Mario TARTAGLIA – Sara NOURBAKHSH – Lorenzo VANNACCI – Angela CHINDEMI – Giulia CARBONE – Marina FERRARA – William SOMMARIO – Marcella MARINO

Un modello multimodale per la simulazione della mobilità di media e lunga percorrenza delle persone in Italia

A multimodal model for the simulation of medium and long-distance mobility of people in Italy

ESTRATTO DALLA RIVISTA «INGEGNERIA FERROVIARIA» N. 3 – MARZO 2023

Un modello multimodale per la simulazione della mobilità di media e lunga percorrenza delle persone in Italia

A multimodal model for the simulation of medium and long-distance mobility of people in Italy

Mario Tartaglia [***]
Sara Nourbakhsh [***]
Lorenzo Vannacci [***]
Angela Chindemi [*]
Giulia Carbone [*]
Marina Ferrara [*]
William Sommario [*]
Marcella Marino [**]

(https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.03.2023.ART.2)

Sommario - Per superare i limiti dei modelli di mobilità stazionari evidenziati dalle recenti crisi pandemiche e geopolitiche, Ferrovie dello Stato Italiane (FS) ha sviluppato, con il supporto di ISFORT, un modello multimodale passeggeri di media e lunga percorrenza (MLP) finalizzato alla valutazione degli impatti economici, sociali e ambientali della mobilità, integrato con un modello di generazione locale e con moduli per l'aggiornamento delle variabili esogene degli scenari previsivi. Questo articolo presenta la struttura metodologica dei modelli messi a punto, i risultati di una applicazione di riferimento volta a simulare le scelte di viaggio nella fase di avvio di uno scenario *"New Normal"* successivo alle crisi menzionate, oltre che le conclusioni e le prospettive di ulteriore sviluppo e di ricerca derivanti dal lavoro svolto.

1. Introduzione

L'evoluzione degli scenari epidemiologici legati alla mutazione del SarsCoV2 ed i conseguenti riflessi socioeconomici a scala globale e locale, congiuntamente agli effetti di stimolo e sostegno che potranno essere indotti dal piano di *Recovery Fund* di *Next Generation EU*, gli indirizzi globali di contrasto al cambiamento climatico, i nuovi equilibri geo-politici ed i relativi impatti energetici e sull'approvvigionamento delle materie prime e le incombenti

Summary *- To overcome the limitations of stationary mobility models highlighted by the recent pandemic and geopolitical crises, with the support of ISFORT,* Ferrovie dello Stato Italiane *(FS) has developed a multimodal medium and long-distance passenger model (MLP) aimed at assessing the economic, social, and environmental impacts of mobility, integrated with a local generation model and with modules for updating the exogenous variables of the forecast scenarios. This article presents the methodological structure of the models developed, the results of a reference application aimed at simulating travel choices in the start-up phase of a "New Normal" scenario following the aforementioned crises, as well as the conclusions and prospects for further development and research deriving from the work carried out.*

1. Introduction

The evolution of epidemiological scenarios linked to the mutation of SarsCoV2 and the consequent socio-economic effects on a global and local scale, together with the stimulus and support effects that may be induced by the Next Generation EU Recovery Fund plan, the global guidelines to combat climate change, the new geo-political balances and their energy impacts and on the supply of raw materials and the impending technological innovations in the transport sector

(*) ISFORT S.p.a. - Istituto di Formazione e Ricerca dei Trasporti - Via Nizza, 45 - 00198 Roma, achindemi@ISFORT.it; gcarbone@ISFORT.it; mferrara@ISFORT.it; wsommario@ISFORT.it.

(**) ISFORT S.p.a. - Istituto di Formazione e Ricerca dei Trasporti - Via Nizza, 45 - 00198 Roma; marcellamarino@tiscali.it.

(***) Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A. - Piazza della Croce Rossa, 1 - 00161 Roma; m.tartaglia@fsitaliane.it; s.nourbakhsh@fsitaliane.it; l.vannacci@fsitaliane.it.

(*) ISFORT S.p.a. - Istituto di Formazione e Ricerca dei Trasporti - Via Nizza, 45 - 00198 Roma, achindemi@ISFORT.it; gcarbone@ISFORT.it; mferrara@ISFORT.it; wsommario@ISFORT.it.

(**) ISFORT S.p.a. - Istituto di Formazione e Ricerca dei Trasporti - Via Nizza, 45 - 00198 Roma; marcellamarino@tiscali.it.

(***) Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A. - Piazza della Croce Rossa, 1 - 00161 Roma; m.tartaglia@fsitaliane.it; s.nourbakhsh@fsitaliane.it; l.vannacci@fsitaliane.it.

innovazioni tecnologiche nel settore trasporti [1], impongono un ripensamento ed una riformulazione delle politiche di governance della mobilità e dei trasporti, con il potenziamento dei sistemi di trasporto collettivi più sostenibili in ambito urbano ed in ambito regionale e nazionale, e una sempre più forte integrazione dei diversi servizi. Nell'ambito dei viaggi di media e lunga percorrenza sul territorio nazionale, la modalità ferroviaria ad alta velocità si conferma, uno dei sistemi collettivi più efficienti e virtuosi, i cui costi esterni sono circa un decimo [2] di quelli dell'auto per i viaggi Intercity [3].

In questo nuovo contesto, in cui gli stili di vita e di mobilità appaiono già rinnovati, è forte l'esigenza di nuovi strumenti operativi per governare gli impatti generati dalle scelte di mobilità, capaci di assicurare: rigore e trasparenza metodologica, trasferibilità all'intero territorio nazionale, facilità e flessibilità di applicazione rispetto agli scenari esogeni previsivi e gli ambiti territoriali da analizzare, con un approccio disaggregato per tipologia di utenti, differenziato per motivo e classe di distanza degli spostamenti.

Il centro studi "*FS Research Centre*" delle Ferrovie dello Stato Italiane [4], ed ISFORT hanno risposto a queste istanze implementando un Modello di Trasporto multimodale ad aliquote parziali a quattro stadi [5] per la stima dei viaggi di Media e Lunga Percorrenza (MLP) generati dai residenti italiani integrato con moduli di calcolo per l'aggiornamento delle variabili esogene degli scenari previsivi derivanti da trend in atto di cambiamento della struttura demografica e occupazionale territoriale. Il Modello di domanda MLP, calibrato per lo stato di fatto 2019, assunto come ultimo stato di equilibrio stabile prepandemico, implementato nel 2021 nasce a valle dello sviluppo propedeutico di un Modello di Generazione per la stima della domanda passeggeri quotidiana locale alla base della specificazione di 20 modelli di mobilità passeggeri regionali.

Per la specificazione, calibrazione e validazione dei sub-modelli di domanda e di offerta multimodale sono state integrate molteplici fonti informative: i microdati dell'Osservatorio sugli stili e comportamenti di mobilità Audimob, con cui ISFORT dal 2010 restituisce al Paese una fotografia della mobilità degli Italiani [6][7], i dati sulla domanda e sull'offerta di trasporto del Gruppo FS (Trenitalia, RFI, ANAS); l'offerta dei servizi ferroviari di NTV e Trenord, e i servizi su gomma extra-urbani di Flixbus; le statistiche ufficiali open rilasciate da ISTAT, MIUR, Eurostat, Banca d'Italia, ACI; e le statistiche di mobilità estratte da un campione nazionale di Big data di telefonia mobile e di Float Car Data (FCD). I dati adoperati offrono uno standard omogeneo alla rappresentatività territoriale nazionale, inoltre un piano di rilascio periodico dei dati selezionati per la calibrazione consente di programmare, rispetto ad esperienze passate, una manutenzione continua dei modelli, condizione essenziale per le esigenze fortemente applicativa a cui devono rispondere i modelli sviluppati.

[1], require rethinking and reformulation of mobility and transport governance policies, with the strengthening of the most sustainable collective transport systems in urban, regional and national areas, and an increasingly strong integration of the different services. As part of medium and long-distance travel on the national territory, the high-speed rail mode is confirmed as one of the most efficient and virtuous collective systems, whose external costs are about a tenth [2] of the car for intercity travel [3].

In this new context, in which lifestyles and mobility are already renewed, there is a strong need for new operational tools to govern the impacts generated by mobility choices, able to ensure: rigour and methodological transparency, transferability to the entire national territory, ease and flexibility of application with respect to the exogenous scenarios and the territorial areas to be analysed, with a disaggregated approach by type of users, differentiated by reason and class of distance of travel.

The study centre "FS Research Centre" of the Italian State Railways [4], and ISFORT have responded to these requests by implementing a multimodal Transport Model at four-stage partial rates [5] for the estimation of Medium and Long Distance (MLP) journeys generated by Italian residents integrated with calculation modules for updating the exogenous variables of the predictive scenarios deriving from the current trend of change in the territorial demographic and employment structure. The MLP Demand Model, calibrated for the 2019 state of affairs, assumed as the last prepandemic stable equilibrium state, implemented in 2021, was born after the preliminary development of a Generation Model for the estimation of local daily passenger demand based on the specification of 20 regional passenger mobility models.

Multiple sources of information have been integrated for the specification, calibration and validation of demand and multimodal offer sub-models: the micro-data of the Observatory on styles and behaviours of Audimob mobility, with which since 2010 ISFORT renders to the country a photograph of the mobility of Italians [6][7], the data on the transport demand and offer of the FS Group (Trenitalia, RFI, ANAS); the offer of NTV and Trenord railway services, and the Flixibus suburban road services; the official open statistics released by ISTAT, MIUR, Eurostat, Bank of Italy, ACI; and the mobility statistics extracted from a national sample of Big data of mobile telephony and Float Car Data (FCD). The data used offer a uniform standard for national territorial representativeness, and a plan for periodically releasing the data selected for calibration allows continuous maintenance of the models to be programmed, compared to past experiences, an essential condition for the highly applicable needs to which the developed models must respond.

The methodological approach adopted allows recomposing the framework of medium and long-distance passenger mobility and local mobility in Italy, so far little investigated in its unity, highlighting the behavioural differences in the distribution of the motivations, frequencies and modal choices of the local and MLP mobility.

L'approccio metodologico adottato consente una ricomposizione del quadro, ad oggi poco indagato nella sua unitarietà, della mobilità passeggeri di media e lunga percorrenza e della mobilità locale in Italia, evidenziando le differenze comportamentali nella distribuzione delle motivazioni, delle frequenze e delle scelte modali degli spostamenti della mobilità di MLP e locale.

Al crescere della distanza di viaggio, diminuisce il volume di tutti gli spostamenti e si annulla la componente sistematica. L'81,5% dei pendolari impiega al massimo 30 minuti per raggiungere la sede di lavoro o di studio, che ricade prevalentemente all'interno dei 611 cluster territoriali denominati Sistemi Locali del Lavoro (SLL) [8][9], solo il 5% impiega più di un'ora. Gli spostamenti per lavoro, con frequenza di almeno un giorno alla settimana, crollano oltre i 300 km [6]. Tuttavia, gli spostamenti sopra i 50 km, pur rappresentando solo il 2,6% del volume degli spostamenti complessivi di un giorno feriale [6], generano il 29,8% dei passeggeri km (Fig. 1).

È quindi fondamentale distinguere i fabbisogni ed i comportamenti della componente di mobilità locale da quella di media e lunga percorrenza. Le stesse linee guida europee sulle statistiche di mobilità [10] propongono tre soglie di distanza: breve sotto i 300 km con un raggio di gravitazione urbano entro i 100 km; media tra 300 e 1.000 km; e lunga oltre i 1.000 km, indicando per il rilievo degli spostamenti passeggeri di MLP lo strumento di un diario di bordo di durata minima settimanale.

Dal 2017 l'indagine Audimob, condotta con circa 16.000 interviste annue (70% CATI e 30% CAWI), rileva con una sezione specifica gli spostamenti intercomunali di almeno 10 km effettuati nel corso della settimana precedente all'intervista. Tale sezione, integrata al diario di bordo quotidiano, è alla base dell'implementazione del modello passeggeri degli spostamenti di almeno 80 km per la MLP, mentre la serie storica dal 2010 al 2019 della modellazione della Domanda Passeggeri nazionale prevalentemente locale.

L'articolo presenta nei tre paragrafi che seguono: un breve stato dell'arte dei modelli nazionali europei; l'architettura funzionale e metodologica dei sub-modelli con i principali test di calibrazione; un'analisi di validità estesa

As the travel distance increases, the volume of all travel decreases, and the systematic component is cancelled. 81.5% of commuters take a maximum of 30 minutes to reach the work or study place, which falls mainly within the 611 territorial clusters called Local Work Systems (LWS) [8][9], only 5% take more than an hour. Travel for work, with a frequency of at least one day a week, falls beyond 300 km [6]. However, journeys over 50 km, while representing only 2.6% of the total volume of journeys on a weekday [6], generate 29.8% of passengers km (Fig. 1).

It is therefore essential to distinguish the needs and behaviours of the local mobility component from those of medium and long distance. The same European guidelines on mobility statistics [10] propose three distance thresholds: short below 300 km with an urban gravitation radius within 100 km; average between 300 and 1,000 km; and long over 1,000 km, indicating for the survey of passenger travel of MLP the instrument of a logbook of minimum weekly duration.

Since 2017, the Audimob survey, conducted with about 16,000 annual interviews (70% CATI and 30% CAWI), detects the intercommunal movements of at least 10 km with a specific section carried out during the week prior to the interview. This section, integrated into the daily logbook, is the basis for the implementation of the passenger model of journeys of at least 80 km for the MLP, while the historical series from 2010 to 2019 of the modelling of the predominantly local national Passenger Demand.

In the following three paragraphs the article presents: a brief state of the art of European national models; the functional and methodological architecture of the sub-models with the main calibration tests; an extended validity analysis of the models to evaluate their reliability to replicate the phenomenon observed in 2019 before presenting the aggregated impacts of passenger travel choices simulated with the MLP model, for the start-up phase of the "New Normal" scenario.

2. National mobility models: an analysis of the state of the art

There are not many experiences of transport models on a national scale, generally initiated in support of national

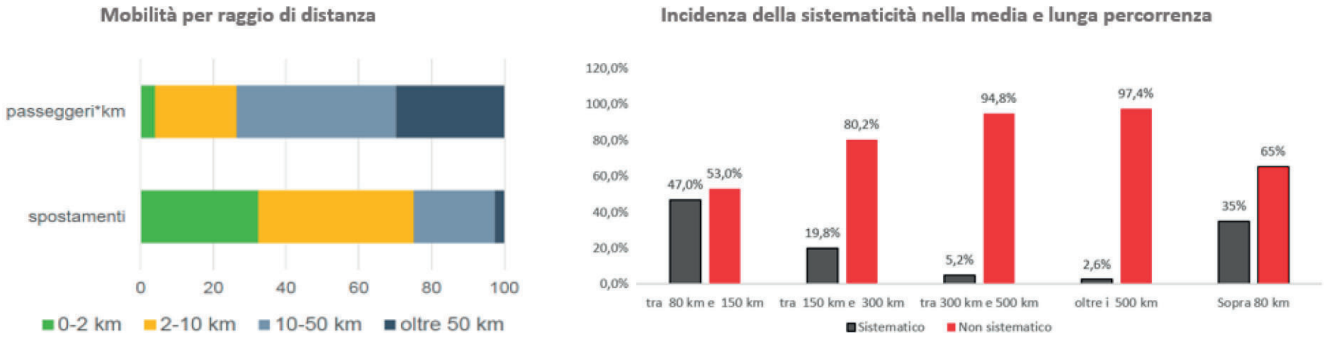

Figura 1 – Osservatorio Audimob, Mobilità per raggio geografico della distanza [6].
Figure 1 – Audimob Observatory, Mobility by geographical radius of distance [6].

dei modelli per valutare la loro affidabilità a replicare il fenomeno osservato nel 2019 prima di presentare, per la fase di avvio dello scenario "*New Normal*", gli impatti aggregati delle scelte di viaggio passeggeri simulate con il modello MLP.

2. Modelli di mobilità nazionali: un'analisi dello stato dell'arte

Non sono molte le esperienze di modelli di trasporto a scala nazionale, generalmente avviate a supporto delle politiche di pianificazione e programmazione nazionali dai Ministeri o dai Dipartimenti Centrali dei Trasporti o da grandi operatori di trasporto attivi sull'intero territorio nazionale.

In Germania la strategia di investimento infrastrutturale a medio e lungo termine del Governo è fondata sulle previsioni di traffico federale, simulate ogni cinque anni da un consorzio commerciale che è anche il proprietario del modello di domanda. Il Centro Aerospaziale Tedesco (DLR), non avendo accesso al modello governativo, ha implementato recentemente il modello DEMO per la valutazione degli impatti ambientali generati dall'evoluzione dei traffici sulla rete sino al 2040 [11], integrando in un unico ambiente i modelli di domanda a scala nazionale passeggeri e merci (Fig. 2) e due scale geografiche. Il modello passeggeri nazionale di corto raggio (DEMO-PNV) opera su 6.561 zone, mentre il modello per i viaggi superiori a 100 km (DEMO-PFV) su una zonizzazione più rarefatta composta da 412 zone. Dall'indagine nazionale dei comportamenti di mobilità sulle famiglie MiD 2008 [12] che raccoglie i comportamenti sia sulla domanda giornaliera che dei viaggi più lunghi sono stati estratti i parametri di mobilità principali dei modelli passeggeri.

L'esperienza del Regno Unito è tra le più ricche in Europa per il numero di modelli sviluppati, per la tradizione

planning and programming policies by Ministries or Central Transport Departments or by large transport operators operating throughout the national territory.

In Germany, the government's medium and long-term infrastructure investment strategy is based on federal traffic forecasts, simulated every five years by a trade consortium that also owns the demand model. The German Aerospace Centre (DLR), not having access to the government model, has recently implemented the DEMO model for the assessment of the environmental impacts generated by the evolution of traffic on the network until 2040 [11], integrating the demand models on a national passenger and goods scale (Fig. 2) and two geographical scales in a single environment. The national short-haul passenger model (DEMO-PNV) operates over 6561 areas, while the model for journeys over 100 km (DEMO-PFV) operates over a rarer area consisting of 412 zones. The main mobility parameters of passenger models were extracted from the MiD 2008 national survey of mobility behaviours on households [12] which gathers behaviours on both daily demand and longer journeys.

The experience of the United Kingdom is among the richest in Europe for the number of models developed, for the modelling tradition started since 1950 and for the methodological transparency of government models that has inspired other countries (Holland, Sweden, etc.). Data on the production rates of travel are extracted from the annual national mobility survey, the National Travel Survey (NTS) [12]. The operational models include the NTEM (National Trip End Model) model, which in its current version is used by the Department for Transport (DfT) for the forecast of the generations and attractions of passenger flows in 7700 areas in consideration of demographic and employment scenarios full-time and part-time by type of area, up to the 2051 time scenario [13]. The National Transport Model (NTM) is, instead, the four-stage model used by the DfT to evaluate the

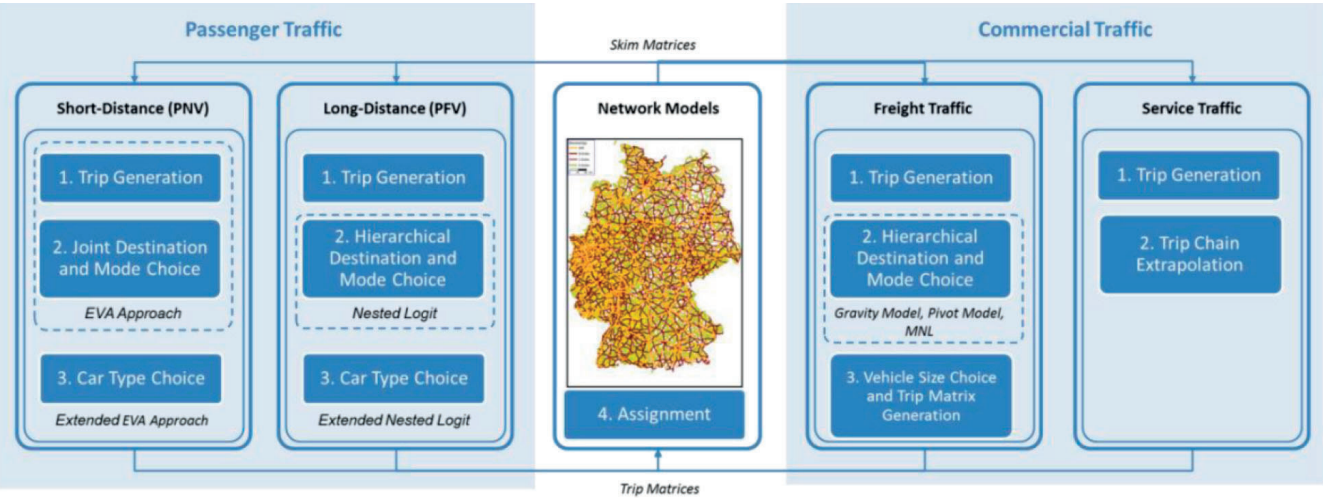

Figura 2 – DEMO (Modello di Trasporto Tedesco) [11].
Figure 2 – DEMO (German Transport Model) [11].

modellistica avviata a partire dal 1950 e per la trasparenza metodologica dei modelli governativi che ha ispirato altri Paesi (Olanda, Svezia, etc.). I dati sui tassi di produzione degli spostamenti sono estrapolati dall'indagine annuale di mobilità nazionale, la *National Travel Survey* (NTS) [12]. Tra i modelli operativi si segnala il modello NTEM (National Trip End Model) che nella versione attuale è impiegato dal *Department for Transport* (DFT) per la previsione, sino allo scenario temporale 2051, delle generazioni ed attrazioni dei flussi passeggeri di 7.700 zone in considerazione di scenari demografici ed occupazionali a tempo pieno e part-time per tipologia di area [13]. Il *National Transport Model* (NTM) è, invece, il modello a quattro stadi utilizzato dal DFT per valutare gli impatti, nell'anno in corso o in scenari futuri, generati dalle modifiche tariffarie del TPL, da variazioni dei costi dei carburanti, da interventi infrastrutturali dell'offerta stradale, e da variazioni attese dalla domanda [14]. Dati di input esogeni di NTM sono le matrici OD stimate con il modello NTEM, le ipotesi comportamentali della domanda, le matrici OD merci, i tempi e costi modali per coppia OD diversi dall'auto, le ipotesi economiche (Fig. 3). I tempi dei percorsi di trasporto pubblico sono stimati con il software TRACC di analisi dell'accessibilità sulla base degli orari programmati dei treni e bus.

Sempre nel Regno Unito, è stato sviluppato il modello PLANET Framework Model (PFM) applicato per gli scenari di sviluppo della rete ferroviaria ad Alta Velocità [15] e calibrato con i dati estratti dalla serie storica di dieci anni della NTS. Il modello si articola in tre moduli: il *PLANET Long Distance* (PLD); in tre modelli regionali *Regional PLANETs* (Sud, Midlands e Nord) per la valutazione della congestione dei nodi ferroviari principali dell'UK; e nel modello per la simulazione dei flussi dell'aeroporto di Heathrow.

Un ultimo modello integrato di trasporto, sviluppato dal consorzio universitario britannico ITRC alla scala locale e nazionale per simulare le interazioni dei trasporti con gli altri fenomeni territoriali (migrazione della popolazione, sviluppo urbano, domanda di energia, ecc), è il NISMOD2 [16], recentemente applicato per valutare la sostenibilità delle infrastrutture e dello sviluppo abitativo nell'Oxford-Milton Keynes-Cambridge [17].

A scala europea, i due modelli più recenti sono: il TRIMODE ed il Trans-TOOLS.

Il modello TRIMODE combina la simulazione dei trasporti a quattro stadi con modelli di economia e sistemi energetici, ed è stato sviluppato per la valutazione di grandi progetti e politiche di infrastrutture di trasporto [18]. Il modello opera sull'intera Eu-

impacts generated by the tariff changes of the TPL, by changes in fuel costs, by infrastructural interventions of the road offer, and by expected variations in demand, in the current year or in future scenarios [14]. Exogenous NTM input data are OD matrices estimated with the NTEM model, demand behavioural assumptions, goods OD matrices, modal times, and costs per OD pair other than car, economic assumptions (Fig. 3). The times of public transport routes are estimated with the TRACC accessibility analysis software based on the scheduled timetables of trains and buses.

Also in the UK, the PLANET Framework Model (PFM) applied for High-Speed Rail Network development scenarios was developed [15] and calibrated with data extracted from the NTS ten-year time series. The model consists of three modules: the PLANET Long Distance (PLD); three Regional PLANETs models (South, Midlands and North) for assessing congestion in the UK's main railway hubs; and the Heathrow Airport Flow Simulation model.

A final integrated transport model, developed by the British university consortium ITRC at local and national scale to simulate transport interactions with other territorial phenomena (population migration, urban development, energy demand, etc.), is the NISMOD2 [16], recently applied to assess the sustainability of infrastructures and housing development in the Oxford-Milton Keynes-Cambridge areas [17].

On a European scale, the two most recent models are: the TRIMODE and the Trans-TOOLS.

The TRIMODE model combines the simulation of four-stage transport with economic models and energy systems and was developed for the evaluation of large transport infrastructure projects and policies [18]. The model operates over the whole of Europe, with NUTS3 level zoning, and extends to neighbouring countries with a very detailed spatial resolution of the transport offer system. The demand model, specified for homogeneous socio-economic groups, by rea-

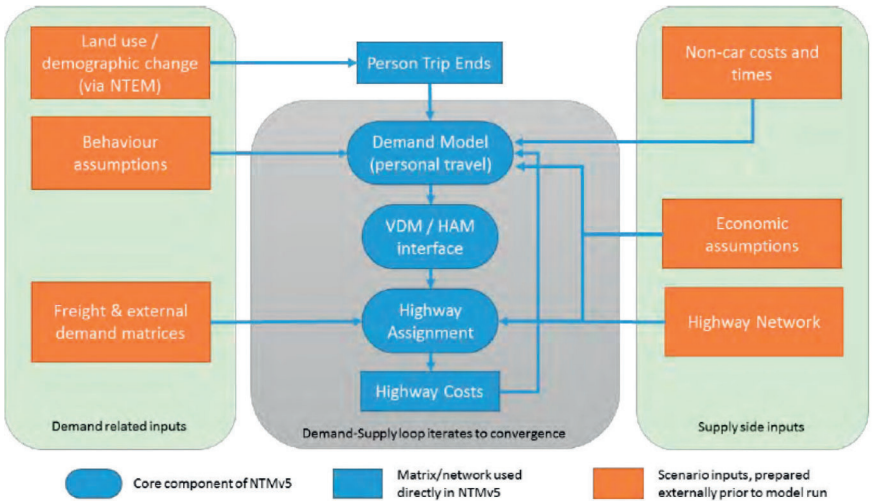

Figura 3 – Struttura del NTM per la simulazione degli impatti sulla rete stradale [14].

Figure 3 – Structure of the NTM for simulating impacts on the road network [14].

ropa, con una zonizzazione di livello NUTS3, e si estende ai paesi limitrofi con una risoluzione spaziale molto dettagliata del sistema di offerta di trasporto. Il modello di domanda, specificato per gruppi socioeconomici omogenei, per classe di motivi simula l'impatto dei flussi passeggeri e merci sulla rete multimodale dalla scala urbana a quella sovra-regionale. Agli autori, non sono note applicazioni operative.

Il modello multimodale di trasporto di merci e passeggeri a scala europea *Trans-TOOLS* è uno strumento più consolidato, segnalato come strumento di analisi dal Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (MIMS) [19]. Basato su una zonizzazione a livello NUTS3, si articola in più moduli interconnessi tra loro: un modello di rete, un modello di domanda, un modello delle esternalità e un modello macroeconomico. La domanda passeggeri è simulata con due sotto-modelli distinti: *"Short Distance"* (meno di 100 km) e *"Long Distance"* (più di 100 km).

I modelli nazionali italiani per la simulazione in un unico ambiente integrato del trasporto passeggeri e merci sono di fatto due: il SIMPT [19][20] del Ministero dei Trasporti e il SASM [21] del Gruppo FS successivamente evoluto nel SAVEF [22]. Entrambi operano su una zonizzazione di 274 zone interne e 71 zone per i paesi esteri condividendo lo stesso nucleo metodologico e adottando un approccio comportamentale per la domanda passeggeri. La simulazione della domanda passeggeri di media e lunga percorrenza sulle reti di trasporto nazionali richiedeva il precarico sugli archi dei flussi regionali locali [21]. Le prime versioni del SIMPT sono state calibrate utilizzando i dati di un'indagine svolta su un campione nazionale di 6.011 famiglie integrate da una indagine ai confini nazionali (sezioni stradale dei valichi, porti e aeroporti) per la domanda di scambio [20].

Il SIMPT è stato applicato per la simulazione e valutazione degli scenari del Piano Nazionale dei Trasporti del 2001, nel 2017 è stato indicato come strumento di supporto alle decisioni dalle "Linee guide per la valutazione degli investimenti" del MIMS. Nonostante l'aggiornamento del SIMPT nella versione SIMPT2 (Fig. 4) sia stato affidato con un bando di gara e completato nel 2018 [23], negli indirizzi più recenti del MIMS non viene più citato il possibile utilizzo [25][26].

Il Modello SAVEF, come il SIMPT, era in grado di simulare tutte le dinamiche di generazione, distribuzione, scelta modale e assegnazione alle reti degli spostamenti, sia passeggeri che merci (Fig. 5). Il modello passeggeri, evolutosi dal precedente modello SASM (Fig. 6), era dotato di un modulo propedeutico di simulazione dell'assetto macroeconomico basato sulla metodologia input-output [24], di un modello di assegnazione ad orario basato su reti diacroniche e anche di un modello di assegnazione degli spostamenti su rete stradale di tipo stocastico. Il SAVEF è stato utilizzato dal 2000 sino al 2006 per la pianificazione strategica di RFI e per la progettazione di fattibilità affidata dal governo italiano a RFI di tutte le grandi opere ferroviarie, tra le quali i principali valichi alpini (Torino-

son class simulates the impact of passenger and freight flows on the multimodal network from the urban to the supra-regional level. No operational applications are known to the authors.

The Trans-TOOLS multimodal model of freight and passenger transport on a European scale is a more consolidated tool, reported as an analysis tool by the Ministry of Infrastructure and Sustainable Mobility (MISM) [19]. Based on a zoning at NUTS3 level, it is divided into several interconnected modules: a network model, a demand model, an externalities model, and a macroeconomic model. Passenger demand is simulated with two distinct sub-models: "Short Distance" (less than 100 km) and "Long Distance" (more than 100 km).

The Italian national models for the simulation of passenger and freight transport in a single integrated environment are in fact two: the SIMPT [19][20] of the Ministry of Transport and the SASM [21] of the FS Group subsequently evolved into the SAVEF [22]. Both operate on a zoning of 274 inland zones and 71 zones for foreign countries sharing the same methodological core and adopting a behavioural approach to passenger demand. The simulation of medium and long-distance passenger demand on national transport networks required preloading local regional flows on the arcs [21]. The first versions of the SIMPT were calibrated using data from a survey carried out on a national sample of 6011 households supplemented by a survey at national borders (road sections of crossings, ports and airports) for the exchange demand [20].

The SIMPT was applied for the simulation and evaluation of the scenarios of the 2001 National Transport Plan, in 2017 it was indicated as a tool to support decisions by the "Guidelines for the evaluation of investments" of the MISM. Although the SIMPT update in the SIMPT2 (Fig. 4) version was awarded with a tender notice and completed in 2018 [23], the most recent MISM trends no longer mention the possible use [25][26].

The SAVEF Model, like the SIMPT, was able to simulate all the dynamics of generation, distribution, modal choice, and assignment to the travel networks, both passenger and freight (Fig. 5). The passenger model, that evolved from the previous SASM model (Fig. 6), was equipped with a preparatory module for simulating the macroeconomic structure based on the input-output methodology [24], a time allocation model based on diachronic networks and also a stochastic model for assigning trips on the road network. The SAVEF was used from 2000 until 2006 for the strategic planning of RFI and for the feasibility design entrusted by the Italian government to RFI of all major railway works, including the main alpine crossings (Turin-Lyon, Brenner, Trieste-Divača, Domodossola-Iselle, Laveno-Luino) the continuation of the High-Speed system towards the South (Battipaglia-Reggio Calabria, Messina Bridge, Messina-Palermo-Trapani, Catania-Syracuse, Palermo-Catania), the Rome-Pescara, Venafro-Termoli, Battipaglia-Potenza-Metaponto, Taranto-Sibari-S. Lucido and Oristano-Sassari-Olbia transverse lines.

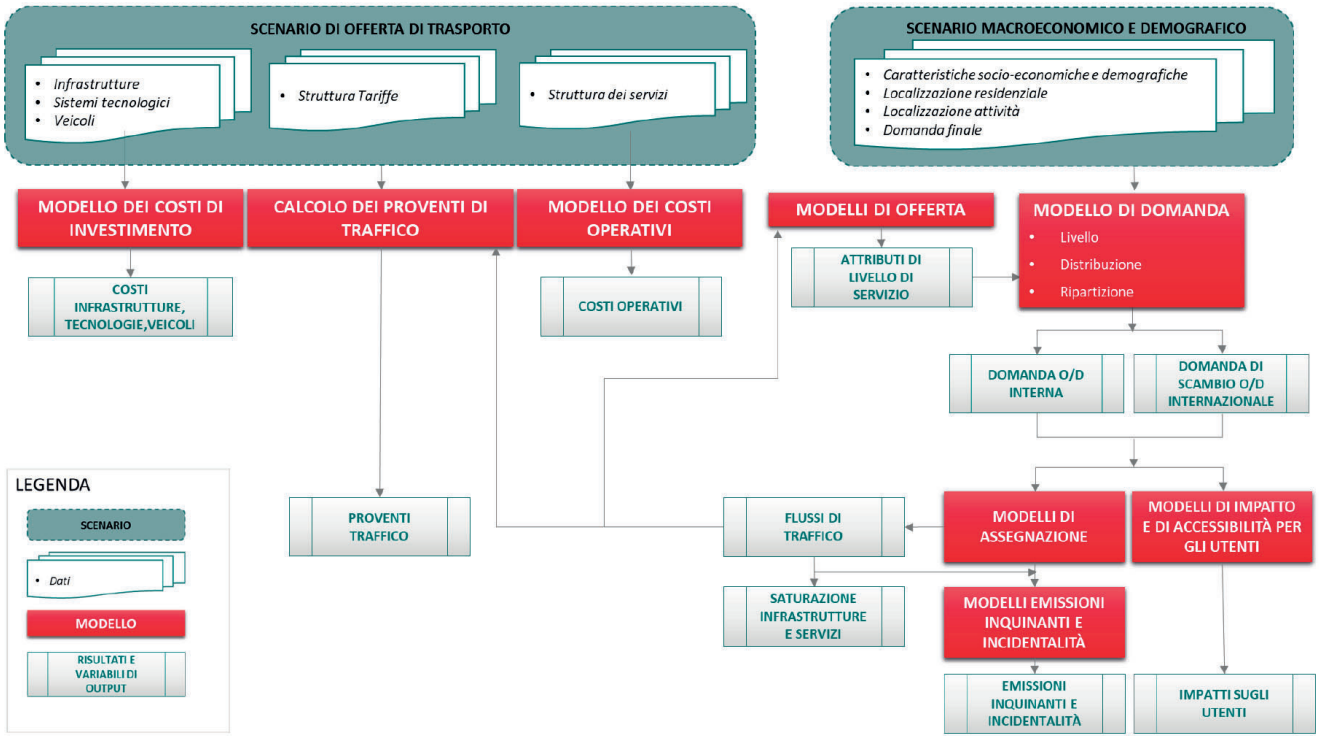

Figura 4 – Architettura funzionale del SIMPT2 (elaborazione basata su [19]).
Figure 4 – Functional architecture of SIMPT2 (processing based on [19]).

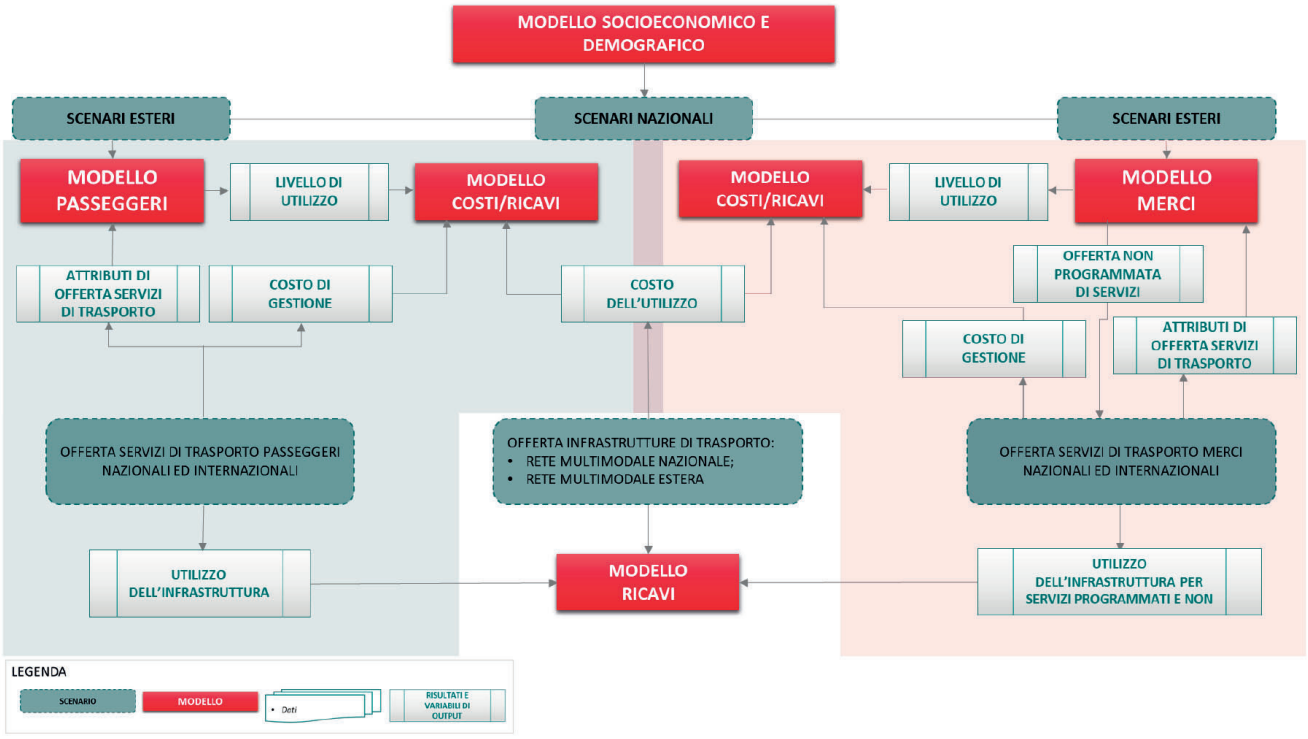

Figura 5 – Architettura funzionale del sistema SAVEF (elaborazione basata su [22]).
Figure 5 – Functional architecture of the SAVEF system (processing based on [22]).

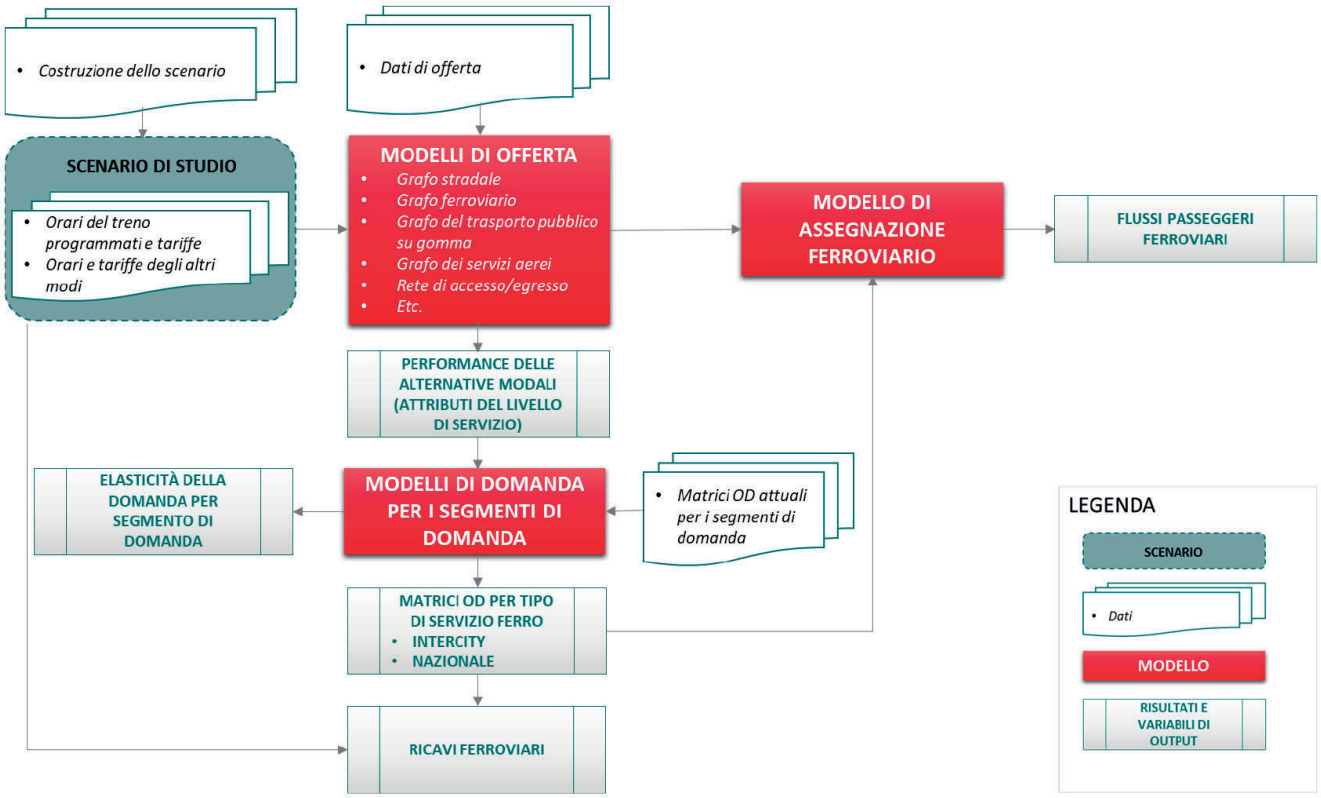

Figura 6 – Architettura funzionale del sistema SASM (elaborazione basata su [21]).
Figure 6 – Functional architecture of the SASM system (processing based on [21]).

Lyon, Brennero, Trieste-Divača, Domodossola-Iselle, Laveno-Luino) la prosecuzione del sistema Alta Velocità verso il Sud (Battipaglia-Reggio Calabria, Ponte di Messina, Messina-Palermo-Trapani, Catania-Siracusa, Palermo-Catania), le linee trasversali Roma-Pescara, Venafro-Termoli, Battipaglia-Potenza-Metaponto, Taranto-Sibari-S. Lucido e la Oristano-Sassari-Olbia.

Un ulteriore modello di trasporto nazionale per l'Italia è stato sviluppato di recente da TRASPOL e META Planning nell'ambito del progetto di ricerca QuAINT finanziato dal MIUR [27]. Nato dallo sviluppo di una banca dati georeferenziata dei dati di offerta infrastrutturale e dei servizi di media e lunga percorrenza, si è evoluto in un modello di domanda a partire dall'aggiornamento delle matrici pendolari ISTAT del 2011 con l'ausilio di diverse fonti dati, flussi rilevati su strada e statistiche open, tra cui quelle aggregate nazionali rilasciate da ISFORT [6].

3. Architettura e caratteristiche del modello previsivo *"New Normal"*

Il modello di trasporto multimodale implementato la cui architettura funzionale è rappresenta in Fig. 7, simula i comportamenti di viaggio dei passeggeri in nuovi scenari macroeconomici e di offerta con l'ambizione di rendere più robusto il processo decisionale di valutazioni nella di-

A further national transport model for Italy was recently developed by TRASPOL and META Planning as part of the MIUR-funded research project QuAINT [27]. Created from the development of a georeferenced database of infrastructure offer data and medium and long-distance services, it evolved into a demand model starting from the update of the ISTAT commuter matrices in 2011 with the help of different data sources, flows detected on the road and open statistics, including those national aggregates released by ISFORT [6].

3. Architecture and characteristics of the "New Normal" predictive model

The implemented multimodal transport model whose functional architecture is represented in Fig. 7, simulates the travel behaviours of passengers in new macroeconomic and offer scenarios with the desire to make the decision-making process of assessments more robust in the direction of the economic, environmental and social sustainability of transport systems [19][25][26].

The preliminary phase of construction of the model was based on an analysis and organisation of a rich national georeferenced database, to support the development of the different components of the model, in the identification of the radius of 80 km as the predominant area of local Italian mobility, exceeding the implicit administrative definition

rezione della sostenibilità economica, ambientale e sociale dei sistemi di trasporto [19][25][26].

La fase preliminare di costruzione del modello si è sostanziata in un lavoro di analisi e organizzazione di una ricca banca dati georeferenziata nazionale, a supporto dello sviluppo delle diverse componenti del modello, nell'individuazione del raggio di 80 km come ambito prevalente della mobilità locale italiana, superando l'implicita definizione amministrativa adottata dal modello nazionale SIMPT2 [19], e nella suddivisione in 911 zone interne omogenee del territorio nazionale.

Il modello calibrato per lo stato di fatto 2019 presenta una struttura funzionale ad aliquote parziali a quattro stadi con una modellazione disaggregata della domanda per classe di età e condizione professionale dell'utente che favorisce un controllo più rigoroso della coerenza degli output simulati dal modello.

Non potendosi assumere l'ipotesi di stazionarietà della domanda 2019, a causa dello shock pandemico, in considerazione delle ipotesi di evoluzione dello scenario epidemiologico derivanti dall'analisi dei fattori di rischio si stima una data T_x per l'avvio di una nuova fase di equilibrio *"New Normal"*, ed in relazione agli impatti macro economici attesi per il nuovo Scenario di Trasporto-Territorio si aggiornano le variabili macroeconomiche di contesto con l'ausilio dei moduli di calcolo complementari implementati: la popolazione per classe di età, gli occupati, i lavoratori in smart-working e gli addetti per settore produttivo

adopted by the national model SIMPT2 [19], and in the subdivision into 911 homogeneous internal areas of the national territory.

The calibrated model for the 2019 de facto status presents a functional structure with four-stage partial rates with a disaggregated modelling of the demand by age class and professional condition of the user that favours a stricter control of the coherence of the outputs simulated from the model.

Being unable to assume the hypothesis of 2019 demand stationarity, due to the pandemic shock, in consideration of the hypotheses of evolution of the epidemiological scenario deriving from the analysis of risk factors, a T_x date is estimated for the start of a new "New Normal" equilibrium phase, and in relation to the macroeconomic impacts expected for the new Transport-Territory Scenario, the macroeconomic context variables are updated with the help of the complementary calculation modules implemented: the population by age class, the employed, the smart-working workers and the employees by production sector with progress compared to the state of the art of this type of models [5].

The MLP Generation Model, based on the exogenous socioeconomic territorial variables, estimates the number of disaggregated journeys by type of users generated by the individual areas by reason of travel, and based on the attributes of the generating centres and attractors, and the impediments associated with each OD connection, the Distribution Model produces the demand matrices of the MLP

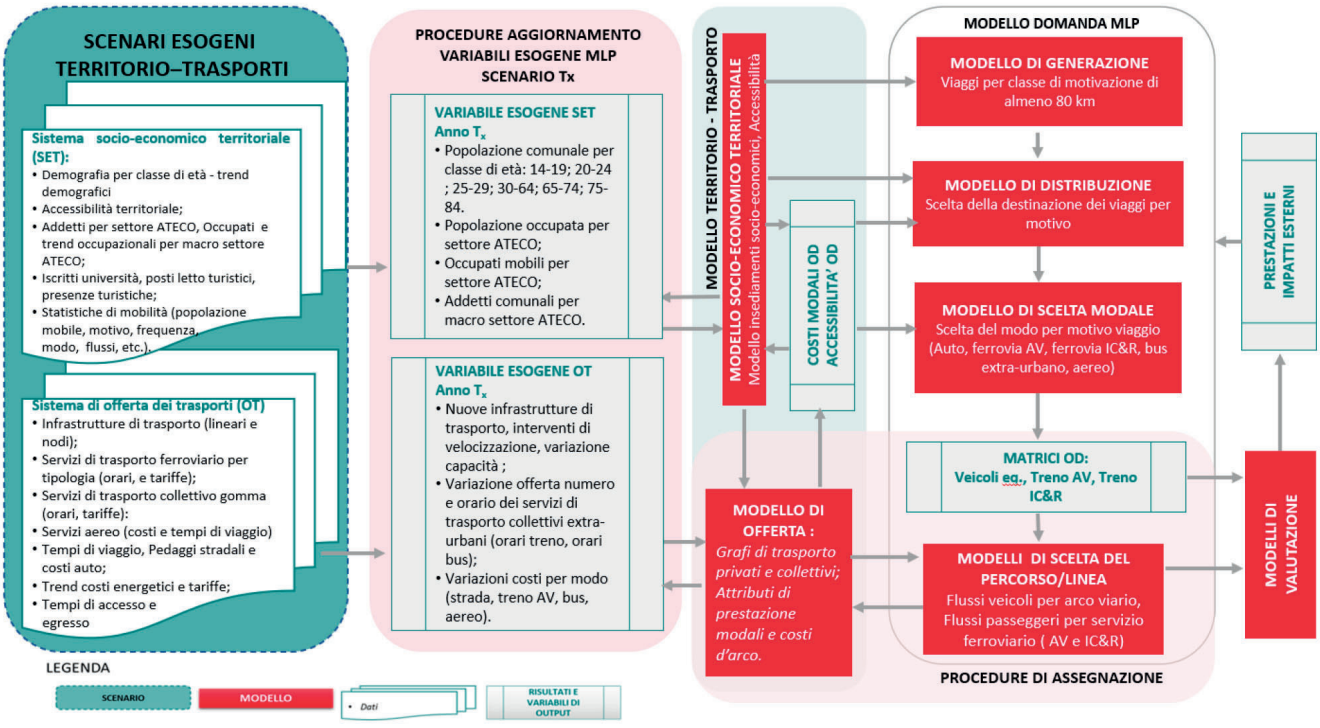

Figura 7 – Architettura del modello di previsione della domanda MLP in scenari futuri e di progetto.
Figure 7 – Architecture of the MLP demand forecast model in future and project scenarios.

con un avanzamento rispetto allo stato dell'arte di questa tipologia dei modelli [5].

Il Modello di Generazione di MLP, in funzione delle variabili esogene socioeconomiche territoriali, stima il numero di spostamenti disaggregati per tipologia di utenti generati dalle singole zone per motivo dello spostamento, e sulla base degli attributi dei poli generatori ed attrattori, e delle impedenze associate a ciascuna relazione OD, il Modello di Distribuzione produce le matrici di domanda degli spostamenti passeggeri di MLP per motivo del viaggio (lavoro e affari, studio, affari privati, turismo e svago). Quindi, sulla base degli attributi dei livelli di servizio stimati con il Modello di Offerta di trasporto multimodale per motivo, valutati i costi delle alternative modali riferiti alle singole coppie OD, come applicazione del modello nazionale di scelta modale si stimano le matrici modali passeggeri. Infine, le procedure di assegnazione, i cui output alimentano la produzione di indicatori di impatto del sistema, simulano le scelte dei percorsi sull'offerta giornaliera dei servizi ferroviari, distinguendo gli utenti dei servizi di Alta Velocità (AV) da quelli Intercity e Regionali (IC&R), e dopo la trasformazione in veicoli le scelte degli utenti su rete viaria. L'integrazione dei veicoli equivalenti dei passeggeri locali e della domanda merci alla matrice privata MLP consente di tener conto dell'impatto della congestione sulle scelte di viaggio degli utenti.

3.1. La banca dati della mobilità

La base dati del sistema socioeconomico territoriale, della domanda di mobilità passeggeri e del sistema multimodale di offerta dei trasporti nazionale, organizzata sull'unità amministrativa territoriale minima comunale, assicura un'ampia flessibilità alla rimodulazione della zonizzazione del modello di domanda in relazione alla necessità degli obiettivi territoriali di analisi. Quando possibile, per i data set acquisiti si è assicurato lo stesso riferimento temporale (mese ottobre e giorno feriale mercoledì 2019); inoltre tutti i dati storici, ad esempio quelli del Pendolarismo 2011 [9] e gli addetti per settore ATECO 2017 [28], sono stati ricondotti alla classificazione amministrativa vigente al 31 dicembre 2019.

Si è valutata inoltre la coerenza, significatività ed eventuali limiti dei dati adottati per interpretare il fenomeno modellato. Rinunciando, a titolo di esempio, all'approccio *data driven* di correzione delle matrici OD stradali stimate con i flussi delle sezioni di monitoraggio ANAS, in quanto non consentono di distinguere la componente di traffico di MLP da quella locale. La disponibilità di rilasci periodici di tutti i dati utilizzati per la calibrazione e specificazione del modello rappresenta un ulteriore punto di forza per la manutenzione e aggiornamento futuro del modello.

3.1.1. La serie storica dell'indagine Audimob di ISFORT

Fondamentale per il modello si è rilevata la serie storica dell'indagine "*Audimob*", che con 16.000 interviste rap-

passenger travel by reason for the trip (work and business, study, private business, tourism and leisure). Therefore, based on the attributes of the service levels estimated with the Multimodal Transport Offer Model by reason, having evaluated the costs of the modal alternatives referred to the individual OD pairs, the passenger modal matrices are estimated as an application of the national modal choice model. Finally, the allocation procedures, whose outputs feed the production of system impact indicators, simulate the choices of routes on the daily offer of railway services, distinguishing users of High-Speed (HS) services from those of Intercity and Regional (IC&R), and after the transformation into vehicles, the choices of users on the road network. The integration of local passenger equivalent vehicles and freight demand into the private MLP matrix allows taking into account the impact of congestion on users' travel choices.

3.1. Mobility database

The database of the territorial socio-economic system, of the demand for passenger mobility and of the multimodal national transport offer system, organised on the municipal minimum territorial administrative unit, ensures wide flexibility to reshape the zoning of the demand model in relation to the need for the territorial objectives under analysis. When possible, the same time reference was ensured for the acquired data sets (October and working day Wednesday 2019); in addition, all historical data, for example those of Commuting 2011 [9] and employees by ATECO 2017 sector [28], have been traced back to the administrative classification in force as at 31 December 2019.

The consistency, significance and possible limitations of the data adopted to interpret the modelled phenomenon were also evaluated. By way of example, renouncing the data-driven approach of correcting the estimated road OD matrices with the flows of the ANAS monitoring sections, since they do not allow distinguishing the MLP traffic component from the local one. The availability of periodic releases of all data used for model calibration and specification is an additional strength for future model maintenance and updating.

3.1.1. Historic series of the ISFORT Audimob survey

The historical series of the "Audimob" survey was fundamental to the model, which with 16,000 interviews represents the only annual source of investigation of the passenger mobility behaviours of Italians with regional significance [7][12]. The analysis of the microdata allowed defining homogeneous behavioural clusters by socio and personal characters and by accessibility classes of the municipality of residence. The observations of the last three 2017-2019 pre-Covid years of the daily and weekly logbooks, of users who travelled at least 80 km, feed the specification of the parameters of the Generation Model and the calibration of the MLP modal choice logit models. The 2010-2019 historic series of the daily logbook feeds the corresponding models of local demand.

presenta l'unica fonte di indagine annuale dei comportamenti di mobilità passeggeri degli italiani con significatività regionale [7][12]. L'analisi dei microdati ha permesso la definizione di cluster comportamentali omogenei per caratteri socio-anagrafici e per classi di accessibilità del comune di residenza. Le osservazioni delle ultime tre annualità pre-Covid 2017-2019 del diario di bordo quotidiano e di quello settimanale, degli utenti che hanno effettuato spostamenti almeno 80 km, alimentano la specificazione dei parametri del Modello di Generazione e la calibrazione dei modelli *logit* di scelta modale di MLP. La serie storica 2010-2019 del diario di bordo quotidiano alimenta i modelli corrispettivi di domanda locale.

3.1.2. I Big Data: floating car data e dati da celle telefoniche

Dal campione nazionale dei dati elementari *Float Car Data* di *VEM Solutions* (FCD) dai *Mobile Data Network* da *Vodafone Analytics*, riferiti all'intero mese di ottobre 2019, sono stati estratte rispettivamente le matrici OD interzonali auto e le OD passeggeri complessivi.

Il dataset grezzo degli FCD, che descrive gli spostamenti elementari effettuati da un campione di circa 500 mila veicoli sonda sull'intero territorio nazionale [29], ha consentito di ricostruire i viaggi sopra gli 80 Km effettuati in auto in un giorno medio feriale. In relazione al tasso di penetrazione del campione sul parco veicolare immatricolato per zone di residenza [30] è stata ricostruita la Matrice OD interzonale dei viaggi auto di MLP impiegata per il confronto con la matrice auto stimata dal modello di scelta modale di MLP.

La matrice OD interzonale dei viaggi generati sul territorio nazionale dagli italiani e dagli stranieri di fonte *Vodafone Analytics* [31], ha invece consentito l'estrazione dei coefficienti di distribuzione delle OD interzonali sopra gli 80 km impiegati per calibrare il modello di distribuzione di MLP. Non sono stati utilizzati per la calibrazione i valori assoluti in quanto il riporto all'universo non distingue i segnali di mobilità dei passeggeri da quello degli operatori dei servizi merci. I dati telefonici assumono come universo di riferimento la popolazione effettivamente presente nelle singole zone di traffico. Il confronto tra l'universo Vodafone per le fasce di età (14-29; 30-34; 35-64; e sopra i 64 anni) con i residenti censiti da ISTAT [32] ha evidenziato una sovrastima complessiva dell'1,3% per la popolazione più giovane ed una sottostima dello 0,9% di quella più anziana. È differenziato lo scarto per singole province tra popolazione residente (ISTAT) e presente (Vodafone), il dato conferma l'esistenza di un flusso migratorio interno al nostro Paese, non rilevato dalle statistiche ufficiali, tra domicili e luoghi di residenza più frequentemente localizzati nel Sud del Paese (Fig. 8) che andrà approfondito in futuro in termini di impatti.

3.1.3. I dati socioeconomici della struttura insediativa e le statistiche di mobilità

Le variabili esogene territoriali restituiscono una fotografia della struttura insediativa del nostro Paese ed han-

3.1.1. Big Data: floating car data and data from phone cells

The car interzonal OD matrices and the total passenger ODs were extracted respectively from the national sample of VEM Solutions' Float Car Data (FCD) elementary data from the Mobile Data Networks by Vodafone Analytics, referring to the entire month of October 2019.

The raw dataset of the FCDs, which describes the elementary journeys made by a sample of about 500 thousand survey vehicles throughout the country [29], allowed reconstructing the trips over 80 km made by car on an average weekday. The inter-zonal OD matrix of MLP car trips was reconstructed in relation to the penetration rate of the sample on the vehicle fleet registered by area of residence [30], used for comparison with the car matrix estimated by the MLP modal choice model.

The interzonal OD matrix of journeys generated on the national territory by Italians and foreigners from the source Vodafone Analytics [31], instead allowed extracting the distribution coefficients of the interzonal ODs above 80 km used to calibrate the MLP distribution model. Absolute values were not used for the calibration as the return to the universe does not distinguish the mobility signals of passengers from those of freight operators. Telephone data assume the population actually present in the individual traffic

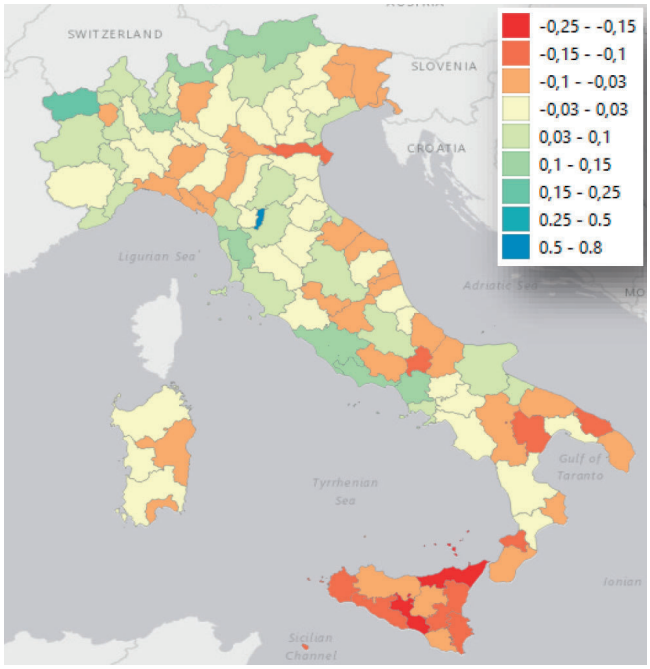

Figura 8 – Differenze su base territoriale tra la popolazione presente stimata con i Mobile Data Network dalla fonte Vodafone [31] e la popolazione residente censita da ISTAT [32].

Figure 8 – Differences on a territorial basis between the present population estimated with the Mobile Data Networks from the Vodafone source [31] and the resident population surveyed by ISTAT [32].

no guidato la zonizzazione del territorio e la selezione degli attributi della domanda generata ed attratta. Le fonti principali utilizzate sono: ISTAT, MIUR [33][34] e Agenzia Coesione per le classi di accessibilità comunali [35].

I dati sulla domanda di mobilità passeggeri interna e di scambio con l'estero, per motivo di viaggio e per mezzo utilizzato sono stati acquisiti sia da banche open nazionali che da statistiche proprietarie del Gruppo FS (Trenitalia ed ANAS). Le statistiche più numerose sono ancora di fonte ISTAT: Pendolarismo [8][9][36], Multiscopo sugli spostamenti pendolari [37], Presenze degli esercizi ricettivi [38], Viaggi e Vacanze [39], integrate da quelle dell'indagine della Banca D'Italia sulla Domanda Turistica Internazionale [40], e sui traffici aeroportuali di fonte Eurostat [41] ed ENAC [42].

Il Gruppo FS ha fornito: la domanda giornaliera dei flussi stazione-stazione dei passeggeri trasportati dalla società Trenitalia del mese di ottobre 2019, distinta per tipologia del servizio e treno, consentendo una segmentazione per fascia oraria della domanda; ed i rilievi del traffico medio giornaliero TGM del mese di ottobre, monitorati della società controllata ANAS [43] in corrispondenza di 2.472 punti di controllo della rete stradale nazionale, distinti per veicoli privati e commerciali e direttrice di marcia. Questi dati di mobilità non sono stati utilizzati per calibrare o correggere le stime dei modelli, ma per una validazione del modello ad integrazione dei test sui coefficienti di calibrazione.

Completano, il quadro della domanda passeggeri, le 20 matrici modali regionali della domanda locale stimate nel primo percorso dagli autori di questo lavoro [44].

3.1.4. La zonizzazione territoriale

L'attività di zonizzazione del territorio nazionale ha identificato 911 zone di traffico omogenee di cui 23 coincidono con sub-aree dei comuni metropolitani di Roma, Milano, Torino, Napoli, Genova e Venezia; 148 con singoli comuni e 740 con l'aggregazione di comuni contigui. Per le aree a bassissima densità abitativa le zone identificano il Sistema Locale del Lavoro di riferimento [8]. In Fig. 9 sono rappresentate: le zone di traffico e la loro gerarchia territoriale, il numero di zone per regione, e le zone per range di presenze annue negli esercizi ricettivi.

La struttura gerarchica delle zone della mappa centrale è espressa da un indicatore che varia da 0 a 10 ottenuto come sintesi dei valori degli attributi socio-economici e trasportistici dei comuni che compongono la zona: accessibilità SNAI [35], popolazione residente, addetti, iscritti agli istituti superiori e università, presenza/assenza di stazioni ferroviarie RFI di classe almeno silver [45], di aeroporti, di porti, di interporti, di ospedali DEA. I poli nazionali di *Classe A* rappresentano il 5% delle zone, e si caratterizzano per accogliere almeno 100.000 abitanti e per un'offerta completa degli altri attributi. Le zone di *Classe E* rappresentano le aree più deboli del Paese per demografia ed attrattori insediati.

zones as a reference universe. The comparison between the Vodafone universe for age groups (14-29; 30-34; 35-64; and over 64 years) with residents surveyed by ISTAT [32] showed an overall overestimate of 1.3% for the younger population and an underestimate of 0.9% for the older one. The difference is distinguished by individual provinces between resident (ISTAT) and present population (Vodafone), the data confirms the existence of a migratory flow within our country, not detected by official statistics, between homes and places of residence more frequently located in the South of the country (Fig. 8) that will be further analysed in the future in terms of impacts.

3.1.3. Socio-economic data on settlement structure and mobility statistics

The exogenous territorial variables render a photograph of the settlement structure of our country and have guided the zoning of the territory and the selection of the attributes of the generated and attracted demand. The main sources used are: ISTAT, MIUR [33][34] and Cohesion Agency for municipal accessibility classes [35].

The data on the demand for internal passenger mobility and foreign exchange, for travel reasons and by means used were acquired both from national open banks and from proprietary statistics of the FS Group (Trenitalia and ANAS). The most numerous statistics are still from the ISTAT source: Commuting [8][9][36], Multipurpose on commuting [37], Presence of accommodation businesses [38], Travel and Holidays [39], complemented by those of the survey of the Bank of Italy on International Tourism Demand [40], and on airport traffic from Eurostat source [41] and ENAC [42].

The FS Group provided: the daily demand for the station-station flows of passengers transported by the Trenitalia company in October 2019, broken down by type of service and train, allowing a segmentation by time range of demand; and the TGM average daily traffic surveys in October, monitored by the subsidiary ANAS [43] at 2472 control points of the national road network, separated in private and commercial vehicles and driving direction. These mobility data were not used to calibrate or correct model estimates, but to validate the model to supplement the calibration coefficient tests.

The picture of passenger demand is completed by the 20 regional modal matrices of local demand estimated in the first route by the authors of this work [44].

3.1.4. Geographical zoning

The zoning activity of the national territory has identified 911 homogeneous traffic zones of which 23 coincide with sub-areas of the metropolitan municipalities of Rome, Milan, Turin, Naples, Genoa and Venice; 148 with individual municipalities and 740 with the aggregation of contiguous municipalities. For areas with very low population density, the zones identify the Local Labour System of reference [8]. Fig. 9 represents: the traffic zones and their territorial hierarchy, the number of zones per region, and the

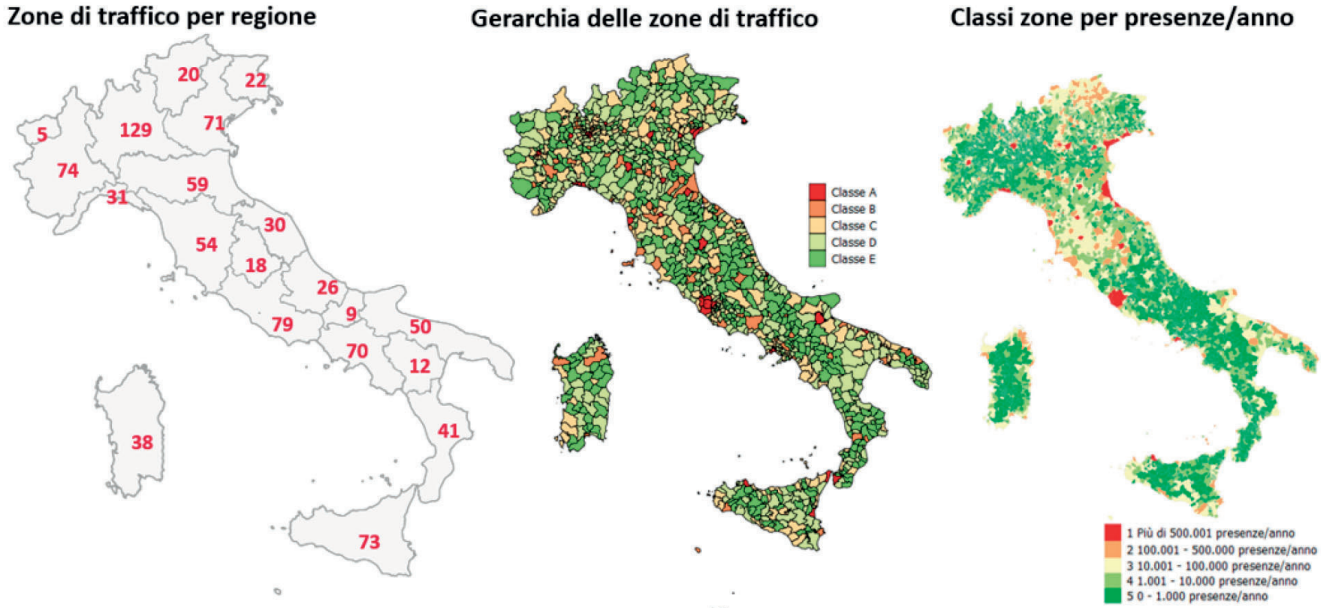

Figura 9 – Il modello territoriale: zone di traffico, classe gerarchica ed attrattori.
Figure 9 – The territorial model: traffic zones, hierarchical class, and attractors.

3.2. Il modello di offerta dei trasporti multimodale

Il modello di offerta multimodale è stato implementato per calcolare le prestazioni delle infrastrutture e dei servizi di trasporto quali tempi e costo.

Il modello di offerta stradale comprende due differenti scale geografiche. Quello locale [46] estremamente dettagliato calcola i tempi medi di accesso ai nodi dei servizi (stazioni ferroviarie, aeroporti e porti) delle località abitate delle zone di traffico, ponderate per il peso demografiche, per una stima dei costi di accesso ed egresso, comprensivi di un tempo medio di viaggio intrazonale funzione della struttura insediativa, attribuiti ai singoli rami connettori dei centroidi delle zone ai grafi nazionali. La scala nazionale invece adotta il modello di offerta stradale dell'intera rete nazionale extra-urbana principale elaborato dalla società ANAS, controllata dal Gruppo FS, completo degli attributi utili a caratterizzare le funzioni di deflusso [47].

Il grafo della rete ferroviaria nazionale del Gruppo FS, completo delle caratteristiche funzionali [45], è stato integrato con gli archi delle reti ferroviarie regionali estratte da un grafo open nazionale [48]. Per i servizi aerei sono state calcolate le distanze in linea d'aria per tutte le coppie OD aeroportuali riferite ai 29 aeroporti operativi nel mese ottobre 2019 [41], le tariffe medie dall'analisi di un campione di linee e rotte aeree, i tempi di accesso complessivi nei nodi aeroportuali ai servizi aerei.

Il database dell'offerta di servizi ferroviari è stato strutturato in formato *General Transit Feed Specification* (GTFS), e comprende i servizi ferroviari di un giorno feriale di alta velocità (AV), Intercity e regionali estratti

zones by annual attendance range in the accommodation business.

The hierarchical structure of the zones of the central map is expressed by an indicator that varies from 0 to 10 obtained as a summary of the values of the socio-economic and transport attributes of the municipalities that make up the area: SNAI accessibility [35], resident population, employees, those enrolled in higher education institutions and universities, presence/absence of at least silver class RFI railway stations[45], airports, ports, interports, DEA hospitals. The national Class A centres represent 5% of the areas and are characterised by accommodating at least 100,000 inhabitants and a complete offer of the other attributes. Class E zones represent the weakest areas of the country in as demography and established attractors.

3.2. Multimodal transport offer model

The multimodal offer model has been implemented to calculate the performance of transport infrastructure and services such as time and cost.

The road offer model includes two different geographical scales. The local one [46] calculates with great detail the average times of access to the service hubs (railway stations, airports and ports) of the inhabited localities of the traffic areas, weighted by the demographic weight, for an estimate of the costs of access and egress, including an average intrazonal travel time function of the settlement structure, attributed to the individual connecting branches of the centroids of the areas to the national graphs. The national scale instead adopts the road offer model of the entire main suburban national network developed by the company ANAS,

dall'orario invernale in vigore nel mese di ottobre 2019 di Trenitalia, NTV e Trenord.

L'offerta dei servizi bus è stata ricavata dai dati open GTFS di FlixBus [49], l'offerta dei servizi seppur parziale è sufficientemente estesa e garantisce la copertura delle zone di traffico sufficiente a stimare i costi medi di trasporto interzonali.

Per il modello territoriale definito, il modello di offerta stimare la matrice dei costi (911 x 911) per le modalità: auto, aereo, bus distinguendo per il modo ferroviario differenziato due tipologie di servizio. I costi generalizzati interzonali sono stati calcolati [50] omogenizzando i relativi costi tariffari in considerazione di un valore del valore del tempo (VOT) medio orario per motivo del viaggio da letteratura [51].

Gli elementi informativi (Tab. 1) utilizzati a rappresentare l'offerta multimodale nazionale sono relativi alle formalizzazioni in modelli di rete delle seguenti reti fisiche di trasporto (Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12):

Tabella 1 – *Table 1*

Dati di sintesi del modello di offerta multimodale nazionale
Summary data of the national multimodal offer model

Infrastrutture ***Infrastructures***	**Rete stradale (ANAS)** ***Road network (ANAS)***	**Rete ferroviaria principale** ***Core railway network***	**Rete ferroviaria integrata** ***Integrated railway network***
Archi della rete *Network Arcs*	*26.784*	*6.730*	*16.904*
Nodi della rete *Network nodes*	*11.010*	*3.034*	*7.972*
Svolte possibili *Possible turns*	*81.504*	*16.694*	*40.394*
Estensione della rete [km] *Extension of the network [km]*	*177.077*	*33.794*	*44.908*
Centroidi Zone interne *Centroid Inland areas*	*911*	*911*	*911*
Connettori *Connectors*	*1.822*	*16.694*	*5.466*
Servizi ***Services***	**FlixBus**	**Trenitalia e NTV** ***Trenitalia and NTV***	**Trenitalia e Trenord** ***Trenitalia and Trenord***
Fermate *Stops*	*406*	*115*	*2.049*
Linee *Lines*	*1.287*	*394*	*2.323*
Veicoli al giorno *Vehicles a day*	*2.059*	*882*	*7.141*

controlled by the FS Group, with the attributes useful for characterising the outflow functions [47].

The graph of the national railway network of the FS Group, with the functional characteristics[45], has been integrated with the arcs of the regional railway networks extracted by a national open graph [48]. For air services, the distances as the crow flies for all airport OD pairs referring to the 29 airports operating in October 2019 [41], the average fares from the analysis of a sample of lines and air routes, the total access times in the airport nodes to air services were calculated.

The rail service offer database has been structured in General Transit Feed Specification (GTFS) format, and includes the high-speed (HS), Intercity and regional weekday rail services extracted from the winter timetable of Trenitalia, NTV and Trenord in force in October 2019.

The offer of bus services was derived from FlixBus' open GTFS data [49], the offer of services, albeit partial, is sufficiently extensive and guarantees the coverage of traffic zones sufficient to estimate the average interzonal transport costs.

For the defined territorial model, the offer model estimates the matrix of costs (911 x 911) for the modes: car, plane, bus distinguishing two types of service for the differentiated railway mode. The generalised interzonal costs were calculated [50] homogenizing the related tariff costs in consideration of an hourly average time value (HTV) for the travel reason from literature [51].

The information elements (Tab. 1) used to represent the national multimodal offer relate to the formalisation in network models of the following physical transport networks (Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12):

- *the main motorway and suburban road network, used for the calculation of the generalised cost attributes of the private vehicle and the TPL on road, including the toll costs for each OD pair for the purpose of assigning the demand by motorised private vehicle;*
- *the railway network, used to estimate the cost attributes of Trenitalia and NTV high-speed services, intercity and regional services functional to integration with HS services.*

3.3. Exogenous Variables Update Module

The prediction phase of exogenous scenarios for updating exogenous vari-

– la rete viaria autostradale ed extraurbana principale, utilizzata per il calcolo degli attributi di costo generalizzato del mezzo privato e del TPL su gomma, comprensivo dei costi di pedaggio per ogni coppia OD ai fini dell'assegnazione della domanda con mezzo privato motorizzato;
– la rete ferroviaria, impiegata per la stima degli attributi di costo dei servizi alta velocità Trenitalia e NTV, degli Intercity e dei servizi regionali funzionali all'integrazione con i servizi di AV.

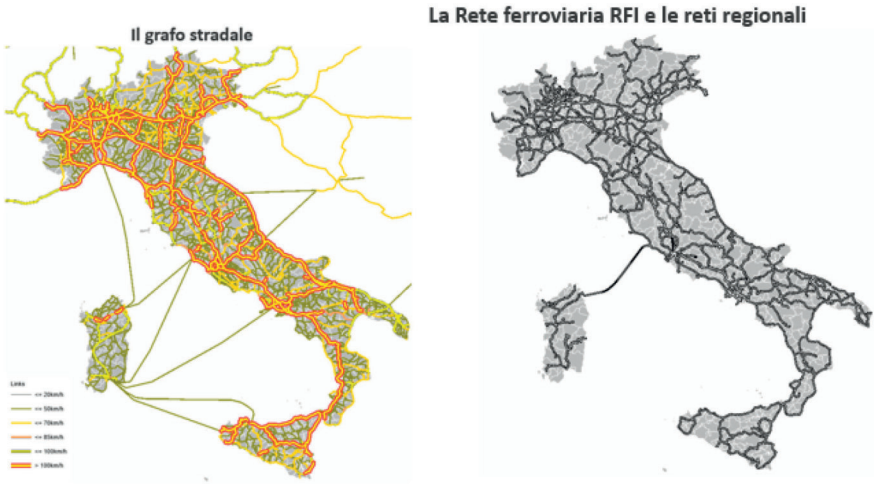

Figura 10 – I grafi infrastrutturali viari e ferroviari.
Figure 10 – Infrastructure Road and railway graphs.

3.3. Il Modulo di aggiornamento delle variabili esogene

La fase di previsione degli scenari esogeni per l'aggiornamento delle variabili esogene è prodromica all'applicazione del modello di domanda negli scenari futuri. Il modulo di calcolo delle variabili esogene, integrato e dialogante con il modello nazionale di generazione, è composto da tre sottomoduli:

- Modulo di calcolo per l'aggiornamento delle variabili esogene demografiche: stima le variazioni della popolazione comunale per fasce di età sulla base delle previsioni demografiche regionali ISTAT [52].
- Modulo di calcolo per l'aggiornamento delle variabili degli attivi (occupati, studenti) e addetti: sulla base delle stime ufficiali di variazioni percentuali attese del PIL, numero di addetti, occupati, studenti aggregate a livello regionale e per macrosettore ATECO, rese disponibili periodicamente da fonti ufficiali quali le statistiche ANPAL del Progetto Excelsior [53], si ottengono le previsioni del numero di addetti ed occupati per settore ATECO per ciascun comune in funzione della composizione della struttura produttiva comunale [28]; le variazione degli studenti sono ottenute in relazione alle proiezioni demografiche e dei tassi di iscrizione universitaria Fondazione Agnelli [54]. A partire da tali previsioni è possibile quantificare il numero di attivi (popolazione che lavora o studia) e dei non attivi per comune e fasce di età.

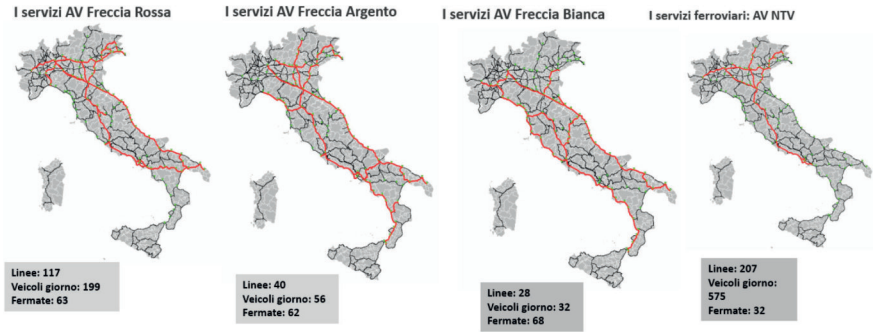

Figura 11 – La rete dei servizi ferroviari AV di Trenitalia e NTV – ottobre 2019.
Figure 11 – Network of Trenitalia and NTV HS railway services – October 2019.

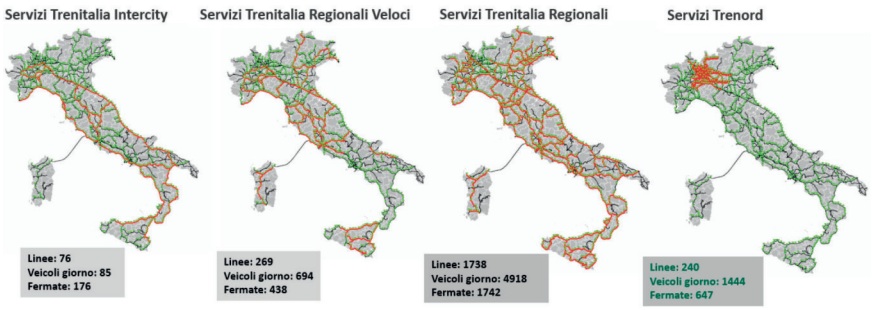

Figura 12 – La rete dei servizi ferroviari IC e Regionali Trenitalia e Trenord – ottobre 2019.
Figure 12 – Network of Trenitalia and Trenord IC and Regional railway services – October 2019.

ables is prodromal to the application of the demand model in future scenarios. The module for calculating exogenous variables, integrated, and dialoguing with the national generation model, consists of three sub-modules:

- *Calculation module for updating exogenous demographic variables: it estimates the variations of the municipal population by age groups based on ISTAT regional demographic forecasts [52]*

- Modulo di aggiornamento delle variabili esogene degli *smart workers*: in considerazione dei cambiamenti dei comportamenti di mobilità seguiti alla pandemia stima la quota di occupati comunali per Settore ATECO in smart working negli scenari futuri, sulla base del fenomeno osservato [55][56][57], e delle previsioni ufficiali dei lavoratori che saranno coinvolti nel lavoro da remoto per categoria macro economica dei settori ATECO [58][59][60][61].

In particolare, i dati dell'indagine *Audimob* dal 2020 consentono di monitorare con l'introduzione di nuove variabili di indagine i comportamenti dei lavoratori in remoto, consentendo di valutare la necessità di intervenire sui parametri di mobilità.

3.4. Il modelli nazionali di generazione della domanda

I parametri del modello di generazione di MLP sono stati stimati con i microdati dell'indagine Audimob cumulati su tre annualità (2017-2019). Da 48.000 interviste stati estratti le osservazioni degli utenti che hanno effettuato spostamenti extra-urbani di almeno 80 km nel giorno e nella settimana precedente all'intervista. Il modello disaggregato per fasce di utenti omogenei ha richiesto la specificazione di indici procapite per quattro motivi di viaggio (lavoro/affari; studio; affari personali; svago; ed insieme vacanza ed altro). La segmentazione è stata condotta per fasce omogenee anagrafiche della popolazione distinta in attiva, se occupata o studente, e non attiva per le altre condizioni professionali, in considerazione della classe di accessibilità del comune di residenza secondo la definizione SNAI. La formulazione adottata dal modello di generazione per stimare la domanda di viaggio per il motivo *s* è di tipo indice per categoria [5]:

$$d_s[o_k] = \sum_i (n^i[o_k] \cdot p^{\,i_attivi}[o_k] \cdot x_s^{\,i_attivi_k} + n^i[o_k] \cdot p^{\,i_non\ attivi}[o_k] \cdot x_s^{\,i_non\ attivi_k}) \quad (1)$$

$$d[o_k] = \sum_s d_s[o_k] \quad (2)$$

Dove,

$d_s[o_k]$ sono gli spostamenti complessivi di almeno 80 km generati da tutta la popolazione *n* residente nel comune *o* di accessibilità k per motivo *s*;

$d[o_k]$ gli spostamenti generati in o dalla popolazione residente per tutti i motivi

k classe di accessibilità del comune (polo, cintura, intermedio, periferico/ultraperiferico) nota perché definita da ISTAT per la SNAI [35];

$n^i[o_k]$ i residenti di classe anagrafica *i* (14-19, 20-24; 25-29, 30-64, 65-74, 75-84) residente nel comune *"o"* di accessibilità *k* il dato è noto ed è rilasciato annualmente da ISTAT;

- *Calculation module for updating the variables of active persons (employed, students) and employees: based on official estimates of expected percentage changes in GDP, [number of employees, employed, students aggregated at the regional level and by ATECO macro sector], periodically made available by official sources such as the ANPAL statistics of the Excelsior Project [53], forecasts of the number of employees and employees by ATECO sector for each municipality are obtained according to the composition of the municipal production structure [28]; the variations of students are obtained in relation to demographic projections and Agnelli Foundation university enrolment rates [54]. The number of active (population working or studying) and non-active persons by municipality and age groups can be quantified from the forecasts.*
- *Module for updating the exogenous variables of smart workers: in consideration of the changes in mobility behaviours following the pandemic, it estimates the share of municipal employees by ATECO Sector in smart working in future scenarios, based on the observed phenomenon [55][56][57], and the official forecasts of workers who will be involved in remote work by macroeconomic category of the ATECO sectors [58][59][60][61].*

In particular, the data of the Audimob survey from 2020 allow monitoring the behaviours of remote workers with the introduction of new survey variables, hence allowing to evaluate the need to intervene on mobility parameters.

3.4. National demand generation models

The parameters of the MLP generation model were estimated with the microdata of the Audimob survey accumulated over three years (2017-2019). The observations of users who made suburban trips of at least 80 km on the day and in the week prior to the interview were extracted from 48000 interviews. The model disaggregated by homogeneous user groups required the specification of per capita indices for four reasons of travel (work/business; study; personal business; leisure; and holiday and other). Segmentation was carried out by homogeneous registry ranges of the population distinguished in active, if employed or student, and inactive for other professional conditions, in consideration of the accessibility class of the municipality of residence according to the SNAI definition. The formulation adopted by the generation model to estimate travel demand for reason s is the index by category type [5]:

$$d_s[o_k] = \sum_i (n^i[o_k] \cdot p^{\,i_attivi}[o_k] \cdot x_s^{\,i_attivi_k} + n^i[o_k] \cdot p^{\,i_non\ attivi}[o_k] \cdot x_s^{\,i_non\ attivi_k}) \quad (1)$$

$$d[o_k] = \sum_s d_s[o_k] \quad (2)$$

Where,

$d_s[o_k]$ *are the total trips of at least 80 km generated by the entire population n resident in the municipality o of accessibility k for reason s;*

$\mathbf{p}^{\text{i_attivi}}[\mathbf{o_k}]$ la percentuale dia popolazione attiva (lavoratori e/o studenti) della classe anagrafica *i*, funzione dei livelli di occupazione e della partecipazione allo studio studenti, essa è variabile territorialmente stimata inizialmente per la media Italia e poi per i comuni di accessibilità k per macro-aree del Paese (Nord Ovest, Nord Est, Centro e Sud Italia) con i dati storici ISTAT e dell'Osservatorio Audimob;

$\mathbf{p}^{\text{i_non attivi}}[\mathbf{o_k}]$ l'incidenza della popolazione non attiva, ovvero che non lavora e non studia nella classe anagrafica *i*, è complementare di quella attiva;

$\mathbf{x_s}^{\text{i_attivi_k}}$ indici giornalieri di generazione pro-capite degli spostamenti di almeno 80 km per motivo *s* della classe anagrafica *i* ed attiva (occupata o studente) residente in un comune di accessibilità *k;*

$\mathbf{x_s}^{\text{i_non attivi_k}}$ indici giornalieri di generazione pro-capite degli spostamenti di almeno 80 km per motivo *s* della classe anagrafica *i* e non attiva residente in un comune di accessibilità *k*.

In Tab. 2 sono riportati a titolo di esempio i 6 indici giornalieri degli spostamenti di MLP (media Italia) per svago stimati per le 6 categorie di popolazione omogenea residenti in un comune polo. Dalla distribuzione della struttura anagrafica e dall'incidenza di attivi (occupati e studenti) per singola fascia anagrafica funzione dei tassi di occupazione territoriale nei comuni polo delle diverse regioni dipende la stima complessiva dei volumi di domanda per tutti i motivi.

Negli scenari previsivi, le variabili esogene (popolazione per classe di età, e l'incidenza degli attivi) come descritto nel paragrafo precedente sono aggiornati in considerazione delle ipotesi di variazione demografiche segmentate per classe di età rilasciate da ISTAT, e delle proiezioni attese per settore produttivo ATECO di variazione degli occupati e delle quote di lavoratori mobili per la diffusione dello smart-working.

Il modello di generazione restituisce per tutti i comuni italiani il numero degli spostamenti *d*, di almeno 80 km,

$\boldsymbol{d[o_k]}$ *the trips generated in or by the resident population for all reasons;*

$\boldsymbol{k}$ *accessibility class of the municipality (centre, belt, intermediate, peripheral/ ultraperipheral) known because defined by ISTAT for SNAI [35];*

$\boldsymbol{n^i\,[o_k]}$ *residents of master class i (14-19, 20-24; 25-29, 30-64, 65-74, 75-84) resident in the k accessibility "o" municipality the data is known and is issued annually by ISTAT;*

$\boldsymbol{p^{\,i_active}\,[o_k]}$ *the percentage of active population (workers and/or students) of master class i, depending on the levels of employment and student participation in the study, it is a territorial variable initially estimated for the Italy's average and then for the municipalities of accessibility k by macro-areas of the country (North West, North East, Central and Southern Italy) with historical data from ISTAT and the Audimob Observatory;*

$\boldsymbol{p^{\,i_inactive}\,[o_k]}$ *the incidence of the inactive population, that is, not working and not studying in the master class i, is complementary to the active one;*

$\boldsymbol{x_s^{\,i_active_k}}$ *daily indices of per-capita generation of journeys of at least 80 km for reason s of master class i and active (employed or student) resident in a municipality of accessibility k;*

$\boldsymbol{x_s^{\,i_inactive_k}}$ *daily indices of per-capita generation of journeys of at least 80 km for reason s of the master registry class i and inactive resident in a municipality of accessibility k.*

Tab. 2 shows by way of example the 6 daily indices of the movements of MLPs (Italy's average) for leisure estimated for the 6 categories of homogeneous population residing in a common centre. The overall estimate of demand volumes for all reasons depends on the distribution of the data structure and the incidence of active persons (employed and students) by individual data group, depending on the territorial employment rates in the municipalities of the different regions.

In the forecast scenarios, the exogenous variables (population by age class, and the incidence of active persons) as described in the previous paragraph are updated in consideration of the assumptions of demographic variation segmented by age class issued by ISTAT, and the expected projections by ATECO production sector of variation of employed persons and quotas of mobile workers for the diffusion of smart working.

The generation model returns the number of trips d, of at least 80 km, for

Tabella 2 – *Table 2*

Indici giornalieri di generazione pro-capite degli spostamenti di MLP per il motivo svago per classe di età dei residenti in un comune di classe polo

Daily per-capita generation indices of MLP trips by leisure reason by class of residents in a centre class municipality

Svago MLP ***MLP Leisure***	**Classe di età** ***Age Group***					
	14-19	***20-24***	***25-29***	***30-64***	***65-74***	***75-84***
$x_{svago}^{\text{i_attivi (polo)}}$ $x_{leisure}^{\text{i_active (centre)}}$	0,0032	0,0122	0,0103	0,0060	0,0061	0,0012

generati per sei motivi di viaggi da ciascuna delle categorie di utenti in cui sono disaggregati i residenti. I dati comunali che ricadono in una unica zona di traffico sono aggregati e quelli delle aree metropolitane suddivisi, in modo proporzionale al peso delle sezioni censuari che compongono le sub-aree, per ottenere la domanda generata delle 911 zone nazionali. Il modello di generazione così formulato restituisce il vettore del numero di spostamenti maggiori di 80 km generato per motivo, classe di età e condizione professionale, sensibile alla struttura anagrafica, ai tassi di occupazione e studio per fascia di età, ed alla accessibilità degli utenti ai poli dei servizi.

Il modello di generazione di MLP è complementare al modello di generazione della domanda locale, che è stato calibrato attingendo a tutti gli spostamenti quotidiani *d* rilevati dal diario di bordo giornaliero di *Audimob* (con eccezione della mobilità degli individui che effettuano solo spostamenti inferiori ai 5 minuti a piedi). La formulazione del modello di generazione della mobilità locale è simile a quella del modello di generazione MLP, si differenzia per la classe dei motivi che generano gli spostamenti locali quotidiani (lavoro, studio, gestione familiare, svago, altro e ritorno a casa), e nell'introduzione tra le aliquote della popolazione mobile $pm\ [o_k]^{i_attiva}$ per profilo socio-anagrafico omogeneo:

$$d_{s_loc}[o_k] = \sum_i (n^i[o_k] \cdot p^{i_attivi}[o_k] \cdot pm^{i_attiva}[o_k] \cdot x_{s_loc}^{i_attivi_k} + n^i[o_k]\, p^{i_non\ attivi}[o_k] \cdot pm^{i_non\ attiva}[o_k] \cdot x_{s_loc}^{_non\ attivi_k}) \quad (3)$$

In particolare le variabili: $\mathbf{k,\ n^i[o_k],\ p[o_k]^{i_attivi},\ p[o_k]^{i_non\ attivi}}$ hanno lo stesso significato descritto per il modello di generazione di MLP.

Mentre le altre variabili indicano:

$\mathbf{d_{s_loc}\ [o_k]}$ gli spostamenti *locali* per motivo *s* generati dalla popolazione residente nel comune *o* di accessibilità *k*, la domanda complessiva generata da o è ottenuta come somma di tutti i motivi s generati dai residenti;

$\mathbf{pm\ [o_k]^{i_attiva}}$ l'incidenza della popolazione mobile, popolazione che quotidianamente esce di casa, per classe anagrafica *i* attiva residente in un comune di accessibilità k;

$\mathbf{pm\ [o_k]^{i_non\ attiva}}$ incidenza della popolazione mobile per la classe anagrafica i, non attiva e residente in un comune di accessibilità k;

$\mathbf{x_{s_loc}^{i_attivi_k}}$ indici giornalieri di generazione pro-capite degli spostamenti locali per motivo *s* dalla classe anagrafica *i* e attiva (occupata o studente) residente in un comune di accessibilità k;

$\mathbf{x_{s_loc}^{i_non\ attivi_k}}$ indici di generazione pro-capite degli spostamenti locali per motivo *s* dalla classe anagrafica *i* e non attiva residente in un comune di accessibilità *k*.

all Italian municipalities generated for six reasons of travel by each of the categories of users in which the residents are disaggregated. The municipal data that fall into a single traffic zone are aggregated and those of the metropolitan areas divided, in proportion to the weight of the census sections that make up the sub-areas, to obtain the demand generated by the 911 national zones. The generation model thus formulated returns the vector of the number of journeys greater than 80 km generated by reason, age class and professional condition, sensitive to the data structure, employment, and study rates by age group, and to the accessibility of users to the service centres.

The MLP generation model is complementary to the local demand generation model, which has been calibrated by drawing from all daily journeys from Audimob 's daily logbook (with the exception of the mobility of individuals who only make journeys of less than 5 minutes on foot). The formulation of the local mobility generation model is similar to that of the MLP generation model, it differs by the class of reasons that generate daily local travel (work, study, family management, leisure, other and return home), and in the introduction between the rates of the mobile population $mp\ [o_k]_i^{_active}$ *per homogeneous social and personal profile:*

$$d_{s_loc}[o_k] = \sum_i (n^i[o_k] \cdot p^{i_attivi}[o_k] \cdot pm^{i_attiva}[o_k] \cdot x_{s_loc}^{i_attivi_k} + n^i[o_k]\, p^{i_non\ attivi}[o_k] \cdot pm^{i_non\ attiva}[o_k] \cdot x_{s_loc}^{_non\ attivi_k}) \quad (3)$$

In particular, the variables: $\mathbf{k,\ n^i[o_k],\ p[o_k]^{i_active},\ p[o_k]^{i_inactive}}$ *have the same meaning described for the MLP generation model.*

While the other variables indicate:

$\mathbf{d_{s_loc}\ [o_k]}$ *local journeys for reason s generated by the resident population in the municipality o with k accessibility, the total demand generated by o is obtained as a sum of all reasons s generated by residents;*

$\mathbf{pm\ [o_k]^{i_activate}}$ *the incidence of the mobile population, population that leaves the house daily, by class of i active resident in a municipality of accessibility k;*

$\mathbf{pm\ [o_k]^{i_inactive}}$ *incidence of the mobile population for the registry class i, inactive and residing in a k accessibility municipality;*

$\mathbf{x_{s_loc}^{i_active_k}}$ *daily indices of per capita generation of local journeys by reason s by the master data class i and active (employed or student) resident in an accessibility municipality k;*

$\mathbf{x_{s_loc}^{i_inactive_k}}$ *indices of per capita generation of local journeys for reason s by the master registry class i and inactive resident in an accessibility municipality k.*

The output of the daily journey generation model returns the vector of all daily local trips (intra-communal and extra-communal) disaggregated by age class and for reasons gen-

L'output del modello di generazione degli spostamenti quotidiani restituisce il vettore di tutti gli spostamenti locali quotidiani (intracomunale ed extra-comunale) disaggregata per classe di età e per motivi generati dai residenti di tutti i comuni italiani. Con step successivi si stima per singola regione la componente extra-comunale interna alla regione per motivo degli spostamenti, in relazione alla classe di accessibilità comunale (polo, cintura, intermedio, periferico e ultraperiferico) del livello effettivo dell'offerta di servizi scolastici, sanitari, del numero di addetti, dei dati storici del pendolarismo e delle statistiche di Audimob per gli spostamenti non sistematici. Il vettore degli spostamenti extra-comunali stimato alimenta i modelli di distribuzione gravitazionali e di scelta modale disaggregati per motivo delle regioni italiane non oggetto di questo articolo.

3.5. Il modello di distribuzione

Non sono molte le applicazioni di modelli di distribuzione per la media e lunga percorrenza, per la difficoltà di avere delle OD osservate da indagini, nella pratica operativa si procede attraverso le espansioni di matrici esistenti [62], ancora meno diffuse le esperienze bibliografiche derivante dall'integrazione dei dati segnali telefonici per la distribuzione e scelta modale [63]. La formulazione funzionale adottata per il modello di distribuzione nazionale di media e lunga percorrenza è di tipo gravitazionale basato sulla teoria di Newton, e calibrato con l'ausilio delle OD estratte dai dati telefonici:

$$p[d/osh] = \frac{A_d^{\beta_1} \cdot C_{od}^{-\beta_2}}{\sum_{d'} A_{d'}^{\beta_1} \cdot C_{od'}^{-\beta_2}} \qquad (4)$$

Dove *p,* la probabilità di scelta della destinazione dello spostamento che ha origine nella zona *o* per il motivo *s* nel tempo *h,* è inversamente proporzionale al costo C_{od} per raggiungere la destinazione *d* e direttamente proporzionale all'attrazione A_d esercitata dalla destinazione *d, con β1* e *β2* sono i parametri del modello differenziati per classe di Attrattività della zona.

L'attributo di costo C_{od} impiegato nel modello sintetizza il tempo di viaggio medio interzonale via strada come somma del tempo medio di viaggio tra le zone, stimato attraverso il grafo stradale del modello di offerta ed il tempo di egresso, ed il tempo di accesso agli archi connettori dei centroidi delle zone di traffico al grafo stradale funzione della struttura insediativa della singola zona.

È stata calcolata anche la matrice 911x911 delle distanze in km per escludere dall'algoritmo di distribuzione le coppie con distanza interzonale inferiore agli 80 km.

Sono stati specificati 4 modelli di distribuzione, in ciascuno di esso la capacità attrattiva zonale d è stata valutata con attributi differenziati per motivo di viaggio. In particolare si è tenuto conto:

erated by residents of all Italian municipalities. With subsequent steps, the extra-municipal component within the region is estimated for each region by reason of travel, in relation to the municipal accessibility class (centre, area, intermediate, peripheral and ultraperipheral) of the actual level of the offer of school, health services, number of employees, historical data of commuting and Audimob statistics for non-systematic travel. The estimated extra-communal travel vector feeds the gravitational distribution and modal choice models disaggregated by reason of the Italian regions not covered by this article.

3.5. Distribution Model

There are not many applications of distribution models for medium and long distance, due to the difficulty of having ODs observed by surveys, in operational practice we proceed through the expansions of existing matrices [62], the bibliographic experiences deriving from the integration of telephone signal data for distribution and modal choice are even less widespread [63]. The functional formulation adopted for the national distribution model of medium and long distance is gravitational based on Newton's theory, and calibrated with the help of the OD extracted from the telephone data:

$$p[d/osh] = \frac{A_d^{\beta_1} \cdot C_{od}^{-\beta_2}}{\sum_{d'} A_{d'}^{\beta_1} \cdot C_{od'}^{-\beta_2}} \qquad (4)$$

Where p, the probability of choice of the destination of the journey originating in the area o for the reason s in time h, is inversely proportional to the cost C_{od} to reach the destination d and directly proportional to the attraction A_d exerted by the destination d, with β1 and β2 are the model parameters differentiated by class of attractiveness of the area.

The C_{od} cost attribute used in the model summarises the average cross-zonal travel time by road as the sum of the average travel time between the areas, estimated through the road graph of the offer model and the egress time, and the access time to the connecting arcs of the centres of the traffic areas to the road graph function of the settlement structure of the individual area.

The 911x911 matrix of distances in km was also calculated to exclude pairs with an interzonal distance of less than 80 km from the distribution algorithm.

Four distribution models were specified, in each of them the zonal attractiveness d was evaluated with differentiated attributes for travel reasons. In particular, the following were considered:

- *for study, the number of students enrolled in universities;*
- *for work, the number of employees involved in extraction support services; wholesale and retail trade, repair of motor vehicles and motorcycles; transport and storage; accommodation and catering services; information*

– per lo studio, del numero di studenti iscritti alle università;
– per il lavoro, del numero di addetti ai servizi di supporto all'estrazione; commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli e motocicli; trasporto e magazzinaggio; attività dei servizi di alloggio e di ristorazione; servizi di informazione e comunicazione; attività finanziarie e assicurative; attività immobiliari; attività professionali, scientifiche e tecniche; noleggio, agenzie di viaggio, servizi di supporto alle imprese; istruzione; sanità e assistenza sociale; attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento; altre attività di servizi;
– per gli affari privati, del numero degli addetti relativo alle attività che forniscono servizi alle famiglie e agli individui quali attività manifatturiere; commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli e motocicli; attività professionali, scientifiche e tecniche; sanità e assistenza sociale; altre attività di servizi;
– per il turismo, svago ed altro, del numero di addetti di attività dei servizi di alloggio e di ristorazione; noleggio, agenzie di viaggio, servizi di supporto alle imprese; attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento. I posti letto degli esercizi ricettivi.

Per ciascuna motivazione di viaggio di media e lunga percorrenza è stato costruito un modello territoriale di attrattività dell'intero territorio nazionale che ha consentito di definire, in relazione alla distribuzione in classi di valori degli attributi specifici sopra elencati, una gerarchia nazionale di attrattività strutturata in 5 livelli (*S, A, B, C e D*) decrescenti (Fig. 13). La gerarchia più alta *S* identifica i poli con capacità attrattiva dei viaggi di media e lunga percorrenza macroregionale e sovra-nazionale.

Il modello di distribuzione nazionale è stato calibrato con l'ausilio della matrice OD degli spostamenti giornalieri complessivi sopra gli 80 km estratta dai dati di telefonia mobile, che sintetizza la struttura gerarchica delle relazioni intessute sul territorio.

I parametri β dei quattro sub-modelli di distribuzione nazionale specificati per singolo motivo e per classe gerarchica della zona di destinazione sono stati calibrati minimizzando gli scarti dei minimi quadrati ottenuti come differenza tra la matrice OD Vodafone interzonale e la matrice di MLP ottenuta come sommatoria delle OD per i seguenti motivi: studio, lavoro e affari, affari privati e turismo e svago stimate con i relativi modelli di distribuzione.

Per la validazione sono stati calcolati per le due matrici complessiva da Modello e Vodafone i relativi coefficienti distributivi come rapporto tra la domanda delle coppie OD (ij) e la domanda di riferimento complessiva, ovvero:

and communication services; financial and insurance activities; real estate activities; professional, scientific and technical activities; rental, travel agencies, business support services; education; health and social care; artistic, sports, entertainment and amusement activities; other service activities;
– *for private business, the number of employees related to activities providing services to households and individuals such as manufacturing activities; wholesale and retail trade, repair of motor vehicles and motorcycles; professional, scientific and technical activities; health and social care; other service activities;*
– *for tourism, leisure and other activities, the number of employees of accommodation and catering services; rental, travel agencies, business support services; artistic, sports, entertainment, and amusement activities. The beds of the accommodation establishments.*

For each medium and long-distance travel motivation, a territorial model of attractiveness of the entire national territory was built, which allowed defining a national hierarchy of attractiveness structured in 5 decreasing levels (S, A, B, C and D), in relation to the distribution in classes of values of the specific attributes listed (Fig.13) above. The highest hierarchy S identifies the centres with attractiveness of medium and long macro-regional and supra-national journeys.

The national distribution model was calibrated with the help of the OD matrix of the total daily journeys of over 80 km extracted from mobile phone data, which summarises the hierarchical structure of the connections woven on the territory.

The β parameters of the four national distribution sub-models specified by individual reason and by hierarchical class of the destination area were calibrated by minimising the minimum square deviations obtained as the difference between the Vodafone interzonal OD matrix and the MLP matrix obtained as a sum of the ODs for the following reasons: study, work and business, private business and tourism and leisure estimated with the relevant distribution models.

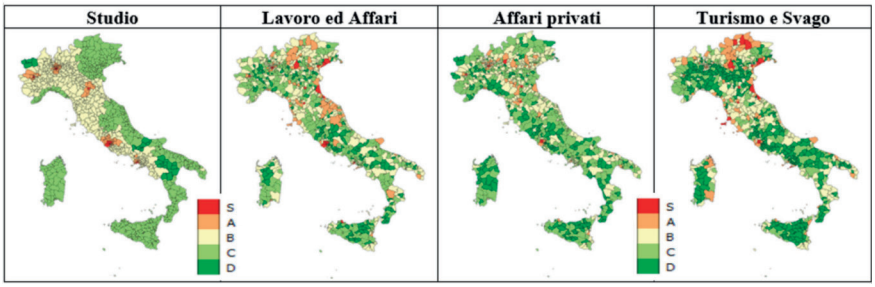

Figura 13 – Classificazione gerarchica delle capacità di attrazione zonale per motivo dei viaggi di media e lunga percorrenza.
Figure 13 – Hierarchical classification of zonal attraction capacities by reason of medium and long-distance trips.

$$p_{ij} = d_{ij} / \sum_i \sum_j d_{ij} \quad (5)$$

$$p_{ij_vfn} = d_{ij_vfn} / \sum_i \sum_j d_{ij_vfn} \quad (6)$$

dove

d_{ij} domanda media giornaliera ottenuta come somma dei viaggi per tutti i motivi s dalla zona i alla j stimata con i modelli di distribuzione di MLP comprensivi degli spostamenti di ritorno;

d_{ij_vfn} domanda dalla zona i alla j stimata con i segnali telefonici da Vodafone tra i e j.

L'indicatore GEH del modello di distribuzione stimato confrontando i coefficienti p_{ij} di distribuzione della matrice OD con quelli p_{ijvfn} della matrice Vodafone (entrambe amplificate per un coefficiente pari a 1.000, in modo da evitare che la convergenza fosse legata alla dimensione dei valori essendo compresi tra 0 e 1) è pari a 95,63%, quindi soddisfacente.

Il GEH, invece, ottenuto confrontando i flussi d_{ij} e d_{ij_vfn} assume un valore pari a 71,87%, dato interessante considerando che i valori inferenziali telefonici necessitano di ulteriori approfondimenti prima di poter essere assunti ad universo della domanda.

3.6. Il modello di scelta modale di MLP

Il Modello di scelta modale stima la probabilità p[m/ods] che un utente si rechi dalla zona o alla zona d per il motivo s usando il modo m in considerazione di espressioni di utilità aleatoria [64] che sono funzioni semplificate di attributi del livello di servizio e socio-economici del motivo di viaggio.

Il modello utilizzato per la scelta modale di MLP passeggeri è di tipo Logit Multinomiale, sul quale esiste una ricca e numerosa bibliografia letteratura nazionale ed internazionale soprattutto in ambito urbano, meno ricca quella della MLP [5][65]. Per la formulazione del modello si è scelto di esplicitare nella funzione di utilità solo gli attributi specifici del livello di servizio quali: il tempo complessivo di viaggio t_{ij_mi}, il costo economico del viaggio c_{ij_mi} e la frequenza del servizio per la modalità ferroviaria f_{ij_mi}.

$$p[m/ods] = \frac{\exp(V_{m/ods})}{\sum_m \exp(V_{m/ods})} = \frac{\exp(\beta_{t_{ij_mi}} \cdot t_{ij_mi} + \beta_{c_{ij_mi}} \cdot c_{ij_mi} + \beta_{f_{ij_mi}} \cdot f_{ij_mi} + ASA_{mi})}{\sum_{mi} \exp(\beta_{t_{ij_mi}} \cdot t_{ij_mi} + \beta_{c_{ij_mi}} \cdot c_{ij_mi} + \beta_{f_{ij_mi}} \cdot f_{ij_mi} + ASA_{mi})} \quad (7)$$

I parametri β_{tij_mi}, β_{cij_mi}, β_{fij_mi} e $\mathbf{ASA}_{mi}$ del modello di scelta modale sono stati calibrati per motivazione del viaggio applicando il metodo della massima verosimiglianza. Partendo dalle scelte di viaggio modali e per motivo effettuati per gli spostamenti di almeno 80 km dal campione dell'indagine Audimob, dopo aver stimato i tempi e costi con il modello di offerta multimodale, è stata costruita la funzione di verosimiglianza impostando tutti i parametri β sul valore nullo. Massimizzando tale funzio-

For the validation, the relative distribution coefficients were calculated for the two matrices overall by Model and Vodafone as the ratio between the demand for the OD pairs (ij) and the overall reference demand, namely:

$$p_{ij} = d_{ij} / \sum_i \sum_j d_{ij} \quad (5)$$

$$p_{ij_vfn} = d_{ij_vfn} / \sum_i \sum_j d_{ij_vfn} \quad (6)$$

where

d_{ij} *average daily demand obtained as the sum of journeys for all reasons s from zone i to j estimated with the MLP distribution models including return journeys;*

d_{ij_vfn} *demand from zone i to j estimated with telephone signals from Vodafone between i and j.*

The GEH indicator of the estimated distribution model comparing the distribution coefficients p_{ij} of the OD matrix with those p_{ijvfn} of the Vodafone matrix (both amplified by a coefficient equal to 1000, in order to avoid that the convergence was linked to the size of the values being between 0 and 1) is equal to 95.63%, therefore satisfactory.

The GEH, on the other hand, obtained by comparing the flows d_{ij} and d_{ij_vfn} assumes a value of 71.87%, an interesting figure considering that the telephone inferential values need further analysis before they can be assumed in the demand universe.

3.6. MLP Modal Choice Model

The Modal Choice Model estimates the probability p[m/ods] that a user will travel from zone o to zone d for the reason s using mode m in consideration of random utility expressions [64] which are simplified functions of service level and socio-economic attributes of the reason for travel.

The model used for the modal choice of passenger MLPs is of the Multinomial Logit type, on which there is a rich and numerous bibliography of national and international literature especially in the urban area, that of the MLP is not as rich [5][65]. For the formulation of the model, it was chosen to specify only the specific attributes of the service level in the utility function such as: the total travel time t_{ij_mi}, the economic cost of the trip c_{ij_mi} and the frequency of the service for the railway mode f_{ij_mi}.

$$p[m/ods] = \frac{\exp(V_{m/ods})}{\sum_m \exp(V_{m/ods})} = \frac{\exp(\beta_{t_{ij_mi}} \cdot t_{ij_mi} + \beta_{c_{ij_mi}} \cdot c_{ij_mi} + \beta_{f_{ij_mi}} \cdot f_{ij_mi} + ASA_{mi})}{\sum_{mi} \exp(\beta_{t_{ij_mi}} \cdot t_{ij_mi} + \beta_{c_{ij_mi}} \cdot c_{ij_mi} + \beta_{f_{ij_mi}} \cdot f_{ij_mi} + ASA_{mi})} \quad (7)$$

The parameters β_{tij_mi}, β_{cij_mi}, β_{fij_mi} and $\mathbf{ASA}_{mi}$ of the modal choice model were calibrated by travel reason using the maximum likelihood method. Starting from the modal travel choices and for reason made for journeys of at least 80 km from the sample of the Audimob survey, after estimating the times and costs with the multimodal offer model, the likelihood function was built by setting all the β

ne sono stati stimati i parametri del modello nazionale di scelta modale per le tre classi di motivo lavoro, studio e per tutti gli altri motivi.

La costruzione di funzioni di utilità per la valutazione della competitività modale per ogni coppia OD ha assunto un ruolo centrale nel processo di calibrazione ed applicazione del modello di scelta modale (Fig. 14). In particolare, il modello di offerta multimodale, implementato in ambiente Visum [66], ha contribuito per le cinque alternative modali dei passeggeri di MLP a stimare per singola relazione OD i relativi attributi di servizio prima indicati:

– Modo privato auto:
  - tempo medio di viaggio interzonale tra le zone di traffico, comprensivo dei tempi di accesso ed egresso interni alla zona;
  - costo medio interzonale, stimato sulla base dei consumi medi del mezzo privato e del pedaggio autostradale.
– Modo collettivo extra-urbano su gomma:
  - tempo medio interzonale, come somma del tempo di viaggio a bordo stimato dagli orari dei servizi Flixibus ed i tempi medi di egresso e di accesso riferiti all'arco connettore;
  - costo medio della tariffa del servizio extra-urbano interzonale, stimato per macroarea geografica consultando i siti web dei principali operatori su gomma.

parameters to zero. By maximising this function, the parameters of the national modal choice model were estimated for the three categories of work, study and for all other reasons.

The construction of utility functions for the assessment of modal competitiveness for each OD pair has assumed a key role in the process of calibration and application of the modal choice model (Fig. 14). In particular, the multimodal offer model, implemented in the Visum environment [66], has contributed to the five modal alternatives of MLP passengers to estimate the relative service attributes indicated above for each OD connection:

– *Private car mode:*
  - *average interzonal travel time between traffic zones, including access and egress times within the zone;*
  - *cross-zonal average cost, estimated on the basis of average consumption of private vehicles and motorway tolls.*
– *Suburban collective mode on road:*
  - *cross-zonal average time, as the sum of the travel time on board estimated by the schedules of the Flixibus services and the average exit and access times referred to the connector arc;*
  - *average cost of the interzonal suburban service fee, estimated by geographical macro-area by consulting the websites of the main road operators.*

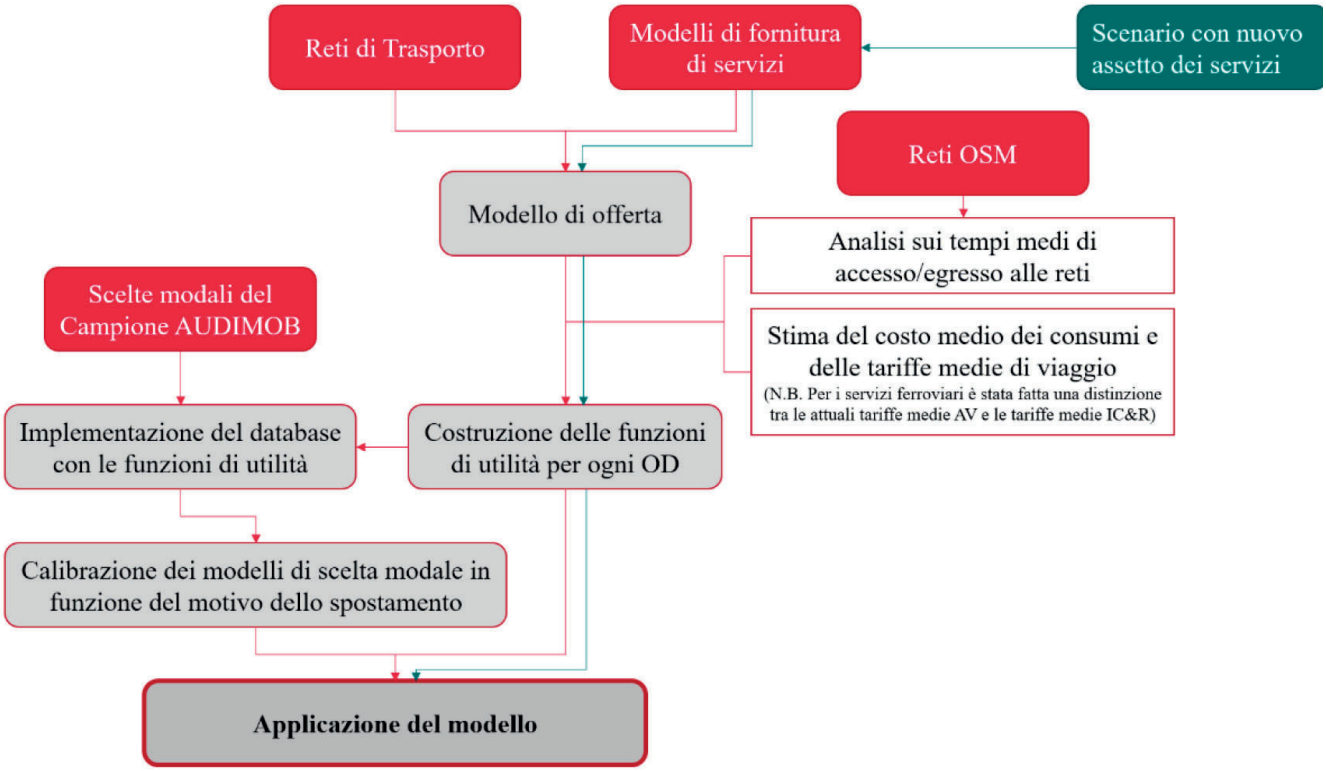

Figura 14 – Il processo di calibrazione e applicazione del modello nazionale di scelta modale.
Figure 14 – Calibration and application process of the national modal choice model.

– Modo treno Alta Velocità:
  - tempo medio interzonale, come somma del tempo a bordo treno del servizio ferroviario AV dai quadri orari in formato GTFS, integrato dal tempo medio di accesso/egresso alle stazioni AV in auto e del tempo medio di attesa alle stazioni AV;
  - costo interzonale, comprensivo del costo tariffario del servizio AV [50] interzonale e dei costi auto per accedere alla stazione o per raggiungere la destinazione finale;
  - frequenza dei servizi ferroviari tra le zone, in considerazione sia dei collegamenti diretti che dei collegamenti con trasbordo.

– Modo treno-IC&R:
  - tempo medio interzonale di viaggio, stimato come somma del tempo a bordo treno relativo al singolo servizio dai quadri orari in formato GTFS, del tempo medio di accesso/egresso alle stazioni e del tempo di attesa speso nei nodi stazioni;
  - costo medio, tiene conto delle tariffe medie del servizio Trenitalia [50] tra coppie di stazioni RFI e dei costi medi auto per l'accesso ed egresso alla stazione;
  - frequenza dei servizi ferroviari tra le zone, in considerazione sia dei collegamenti diretti che dei collegamenti con trasbordo.

– Modo Aereo:
  - tempo medio interzonale del servizio aereo, stimato come sommatoria del tempo necessario per raggiungere l'aeroporto con la modalità auto, del tempo speso all'interno del nodo funzione del rango aeroportuale e del tempo di volo;
  - costo medio interzonale per la modalità aerea, tiene conto sia dei costi tariffari del servizio aereo che dei costi di accesso/egresso dalle zone di traffico ai nodi aeroportuale, tali costi sono stati stimati attraverso un'analisi diretta campionaria dei voli programmati dalle principali compagnie italiane.

I testi di validazione ottenuti dalla calibrazione del modello di scelta modale sono riportati in Tab. 3. Il valore assunto dalla stima del ρ^2 e dalla %Right è soddisfacente sia per il motivo lavoro che per Altri motivi, la calibrazione della scelta modale per le due motivazioni di viaggio ha fatto affidamento su una quantità significativa di osservazioni.

Il modello di scelta modale per motivo studio necessità di ulteriori approfondimenti, i segni dei coefficienti sono coerenti con il significato degli attributi. Gli output complessivi dell'applicazione del modello di scelta modale producono comunque dei tassi di modali aggregati in linea con i risultati attesi. Per il motivo studio si conferma per i viaggi di MLP una maggiore propensione all'utilizzo del

– *High Speed Train Mode:*
  - *average cross-zonal time, as the sum of the time on board the HS train service from the timetables in GTFS format, integrated by the average time of access/exit to the HS stations by car and the average waiting time at the HS stations;*
  - *interzonal cost, including the tariff cost of the HS service [50] interzonal and car costs to access the station or to reach the final destination;*
  - *frequency of rail services between zones, considering both direct connections and transhipment connections.*

– *IC&R train mode:*
  - *average cross-zonal travel time, estimated as the sum of the time on board the train relating to the individual service from the timetables in GTFS format, the average time of access/exit to/from the stations and the waiting time spent in the station hubs;*
  - *average cost, takes into account the average tariffs of the Trenitalia service [50] between pairs of RFI stations and the average car costs for accessing and egressing from the station;*
  - *frequency of railway services between zones, considering both direct connections and transhipment connections.*

– *Airplane mode:*
  - *average cross-zonal flight service time, estimated as the sum of the time required to reach the airport with the car mode, the time spent within the hub depending on the airport rank and flight time;*
  - *average interzonal cost for the air mode, considers both the tariff costs of the flight service and the costs of access/egress from the traffic areas to the airport hubs, these costs have been estimated through a direct sample analysis of the flights scheduled by the main Italian companies.*

The validation texts obtained from the calibration of the modal choice model are reported in Tab. 3. The value as-

Tabella 3 – *Table 3*

I test di validazioni formali del modello di scelta modale delle matrici per le tre classi di motivazione

Formal validation tests of the matrix modal choice model for the three motivation classes

Motivo viaggio ***Reason for travel***	**Numerosità del campione** ***Sample size***	**ρ^2**	**%Right**
Lavoro ***Work***	937	0,54	72,47%
Studio ***Study***	245	0,29	12,24%
Tutti gli Altri Motivi ***All Other Reasons***	3.182	0,63	81,05%

trasporto pubblico, contrariamente alle altre motivazioni. L'applicazione del modello di scelta modale nello stato di fatto per il motivo studio fornisce la seguente ripartizione modale: 20% bus; 23% IC&R; 18% AV e 38% privato auto ed 1% aereo. Invece, per i viaggi di lavoro MLP e tutti gli Altri motivi i tassi auto sono rispettivamente pari al 70% e d al 74%.

3.7. Le procedure di assegnazione della domanda

L'assegnazione delle matrici di domanda sui modelli di offerta rappresenta l'ultimo step della modellazione a quattro stadi. Il flusso (medio) F_k sul percorso k che collega la coppia od è ottenuto dal prodotto tra il flusso di domanda d_{od} corrispondente e la probabilità di scelta del percorso [5]:

$$F_k = d_{od} \cdot p_{od,k}$$

Il modello di assegnazione stima con l'ausilio del software Visum, la distribuzione della domanda tra i percorsi alternativi k offerti dal modello di rete per ogni coppia od in funzione della percezione che hanno gli utenti dei costi sui singoli percorsi alternativi $C_{od,k}$.

L'approccio adottato è quello all'equilibrio probabilistico. Gli utenti si spostano sulla rete scegliendo percorsi di minimo "costo percepito", che in generale per le scelte fatte sullo stesso percorso dagli altri utenti flussi possono essere differenti da quelli riscontrati effettivamente sulla rete (reti congestionate). Il sistema pertanto evolve fino a quando gli utenti riscontrano sulla rete costi d'arco corrispondenti a costi percepiti dall'utente (Fig. 15). Gli algoritmi per la stima dei costi di percorso adottati dalla procedura di assegnazione della domanda di trasporto privato si differenziano da quelli del trasporto pubblico.

La procedura di assegnazione per la domanda privata passeggeri su strada richiede la conversione della matrice in veicoli equivalenti tramite la stima del coefficiente di riempimento medio dei veicoli estratto dall'indagine Audimob per i percorsi di media e lunga distanza. Per la valutazione dei costi di percorso sono adottate le seguenti funzioni di deflusso: la funzione BPR per gli archi, e la *delay function* LOHSE per i nodi [66]. I parametri di deflusso d'arco sono stati stimati da ANAS sulla base delle proprie specifiche esperienze.

L'assegnazione della domanda ferroviaria della matrice di domanda AV è condotta adottando un'assegnazione giornaliera di tipo *Timetable-based* ovvero basata sul quadro orario dei servizi ferroviari. Tramite l'algoritmo *Branch & Bound*, il software Visum genera per ciascuna zona di origine un albero di ricerca dei collegamenti e seleziona analizzando la combinazione dei servizi ferroviari tutte le connessioni adatte per raggiungere la destinazione finale. Viene trovata quindi un insieme di connessioni soddisfacenti sulle quali viene distribuita la domanda in relazione alla funzione di impedenza utilizzata da KIRCHHOFF [66]. Per l'assegnazione della domanda giornaliera

sumed by the estimation of ρ^2 and %Right is satisfactory for both work and other reasons, the calibration of the modal choice for the two travel reasons relied on a significant number of observations.

The modal choice model for study reason needs further investigation, the signs of the coefficients are consistent with the meaning of the attributes. The overall outputs of the application of the modal choice model still produce aggregate modal rates in line with the expected results. For the study reason a greater propensity to use public transport, contrary to other reasons is confirmed for MLP journeys. The application of the modal choice model in the state of fact for the study reason provides the following modal breakdown: 20% bus; 23% IC&R; 18% HS and 38% private car and 1% airplane. On the other hand, for MLP business trips and all other reasons the car rates are 70% and 74% respectively.

3.7. Procedures for assigning the application

Assigning demand matrices on supply models represents the last step of four-stage modelling. The (average) flow F_k on route k linking the od pair is obtained from the product between the corresponding demand flow d_{od} and the probability of choice of route [5]:

$$F_k = d_{od} \cdot p_{od,k}$$

With the help of the Visum software, the assignment model estimates the distribution of demand between the alternative paths k offered by the network model for each od pair according to the perception that users have of costs on the individual alternative paths $C_{od,k}$.

The approach adopted is that of probabilistic equilibrium. Users move on the network choosing routes of minimum "perceived cost", which in general for the choices made on the same route by other users' flows may be different from those actually found on the network (congested networks). The system therefore evolves until users find arc costs on the network corresponding to costs perceived by the user (Fig. 15). The algorithms for estimating route costs adopted by the private transport demand allocation procedure differ from those of public transport.

The allocation procedure for private passenger demand on the road requires the conversion of the matrix into equivalent vehicles by estimating the average vehicle filling coefficient extracted from the Audimob survey for medium and long-distance routes. For the evaluation of route costs, the following outflow functions are adopted: the BPR function for arcs, and the LOHSE delay function for hubs [66]. The arc outflow parameters have been estimated by ANAS based on its own specific experiences.

The railway demand of the HS demand matrix is assigned by adopting a daily assignment of the Timetable-based type, i.e. based on the timetable of the railway services. Through the Branch & Bound algorithm, the Visum software generates a link search tree for each source area

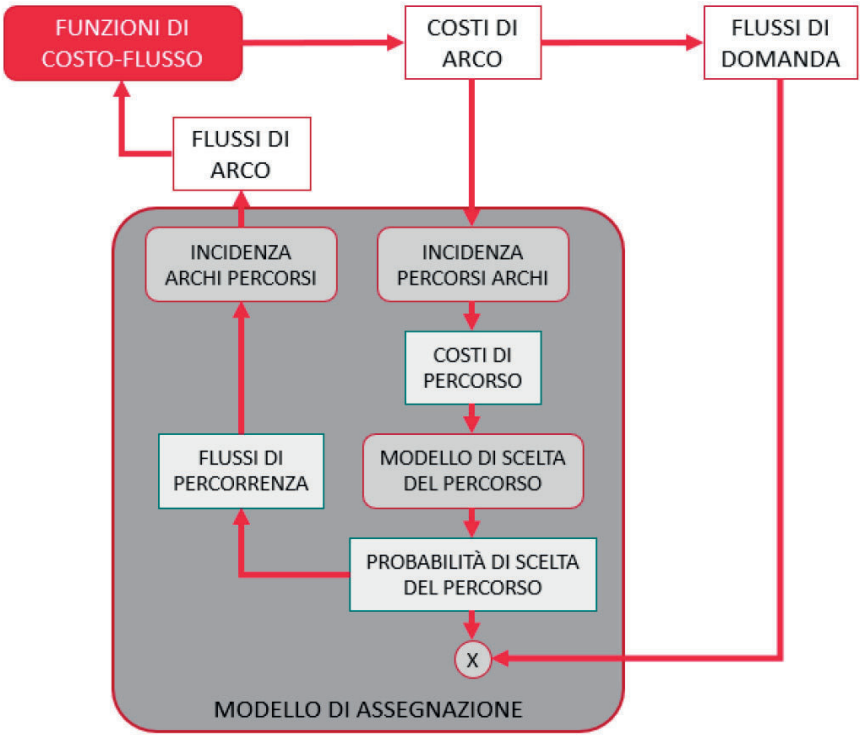

Figura 15 – Schema del modello di assegnazione di equilibrio a domanda rigida [5].

Figure 15 – Diagram of the non-flexible demand equilibrium allocation model [5].

viene definita una distribuzione oraria degli spostamenti attingendo alla distribuzione della domanda AV di Trenitalia osservata dei biglietti stazione-stazione venduti nei giorni feriali del mese di ottobre. L'assegnazione della domanda ferroviaria Passeggeri IC&R adotta la stessa procedura dell'AV, in questo caso in base alla distribuzione oraria della domanda IC di Trenitalia come media dei giorni feriali di ottobre 2019.

Al fine di considerare il contributo della domanda locale sulla rete viaria nazionale, si è effettuato il consolidamento spaziale delle 20 matrici regionali intercomunali stimate a partire dagli output del modello di generazione della domanda locale con i modelli di distribuzione e di scelta modale regionali [44] La procedura si è resa necessaria per ricondurre i flussi intercomunali delle 20 matrici OD regionali ad un'unica matrice interzonale rappresentativa delle 911 zone del modello e nazionale. L'assegnazione complessiva delle matrici di domanda di media e lunga percorrenza e quella locale consente di simulare l'impatto della domanda di mobilità sulle reti al netto della componente intrazonale. Il processo completo di assegnazione sulle reti stradali per la valutazione degli impatti di congestione sulla rete viaria richiederebbe oltre la stima dei veicoli equivalenti generati dal traffico merci, tema su cui il gruppo di ricerca sta lavorando, anche una valutazione almeno per i nodi metropolitani ed i principali poli urbani dei flussi intrazonali.

and selects all the appropriate connections to reach the final destination by analysing the combination of rail services. A set of satisfactory connections is then found over which the demand is distributed in relation to the impedance function used by Kirchhoff [66]. An hourly distribution of movements is defined for the allocation of daily demand, by drawing on the observed Trenitalia HS demand distribution of station-station tickets sold on weekdays in October. The allocation of IC&R Passenger rail demand adopts the same procedure as the HS, in this case based on the hourly distribution of Trenitalia's IC demand as an average of weekdays in October 2019.

In order to consider the contribution of local demand on the national road network, the spatial consolidation of the 20 estimated intercommunal regional matrices was carried out starting from the outputs of the local demand generation model with the regional distribution and modal choice models [44]. The procedure was necessary to reduce the intercommunal flows of the 20 regional OD matrices to a single cross-zonal matrix representative of the 911 model and national zones. The overall allocation of the medium and long-distance demand matrices and the local one allows simulating the impact of mobility demand on the networks net of the intra-zonal component. The complete process of assigning road networks for the assessment of congestion impacts on the road network would require besides the estimation of equivalent vehicles generated by freight traffic, a topic on which the research group is working, also an assessment at least for metropolitan centres and the main urban hubs of intra-zonal flows.

4. Validation and application of the model system

4.1. Factual status at the 2019 base year and validation of the models

In addition to the formal tests already presented, to consider the application of the model sufficiently reliable, an additional validation phase was carried out by comparing the model outputs with similar or detected data not used directly in the calibration.

4.1.1. Application and validation of generation and distribution models

The outputs of the national generation models of local demand and MLP at the 2019 base year provide the inputs that feed distribution, modal choice, and choice of routes for the estimation of modal transport impacts (arc flows,

4. Validazione e applicazione del sistema di modelli

4.1. Lo stato di fatto all'anno base 2019 e la validazione dei modelli

Accanto ai test formali, già presentati, per considerare sufficientemente affidabile l'applicazione del modello è stata condotta un ulteriore fase di validazione tramite il confronto degli output del modello con dati simili o rilevati non utilizzati direttamente nella calibrazione.

4.1.1. Applicazione e validazione dei modelli di generazione e distribuzione

Gli output dei modelli di generazione nazionale della domanda locale e di MLP all'anno base 2019 forniscono gli input che alimentano distribuzione, scelta modale e scelta dei percorsi per la stima degli impatti trasportistici modali (flussi d'arco, passeggeri-km e veicoli-km) oltre a quelli economici, ambientali e sociali. La validazione del Modello di generazione è un'operazione molto delicata in quanto non esistono delle misure dirette di spostamenti generati in un'area, il confronto può essere condotto indirettamente. Ad esempio, confrontando per singolo comune gli spostamenti giornalieri per lavoro simulati dal Modello di Generazione della mobilità locale per il 2019 con i pendolari per lavoro rilevati dal Censimento Permanente ISTAT per lo stesso anno, e analogamente gli spostamenti per studio con gli studenti maggiori di 15 anni. Per i comuni che rappresentano l'85% della popolazione residente in Italia, gli scarti tra le due serie sono inferiori al 15%. Scostamenti superiori al 30% sono poco significativi, interessano comuni che rappresentano l'1% della popolazione italiana (Fig. 16).

I coefficienti di correlazione prossimo ad 1 confermano una forte coerenza del modello di generazione per le due componenti di domanda con i valori osservati dal Censimento Permanente della popolazione 2019 (Fig. 17).

Il confronto aggregato del volume dei viaggi di media e lunga percorrenza stimati dal modello di Generazione di MLP con i viaggi estratti dai segnali telefonici Vodafone evidenzia uno scostamento del 18%, solo in parte spiegato dalla presenza dei viaggi generati dalla popolazione straniera non stimata dal modello nazionale interno. La Banca d'Italia, che in periodo Covid ha provato a sostituire le indagini tradizionali ai valichi con le stime generate dalle SIM telefoniche, ha evidenziato alcuni limiti definitori che non consentono di considerare ancora tutto affidabili i volumi di domanda delle celle stimati inferenzialmente, anche per la difficoltà accertate di distinguere l'utente passeggero dall'operatore del traffico commerciale che può portare ad una amplificazione dei flussi. Nonostante queste criticità, il confronto degli output del modello di distribuzione evidenzia come solo l'1,2% delle coppie OD risultino «*outliers*» (10.071 su 829.921 relazioni OD), di queste coppie lo 0,4% è sovrastimato e lo 0,8% sottostimato. Il confronto dei flussi delle coppie OD (esclusi gli *outliers*) con i rispettivi flussi della matrice estratta dai big

passenger-km and vehicle-km) in addition to economic, environmental and social ones. The validation of the Generation Model is a very delicate operation since there are no direct measurements of journeys generated in an area, the comparison can be conducted indirectly. For example, comparing by individual municipality the daily journeys simulated by the Local Mobility Generation Model for 2019 with commuters for work detected by the ISTAT Permanent Census for the same year, and similarly the trips for study with students over 15 years old. For municipalities representing 85% of the population residing in Italy, the differences between the two series are less than 15%. Variances of more than 30% are insignificant, affecting municipalities that represent 1% of the Italian population (Fig. 16).

The correlation coefficients close to 1 confirm a strong coherence of the generation model for the two demand components with the values observed by the 2019 Permanent Population Census (Fig. 17).

The aggregate comparison of the volume of medium and long-distance journeys estimated by the MLP Generation model with trips extracted from Vodafone telephone signals shows a deviation of 18%, only partly explained by the presence of journeys generated by the foreign population not estimated by the domestic national model. The Bank of Italy, which in the Covid period has tried to replace traditional surveys at the crossings with the estimates generated by telephone SIMs, has highlighted some defining limits that do not yet allow the volumes of demand of the cells estimated inferentially to be considered completely reliable, also due to the difficulty ascertained to distinguish the passenger user from the operator of commercial traffic that can lead to an amplification of flows. Despite these critical issues, the comparison of the outputs of the distribution model shows that only 1.2% of the OD pairs are "outliers" (10,071 out of 829,921 OD connections), of these pairs 0.4% are overestimated and 0.8% underestimated. The comparison of the flows of the OD pairs (excluding the outliers) with the respective flows of the matrix extracted from the telephone big data shows a good correlation with an R^2 equal to 0.87 (Fig. 18).

The graphical comparison between OD outliers connections underestimated by the national model and the OD of the telephone matrix on which only significant foreign flows are detected, highlights a correlation between the two data that partly explains the differences between the two demands (Fig. 19), some analyses highlight however that especially in cross-border areas the use of foreign SIMs is associated with users permanently present in the territory.

4.1.2. Comparison of equivalent vehicle journeys with FCDs and the ANAS monitoring network

The matrix of the medium and long-distance journeys of the cars estimated downstream of the modal choice process in consideration of the average filling coefficients presents a difference of 8.22% compared to the medium and long-distance car matrix estimated by bringing back to the universe

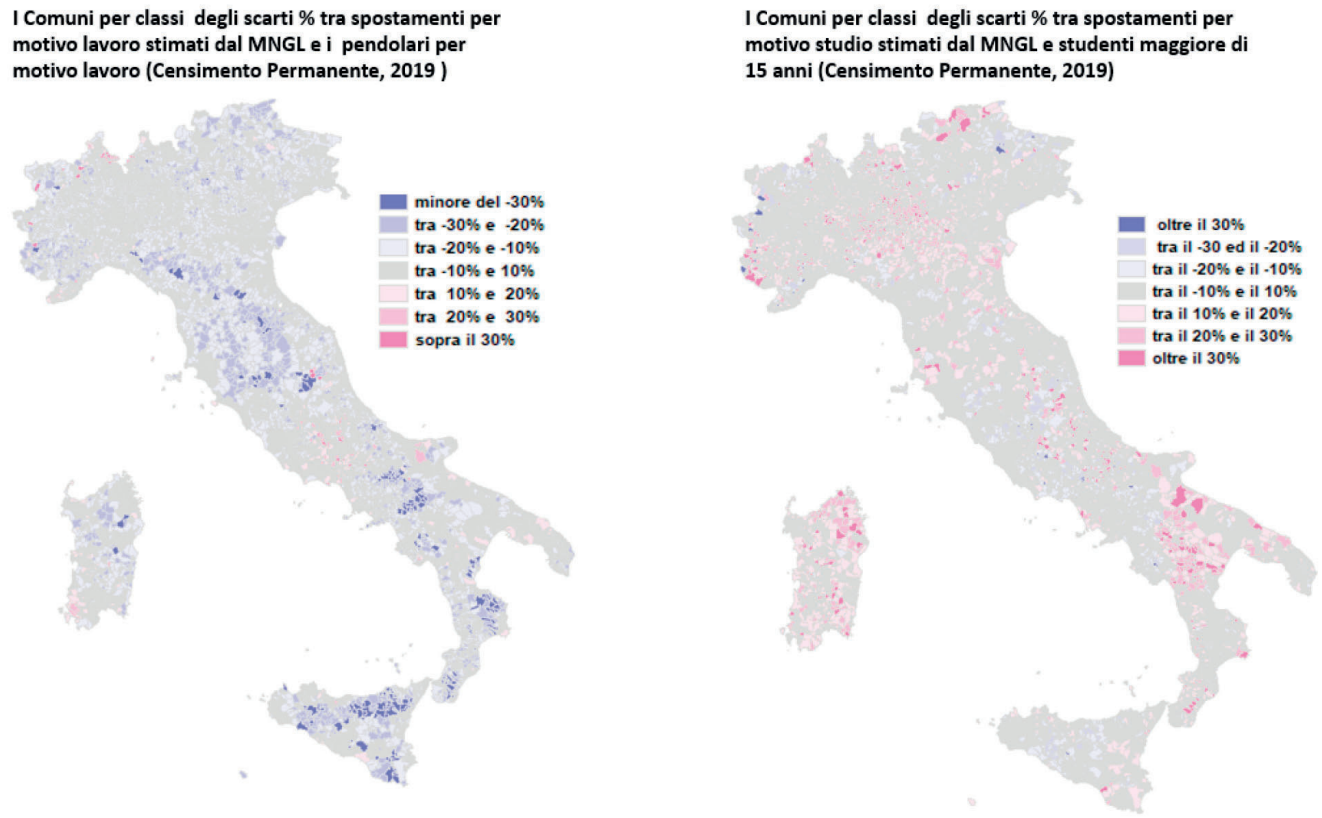

Figura 16 – Distribuzione dei comuni per classe degli scarti tra spostamenti stimati da modello e la popolazione di riferimento maggiore di 15 anni censita da ISTAT.

Figure 16 – Distribution of municipalities by class of differences between estimated journeys by model and the reference population over 15 years of age surveyed by ISTAT.

data telefonici evidenzia una buona correlazione con un R^2 pari a 0,87 (Fig. 18).

Il confronto grafico tra relazioni *outliers* OD sottostimate dal modello nazionale e le OD della matrice telefonica su cui sono rilevati solo i flussi stranieri significativi, evidenzia una correlazione tra i due dati che in parte spie-

the ODs generated by the national sample of Float Car Data VEM that on an average day travels at least 80 km. In addition, the output arc flows of the self-estimated mode private matrix assignment with the national MLP model, compared with the flows generated by the FCD assignment, are well interpolated by a line whose R^2 value is 0.83 (Fig. 20). The di-

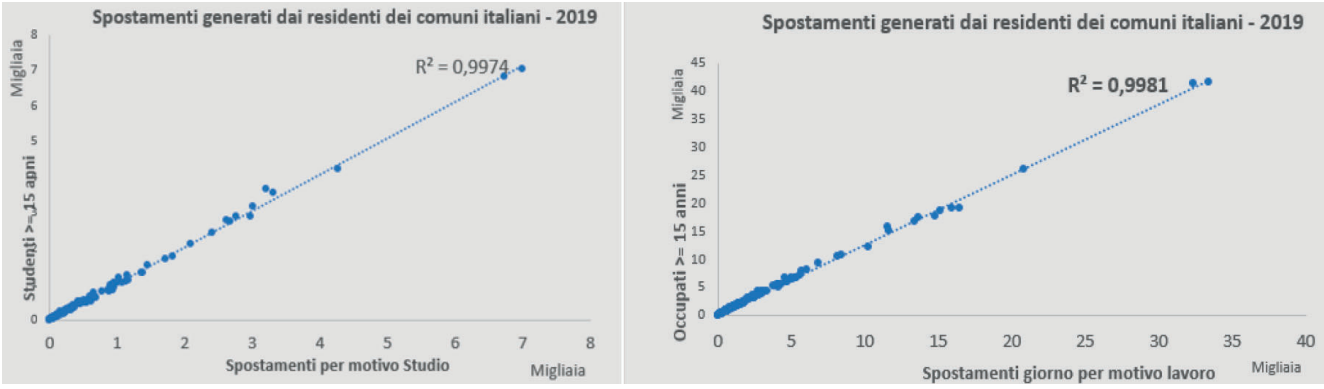

Figura 17 – Coefficiente di correlazione e retta di regressione degli spostamenti stimati dal modello di generazione locale (anno base 2019) e i pendolari 2019 [36].

Figure 17 – Correlation coefficient and regression line of the journeys estimated by the local generation model (2019 base year) and the 2019 commuters [36].

ga le differenze tra le due domande (Fig. 19), alcune analisi evidenziano comunque che soprattutto nelle are transfrontaliere l'utilizzo di SIM straniere è associato ad utenti stabilmente presenti sul territorio.

4.1.2. Confronto degli spostamenti dei veicoli equivalenti con gli FCD e la rete monitoraggio ANAS

La matrice dei viaggi di media e lunga percorrenza dei veicoli auto stimata a valle del processo di scelta modale in considerazione dei coefficienti medi di riempimento presenta uno scarto dell'8,22% rispetto alla matrice auto di media e lunga percorrenza stimata riconducendo all'universo le OD generate dal campione nazionale di *Float Car Data* VEM che in un giorno medio effettua spostamenti di almeno 80 km. Inoltre, i flussi d'arco output dell'assegnazione della matrice privata del modo auto stimata con il modello nazionale MLP, confrontati con i flussi generati dall'assegnazione dei FCD risultano essere ben interpolati da una retta il cui valore di R^2 è pari a 0,83 (Fig. 20). La correlazione diretta tra le due serie è confermata anche dai coefficienti di Pearson (0,909) e di Spearman (0,960). Il risultato è molto interessante se si considera che la matrice dei veicoli equivalenti stimata con il modello nazionale non è stata corretta con flussi osservati.

Un ulteriore confronto è stato condotto tra i flussi veicolari ed i dati dei rilievi del TGM 2019 su 2.472 punti di controllo della rete ANAS [43]. Poiché i flussi intercettati dal monitoraggio ANAS sono comprensivi di diverse com-

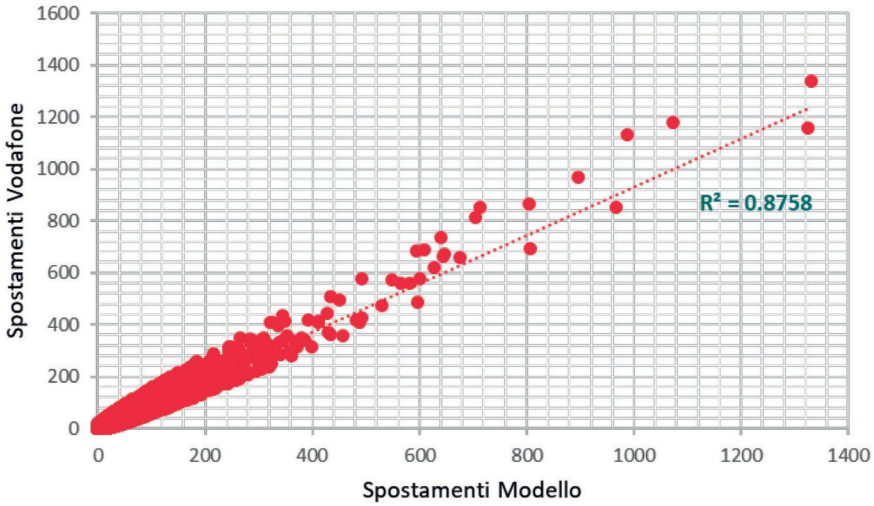

Figura 18 – Confronto OD MND e OD osservate esclusi gli «outliers».
Figure 18 – Comparison of observed OD MND and OD excluding "outliers".

rect correlation between the two series is also confirmed by Pearson's (0,909) and Spearman's (0,960) coefficients. The result is very interesting considering that the matrix of equivalent vehicles estimated with the national model was not corrected with observed flows.

A further comparison was made between the vehicle flows and the 2019 TGM survey data on 2472 control points of the ANAS network [43]. Since the flows intercepted by the ANAS monitoring are inclusive of different traffic components: medium and long-distance interzonal, local interzonal, suburban and intra-communal intrazonal, and flows generated by foreigners, the comparison was carried out after the assignment on the network of the OD matrix obtained from the sum of the consolidated local matrix (Fig.

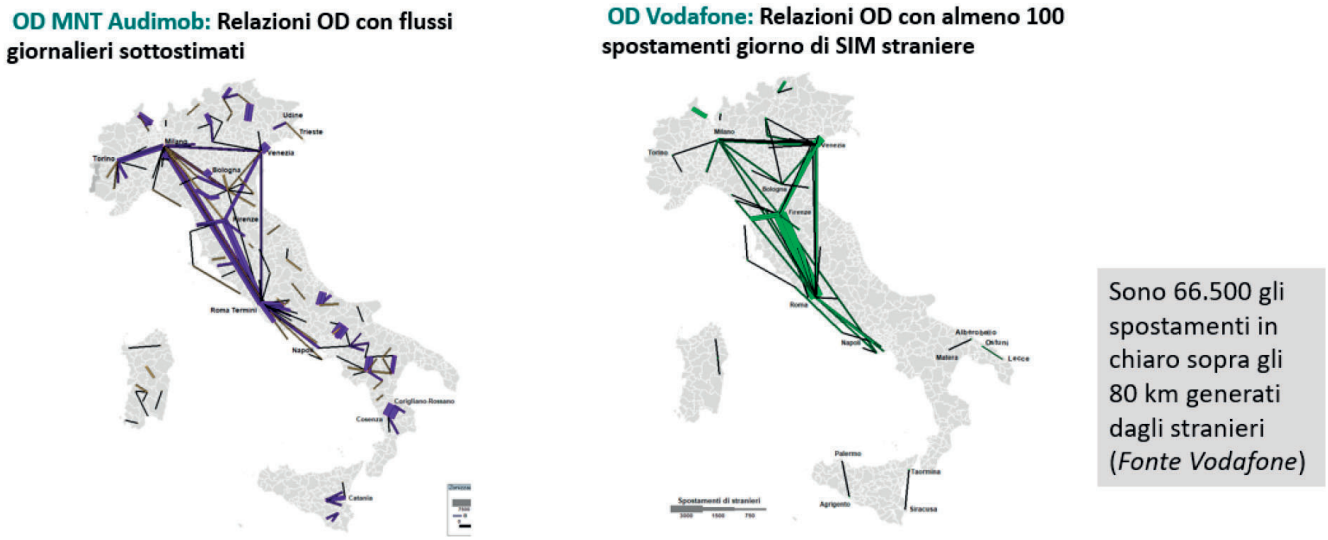

Figura 19 – Gli «outliers» delle OD del modello di domanda sottodimensionati rispetto ai dati telefonici.
Figure 19 – "Outliers" of the ODs of the demand model undersized compared to the telephone data.

ponenti di traffico: interzonali di media e lunga percorrenza, interzonali locali, intrazonali extra-urbane e intra-comunali, ed i flussi generati dagli stranieri, il confronto è stato condotto dopo l'assegnazione sulla rete della matrice OD ottenuta dalla somma della matrice locale consolidata (Fig. 21) e la matrice di media e lunga percorrenza. Il volume complessivo giornaliero dei flussi simulato in corrispondenza delle sezioni monitorate da ANAS (11.683.959 veq nel 2019) è coerentemente inferiore ai flussi dei soli veicoli leggeri osservati da ANAS (18.381.644 veicoli TGM Leggeri nel 2019) in quanto non tiene conto della componente intrazonale molto significativa e di quella straniera intercettata dalle sezioni. Il confronto delle due serie dei flussi modellati e osservati pertanto pur evidenziando un R^2 non significativo pari a 0,4, indica una correlazione moderata con l'indice di Pearson (correlazione 0,617) e una forte correlazione con quello di Spearman (correlazione 0,713).

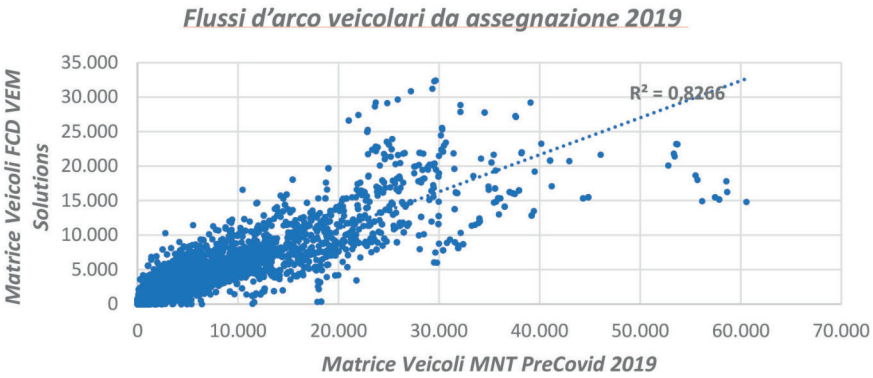

Figura 20 – Confronto flussi d'arco da assegnazione Matrice Auto MNT 2019 e Matrice VEM.

Figure 20 – Comparison of arc flows from assignment of Auto MNT 2019 Matrix and VEM Matrix.

4.1.3. Confronto Matrice ferroviaria AV con le OD della bigliettazione

Lo scarto tra i volumi passeggeri ferroviari di AV, stimati dal modello di scelta modale di MLP, ed il volume dei passeggeri estratti dalla bigliettazione AV di Trenitalia integrata della quota di mercato detenuto da NTV è pari al 10%. Poiché i dati stimati dal modello sono il risultato del-

21) and the medium and long-distance matrix. The total daily volume of the simulated flows at the sections monitored by ANAS (11,683,959 veq in 2019) is consistently lower than the flows of the light vehicles only observed by ANAS (18,381,644 Light TGM vehicles in 2019) as it does not consider the very important intra-zonal component and the foreign one intercepted by the sections. The comparison of the two series of flows modelled and observed, therefore indicates a moderate correlation with the Pearson index (0.617 correlation) and a strong correlation with that of Spearman (0.713 correlation), while showing a non-significant R^2 of 0.4.

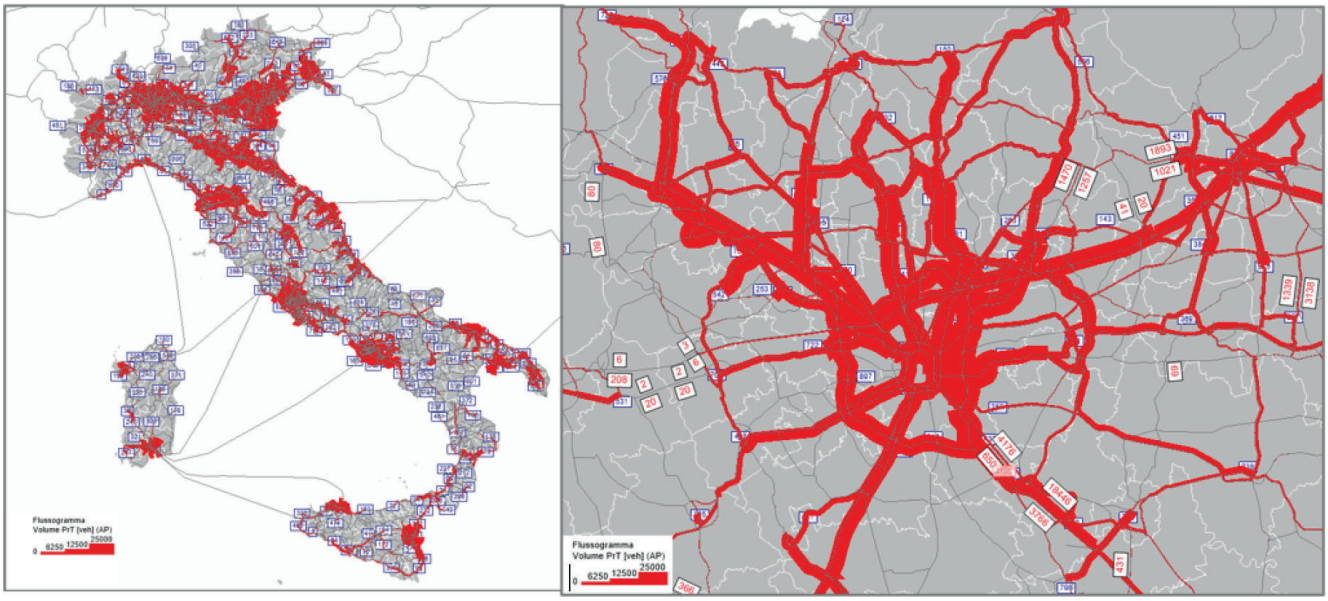

Figura 21 – Assegnazione alla rete viaria delle 20 Matrici OD Regionali degli spostamenti su auto riportate alla zonizzazione nazionale e focus sul nodo viario di Milano Locale e MLP.

Figure 21 – Assignment to the road network of the 20 Regional OD Matrices of car journeys reported to the national zoning and focus on the Milan Local and MLP road node.

la calibrazione con il campione Audimob e non sono stati corretti con i dati di bigliettazione, è molto interessante il confronto tra i flussi stimati dall'assegnazione della matrice ferroviaria Alta Velocità, con quelli ottenuti dall'assegnazione della matrice, stazione-stazione, estratta dalla bigliettazione di Trenitalia. Le due serie risultano fortemente correlate con un R^2 dello 0,901, un coefficiente di correlazione di Pearson pari a 0,852 e di Spearman pari a 0,986 (Fig. 22).

I risultati delle assegnazioni alle reti stradale e ferroviaria delle componenti di domanda di media e lunga percorrenza pre-Covid del 2019 condotta con il modello fin qui sviluppato sono rappresentati in Fig. 23. Le operazioni di validazione complessivamente hanno dato esiti incoraggianti permettendo di affermare che il sistema di modelli è sufficientemente affidabile per la fase applicativa.

4.2. Un primo test applicativo: lo scenario "New Normal" post Covid

Un primo step dell'applicazione del modello ha riguardato la definizione dell'orizzonte temporale di riferimento dell'analisi con un processo di valutazione a partire dei rischi dell'estensione della crisi sanitaria. La data di avvio dello scenario *New Normal* post pandemico, nella fase di redazione dello studio svoltosi durante il 2021, prima della crisi tra Russia ed Ucraina, è stata identificata ad inizio 2023. Nel momento in cui si scrive il 2023 sembra effettivamente avviato ad una gestione normalizzata e non più emergenziale della crisi pandemica anche se i nuovi scenari geopolitici e rischi di evoluzione del virus possono indurre ad un periodo ancora incerto riguardo ai trend macroeconomici.

Il modello è stato applicato per simulare il comportamento della domanda ed i relativi impatti, per un giorno feriale medio dello scenario *"New Normal"*, basandosi sulle seguenti ipotesi:

– assunzione delle previsioni delle tendenze demografi-

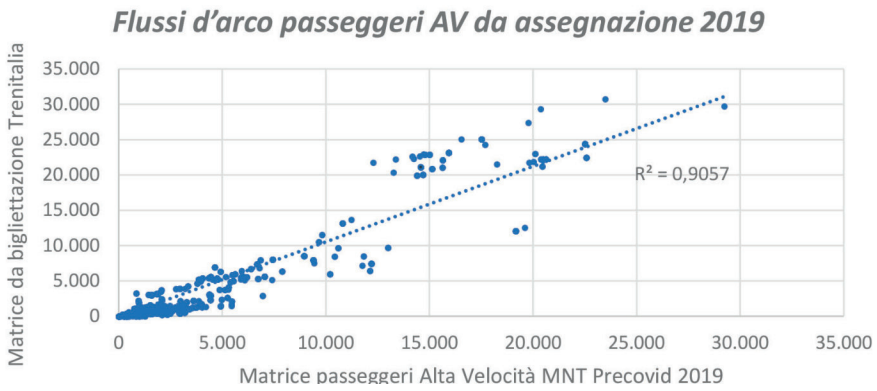

Figura 22 – Confronto tra i flussi d'arco da assegnazione della matrice passeggeri AV modellizzata al 2019 e la matrice della bigliettazione Trenitalia.

Figure 22 – Comparison between the arc flows from assignment of the HS passenger matrix modelled to 2019 and the matrix of the Trenitalia ticketing.

4.1.3. Comparison of HS Railway Matrix with OD Ticketing

The discrepancy between HS rail passenger volumes, estimated by MLP's modal choice model, and the volume of passengers extracted from Trenitalia's integrated HS ticketing of the market share held by NTV is equal to 10%. Since the data estimated by the model are the result of the calibration with the Audimob sample and have not been corrected with the ticketing data, it is very interesting to compare the flows estimated by the assignment of the High-Speed railway matrix, with those obtained by the assignment of the station-station matrix, extracted from the Trenitalia ticketing. The two series are strongly correlated with an R^2 of 0.901, a Pearson correlation coefficient of 0.852 and a Spearman correlation coefficient of 0.986 (Fig. 22).

The results of the assignments to the road and railway networks of the 2019 pre-Covid medium and long-distance demand components conducted with the model developed so far are represented in Fig. 23. The overall validation operations gave encouraging results, allowing us to state that the model system is sufficiently reliable for the application phase.

4.2. First application test: the "New Normal" post-COVID scenario

A first step of the application of the model concerned the definition of the reference time horizon of the analysis with an evaluation process based on the risks of the extension of the health crisis. The start date of the post-pandemic New Normal scenario, in the drafting phase of the study carried out during 2021, before the crisis between Russia and Ukraine, was identified at the beginning of 2023. At the drafting time in 2023, it seems that a normalised and no longer emergency management of the pandemic crisis is indeed underway, although the new geopolitical scenarios and risks of evolution of the virus may lead to a still uncertain period regarding macroeconomic trends.

The model was applied to simulate the demand behaviour and its impacts, for an average working day of the "New Normal" scenario, based on the following assumptions:

– *assumption of the demographic trends forecasts by age class issued by ISTAT in the worst-case scenario for the year 2023, this choice was consistent with the subsequent update issued by the ISTAT forecasts [52];*

– *expected changes in employment by ATECO sector, published before January 2021, from various institutional sources [53][54] have been applied in order to reproduce the forecast of expected employment changes from 2019 to 2020, and from 2020 to 2022;*

che per classe di età rilasciate da ISTAT nello scenario peggiore per l'anno 2023, questa scelta è risultata coerente con l'aggiornamento successivo rilasciato dalle previsioni ISTAT [52];

– variazioni attese dell'occupazione per settore ATECO, pubblicate prima del mese di gennaio del 2021, da varie fonti Istituzionali [53][54] sono state applicate al fine di riprodurre la previsione delle variazioni occupazionali attese dal 2019 al 2020, e dal 2020 al 2022;

– quote di smart-working differenziate per settore ATECO previste per il 2023 in relazione alle variazioni percentuali attese rispetto a quelle rilevate nella fase epidemica[58][59][60][56]; le ipotesi adottate sono più cautelative rispetto alle più recenti previsioni dell'Osservatorio del Politecnico di Milano [58] (variazione smart-worker 2022-2019 pari a +11% corrispondenti a -6,3% occupati mobili);

– abbattimento del 50% rispetto all'anno base 2019 dei viaggi generati dal motivo affari; tale percentuale è stata stimata analizzando le motivazioni che nel 2019 hanno caratterizzato i viaggi di lavoro, e valutando quali di esse potranno essere sostituite con incontri da remoto anche ai fini di un contenimento dei costi aziendali [6][39][40][61][56].

L'applicazione delle ipotesi sopra esplicitate, sia di sviluppo del lavoro in remoto che socioeconomiche, sono state simulate con il modello di previsione delle variabili esogene al fine di aggiornare i dati di input dei modelli di generazione. In Tab. 4 sono sintetizzate le ipotesi occupazionali simulate sia in termini di variazione occupazionale che di smart-working. Quest'ultima proiezione tiene conto dell'indagine condotta da ISFORT per il MIMS (non pubblicata) nei comuni appartenenti alle Città metropolitane e in quelli con almeno 50mila abitanti o capoluogo di provincia, dalla quale è emerso che il 24,2% degli intervistati è convinto di rimanere in situazione di smart-working, il 46,8% lo ritiene probabile ed il 54% sostiene di preferire lavorare in smart working.

Il modello è stato simulato considerando due scenari, senza ipotizzare modifiche nel sistema di offerta di trasporto rispetto al 2019:

– lo Scenario Tendenziale 2023, che assume solo l'aggiornamento della proiezione demografica per classe di età ISTAT e stima un decremento dello 0,48% degli spostamenti sopra gli 80 km generati rispetto all'anno base 2019;

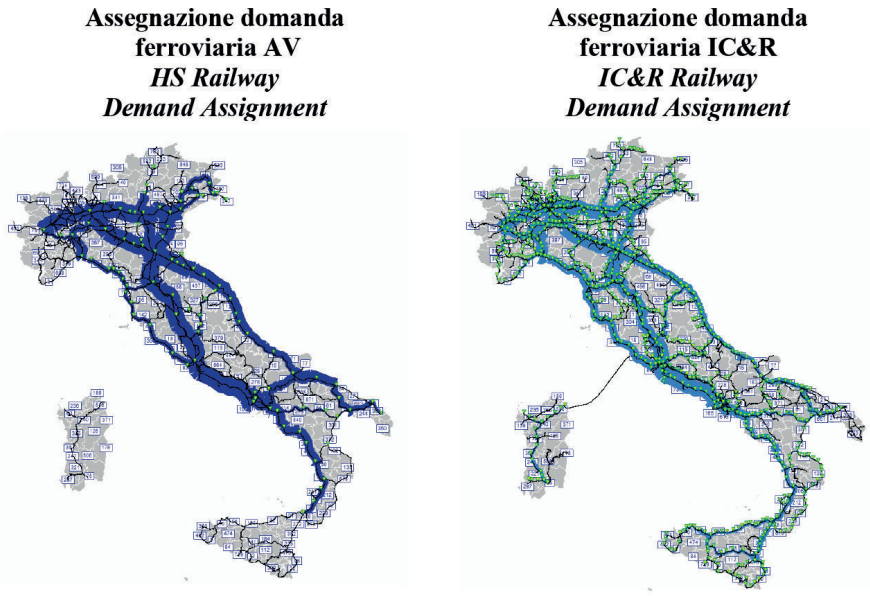

Figura 23 – Flussogrammi output delle assegnazioni modali della componente di media e lunga percorrenza del modello nazionale Pre Covid 2019.
Figure 23 – Output flowcharts of the modal assignments of the medium and long-distance component of the national 2019 Pre Covid model.

– *smart-working quotas differentiated by ATECO sector expected for 2023 in relation to the expected percentage changes compared to those detected in the epidemic phase [58][59][60][56]; the assumptions adopted are more cautious than the most recent forecasts of the Observatory of the Polytechnic of Milan [58] (smart-worker variation 2022-2019 equal to +11% corresponding to -6.3% mobile workers);*

– *50% reduction compared to the 2019 base year of business trips; this percentage was estimated by analysing the reasons that characterised business trips in 2019, and evaluating which of them can be replaced with remote meetings also for the purpose of containing business costs [6][39][40][61][56].*

The application of the above hypotheses, both of remote work and socioeconomic development, were simulated with the prediction model of exogenous variables in order to update the input data of the generation models. The simulated employment assumptions are summarised in Tab. 4 in terms of both employment and smart-working variation. This latest projection considers the survey conducted by ISFORT for the MISM (not published) in the municipalities belonging to the metropolitan cities and in those with at least 50,000 inhabitants or provincial capital, from which it emerged that 24.2% of those interviewed are convinced they will remain in a smart working situation, 46.8% consider it likely and 54% say they prefer to work in smart working.

The model was simulated considering two scenarios, without assuming changes in the transport offer system compared to 2019:

Tabella 4 – *Table 4*

Tassi di variazioni degli occupati e degli smart-working per settore ATECO rispetto all'anno base e impatti sugli occupati mobili in un giorno feriale

Rates of changes in employees and smart-working by ATECO sector compared to the base year and impacts on mobile employees on a weekday

Macro settore ATECO	Variazioni % occupati New Normal - Anno base	Variazioni % smart-worker new normal
A: AGRICOLTURA, SILVICOLTURA E PESCA	-1,27	0,01
B: estrazione di minerali da cave e miniere	-1,97	0,03
C: attività manifatturiere	-7,88	0,05
D: fornitura di energia elettrica, gas, vapore e aria condizionata	-1,97	0,10
E: fornitura di acqua reti fognarie, attività di gestione dei rifiuti e risanamento	-1,97	0,07
F: costruzioni	-1,97	0,04
G: commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli e motocicli	-3,11	0,08
H: trasporto e magazzinaggio	-1,64	0,10
I: attività dei servizi di alloggio e di ristorazione	-1,09	0,03
J: servizi di informazione e comunicazione	9,18	0,60
K: attività finanziarie e assicurative	-1,61	0,40
L: attività immobiliari	-2,20	0,20
M: attività professionali, scientifiche e tecniche	-1,97	0,30
N: noleggio, agenzie di viaggio, servizi di supporto alle imprese	-1,97	0,10
O: AMMINISTRAZIONE PUBBLICA E DIFESA; ASSICURAZIONE SOCIALE OBBLIGATORIA	0,06	0,15
P: istruzione	0,06	0,07
Q: sanità e assistenza sociale	6,44	0,10
R: attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento	0,06	0,05
S: altre attività di servizi N.B. non comprende: attività di organizzazioni associative	0,06	0,05

Occupati Anno Base	Occupati New Normal 2023	Smart working Anno base	Smart working New Normal 2023	Occupati mobili giorno feriale 2023	Variazioni % Occupati
23.662.471	23.200.019	570.000	1.032.240	22.167.779	-6,3%

– lo Scenario *New Normal* 2023, che aggiunge anche l'ipotesi di variazioni occupazionali e di smart-working coerenti con gli andamenti macroeconomici sintetizzati in Tabella 4, e stima una riduzione dell'1,56% dei volumi complessivi generati rispetto all'anno base 2019.

Queste variazioni impattano sulla distribuzione delle matrici OD per motivo, nelle scelte modali e sui flussi assegnati nel giorno feriale medio della fase *"New Normal"*, producendo una riduzione media del 10,34% dei flussi complessivi di media e lunga percorrenza. L'impatto maggiore si rileva per la modalità aerea con un decremento del 24% dei passeggeri-km, seguita dalla modalità dell'AV con un -16,8% di passeggeri-km, mentre è inferiore in termini percentuali l'impatto sui passeggeri-km dei servizi su gomma extra-urbani -9,7%, e dei veicoli-km auto -9,5%.

5. Considerazioni e sviluppi futuri

Il sistema dei modelli di trasporto multimodale della mobilità delle persone presentato si configura come un si-

– *the 2023 Trend Scenario, which only takes into account the update of the demographic projection by ISTAT age group and estimates a 0.48% decrease in journeys generated over 80 km compared to the 2019 base year;*

– *the New Normal 2023 Scenario, which also adds the hypothesis of employment and smart-working changes consistent with the macroeconomic trends summarised in Tab. 4, and estimates a 1.56% reduction in the overall volumes generated compared to the 2019 base year.*

These changes impact the distribution of OD matrices by reason, in modal choices and flows assigned on the average working day of the "New Normal" phase, producing an average reduction of 10.34% of the overall average and long-distance flows. The greatest impact is found for the air mode with a decrease of 24% of passenger-km, followed by the HS mode with a -16.8% of passenger-km, while the impact on passenger-km of suburban road services -9.7%, and vehicles-km car -9.5% is lower in percentage terms.

stema di valutazione degli impatti a scala nazionale e regionale, a supporto delle decisioni strategiche e operative del Gruppo FS e di interlocuzione con gli Enti locali. Esso può rispondere alle istanze di riformulazione delle politiche di governance della mobilità e dei sistemi di trasporto, nel contesto delle nuove sfide a livello nazionale e globale, dei cambiamenti climatici e delle misure di rilancio europee sostenute dal PNNR [67]. I modelli proposti possono rappresentare uno strumento di supporto strategico e operativo delle politiche di stimolo e sostegno connesse alla mobilità a cui mira il piano di Recovery Fund di Next Generation EU, facilitando la selezione degli interventi più efficaci nella mitigazione degli impatti ambientali, fortemente auspicati dalle strategie di contenimento dei cambiamenti climatici delle Nazioni Unite, e in linea con le indicazioni più recenti del MIMS per la valutazione degli interventi sulle Opere Pubbliche [25][26].

Il sistema di modelli implementati costituisce uno strumento flessibile con interessanti potenzialità per la stima della domanda passeggeri di media e lunga percorrenza attuale e futura. Tarato per la scala nazionale, può essere relazionato ed integrato con modelli di domanda a scala regionale, allineandosi alle migliore pratiche europee. Punto di forza è la possibilità di aggiornamento grazie a fonti dati ufficiali reperibili e aggiornati con sistematicità. Anche i moduli complementari sono predisposti per l'aggiornamento delle variabili economiche in relazione a specifiche ipotesi introdotte dagli scenari tendenziali o di progetto. L'implementazione su base comunale consente flessibilità nella zonizzazione territoriale. Sperimentazioni in corso hanno evidenziato la possibilità di utilizzo del modello per simulare la domanda locale di scambio e di attraversamento in sub aree nazionali, supplendo all'assenza di indagini al cordone.

Il modello di offerta multimodale consente di valutare la competitività modale tra zone di traffico nazionale e gli impatti sociali di accessibilità derivanti da modifiche di offerta infrastrutturale e dei servizi o dei poli attrattori o generatori di domanda, consentendo di delimitare l'ambito territoriale su cui tali impatti possono essere assorbiti. L'integrazione della scala nazionale con modelli di offerta di maggior dettaglio per valutazioni di scala urbana, metropolitana, regionale, può consentire di sviluppare analisi di accessibilità e di interazione della domanda comprensiva anche della componente di domanda urbana e intrazonale grazie alle potenzialità offerte dal modello di domanda locale.

Le prossime linee di sviluppo saranno indirizzate al completamento e raffinamento del modello per una maggiore integrazione delle diverse componenti spaziali di domanda. In particolare, si ritiene dettagliare ulteriormente l'offerta dei servizi di trasporto collettivo su gomma extraurbano e l'offerta aerea; esplorare il contributo offerto da attributi di utilità disaggregati nel modello di scelta modale, approfondire gli elementi metodologici adottati per le stime inferenziali dei big data che contribuiscono alla calibrazione del modello separando i flussi generati da quelli di ritorno, integrare la componente di domanda genera-

5. Considerations and future developments

The multimodal transport models' system for the mobility of people presented is configured as an impact assessment system at national and regional level, supporting the strategic and operational decisions of the FS Group and dialogue with local authorities. It can respond to requests for the reformulation of mobility and transport systems governance policies, in the context of new challenges at national and global level, climate change and European relaunch measures supported by the PNNR [67]. The proposed models can represent a strategic and operational support tool for the mobility-related stimulus and support policies targeted by the Next Generation EU Recovery Fund plan, facilitating the selection of the most effective interventions in the mitigation of environmental impacts, strongly desired by the United Nations climate change containment strategies, and in line with the most recent indications of the MISM for the evaluation of interventions on Public Works [25][26].

The system of models implemented is a flexible tool with interesting potential for estimating current and future medium and long-distance passenger demand. Calibrated for the national scale, it can be related and integrated with demand models at a regional level, aligning with European best practices. The strong point is the possibility of updating thanks to official data sources available and updated systematically. The complementary modules are also prepared for updating the economic variables in relation to specific hypotheses introduced by the trend or project scenarios. The implementation on a municipal basis allows flexibility in territorial zoning. Ongoing trials have highlighted the possibility of using the model to simulate local demand for exchange and crossing in national sub-areas, supplementing the absence of cordon surveys.

The multimodal supply model allows assessing the modal competitiveness between national traffic areas and the social impacts of accessibility deriving from changes in infrastructure offer and services or in attracting or generating demand centres, allowing the delimitation of the territorial scope on which these impacts can be absorbed. The integration of the national scale with more detailed offer models for urban, metropolitan, and regional scale assessments can allow the development of accessibility and interaction analyses of demand, including the urban and intrazonal demand component, thanks to the potential offered by the local demand model.

The next lines of development will be aimed at the completion and refinement of the model for a greater integration of the different spatial components of demand. In particular, it is considered to further detail the offer of collective suburban road transport services and the air offer; to explore the contribution offered by utility attributes disaggregated in the modal choice model, analyse in depth the methodological elements adopted for inferential estimates of big data that contribute to the calibration of the model by separating the flows generated from those rendered, integrate the demand component generated on the national territory by foreigners

ta sul territorio nazionale dagli stranieri e quella merci su strada alla domanda nazionale di locale, con l'obiettivo di disporre di uno strumento completo per la simulazione degli impatti trasportistici, ambientali e dei costi esterni, in sintonia con le linee guida europee [68].

6. Contributi degli autori

Questo articolo è frutto del lavoro congiunto degli autori, nell'ambito del quale si deve a M. Tartaglia la concettualizzazione, la scrittura delle sezioni 1 e 5, la revisione e le modifiche; a S. Nourbakhsh la supervisione e la scrittura della sezione 3.1.4; a L. Vannacci la validazione e la scrittura della sezione 3.1.2.; a G. Carbone la metodologia, la supervisione, lo sviluppo della ricerca e la scrittura delle sezioni 3.0, 3.1.1, 3.3 e 3.4; a M. Ferrara la cura dei dati, lo sviluppo della ricerca, e la scrittura delle sezioni, 3.1.3 e 4.1.2; M. Marino lo sviluppo della ricerca e la scrittura delle sezioni 3.5; W. Sommario lo sviluppo della ricerca e la scrittura delle sezioni 3.2, 3.6, 3.7. e 4.1.3 e ad A. Chindemi la gestione del progetto, la metodologia, la validazione, la scrittura delle rimanenti parti delle sezioni 2-4, la revisione e le modifiche. Per la parte a cura di ISFORT si ringraziano per la collaborazione C. Carminucci e M. Procopio di ISFORT e l'Ing. V.P. Giofrè.

and that of road goods to the national demand for local, with the aim of having a complete tool for the simulation of transport, environmental and external costs impacts, in line with European guidelines [68].

6. Authors' contributions

This article is the result of the joint work of the authors, in which M. Tartaglia is responsible for the conceptualisation, writing of sections 1 and 5, revision and changes; S. Nourbakhsh for the supervision and writing of section 3.1.4; L. Vannacci for the validation and writing of section 3.1.2.; G. Carbone for the methodology, supervision, research development and writing of sections 3.0, 3.1.1, 3.3 and 3.4; M. Ferrara for the editing of data, research development, and writing of sections 3.1.3 and 4.1.2; M. Marino for the development of research and writing of sections 3.5; W. Sommario for the development of research and writing of sections 3.2, 3.6, 3.7. and 4.1.3. and A. Chindemi for the project management, methodology, validation, writing of the remaining parts of sections 2-4, revision, and changes. For the part edited by ISFORT, we thank C. Carminucci and M. Procopio of ISFORT and engineer V.P. Giofrè for their collaboration.

BIBLIOGRAFIA - *REFERENCES*

[1] Cascetta E., Henke I., Di Bartolomeo M. (2021), *"La settima rivoluzione dei trasporti. Le innovazioni in corso e i possibili scenari futuri"*, in Ingegneria Ferroviaria, n. 6, giugno, (pp. 461-492).

[2] Schroten A., van Essen H., van Wijngaarden L., Sutter D., Andrew E. (2019), *"Sustainable Transport Infrastructure Charging and Internalisation of Transport Externalities: Main Findings"*, pag. 88. European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, Brussels.

[3] Appetecchia A., Carbone G., Robertazzi G. (2020), *"Lo sviluppo dei sistemi di trasporto sostenibili quale fattore di rigenerazione urbana: impatti sul mondo del commercio e dei servizi"*. Report ISFORT per Confcommercio, 25 novembre 2020.

[4] Tartaglia M., Cerullo M. (2021), *"Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane"*, in: Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, "Conto Nazionale delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili", pp. 131-146, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma ISBN 978-88-901545-8-4.

[5] Cascetta E. (2006), *"Modelli per i sistemi di trasporto. Teoria e applicazioni"*. Utet Università, EAN 9788860080127.

[6] Carminucci C., Chindemi, Procopio M., Saccà V. (2021), *"18° Rapporto sulla mobilità degli italiani. Governare le transizioni per una ripresa sostenibile"*.
https://www.ISFORT.it/wp-content/uploads/2020/12/RapportoMobilita2020.pdf. Ultimo accesso giugno 2022.

[7] Eurostat (2021), *"Mobility data for thirteen Member States with different characteristics"*. Novembre (2021). Passenger mobility statistics - Statistics Explained (europa.eu) Ultimo accesso giugno 2021.

[8] ISTAT (2021), *"I Sistemi Locali del Lavoro 2011"*. https://www.ISTAT.it/it/informazioni-territoriali-e-cartografiche/sistemi-locali-del-lavoro. Ultimo accesso giugno 2021.

[9] ISTAT (2021), *"Indagine Censuaria e Matrici intercomunali pendolari per motivo, mezzo, orario di partenza e durata dello spostamento"*. Matrici di Contiguità, Distanza e Pendolarismo 1991, 2001, 2011.
https://www.ISTAT.it/it/archivio/157423 Ultimo accesso giugno 2021.

[10] Eurostat (2018), *"Eurostat guidelines on Passenger Mobility Statistics"*, Edizione Manuals and Guidelines, Dicembre. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_mobility_statistics#Mobility_data_for_thirteen_Member_States_with_different_characteristics. Ultimo accesso giugno 2021.

[11] WINKLER C., MOCANU T. (2017), *"Methodology and application of a german national passenger transport model for future transport scenarios"*, European Transport Conference.

[12] ARMOOGUM J., *et al.* (2014), *"Survey harmonisation with New technologies improvement (SHANTI)"* Cost Action TU0804 RECHERCHES © Les collections de l'INRETS Avril 2014 ISBN 978-2-85782-704-7. https://www.cost.eu/publication/survey-harmonisation-with-new-technologies-improvement-shanti/ Ultimo accesso giugno 2022.

[13] ATKINS (2016), *"NTEM Planning Data Version 7"*, Guidance Note Department for Transport. Atkins Guidance Note,| Version 3 | July 2016 | 5138121.

[14] ATKINS (2019), *"NTM Future Development, Quality Report"*, Department for Transport. Atkins | NTMv5 Quality Report v4.0.

[15] High Speed TwoLimited (2016), *"PLANET Framework Model (PFM v5.2) – Model Description"*, January 2016, CS392J_4. https://assets.publishing.service.gov.uk/ Ultimo accesso giugno 2022.

[16] LOVRI A M., BLAINEYA S., PRESTON J. (2017), *"A conceptual design for a national transport model with cross-sectoral interdependencies"*, 20th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2017, 4-6 September 2017, Budapest, Hungary, Transportation Research Procedia 27 (2017) 720–727.

[17] ITRC (2022), *"NISMOD for long-term infrastructure planning in the UK"* NISMOD for long-term infrastructure planning in the UK | ITRC Ultimo accesso giugno 2022.

[18] FIORELLO D., NÖKEL K., MARTINO A. (2018), *"The TRIMODE integrated model for Europe"*, 45th European Transport Conference 2017, ETC 2017; Transportation Research Procedia 31 (2018) 88-98.

[19] MIT (2017). "Linee Guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti D.Lgs. 228/2011", 1 giugno 2017.

[20] CASCETTA E., BIGGIERO L. (1997), *"Integrated models for simulating the italian passenger transport system"*. IFAC transportation Systems, Chania Greece.

[21] DANESI C. (2007), *"Modelli di domanda passeggeri per la stima della mobilità a scala nazionale"*, Università Tor Vergata, Tesi di laurea Specialistica, relatore Crisalli U. a.a. 2007/2008.

[22] BASILI A., TARTAGLIA M., RADICIONI M., (2005). *"SAVEF, il Sistema di Analisi e Valutazione dell'Evoluzione del sistema Ferroviario italiano"*, unpublished paper, Rete Ferroviaria Italiana, Roma.

[23] TPS (2018), *"Concluso l'aggiornamento del SIMPT2"*, 11 dicembre 2018. http://tpsitalia.it/2018/12/11/concluso-laggiornamento-del-simpt2/ Ultimo accesso giugno 2022.

[24] TARTAGLIA M., DALLARA A., RADICIONI M., DE ANGELIS F., GUERRIZIO M.A. (2010), *"Un nuovo sistema informativo per la stima di variabili socio economiche a livello territoriale e settoriale"*, XXXI Conferenza scientifica annuale AISRe, pp. 1-19, Associazione Italiana di Scienze Regionali.

[25] MIMS (2021), *"Linee Guida Operative Per La Valutazione Degli Investimenti In Opere Pubbliche – Settore Ferroviario"*, 26 ottobre 2021. https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2021-12/ALLEGATO%20A_-%20Linee_Guida_Operative%20Settore%20ferroviario.pdf Ultimo accesso giugno 2022.

[26] MIMS, CSLP (2021), *"Linee Guida PTFE, per la redazione del progetto di fattibilità tecnica ed economica da porre a base dell'affidamento di contratti pubblici di lavori del PNRR e del PNC"*, Luglio 2021. https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-01/1.%20Linee_Guida_PFTE.pdf.

[27] BERIA P. *et al.* (2019), *"A model-based evaluation of national transport policies"*, XXI SIET Conference, Bologna, 9-10 September 2019.

[28] ISTAT - *"Registro Statistico delle Unità Locali (ASIA UL) per comune: Imprese - Struttura -– Unità locali"*. http://dati.ISTAT.it/.

[29] VEM Solutions Viasat (2019), *"Big Data Analytics"* https://www.vemsolutions.it/iot-big-data/ Ultimo accesso giugno 2022.

[30] ACI - *"Dati e statistiche"* https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche.html Ultimo accesso giugno 2022.

[31] Vodafone Analytics (2019), *"Il Valore di Vodafone Analytics"* https://www.vodafone.it/portal/Aziende/Grandi-Aziende/Soluzioni/Soluzioni/analytics. Ultimo accesso giugno 2022.

[32] ISTAT – *"Censimenti della popolazione permanenti"*, https://www.ISTAT.it/it/censimenti-permanenti; https://www.ISTAT.it/it/censimenti/popolazione-e-abitazioni/risultati. https://esploradati.censimentopopolazione.ISTAT.it/databrowser/#/it/censtest/dashboards. Ultimo accesso giugno 2022.

[33] MIUR – *"Iscritti Istituzioni Scolastiche",* https://dati.istruzione.it/opendata/opendata. Ultimo accesso giugno 2021.

[34] MIUR – *"Iscritti universitari residenti italiani e stranieri",* http://ustat.MIUR.it/opendata. Ultimo accesso giugno 2021.

[35] Agenzia per la Coesione territoriale (2020), *"Strategia Nazionale delle Aree Interne (SNAI)",* https://www.agenziacoesione.gov.it/strategia-nazionale-aree-interne/ Ultimo accesso giugno 2021.

[36] ISTAT (2021), *"Gli spostamenti per motivi di studio o lavoro secondo il Censimento permanente della popolazione",* 13 maggio 2021, https://www.ISTAT.it/it/files//2021/05/Censimento_spostamenti_pendolari.pdf Ultimo accesso giugno 2022.

[37] ISTAT – *"Indagine campionaria Multiscopo Aspetti della vita quotidiana, Sezione Servizi. Spostamenti abituali per andare a lavoro e studio",* http://dati.ISTAT.it/# Ultimo accesso giugno 2021.

[38] ISTAT - *"Indagine censuaria del Movimento dei clienti negli esercizi ricettivi",* in Servizi, Turismo, Movimenti, http://dati.ISTAT.it/. Ultimo accesso giugno 2021.

[39] ISTAT - *"Indagine Capi Viaggi e Vacanze",* https://www.ISTAT.it/it/archivio/234710. Ultimo accesso giugno 2021.

[40] Banca d'Italia (2022), *"Indagine sul turismo internazionale condotta dal 1996".* https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/indagine-turismo-internazionale/index.html?dotcache=refresh Ultimo accesso giugno 2022.

[41] Eurostat (2022), *"Statistiche del traffico passeggeri aeroportuale".* https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Air_passenger_transport_-_monthly_statistics Ultimo accesso giugno 2022.

[42] ENAC – *"Statistiche di traffico passeggeri aeroportuale",* https://www.ENAC.gov.it/trasporto-aereo/compagnie-aeree/dati-di-traffico. Ultimo accesso giugno 2022.

[43] ANAS Gruppo FS (2022), *"Osservatorio del traffico",* https://www.stradeanas.it/it/le-strade/osservatorio-del-traffico/dati-traffico-medio-giornaliero-annuale. Ultimo accesso giugno 2021.

[44] ISFORT (2020), "Modello di generazione e distribuzione Audimob" sviluppato in collaborazione con Ferrovie dello stato Italiane, https://www.ISFORT.it/progetti/modello-di-generazione-audimob/, Ultimo accesso giugno 2022.

[45] Rete Ferroviaria Italiana (2019), *"Prospetto Informativo della Rete 2019"* - Edizione maggio 2019.

[46] OpenStreetMap (2022), http://download.geofabrik.de/. Ultimo accesso giugno 2022.

[47] Ricci S. (2011), *"Tecnica ed Economia dei trasporti"*, Hoepli. ISBN: 9788820345945.

[48] Centro interregionale - http://www.centrointerregionale-gis.it/DBPrior/DBPrior1.html. Ultimo accesso giugno 2021.

[49] FlixBus GTFS - *"OpenMobilityData"* (transitfeeds.com) - Ultimo accesso giugno 2022.

[50] Trenitalia (2021), *"I costi medi delle tariffe unitarie medie per OD (stazione-stazione) applicate da Trenitalia".* https://www.trenitalia.com/it/informazioni/condizioni_generaliditrasporto.html Ultimo accesso giugno 2022.

[51] Cherchi E. (1999), *"Derivazione del valore del tempo (VOT) utilizzando dati misti RP/SP con funzioni di utilità non lineari".* Editore Università della Calabria.

[52] ISTAT (2018), *"Il futuro demografico del Paese".* Previsioni regionali demografiche al 2065. https://www.ISTAT.it/it/files//2018/05/previsioni_demografiche.pdf. Ultimo accesso giugno 2022.

[53] Unioncamere - *"Banche dati progetto Excelsior"*, https://excelsior.unioncamere.net/. Ultimo accesso giugno 2021.

[54] Fondazione Agnelli (2018), *"Scuola. Orizzonte 2028 Evoluzione della popolazione scolastica in Italia e implicazioni per le politiche",* https://www.fondazioneagnelli.it/wp-content/uploads/2018/04/Fondazione-Agnelli-Demografia-scolastica-2028-Report.pdf. Ultimo accesso giugno 2022.

[55] Struttura Tecnica di Missione MIT (2021), *"Osservatorio sulle tendenze di mobilità durante l'emergenza sanitaria del COVID-19".* https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-01/REPORT_IV%20trimestre%202021.pdf Ultimo accesso giugno 2022.

[56] ISFORT (2021). "I modelli di mobilità emergenti e le prospettive per il post-emergenza: temi di discussione, giugno 2021", 2-REPORT_ISFORT_federMobilit_Progress_VDef_-25giu2021.pdf (federmobilita.it) Ultimo accesso giugno 2022.

[57] Penna M. *et al.* (2020), *"Il tempo dello Smart Working. La PA tra conciliazione, valorizzazione del lavoro e dell'ambiente",* Enea, ISBN: 978-88-8286-395-1.

[58] Politecnico di Milano – *"Osservatori Digital Net. Smart-Working. Lo Smart Working durante l'emergenza Covid 19. Il punto di vista dei lavoratori"*.
https://www.osservatori.net/it/ricerche/osservatori-attivi/smart-working.

[59] Depalo D., Giorgi F. (2021), *"Il lavoro da remoto in Italia durante la pandemia: i lavoratori del settore privato"*. Banca d'Italia, Note Covid 19, 22 gennaio 2021.

[60] Giuzio W., Rizzica L. (2021), *"Il lavoro da remoto in Italia durante la pandemia: le amministrazioni pubbliche"*. Banca d'Italia, Note Covid 19, 22 gennaio 2021.

[61] Banca d'Italia (2021), *"L'organizzazione del lavoro nella nuova normalità"*. maggio 2021.
https://www.bancaditalia.it/chi-siamo/organizzazione/organizzazione_del_lavoro_nella_nuova_normalita.pdf.

[62] Cascetta E., Pagliara F., Papola A. (2006), *"Modelli di distribuzione: stato attuale e sviluppi futuri"*, in https://www.researchgate.net/publication/258726632. Ultimo accesso giugno 2022.

[63] Burgdorf C., Mönch A., Beige S. (2018), *"Mode choice and spatial distribution in long-distance passenger transport – Does mobile network data deliver similar results to other transportation models? "* in https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2590198220301652?token=61111F5A58F7F5F585B031B312EFCFC6A64FDDADF52420A49658375FD0E7FEAD49A0A8F6A1C4FE1F1D902D6B52623FF3&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230108165926. Ultimo accesso giugno 2022.

[64] Ben Akiva M., Lerman S. (1985), *"Discrete Choice analysis. Theory and application Travel demand"*. The Massachusetts Institute of technology, ISBN 0-262-02217-6.

[65] Moeckel R., Fussell R., Donnelly R. (2015), *"Mode choice modeling for long-distance travel"*, in https://www.researchgate.net/publication/272546582_Mode_choice_modeling_for_long-distance_travel. Ultimo accesso giugno 2022.

[66] PTVGroup (2020), *"Visum User Manual. Analysis and Planning of transport"*. Networks.
https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/knowledge-base/faq/ Ultimo accesso giugno 2022.

[67] Governo della Repubblica Italiana (2022), *"Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)"*. #Next Generation. Piano ai sensi del Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021. https://italiadomani.gov.it/content/dam/sogei-ng/documenti/PNRR%20Aggiornato.pdf. Ultimo accesso giugno 2022.

[68] European Commission (2019), *"Handbook on the external costs of transport"*, Directorate-General for Mobility and Transport Publications Office, January 2019 – V1.1, https://data.europa.eu/doi/10.2832/51388. Ultimo accesso giugno 2022.