be achieved.

Obviously, the implementation of this second strategy requires, on the one hand, the increase in the quality of railway services and, on the other, the provision of certain facilities in the interchange stations. To this end, the 10 stations most affected by *bike-and-ride* trips were identified. They are shown in Table 12.

Tabella 11 – Table 11

Risultati dell'analisi di soglia per gli spostamenti bici-ferro EAV-piedi
Results of threshold analysis in the case of bike-EAV railways-pedestrian trips

Linea ferroviaria Railway line	Carico massimo attuale Current maximum load	Numero massimo di dipendenti potenziali Maximum employees potential number	Tratta Section
Cumana	24	136 (+467%)	Montesanto – Agnano
Circumflegrea	39	163 (+318%)	Piave – Montesanto
Vesuviana	121	468 (+287%)	Barra – Napoli Porta Nolana
Vesuviana	51	212 (+316%)	Casalnuovo – Napoli Porta Nolana
Piscinola – Aversa Centro	5	65 (+1200%)	Piscinola – Giugliano
Napoli – Cancelllo – Benevento	5	66 (+1220%)	Benevento – Benevento Appia
Napoli – Caserta – SMCV – Piedimonte	7	35 (+400%)	Caiazzo – Piedimonte
Totale line ferroviarie EAV Total of EAV railway lines	252	1145 (+354%)	

6. Conclusioni e prospettive di ricerca

In definitiva, nel presente lavoro è stato sviluppato un sistema di supporto alle decisioni per la redazione dei *PSCL*, mirati ad ottimizzare le condizioni di mobilità dei dipendenti nei loro spostamenti dal luogo di residenza alla sede lavorativa.

La metodologia proposta vede l'integrazione di tecniche tradizionali, opportunamente ricombinate in maniera innovativa (approccio innovativo con cicli di calibrazione/validazione per la definizione del modello di simulazione dei comportamenti di scelta), con l'utilizzo di strumenti open-source. In questo modo, è stato possibile ottenere dei modelli che, non solo riescono a fotografare la situazione attuale, ma permettono anche di fornire utili suggerimenti al Mobility Manager nella sua azione di redazione del *PSCL*. È bene precisare, dunque, che il valore aggiunto della metodologia proposta non risiede semplicemente in una più accurata interpretazione dello scenario attuale; ma, nella possibilità di compiere ulteriori fasi di studio del fenomeno esaminato (come l'analisi di soglia sopra descritta) che sarebbero, invece, precluse nel caso di approccio tradizionale.

L'applicazione del metodo proposto al caso studio dell'azienda di trasporto EAV, ha permesso di mostrare la bontà esplicativa.

Come prospettiva di ricerca, proponiamo di sviluppare una metodologia ad-hoc per modellare opportunamente anche altre possibili strategie di razionalizzazione degli spostamenti casa-lavoro. Ad esempio, sarebbe interessante analizzare nel dettaglio la fattibilità di misure complesse, che coinvolgono più enti, come la co-

Also in this case, the introduction of additional rush-hour trips can be imagined, to be classified as authorised services, whose costs could be partially or completely offset by the revenue generated by the increase in common users.

Finally, it is necessary to clarify that any strategy put in place must then be appropriately advertised, so as to give the widest diffusion and, therefore, maximise its effectiveness.

6. Conclusions and research perspectives

*Ultimately, a decision support system was developed in this work for the drafting of the *PSCL*, aimed at optimising the mobility conditions of employees in their travels from home to the work place.*

*The proposed methodology sees the integration of traditional techniques, appropriately recombined in an innovative way (innovative approach with calibration/validation cycles for the definition of the simulation model of the choice behaviours), with the use of open-source tools. In this way, models that not only can photograph the current situation were obtained, but that also provide useful suggestions to the Mobility Manager in his/her drafting of the *PSCL*. It is therefore worth pointing out that the added value of the proposed methodology does not simply lie in a more accurate interpretation of the current scenario; but, in the possibility of carrying out further phases of study of the phenomenon examined (such as the threshold analysis described above) which would, however, be precluded in the case of a traditional approach.*

The application of the method proposed to the case study of the transport company EAV, has allowed proving its explanatory goodness.

As a research perspective, we propose to develop an ad-hoc methodology to appropriately model other possible

Tabella 12 – Table 12

Stazioni interessate da spostamenti di tipo bike-and-ride (dipendenti EAV)
Railway station affected by bike-and-ride trips (EAV employees)

Stazione ferroviaria <i>Railway station</i>	Utenza attuale <i>Current users</i>	Numero massimo di spostamenti bike-and-ride <i>Maximum number of bike-and-ride trips</i>	Incremento di utenti <i>User increase</i>	Linea ferroviaria <i>Railway line</i>
Piscinola	3	44	41	Piscinola – Aversa Centro
Fusaro	6	41	35	Cumana
La Trencia	11	45	34	Circumflegrea
Giugliano	4	35	31	Piscinola – Aversa Centro
Torregaveta	4	34	30	Cumana / Circumflegrea
San Giorgio a Cremano	14	44	30	Vesuviana
Torre Del Greco	10	40	30	Vesuviana
Mugnano	1	30	29	Piscinola – Aversa Centro
Via Nocera	5	32	27	Vesuviana
Poggiomarino	8	34	26	Vesuviana

struzione di parcheggi di interscambio aperti al pubblico nelle stazioni periferiche oppure la realizzazione di percorsi ciclabili protetti. Inoltre, sempre tramite l'aiuto di opportuni strumenti di simulazione, uno studio analogo a quello svolto per il servizio su ferro potrebbe essere implementato nel caso della gomma (ad esempio nel caso di un'azienda di servizio pubblico urbano).

È importante notare che, sebbene la redazione dei *PSCL*, così come la nomina del Mobility Manager, siano prescritte dalla norma, non vi è alcuna sanzione in caso di violazione della stessa e, dunque, è necessario confidare nel buon senso e nella lungimiranza delle aziende e dei loro dirigenti. Risulta chiaro, quindi, come la possibilità di poter fare affidamento su un adeguato strumento di valutazione tecnica rappresenti un ulteriore sprone alla redazione dei *PSCL*, così da invogliare le aziende ad un'assunzione di responsabilità che le spinga a farsi carico di tale onere.

Infine, la metodologia proposta potrebbe essere facilmente adattata ad altri contesti in cui è richiesta la redazione di un *PSCL* quali, ad esempio, ospedali o plessi scolastici.

strategies for rationalising home-work trips. For example, it would be interesting to analyse the feasibility of complex measures in detail, involving several entities, such as the construction of interchange car parks open to the public in suburban stations or the construction of protected cycle paths. Moreover, always with the help of suitable simulation tools, a study similar to that carried out for the rail service could be implemented in the case of road transport (for example in the case of an urban public service company).

*It is important to note that although the drafting of the *PSCL*, as well as the appointment of the Mobility Manager, are prescribed by the law, there is no penalty in case of violation of the same and, therefore, it is necessary to trust in the common sense and in the foresight of the companies and their managers. It is clear, therefore, how the possibility of being able to rely on an adequate technical assessment tool represents a further incentive to the drafting of the *PSCL*, so as to encourage companies to assume responsibility that impels them to take on this burden.*

*Finally, the proposed methodology could easily be adapted to other contexts in which the preparation of a *PSCL* is required, such as hospitals or school complexes.*

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] Istituto Nazionale di Statistica – ISTAT (Italian National Institute of Statistics), “*Population and housing census*”, <http://www.istat.it/it/censimento-popolazione> (last access: August 2018).
- [2] SONG Y., PRESTON J., OGILVIE D. (2017), “*New walking and cycling infrastructure and modal shift in the UK: A quasi-experimental panel study*”, *Transportation Research Part A* 95, 320-333.
- [3] HALLDÓRSDÓTTIR K., CHRISTENSEN L., JENSEN T.C., PRATO C.G. (2011), “*Modelling mode choice in short trips - shifting from car to bicycle*”, *Proceedings of the AET European Transport Conference 2011*, Glasgow, Scotland.
- [4] HU X., ZHAO L., WANG W. (2015), “*Impact of perceptions of bus service performance on mode choice preference*”, *Advances in Mechanical Engineering* 7(3), 1-11.
- [5] CASCETTA E., CARTENÌ A., CARBONE A. (2013), “*The quality in public transportation. The Campania regional metro system*”, *Ingegneria Ferroviaria* 68(3), 241-261.
- [6] D'ARIANO A., CORMAN F., PACCIARELLI D., PRANZO M. (2008), “*Reordering and local rerouting strategies to manage train traffic in real-time*”, *Transportation Science* 42(4), 405-419.
- [7] CORMAN F., D'ARIANO A., PRANZO M., HANSEN I.A. (2011), “*Effectiveness of dynamic reordering and rerouting of trains in a complicated and densely occupied station area*”, *Transportation Planning and Technology* 34(4), 341-362.
- [8] NARAYANASWAMI S., RANGARAJ N. (2013), “*Modelling disruptions and resolving conflicts optimally in a railway schedule*”, *Computers & Industrial Engineering* 64(1), 469-481.
- [9] BOTTE M., D'ACIERNO L., MONTELLA B., PLACIDO A. (2015), “*A stochastic approach for assessing intervention strategies in the case of metro system failures*”, *Proceedings of the 2015 AEIT International Annual Conference*, Naples, Italy, October 2015.
- [10] D'ACIERNO L., PLACIDO A., BOTTE M., MONTELLA B. (2016), “*A methodological approach for managing rail disruptions with different perspectives*”, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences* 10, 80-86.
- [11] SAMÀ M., D'ARIANO A., CORMAN F., PACCIARELLI D. (2017), “*A variable neighbourhood search for fast train scheduling and routing during disturbed railway traffic situations*”, *Computers & Operations Research* 78(1), 480-499.

- [12] Ministero dell'Ambiente (1998), "Mobilità sostenibile nelle aree urbane", Decreto Ministeriale del 27 marzo 1998.
- [13] Ministero dell'Ambiente (2000), "Incentivazione dei programmi proposti dai mobility managers aziendali", Decreto Ministeriale del 20 dicembre 2000.
- [14] CASCETTA E. (2009), "Transportation systems analysis: Models and applications", Springer, New York (NY), USA.
- [15] SMITH M.J. (1979), "The existence, uniqueness and stability of traffic equilibria", Transportation Research Part B 13(4), 295-304.
- [16] BROG W., AMPT E. (1982), "State of the art in the collection of travel behaviour data. Travel Behaviour for the 1980's", Special Report 201, National Research Council, Washington (DC), USA.
- [17] ORTUZAR J. DE D., WILLUMSEN L.G. (2011), "Modelling Transport (4th edition)", John Wiley and Sons, Chichester, United Kingdom.
- [18] DOMENCICH T.A., MCFADDEN D. (1975), "Urban travel demand: A behavioural analysis", American Elsevier, New York (NY), USA.
- [19] HOROWITZ J. (1981), "Identification and diagnosis of specification errors in the multinomial logit model", Transportation Research Part B 15(5), 345-360.
- [20] MANSKI C.F., MCFADDEN D. (1981), "Structural analysis of discrete data with econometric applications", The MIT Press, Cambridge (MA), USA.
- [21] BEN-AKIVA M., LERMAN S.R. (1985), "Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand", The MIT Press, Cambridge (MA), USA.
- [22] LO H.-P., CHAN C.-P. (2003), "Simultaneous estimation of an origin-destination matrix and link choice proportions using traffic counts", Transportation Research Part A 37(9), 771-788.
- [23] CASCETTA E., PAPOLA A., MARZANO V., SIMONELLI F., VITIELLO I. (2013), "Quasi-dynamic estimation of o-d flows from traffic counts: Formulation, statistical validation and performance analysis on real data", Transportation Research Part B 55, 171-187.
- [24] LU C.-C., ZHOU X., ZHANG K. (2013), "Dynamic origin-destination demand flow estimation under congested traffic conditions", Transportation Research Part C 34, 16-37.
- [25] DI MAURO R., BOTTE M., D'ACIERTNO L. (2017), "An analytical methodology for extending passenger counts in a metro system", International Journal of Transport Development and Integration 1(3), 589-600.
- [26] Google Maps Platform, web site: <https://cloud.google.com/maps-platform> (last access: August 2018).
- [27] PEJIC A., PLETI S., PEJIC B. (2009), "An expert system for tourists using Google Maps API", Proceedings of the 7th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, Serbia.
- [28] CHOIMEUN S., PHUMEJAYA N., POMNAKCHIM S., CHANTRAPORNCHAI C. (2010), "Tool for Collecting Spatial Data with Google Maps API". In: Kim T., Ma J., Fang W., Park B., Kang BH., I zak D. (eds) U- and E-Service, Science and Technology. UNESST 2010. Communications in Computer and Information Science 124, Springer, Berlin, Heidelberg.
- [29] HU S. (2012), "Online Map Service Using Google Maps API and Other JavaScript Libraries: An Open Source Method". In: Peterson M. (eds) Online Maps with APIs and WebServices. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [30] FERNANDES A.I., GOULÃO M., RODRIGUES A. (2013), "A Comparison of Maps Application Programming Interfaces", Proceedings of the 16th AGILE Conference on Geographic Information Science, Leuven, Belgium.
- [31] DOSHI P., JAIN P., SHAKWALA A. (2014), "Location based services and integration of Google Maps in Android", International Journal of Engineering and Computer Science 3, 5072-5077.
- [32] WINDARNI V.A., SEDIYONO E., SETIAWAN A. (2016), "Using GPS and Google Maps for Mapping Digital Land Certificates", Proceedings of the 2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC), Mataram, Indonesia.
- [33] Google Maps API Console, web site: <https://console.developers.google.com/apis/library?filter=category:maps> (last access: August 2018).
- [34] Open-Street Map, web site: www.openstreetmap.org (last access: August 2018).

- [35] TransCAD Transportation Planning Software, web site: www.caliper.com/tcovu.htm.
- [36] BRACHER T. (2000), "Demand characteristics & co-operation strategies for the bicycle & railway transport chain", *World Transport Policy & Practice* 6(3), 18-24.
- [37] RIETVELD P. (2000), "The accessibility of railway stations: the role of the bicycle in The Netherlands", *Transportation Research Part D* 5(1), 71-75.
- [38] CERVERO R., DUNCAN M. (2003), "Walking, bicycling, and urban landscapes: evidence from the San Francisco bay area", *American Journal of Public Health* 93(9), 1478-1483.
- [39] RAJAMANI J., BHAT C.R., HANDY S.L., KNAAP G., SONG Y. (2003), "Assessing impact of urban form measures on non-work trip mode choice after controlling for demographic and level-of-service effects", *Transportation Research Record* 1831(1), 158-165.
- [40] EWING R., SCHROEER W., GREENE W.H. (2004), "School location and student travel analysis of factors affecting mode choice", *Transportation Research Record* 1895(1), 55-63.
- [41] RODRÍGUEZ D.A., JOO J. (2004), "The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment", *Transportation Research Part D* 9(2), 151-173.
- [42] BRADLEY M., BOWMAN J.L. (2006), "Activity-based travel forecasting model", Technical memo 4, Sacramento Area Council of Governments, Sacramento (CA), USA.
- [43] ROORDA M.J., PASSMORE D., MILLER E.J. (2009), "Including minor modes of transport in a tour-based mode choice model with household interactions", *Transportation Engineering* 135(12), 935-945.
- [44] SHERWIN H., PARKHURST G. (2010), "The promotion of bicycle access to the rail network as a way of making better use of the existing network and reducing car dependence", Proceedings of the AET European Transport Conference 2010, Glasgow, Scotland.
- [45] SANEINEJAD S., ROORDA M.J., KENNEDY C. (2012), "Modelling the impact of weather conditions on active transportation travel behaviour", *Transportation Research Part D* 17(2), 129-137.
- [46] BERGMAN A., GLIEBE J., STRATHMAN J.G. (2011), "Modeling access mode choice for inter-suburban commuter rail", *Journal of Public Transportation* 14, 23-42.
- [47] YANG R., YAN H., XIONG W., LIU T. (2013), "The study of pedestrian accessibility to rail transit stations based on KLP model", *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 96, 714-722.
- [48] CARTENÌ A., GALANTE G., HENKE I. (2014), "The catchment area of high architectural railway stations: An application of the Graham scan algorithm", *WIT Transactions on the Built Environment* 135, 463-474.
- [49] CASCETTA E., CARTENÌ A., HENKE I. (2014), "Stations quality, aesthetics and attractiveness of rail transport: Empirical evidence and mathematical models", *Ingegneria Ferroviaria* 69 (4), 307-324.
- [50] FLAMM B., RIVASPLATA C. (2014). "Public transit catchment areas: The curious case of cycle-transit users", *Transportation Research Record* 2419, 101-108.
- [51] HOCHMAIR H.H. (2015), "Assessment of bicycle service areas around transit stations", *International Journal of Sustainable Transportation* 9(1), 15-29.
- [52] DURAND C.P., TANG X., GABRIEL K.P., SENER I.N., OLUYOMI A.O., KNELL G., PORTER A.K., HOELSCHER D.M., KOHL H.W. (2016), "The association of trip distance with walking to reach public transit: Data from the California household travel survey", *Transport and Health* 3(2), 154-160.
- [53] CARTENÌ A., PARIOTA L., HENKE I. (2017), "Hedonic value of high-speed rail services: Quantitative analysis of the students? Domestic tourist attractiveness of the main Italian cities", *Transportation Research Part A* 100, 348-365.
- [54] PONGPRASERT P., KUBOTA H. (2017), "Switching from motorcycle taxi to walking: A case study of transit station access in Bangkok, Thailand", *IATSS Research* 41(4), 182-190.
- [55] BOTTE M., DI SALVO C., CAROPRESO C., MONTELLA B., D'ACIERO L. (2016), "Defining economic and environmental feasibility thresholds in the case of rail signalling systems based on satellite technology", Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (IEEE EEEIC 2016), Florence, Italy.
- [56] CAROPRESO C., DI SALVO C., BOTTE M., D'ACIERO L. (2017), "A long-term analysis of passenger flows on a regional rail line", *International Journal of Transport Development and Integration* 1(3), 329-338.