

Indicatori granulari della mobilità giornaliera per la pianificazione locale: un'evoluzione del modello ISFORT nell'ambito del progetto GRINS-UNIBA-DATAMOBS

Angela Stefania Bergantino¹, Angela Chindemi², Giulia Carbone^{2*}, Carlo Carminucci², Marina Ferrara²

¹ ¹Dipartimento di Economia, Management e Diritto dell'Impresa, Università degli Studi di Bari Aldo Moro
Laboratorio di Economia Applicata, Università degli Studi di Bari Aldo Moro

² Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti, ISFORT S.p.A.

L'articolo presenta DATA for MObility Behaviour Studies - DATAMOBS, un sistema metodologico per la produzione di indicatori granulari di mobilità quotidiana a scala sub-regionale, sviluppato nell'ambito del programma GRINS, come evoluzione della tradizione osservativa Audimob. Il contributo è focalizzato sulla fase di generazione della domanda, basata su un modello parametrico calibrato sulla serie storica Audimob pre-Covid (2010–2019) e integrato con variabili demografiche, socio-economiche e territoriali aggiornate al 2024, in coerenza con le Eurostat Passenger Mobility Statistics Guidelines.

Il sistema combina indicatori osservati a livello regionale (NUTS2) con indicatori stimati dal modello, estendendo la granularità informativa alle province (NUTS3) e ai comuni. La validazione è condotta mediante il confronto con fonti indipendenti: le survey DATAMOBS GRINS 2025 — sviluppate come campagne campionarie territoriali — e i benchmark amministrativi ISTAT relativi alla mobilità per lavoro e studio.

I risultati mostrano un'elevata coerenza territoriale, con varianza spiegata superiore al 99% a scala comunale e scostamenti medi contenuti rispetto ai benchmark ISTAT. Le differenze osservate rispetto alla survey, più evidenti per la mobilità studentesca, sono attribuibili a limiti strutturali delle indagini CATI/CAWI nella rilevazione di una componente quantitativamente ridotta (circa il 2% dei volumi complessivi).

Nel complesso, DATAMOBS si configura come un'infrastruttura informativa replicabile e aggiornabile, utile a supportare la pianificazione territoriale e le politiche di mobilità sostenibile, con prospettive di sviluppo legate alla calibrazione post-Covid ed all'integrazione con i dati delle survey delle Aree Interne.

Parole chiave: Indicatori granulari; mobilità quotidiana; modello di generazione; domanda di mobilità; analisi territoriale.

1 Introduzione

La conoscenza dei comportamenti e delle preferenze di mobilità della popolazione costituisce una base essenziale per la pianificazione dei servizi di trasporto, la valutazione delle politiche pubbliche e il monitoraggio della transizione verso modelli di mobilità sostenibile.

*Corresponding author: [gcarbone@isfort.it]

Nonostante la disponibilità di fonti statistiche nazionali sulla popolazione, sull'occupazione e sui flussi pendolari, in Italia persiste una carenza di indicatori aggiornati e coerenti, in grado di rappresentare con sufficiente dettaglio territoriale *chi* si muove, *come* e *perché* nei diversi contesti del Paese. Tale asimmetria informativa limita la capacità delle amministrazioni di progettare politiche locali fondate su evidenze empiriche e comparabili.

Per rispondere a questa esigenza, ISFORT ha sviluppato un modello di generazione della domanda di mobilità quotidiana fondato sulla serie storica dell'indagine Audimob (2010–2019). Il modello integra microdati comportamentali, variabili socio-economiche e territoriali e fonti amministrative, producendo indicatori armonizzati e comparabili a scala NUTS2 e NUTS3, in coerenza con le *Guidelines on Passenger Mobility Statistics* di Eurostat.

La validazione scientifica è stata condotta nell'ambito del progetto di ricerca DATAMOB – DATA for MObility Behaviour Studies¹, sotto il coordinamento dello Spoke 7 “Territorial Sustainability” del Programma GRINS e realizzato da ISFORT in collaborazione con il Dipartimento di Economia, Management e Diritto dell'Impresa dell'Università di Bari. La validazione empirica si è basata su una campagna campionaria condotta in dieci province italiane e sul confronto con benchmark amministrativi ISTAT, consentendo di verificare la coerenza territoriale e comportamentale delle stime. Un'ulteriore indagine nelle Aree Interne amplia la copertura informativa e costituirà la base per una futura calibrazione specifica nei contesti periferici, caratterizzati da condizioni di accessibilità più deboli e maggiore variabilità dei comportamenti di mobilità.

L'articolo presenta l'architettura metodologica del sistema, gli indicatori granulari prodotti a livello provinciale e comunale e i risultati della validazione rispetto a fonti campionarie e a dati del censimento permanente. Vengono inoltre discussi i principali limiti del modello, legati in particolare alla calibrazione pre-Covid, e le prospettive di sviluppo del sistema, con riferimento al rafforzamento della stima della mobilità non sistematica e al miglioramento della rappresentazione della mobilità sistematica nei territori a bassa densità.

2 Stato dell'arte sugli indicatori della mobilità

La mobilità dei passeggeri si articola in flussi generati dagli individui e influenzati da fattori socio-economici e dall'offerta di trasporto disponibile. La misurazione richiede dati capaci di descrivere in modo integrato tre componenti fondamentali:

- *la struttura insediativa e socioeconomica*, che definisce il potenziale di generazione e attrazione della domanda;
- *l'offerta di mobilità*, ossia l'insieme delle infrastrutture e dei servizi disponibili, che condiziona le scelte modali e i livelli di accessibilità percepiti;
- *la domanda di mobilità*, rappresentata dagli spostamenti effettivamente generati dagli individui e descritti in termini di frequenza, motivazione, distanza, modalità e tempi di viaggio.

Le *Guidelines on Passenger Mobility Statistics di Eurostat (2021)* propongono un quadro multidimensionale, fondato sull'integrazione di informazioni su persone, motivazioni, mezzi e contesti territoriali, al fine di costruire indicatori armonizzati e comparabili nel tempo e nello spazio.

Le categorie e le fonti presentate in questa sezione, illustrate nella Tabella 1, costituiscono il quadro concettuale di riferimento per la letteratura, ma non rappresentano le basi dati utilizzate dal modello, che si fonda esclusivamente sull'indagine Audimob e sulle integrazioni illustrate nel paragrafo 3.

¹ Lo studio DATA for MObility Behaviour Studies, incardinato all'interno dello Spoke 7 “Territorial Sustainability” del Programma GRINS è stato finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU, Missione 4, Componente 2, nell'ambito del progetto GRINS - Growing Resilient, INclusive and Sustainable (GRINS PE00000018 – CUP H93C22000650001).

In coerenza con gli standard Eurostat (2021), la mobilità passeggeri viene descritta attraverso un insieme di dimensioni analitiche – profilo dell'utente, motivo dello spostamento, organizzazione spaziale, distribuzione temporale, frequenza e modalità di trasporto – che consentono di rappresentare in modo sistematico chi si muove, perché, come, dove e quando.

Tabella 1. Principali indagini statistiche sulla mobilità in Italia

Ente	Oggetto	Frequenza	Scala territoriale	Variabili principali	Note metodologiche
ISTAT – Pendolarismo (Censimento / Registri integrati)	Spostamenti sistematici casa-lavoro e casa-studio	Annuale (da registri); storicamente censuaria (decennale)	Comunale-Provinciale – Regionale (NUTS3-2)	Numero pendolari per studio, per lavoro. Destinazione Interna ed esterna al comune.	Attualmente basata su fonti amministrative integrate e modelli matematici.
ISTAT – Multiscopo sulle famiglie Vita quotidiana	Modulo ricorrente sugli spostamenti sistematici casa-lavoro e casa-studio	Annuale (moduli rotanti)	Nazionale-Regionale (NUTS1-2)	Frequenza degli spostamenti sistematici per classe di età e sesso; mezzo di trasporto prevalente	Non misura viaggi multipli; non ricostruisce catene di spostamento; non produce matrici OD
ISTAT – Viaggi e Vacanze	Viaggi non abituali con pernottamenti ed escursioni giornaliere	Trimestrale	Nazionale-Regionale (NUTS1-2)	Numero di turisti, viaggi e pernottamenti, numero di escursioni, spese di viaggio	Basata su Reg. Eurostat 692/2011; osserva solo la mobilità non sistematica; utile per domanda turistica, non per analisi OD
Banca d'Italia – Flussi internazionali	Viaggi da e verso l'estero di italiani e stranieri	Annuale	Nazionale-Regionale	Motivazioni del viaggio, spesa, pernottamenti, modalità di ingresso e di uscita.	Collegata alla contabilità turistica
Indagini OD locali	Mobilità sistematica (aree urbane)	Occasionale (spot)	Comunale-FUA	Origine, destinazione, mezzo, orario	Utile per calibrazioni locali
ISFORT – Audimob	Mobilità quotidiana sistematica e non	Annuale (dal 2000)	Nazionale-Regionale (con modelli NUTS3)	Numero di viaggi pro-capite; motivi degli spostamenti sistematici e occasionali; mezzo; tempi; profilo utente	Unica indagine della mobilità degli individui nazionale armonizzata Eurostat (2021)

Elaborazione da fonti Varie: FS Research Centre 2024 ISTAT, PSN e ISFORT

Queste dimensioni costituiscono il riferimento definitorio adottato a livello europeo e permettono di distinguere tra mobilità generata, attratta e non sistematica. La letteratura evidenzia tuttavia la necessità di garantire coerenza semantica tra fonti statistiche diverse e confrontabilità territoriale, tema centrale anche nell'impostazione metodologica di DATAMOB.

In Italia, la conoscenza della mobilità si basa su un insieme eterogeneo di fonti statistiche e amministrative, diverse per scala territoriale, copertura e metodologia. Gli studi esistenti mostrano che, nonostante la ricchezza delle fonti disponibili, il quadro conoscitivo rimane frammentato e caratterizzato da difficoltà nella produzione di indicatori coerenti e comparabili tra territori. Il modello Audimob-DATAMOB si inserisce in questo contesto con l'obiettivo di costruire un sistema integrato e replicabile di indicatori granulari basato su basi dati armonizzate.

3 Aspetti metodologici di DATAMOBS

3.1 Architettura metodologica e basi dati

DATAMOBS è un framework strutturato per la misura della mobilità quotidiana individuale, che integra la tradizione osservativa dell'indagine Audimob (2001–2024) con gli standard europei più recenti (Eurostat, 2021). La sua architettura combina microdati comportamentali, variabili socioeconomiche e indicatori territoriali (demografia, condizioni occupazionali, accessibilità) con l'obiettivo di produrre indicatori armonizzati e territorialmente granulari a supporto della pianificazione e della valutazione delle politiche di mobilità sostenibile.

Il sistema metodologico si fonda su cinque principi:

- armonizzazione di definizioni, unità statistiche e indicatori per garantire confrontabilità temporale e territoriale;
- coerenza con le Guidelines on Passenger Mobility Statistics di Eurostat;
- multiscalarità, con indicatori osservati a livello NUTS2 e stimati a livello NUTS3 (e, in forma selezionata, a livello comunale);
- replicabilità metodologica, con trasparenza della catena logica (armonizzazione → modellazione → indicatori → validazione);
- tutela dei dati proprietari, mantenendo riservati i microdati Audimob e i coefficienti puntuali, ma rendendo pubbliche definizioni, variabili e processo metodologico.

In coerenza con Eurostat, le unità statistiche sono: individuo, viaggio (origine/destinazione per motivo principale), tratta modale e tour casa–casa. È definito “mobile” chi effettua almeno uno spostamento significativo nel giorno di riferimento (gli spostamenti a piedi inferiori a 5 minuti non sono conteggiati). Le motivazioni sono ricondotte alle nove categorie Eurostat; durate e lunghezze degli spostamenti derivano da dichiarato d'indagine.

Il sistema distingue tre dimensioni analitiche:

- *individuale* (sesso, età, condizione professionale);
- *comportamentale* (motivo, modalità, distanza, durata, orario);
- *territoriale* (NUTS2, NUTS3, cluster funzionali quali FUA, Aree Interne SNAI, classi dimensionali).

A livello NUTS2 gli indicatori sono osservati (serie Audimob 2013–2024). A livello NUTS3 gli indicatori sono stimati mediante il modello di generazione, calibrato su Audimob 2010–2019 e alimentato da dati esogeni comunali aggiornati al 2024.

3.2 Costruzione e armonizzazione delle basi dati

Il nucleo tecnico del sistema è un *data layer* integrato che garantisce interoperabilità, tracciabilità e coerenza semantica lungo l'intera catena informativa. Le fonti utilizzate sono organizzate in tre gruppi principali:

1. *Fonti proprietarie – Audimob (2010–2024)*. Base campionaria nazionale sulla mobilità quotidiana con una numerosità media annua dell'ordine di 15.000–16.000 interviste. Rappresenta la fonte primaria per la stima dei coefficienti di generazione (serie 2010–2019).
 - *Indagini DATAMOBS 2025*. Due campagne complementari, ciascuna di 5.000 interviste:
 - *10 Province*: utilizzata per la validazione del modello, grazie alla rappresentatività per macroarea geografica e tipologia urbana;
2. *Aree Interne SNAI*: destinata a una futura calibrazione, per migliorare le stime nei contesti a bassa densità e con specificità insediative.

Entrambe le survey mantengono il disegno CATI/CAWI armonizzato e includono moduli aggiuntivi su mobilità attiva, digitalizzazione e percezioni ambientali.

3. *Fonti statistiche ufficiali e open data.* ISTAT, MIT, MIUR, Banca d'Italia, Ministero della Salute e altri dataset amministrativi, utilizzati per informazioni demografiche, occupazionali, scolastiche, turistiche e infrastrutturali.

Le fonti statistiche ufficiali e open data non alimentano direttamente la stima della generazione, ma supportano la caratterizzazione territoriale, gli step successivi del modello e la produzione degli indicatori di contesto del sistema DATAMOBS.

Le variabili sono classificate in tre categorie funzionali:

- *Generatori:* fattori demografici e socioeconomici che originano la domanda;
- *Attrattori:* poli occupazionali, scolastici, sanitari e turistici;
- *Domanda osservata:* comportamenti di mobilità rilevati da Audimob e ISTAT.

La mappatura delle motivazioni degli spostamenti sulle categorie Eurostat garantisce comparabilità internazionale. Le schede metadato descrivono copertura, livello territoriale, periodicità e metodologia delle fonti, rendendo il sistema pienamente documentato e replicabile.

3.3 La base campionaria AUDIMOB e le Survey DATAMOBS GRINS 2025

Audimob (ISFORT, dal 2000) è la principale base campionaria sulla mobilità quotidiana della popolazione italiana. Inserita dal 2020 nel Piano Statistico Nazionale PNS e riconosciuta da ISTAT, MIT e FS Research Centre come unica indagine nazionale armonizzata con gli standard Eurostat (2021).

Raccoglie informazioni su spostamenti giornalieri, dotazioni di mobilità, contesto familiare, comportamenti, propensioni e caratteristiche sociodemografiche, consentendo la stima dei coefficienti comportamentali e la definizione dei cluster età × condizione di attività × accessibilità.

Le survey DATAMOBS GRINS 2025 estendono ed aggiornano questo impianto informativo:

- permettono di validare il modello su un set indipendente di province²;
- forniscono informazioni specifiche sulle Aree Interne³, utili per la calibrazione nei contesti periferici;
- introducono nuovi moduli tematici (mobilità attiva, digitale, percezioni ambientali) che arricchiscono il quadro comportamentale.

L'integrazione tra i dati Audimob, le survey DATAMOBS e le fonti statistiche ufficiali costituisce la base informativa per l'applicazione del modello di generazione. In questa fase, il modello è stato calibrato esclusivamente sulla serie storica cumulata Audimob (2010–2019), che garantisce stabilità statistica dei parametri comportamentali, mentre i dati DATAMOBS 2025 sono stati utilizzati unicamente per la verifica di coerenza esterna delle stime.

3.4 Il modello di generazione

A partire dalla struttura informativa descritta, è stato sviluppato il modello di generazione della mobilità quotidiana, che costituisce il nucleo analitico del sistema DATAMOBS. Il modello si colloca nella fase di generazione del classico schema a quattro stadi e stima, per ciascun comune italiano, il numero di spostamenti prodotti dalla popolazione residente.

La stima combina in modo coerente:

² Le indagini (5.000 interviste totali) sono state realizzate nelle province di Pavia, Genova, Padova, Bologna, Pisa, Latina, Napoli, Bari, Reggio Calabria e Messina, rappresentative di differenti macro-aree geografiche e tipologie urbane

³ Le indagini nelle Aree Interne SNAI hanno coinvolto un campione di 5.000 residenti appartenenti a comuni classificati come "intermedi", "periferici" e "ultraperiferici" secondo la Strategia Nazionale per le Aree Interne (SNAI). La selezione garantisce la rappresentatività dei contesti a bassa densità, caratterizzati da limitata accessibilità ai servizi essenziali e condizioni insediative peculiari.

- la distribuzione demografica per classe di età e condizione di attività;
- i tassi di occupazione e la presenza di studenti a livello provinciale;
- gli indicatori territoriali di accessibilità basati sulla classificazione SNAI;
- i parametri comportamentali della serie storica Audimob 2010–2019, che definiscono la propensione alla mobilità e il numero medio di viaggi per scopo.

Il modello adotta una struttura *parametrica lineare*, definita su cluster omogenei per classe di età i , condizione di attività e livello di accessibilità k . Per ciascun comune c , la domanda generata per motivo s è stimata come:

$$d_c^s[k] = \sum_i [n_i(c) a_i^{prov} p_{i,act}(k) m_{i,act}^s(k) + n_i(c) (1 - a_i^{prov}) p_{i,inact}(k) m_{i,inact}^s(k)]$$

Dove:

$n_i(c)$	la popolazione residente nel Comune c appartenente alla classe di età i (fonte: ISTAT);
a_i^{prov}	indicatore di partecipazione alle attività lavorative e di studio per la classe di età i a livello provinciale, costruito da ISFORT mediante integrazione e interpolazione di statistiche ISTAT su occupazione e popolazione studentesca (fonte: ISTAT, elaborazioni ISFORT).;
k	livello di accessibilità territoriale k del singolo comune c , definito secondo la classificazione SNAI (fonte: ISTAT);
$p_{i,act}(k), p_{i,inact}(k)$	la probabilità di essere mobile in un giorno feriale medio, per la classe di età i e classe di accessibilità k del Comune c (fonte: Audimob, classi SNAI: polo, cintura, intermedio, periferico, ultraperiferico);
$m_{i,act}^s(k), m_{i,inact}^s(k)$	il numero medio di viaggi per scopo s effettuati da individui attivi/inattivi nella classe di età i e classe di accessibilità k (fonte: Audimob).

La domanda totale D_c generata dal Comune c è data da:

$$D_c = \sum_s d_c^s$$

L'indicatore provinciale (scala NUTS-3) è ottenuto per aggregazione (somma) delle stime comunali:

$$D_{NUTS3} = \sum_{c \in NUTS3} D_c$$

Questa formulazione garantisce coerenza con la struttura demografica e insediativa dei territori, confrontabilità territoriale e stabilità statistica delle stime. L'approccio consente inoltre di evidenziare differenze strutturali nella propensione alla mobilità, legate all'età, alla condizione di attività e al livello di accessibilità del territorio.

4 Indicatori granulari e risultati del modello

Il sistema DATAMOB produce un insieme coerente di indicatori territoriali di mobilità a livello NUTS2 e NUTS3, combinando dati osservati e stime modellistiche.

La componente osservata deriva dalla serie Audimob 2013–2024, mentre la componente stimata si basa sull'applicazione del modello di generazione descritto nel paragrafo 3.4, alimentato da informazioni demografiche, socioeconomiche e territoriali aggiornate al 2024.

Tutti gli indicatori sono armonizzati secondo le Guidelines on Passenger Mobility Statistics di Eurostat (2021), garantendo confrontabilità spazio-temporale e coerenza definitoria.

4.1 Indicatori osservati e indicatori stimati

Il sistema DATAMOBS integra indicatori osservati (derivati direttamente dalle indagini campionarie) e indicatori stimati (derivati dal modello di generazione), permettendo una lettura coordinata della mobilità quotidiana a più scale territoriali.

Gli indicatori osservati a livello NUTS2 prodotti dalla serie storica Audimob, includono:

- quota di popolazione mobile;
- numero medio di spostamenti giornalieri per persona;
- lunghezza e durata medie degli spostamenti;
- tempo medio di viaggio quotidiano;
- distribuzione modale (non motorizzata, privata, collettiva, combinata).

Queste misure rappresentano la componente empirica del sistema e documentano le differenze regionali nelle abitudini di mobilità.

Gli indicatori stimati dal modello di generazione estendono la granularità informativa alle province (NUTS3) e ai comuni. Per l'anno base 2024 il modello fornisce:

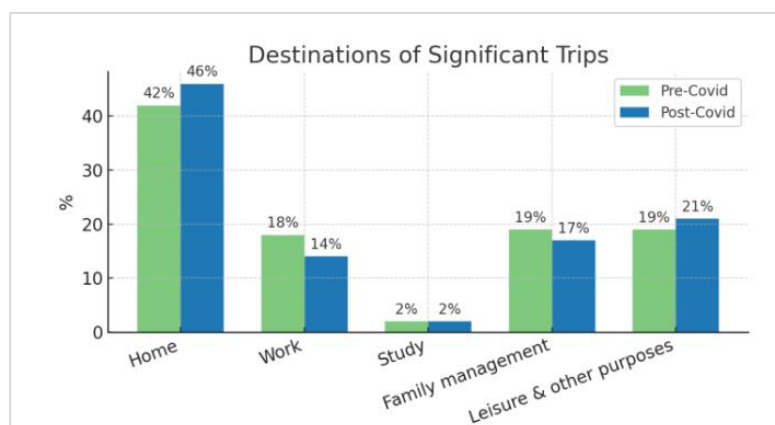
- popolazione mobile per classe di età e condizione di attività;
- tasso di mobilità;
- volume totale di spostamenti giornalieri;
- spostamenti pro-capite;
- spostamenti per motivo principale (lavoro, studio, gestione familiare, svago, altro, rientro a casa).

4.2 Output del modello di generazione: indicatori granulari tematici

L'applicazione del modello ha prodotto, per il 2024, indicatori granulari di mobilità generata a scala comunale, successivamente aggregati a livello provinciale. Tra i principali output figurano: (i) il numero medio di spostamenti giornalieri pro-capite per classe di età e motivo; (ii) il volume totale di spostamenti per comune e provincia; (iii) indicatori tematici riferiti ai motivi prevalenti di spostamento (lavoro, studio, altri motivi).

Prima di analizzare la distribuzione territoriale degli indicatori tematici, è utile richiamare la struttura nazionale della domanda di mobilità per motivo, come rilevata dalla serie storica Audimob. Il Grafico 1 confronta la distribuzione percentuale degli spostamenti significativi nel periodo pre-Covid (2010–2019) e post-Covid (2022–2024), che costituisce la base comportamentale del modello di generazione.

Grafico 1. Struttura nazionale della domanda di mobilità per motivo (Audimob 2010–2019 e 2022–2024).



Fonte: elaborazioni ISFORT su dati Audimob (2010–2019; 2022–2024)

Dall'analisi emergono tre elementi rilevanti: la quota di spostamenti per studio è molto contenuta ($\approx 2\%$) e sostanzialmente stabile nel tempo, rendendo questi indicatori particolarmente sensibili alla variabilità campionaria; nel periodo post-Covid si osserva una riduzione della mobilità sistematica e delle catene di spostamento, accompagnata da una crescita della mobilità discrezionale (svago e altri scopi); la mobilità per gestione familiare risulta in diminuzione.

Le stime DATAMOBS descrivono una domanda di mobilità strutturale, calibrata su parametri comportamentali pre-Covid e applicata alle condizioni demografiche e territoriali del 2024. L'indicatore medio nazionale stimato è pari a 2,32 spostamenti giornalieri per residente. Le variazioni territoriali riflettono la distribuzione della popolazione attiva, l'accessibilità ai principali poli di servizio e la struttura insediativa dei territori, delineando un gradiente marcato tra aree metropolitane e periurbane del Centro-Nord e Aree Interne e montane del Mezzogiorno.

La Figura 1 mostra la distribuzione territoriale degli spostamenti pro-capite per lavoro (popolazione 14–84 anni) e per studio (popolazione 14–30 anni) a scala comunale.

Una lettura comparata delle due mappe evidenzia differenze strutturali significative tra i pattern di mobilità per lavoro e per studio.

Per il lavoro, la distribuzione territoriale è fortemente polarizzata ed esprime un gradiente netto Nord–Sud. I valori pro-capite risultano più elevati nelle regioni del Nord e del Centro, dove più alta è la partecipazione al mercato del lavoro e maggiore la concentrazione delle attività economiche; al contrario, Mezzogiorno e Aree Interne registrano intensità più basse, in linea con differenziali consolidati nei tassi di occupazione e nella struttura dell'offerta produttiva.

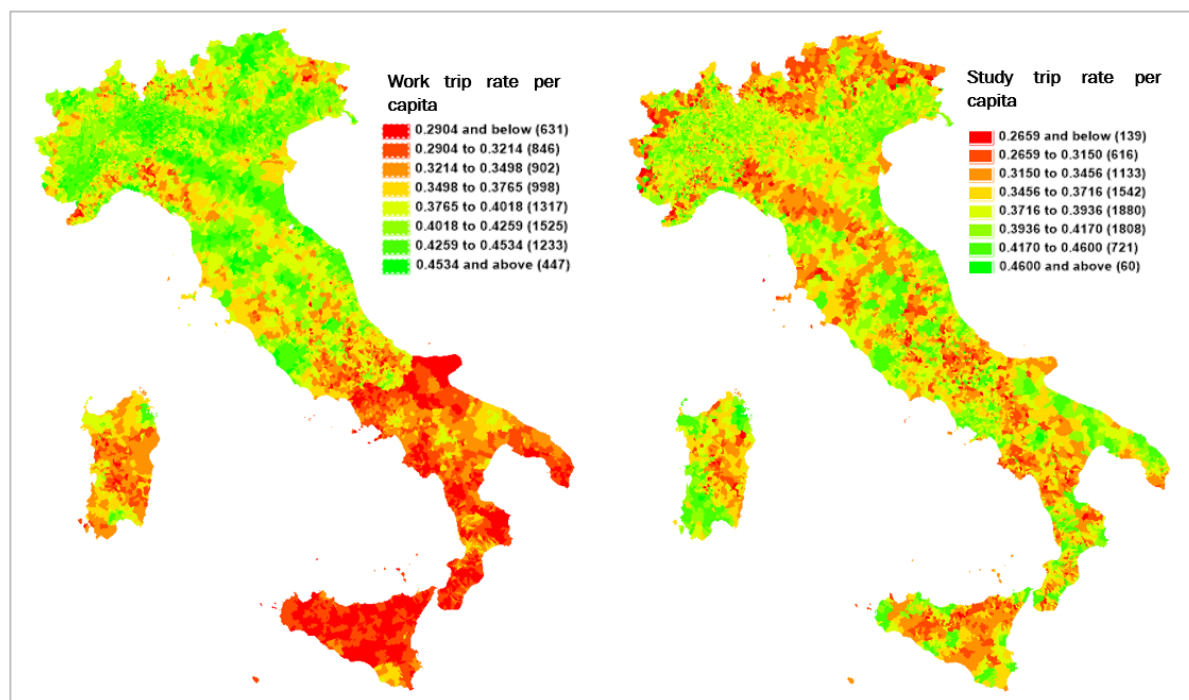
Per lo studio, la geografia degli spostamenti presenta un pattern meno polarizzato e più variabile anche all'interno delle singole regioni. L'intensità è meno influenzata dalle condizioni economiche locali e più sensibile alla distribuzione della popolazione giovanile e ai relativi tassi di partecipazione allo studio. Ne derivano gradienti più sfumati e discontinuità marcate tra comuni polo e comuni di cintura — caratterizzati da valori pro-capite elevati — e le Aree Interne, dove la quota di popolazione studentesca è minore e le distanze dai servizi educativi sono maggiori.

Queste differenze sono di natura strutturale: gli indicatori stimano la domanda generata in proporzione alla popolazione studentesca residente e alla quota di giovani NEET⁴ a livello provinciale. Essi non incorporano il contributo degli studenti fuori sede, componente trattata nella versione completa del modello a quattro stadi ma non oggetto del presente articolo, che si concentra esclusivamente sulla fase di generazione della domanda.

Gli indicatori tematici rappresentano un output essenziale del sistema DATAMOBS, poiché consentono di analizzare la mobilità sistematica e non sistematica a scala sub-regionale e di supportare valutazioni di policy nei contesti urbani, periurbani e nelle Aree Interne. La sezione successiva confronta i risultati del modello con le osservazioni campionarie della survey DATAMOBS 2025 e con i benchmark amministrativi ISTAT.

⁴ Per NEET si intende la quota di giovani che non risultano né occupati, né inseriti in percorsi di istruzione o formazione (Not in Education, Employment or Training). Tale indicatore descrive una componente demografica potenzialmente "inattiva" dal punto di vista della mobilità sistematica, con effetti diretti sul volume atteso di spostamenti per studio o lavoro.

Figura 1. Spostamenti pro-capite per lavoro e per studio (scala comunale, 2024)⁵



Fonte: elaborazioni ISFORT su dati Modello di Generazione DATAMOBS, 2024

5 Validazione del modello

La validazione del modello di generazione DATAMOBS è stata condotta su due livelli territoriali (provinciale e comunale) utilizzando quattro insiemi indipendenti di fonti:

1. la survey DATAMOBS 2025, realizzata in dieci province, che rappresenta un riferimento empirico indipendente e aggiornato al periodo post-pandemico;
2. i dati ISTAT sui pendolari per lavoro (Censimento 2019), utilizzati come benchmark principale sia a scala provinciale sia comunale;
3. la base ISTAT 2021 sui potenziali pendolari per lavoro, rilasciata nell'ottobre 2025, non disponibile al momento della definizione dell'impianto dell'articolo e utilizzata esclusivamente ex-post per la validazione comunale, come controllo aggiuntivo della stabilità delle stime per classe di accessibilità;
4. i dati ISTAT sulla condizione professionale degli studenti (2022), adottati come benchmark strutturale per la mobilità per studio sia a scala provinciale sia comunale.

Il dato ISTAT sui pendolari per studio non è stato utilizzato, poiché include tutte le età (a partire da 0 anni), non confrontabili con gli spostamenti per studio ≥ 14 anni stimati dal modello e osservati dalle survey DATAMOBS. Per garantire coerenza fra definizioni e universi di riferimento, la validazione del segmento "studio" si basa esclusivamente sulla Condizione Professionale ISTAT 2022 (studenti ≥ 15 anni).

Questa articolazione consente di verificare la robustezza del modello sia rispetto alle osservazioni campionarie più recenti, sia rispetto ai benchmark ISTAT consolidati, distinguendo chiaramente tra fonti di calibrazione, validazione principale e controlli di stabilità ex-post.

⁵ Lavoro, popolazione 14 -84 anni; b) Studio, popolazione 14-30 anni

5.1 Validazione a scala provinciale

Il primo confronto è stato effettuato tra le stime del modello (baseline 2024) e i dati osservati dalla survey DATAMOB 2025 nelle dieci province campione (Grafico 2).

La survey costituisce un riferimento empirico indipendente e aggiornato al periodo post-pandemico, mentre il modello è calibrato sulla serie Audimob 2010–2019, quindi su comportamenti pre-Covid.

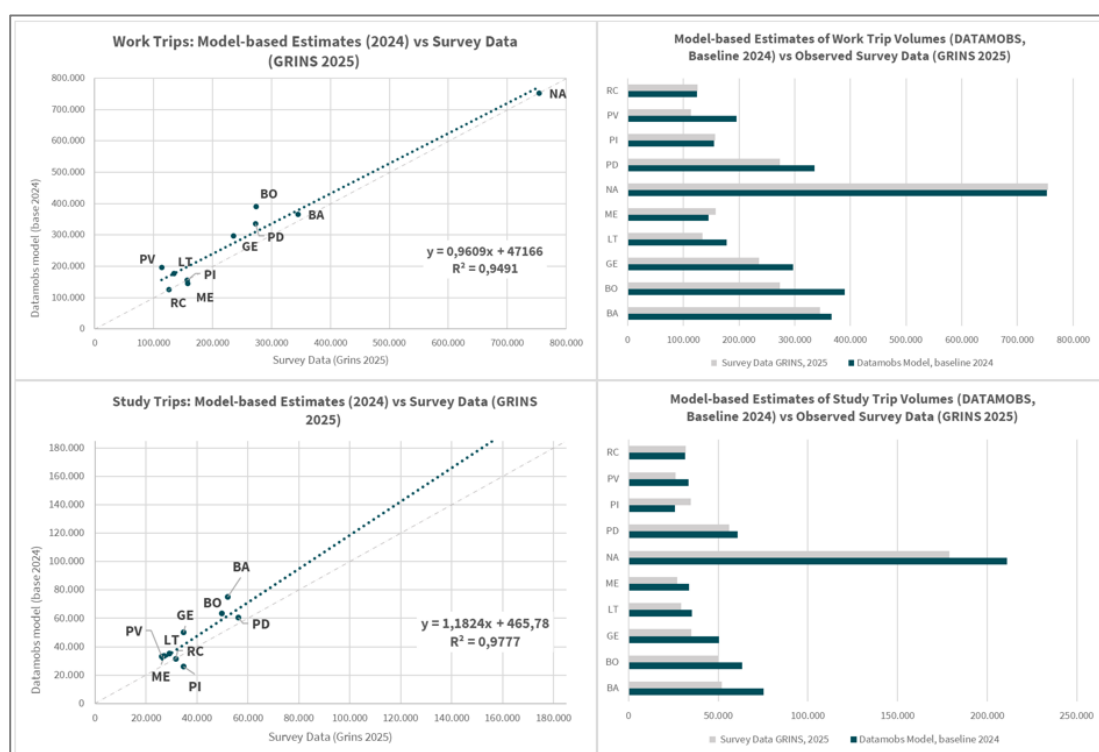
Questa discontinuità temporale produce differenze sistematiche attese, legate ai cambiamenti strutturali della mobilità nel periodo post-2020 (riduzione dei pendolari, diffusione dello smart working, riallineamento dei flussi studenteschi). Tali differenze non rappresentano un errore del modello né della survey, ma l'effetto dell'impiego di basi dati calibrate su due contesti comportamentali differenti.

Il confronto evidenzia che:

- per gli *spostamenti per lavoro*, gli scostamenti medi tra stime modellistiche e survey sono contenuti, nonostante la riduzione della mobilità sistematica registrata nel post-Covid;
- per gli *spostamenti per studio*, gli scostamenti sono maggiori ($\approx 13\%$). Tale risultato è coerente con la letteratura e con le caratteristiche della rilevazione: le survey CATI/CAWI faticano a intercettare gli *studenti fuori sede* — spesso residenti in un territorio ma presenti fisicamente in un altro — e non possono includere gli studenti tra i 14 e i 16 anni senza consenso dei genitori, con conseguente parziale sottorappresentazione della componente studentesca.

Questa differenza è coerente con l'impostazione statistica delle due basi dati: le survey DATAMOB risultano più sensibili alla variabilità campionaria, mentre i parametri del modello derivano dalla *serie cumulata Audimob 2010–2019*, che incrementa la stabilità statistica dei coefficienti comportamentali e riduce l'errore per i motivi a bassa incidenza (come lo studio).

Grafico 2. Volumi di spostamenti per lavoro/studio: confronto tra stime del modello (baseline 2024) e dati osservati dell'indagine DATAMOB GRINS 2025



Fonte: Modello e Survey DATAMOB GRINS 2025

Come anticipato, il secondo confronto è stato effettuato rispetto ai dati ISTAT (Grafico 3).

L'analisi di validazione ha confrontato le stime di mobilità sistematica (lavoro e studio) generate dal modello DATAMOB 2024 con i valori osservati dalla survey nelle dieci province campione, utilizzando come benchmark i dati ISTAT sui pendolari per lavoro (Censimento 2019) e sulla popolazione studentesca ≥ 15 anni (Condizione Professionale 2022).

È opportuno ricordare che il modello stima il numero di spostamenti per motivo lavoro (incluso sia componenti sistematiche sia non sistematiche), mentre il benchmark ISTAT considera il numero di lavoratori sistematici (pendolari).

Il confronto non avviene dunque su grandezze perfettamente omogenee, ma su *pattern territoriali coerenti*, e proprio per questo il buon allineamento del modello rappresenta un risultato metodologico significativo.

I grafici seguenti riportano gli scostamenti percentuali rispetto ai valori ISTAT, permettendo di valutare la coerenza dei due insiemi di osservazioni rispetto a una stessa base di riferimento. Il confronto mostra che:

- il modello presenta uno scostamento medio del -6%, con la maggior parte delle province entro $\pm 5\%$ rispetto al benchmark Istat;
- le deviazioni più ampie riguardano esclusivamente Messina (-13%) e Reggio Calabria (-11%), valori comunque entro un intervallo metodologicamente accettabile;
- al contrario, la survey DATAMOB 2025 registra, rispetto ai dati Istat, degli scostamenti della mobilità lavorativa (media -18%), con picchi particolarmente elevati a Pavia (-45%) e Bologna (-34%).

Questi scostamenti rispetto ai dati Istat riflettono le trasformazioni strutturali del periodo post-pandemico: diffusione dello smart working, riduzione degli spostamenti sistematici, maggiore variabilità comportamentale. Poiché la survey DATAMOB misura gli spostamenti effettivi nel 2025, mentre l'ISTAT 2019 cattura la mobilità potenziale pre-Covid, gli scarti derivano dalla differenza tra i due contesti di riferimento.

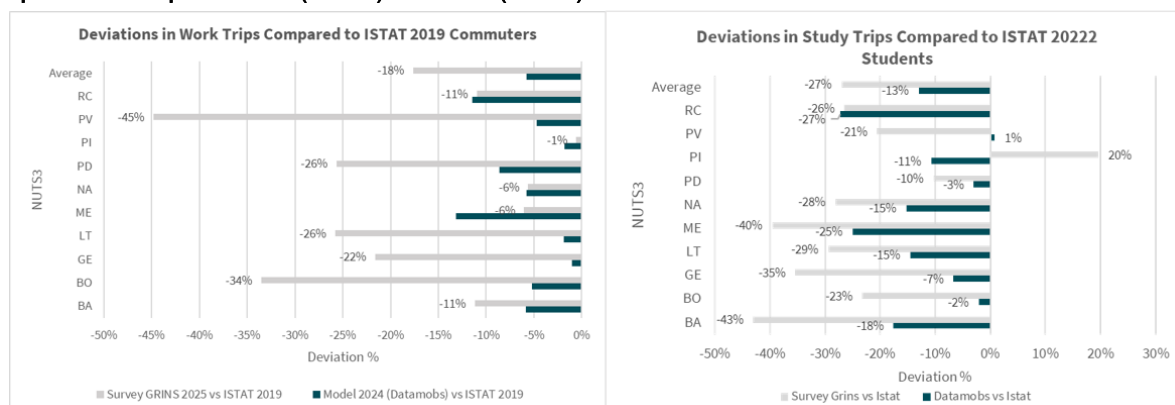
Per la mobilità studentesca gli scostamenti risultano fisiologicamente più ampi, ma il modello mantiene una buona capacità di stima territoriale. È importante ricordare che il confronto avviene tra spostamenti per studio (Survey/Modello) e il numero di persone classificate come "studenti" da ISTAT (Condizione professionale 2022), due grandezze non perfettamente omogenee.

I risultati evidenziano che:

- la survey DATAMOB 2025 sottostima i flussi per studio (-27%), con scarti più elevati nelle province con maggiore presenza di studenti fuori sede o con popolazione giovanile in flessione: Bari (-43%), Messina (-40%), Genova (-35%), l'unico valore positivo significativo è Pisa (+20%), che rientra comunque nella normale variabilità statistica del motivo "studio", la cui quota sul totale degli spostamenti è molto contenuta ($\approx 2\%$);
- il modello DATAMOB si colloca più vicino ai valori ISTAT (scostamento medio -13%), attenuando le sottostime più estreme grazie alla calibrazione sui parametri demografici e territoriali.

Le differenze più marcate emergono nelle province meridionali e nei poli metropolitani con forte componente di studenti fuori sede, i cui flussi interregionali risultano difficili da intercettare tramite survey CATI/CAWI e non rientrano pienamente nell'universo osservabile delle indagini telefoniche/online.

Grafico 3. Confronto dati Survey e stime del Modello DATAMOBS GRINS vs dati ISTAT – Spostamenti per lavoro (2019) e studio (2022)



Fonte: Modello e Survey DATAMOBS GRINS 2025 e dati ISTAT

Nel complesso, i risultati confermano che:

- il modello DATAMOBS è più aderente ai benchmark ISTAT per entrambi i motivi di spostamento, con scostamenti generalmente inferiori al 10%;
- la survey DATAMOBS misura la mobilità effettiva in un contesto post-pandemico, mentre il modello descrive la mobilità potenziale, rendendo i due insiemi di dati complementari ma non sovrapponibili;
- il sistema costituisce una base solida per la calibrazione di modelli previsionali e per analisi territoriali a scala provinciale e comunale, in coerenza con la tradizione metodologica Audimob.

5.2 Validazione a scala comunale

La validazione a scala comunale rappresenta un test particolarmente rilevante per valutare la robustezza del modello, in quanto verifica la coerenza delle stime rispetto ai benchmark amministrativi più dettagliati disponibili.

È importante sottolineare che i benchmark ISTAT e le stime del modello DATAMOBS non misurano grandezze perfettamente omogenee: per il lavoro, ISTAT rileva persone che dichiarano uno spostamento sistematico casa-lavoro, mentre il modello stima spostamenti generati in un giorno medio; per lo studio, ISTAT non misura i pendolari scolastici, ma la popolazione residente classificata come “studente”, un indicatore strutturale e non comportamentale.

Nonostante questa disomogeneità, il modello mostra una coerenza molto elevata con i pattern territoriali ISTAT (Grafico 4).

Il confronto tra la stima comunale degli spostamenti per lavoro (DATAMOBS) e i potenziali pendolari (ISTAT 2019) evidenzia:

- $R^2 = 0,9985$, con una varianza spiegata superiore al 99,8%;
- pendenza della retta di regressione pari a 1,012, prossima all'identità;
- intercetta pari a -162, di entità marginale rispetto ai volumi osservati.
- È fondamentale ricordare che non si confrontano grandezze omogenee:
- ISTAT misura persone che dichiarano uno spostamento sistematico casa-lavoro;
- Il modello DATAMOBS stima il numero di spostamenti per lavoro in un giorno medio, includendo sia la componente sistematica sia quella non sistematica (lavoro occasionale, part-time non giornaliero, turnazioni irregolari, lavoro intermittente, ecc.).

Per questo motivo, è fisiologico che gli spostamenti stimati dal modello siano superiori al numero di pendolari ISTAT, poiché i pendolari rappresentano solo una parte della popolazione che si muove per lavoro.

La pendenza leggermente superiore a 1 è dunque coerente con questa differenza concettuale e con il fatto che la calibrazione si basa su comportamenti pre-Covid, periodo in cui sia gli spostamenti sistematici sia quelli non sistematici erano più frequenti.

Nel complesso, la quasi perfetta linearità conferma che il modello riproduce correttamente la struttura territoriale della domanda di mobilità per lavoro, anche a fronte dell'eterogeneità tra le due fonti.

La validazione comunale per gli studenti mostra anch'essa un'elevata coerenza, pur con una maggiore variabilità territoriale, tipica della mobilità scolastica e universitaria:

- $R^2 = 0,9947$, con varianza spiegata superiore al 99%;
- pendenza pari a 0,90, con lieve sottostima nei comuni sede di poli universitari e sovrastima nei comuni con dotazioni scolastiche ridotte.

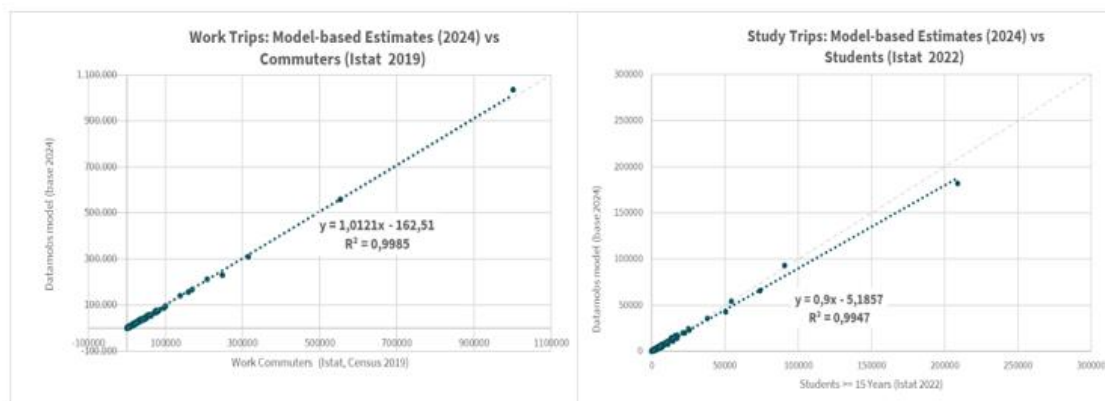
Questa relazione è attesa, poiché le grandezze messe a confronto non sono omogenee:

- ISTAT rileva persone residenti classificate come "studenti" (Condizione professionale 2022);
- Il modello stima spostamenti significativi generati dagli studenti in un giorno medio, determinati dalla presenza di servizi scolastici, dalla distanza dai poli formativi e dal grado di pendolarità intercomunale.

Un ulteriore elemento strutturale è la crescente diffusione delle università telematiche, che consente a una quota crescente di studenti – pienamente inclusi nell'indicatore ISTAT – di non generare mobilità quotidiana. Un fenomeno analogo, seppur marginale nei volumi complessivi, riguarda alcune categorie di formazione professionale a distanza.

Queste componenti, pur rilevate come "studenti" dal benchmark ISTAT, non producono spostamenti sistematici, contribuendo fisiologicamente alla maggiore variabilità territoriale e alla pendenza inferiore all'unità osservata nella regressione.

Grafico 4. Validazione del modello a scala comunale: confronto con benchmark spostamenti per lavoro e studio



Fonte: Pendolari per lavoro ISTAT 2019 e condizione professionale studenti di almeno 15 anni ISTAT 2022

La distribuzione territoriale degli scarti è stata analizzata distinguendo i comuni secondo le classi di accessibilità SNAI (2020), utilizzando come benchmark i dati ISTAT 2021 sui potenziali pendolari per lavoro. Il confronto permette di valutare non solo l'accuratezza complessiva del modello, ma anche la sua capacità di aderire ai pattern territoriali in contesti con diversa struttura insediativa. La valutazione degli scarti tra le stime del modello e i valori ISTAT (Tabella 2) è stata approfondita distinguendo i comuni per classe di accessibilità SNAI (2020). I risultati evidenziano che:

- *Polo e Cintura* mostrano una coerenza elevatissima: il 92% e l'85% dei comuni rientra entro $\pm 10\%$ rispetto ai valori ISTAT;

- le Aree Intermedie e Periferiche presentano una dispersione maggiore, ma con valori comunque accettabili (60–70% entro $\pm 10\%$);
- gli scostamenti più ampi ($>\pm 20\%$) sono rari ($<5\%$) e si concentrano quasi esclusivamente nei comuni Ultraperiferici.

Questi risultati confermano che la qualità delle stime è elevata nelle aree più strutturate, mentre gli scarti maggiori si osservano nei territori dove la mobilità sistematica è più variabile. Ciò fornisce una base solida per la futura calibrazione specifica delle Aree Interne e delle zone a bassa accessibilità.

Tabella 2. Sintesi degli scostamenti percentuali per classe di accessibilità comunale (SNAI)

Classe scarto	A - Polo	B - Polo intercomunale	C - Cintura	D - Intermedio	E - Periferico	F - Ultraperiferico
$\leq -20\%$				1%	2%	1%
$\geq 20\%$	1%	2%	3%	5%	8%	14%
da 10% a 20%	4%	8%	8%	7%	9%	14%
da -20% a -10%	3%	2%	4%	19%	16%	12%
da -10% a 10%	92%	88%	85%	69%	65%	60%

Fonte: elaborazione ISFORT su Modello DATAMOBS e Pendolari lavoro 2021 (ISTAT)

6 Considerazioni conclusive e sviluppi futuri del sistema DATAMOBS

L'insieme delle analisi presentate conferma la coerenza interna e la solidità metodologica del sistema DATAMOBS, sia nella costruzione del modello di generazione sia nei test di validazione a scala provinciale e comunale.

Le stime di mobilità sistematica (lavoro e studio) prodotte dal modello 2024 riproducono in modo consistente i principali pattern territoriali rilevati dalle fonti empiriche indipendenti (ISTAT e survey DATAMOBS 2025), con scostamenti medi inferiori al 10% nella maggior parte delle province.

La validazione a scala comunale evidenzia livelli molto elevati di stabilità statistica ($R^2 > 0,99$) per entrambi i motivi di spostamento. La coerenza risulta particolarmente elevata nelle aree Polo e Cintura, mentre una maggiore variabilità si osserva nelle aree Intermedie, Periferiche e Ultraperiferiche, dove la mobilità sistematica presenta comportamenti più discontinui. Nel complesso, i risultati indicano che il modello è in grado di rappresentare la domanda potenziale di mobilità in modo strutturale, non direttamente condizionata dall'offerta di trasporto e dalle dinamiche congiunturali del periodo post-pandemico.

Pur mantenendo questa coerenza generale, il modello presenta alcuni limiti strutturali che orientano in modo diretto le evoluzioni future. La calibrazione attuale si basa su dati pre-Covid applicati alle condizioni sociodemografiche del 2024; la componente studentesca risente della difficile intercettazione degli studenti fuori sede; la stima della mobilità non sistematica è ancora sperimentale in assenza di benchmark nazionali consolidati; infine, gli scarti più ampi si concentrano nelle Aree Interne, dove la variabilità dei comportamenti è maggiore. Le linee di sviluppo che seguono sono concepite per affrontare progressivamente tali criticità.

Nel complesso, DATAMOBS si configura come un'infrastruttura informativa integrata capace di produrre indicatori territoriali armonizzati, aggiornabili e granulari, a supporto della pianificazione della mobilità sostenibile, delle valutazioni ex-ante ed ex-post delle politiche e dell'analisi multilivello dei comportamenti individuali. L'architettura del sistema consente inoltre l'integrazione progressiva di nuove fonti (microdati DATAMOBS GRINS, Big Data di mobilità, indicatori socioeconomici e ambientali), garantendo scalabilità e replicabilità nel tempo.

Le prospettive di sviluppo includono tre linee principali:

- *Estensione della componente di mobilità non sistematica.* Gli indicatori relativi agli spostamenti non sistematici (gestione familiare, svago e altri motivi) sono già stimati dal

modello sulla base della calibrazione pre-Covid della serie storica Audimob. La principale criticità riguarda la loro validazione, data l'assenza di benchmark nazionali indipendenti. Le evoluzioni future potranno prevedere l'introduzione di variabili socioeconomiche aggiuntive e l'utilizzo di fonti complementari per rafforzarne la robustezza e la verificabilità di tali stime.

- *Rafforzamento della componente predittiva del modello.* L'attuale modello incorpora già la struttura territoriale, demografica e occupazionale della popolazione residente. Le future evoluzioni saranno orientate a integrare comportamenti post-Covid e tendenze emergenti (nuove forme di pendolarismo, digitalizzazione, riduzione della mobilità sistematica), migliorando la sensibilità del modello ai cambiamenti socioeconomici e tecnologici.
- *Aumento della precisione nei contesti delle Aree Interne.* Le specificità di questi territori — bassa densità insediativa, accesso ai servizi essenziali, lunghezza degli spostamenti — rendono necessarie calibrature dedicate. La survey DATAMOBs Aree Interne fornirà dati mirati per affinare il modello, ridurre bias territoriali e aumentare la precisione delle stime comunali, in coerenza con gli obiettivi della Strategia Nazionale Aree Interne (SNAI).

In sintesi, DATAMOBs rappresenta un avanzamento significativo nel sistema nazionale di monitoraggio della mobilità quotidiana: offre una base informativa armonizzata, strutturale e replicabile, utile per accompagnare le strategie di equità territoriale, accessibilità e sostenibilità promosse dal PNRR e dalla Missione "Territori Sostenibili".

Acknowledgements

Lo studio pubblicato è stato finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU, Missione 4, Componente 2, nell'ambito del progetto GRINS - Growing Resilient, INclusive and Sustainable (GRINS PE00000018 – CUP H93C22000650001). I punti di vista e le opinioni espresse sono esclusivamente quelle degli autori e non riflettono necessariamente quelle dell'Unione Europea, né può l'Unione Europea essere ritenuta responsabile per esse.

Riferimenti bibliografici

Agenzia per la Coesione Territoriale. (2020). *Strategia Nazionale per le Aree Interne (SNAI): Linee guida per la classificazione dei comuni italiani*. Roma: Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Banca d'Italia. (dal 1996). *Indagine sul turismo internazionale*. <https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/indagine-turismo-internazionale/index.html>.

Bergantino, A. S., Gardelli, A., & Rotaris, L. (2024). *Assessing transport network resilience: empirical insights from real-world data studies*. *Transport Reviews*, 44:4, 834-857, DOI: 10.1080/01441647.2024.2322434.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr – BMDV / infas / DLR (2023). *Mobilität in Deutschland 2023 (MiD)*. Bonn: BMDV. <https://www.mobilitaet-in-deutschland.de>.

Centraal Bureau voor de Statistiek – CBS (2023). *Onderzoek Verplaatsingen in Nederland (ODiN): Research into Mobility in the Netherlands*. Den Haag: CBS Statistics Netherlands. <https://www.cbs.nl/en-gb/our-services/methods/surveys/brief-descriptions/odin>

De Felice, F. (1997). *Classificazione dei comuni d'Italia secondo la struttura socio-economica: un'applicazione della domanda di mobilità*. Napoli: ITER – Centro Ricerche Servizi, per il progetto Finalizzato Trasporti 2 del Consiglio Nazionale delle Ricerche – Direzione scientifica Prof. Lucio Bianco.

Department for Transport – DfT. (2023). *National Travel Survey (NTS) and TEMPro: Trip End Model Presentation Program – User Guidance*. London: UK DfT. <https://www.gov.uk/government/publications/tempro-and-ntem-user-guidance>.

Eurostat. (2018). *Guidelines on Passenger Mobility Statistics*. Luxembourg: Publications Office of the European Union Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-88883-0. DOI: 10.2785/801181

Eurostat (2021). *Guidelines on Passenger Mobility Statistics*. Luxembourg: Publications Office of the European Union ISBN 978-92-76-38445-9. DOI: 10.2785/85427.

Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, ISTAT, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2024). *Elementi metodologici per l'analisi della mobilità delle persone attraverso l'uso di Big Data*. Roma: FS Research Centre – Ferrovie dello Stato Italiane. ISBN 978-88-940638-7-5.

ISFORT. (2018). *Modello di generazione e distribuzione Audimob*, <https://www.isfort.it/progetti/modello-di-generazione-audimob>.

ISFORT. (2024). *Indagine Audimob sulla mobilità degli italiani*. Roma: Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti. Inserita nel Programma Statistico Nazionale (PSN) dal 2020. <https://www.isfort.it/ricerca/audimob/>

ISTAT. (2025). Nota metodologica – Matrice del pendolarismo per motivi di lavoro. Censimento permanente della popolazione e delle abitazioni 2021. Roma: Istituto Nazionale di Statistica, 2 ottobre 2025. <https://www.istat.it/wp-content/uploads/2025/10/Nota-metodologica-Pendolarismo-per-lavoro-2021.pdf>.

ISTAT. (2021). Gli spostamenti per motivi di studio o lavoro secondo il Censimento permanente della popolazione. https://www.istat.it/it/files//2021/05/Censimento_spostamenti_pendolari.pdf.

ISTAT. (2025). Indagine campionaria Multiscopo Aspetti della vita quotidiana, Sezione Servizi. Spostamenti abituali per lavoro e studio. <http://dati.istat.it/#>.

ISTAT. (2025). Indagine censuaria del Movimento dei clienti negli esercizi ricettivi, in Servizi, Turismo, Movimenti. <http://dati.istat.it/>.

ISTAT. (2025). *Indagine Capi Viaggi e Vacanze*. <https://www.istat.it/it/archivio/234710>

McNally, M. G. (2007). *The Four Step Model*. In: Handbook of Transport Modelling, 2nd Edition, ed. D. A. Hensher & K. J. Button. Oxford: Pergamon/Elsevier.

Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires – MTES / CEREMA. (2021). *Enquête Mobilité des Personnes 2019 – Résultats nationaux*. Paris: CEREMA. <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/enquete-mobilite-personnes-2019-resultats>

Ministero delle Infrastrutture e Trasporti. (2016). *Linee Guida per le misure di trasporto nelle Aree Interne*. ISFORT per il Comitato Nazionale Aree Interne nell'ambito del Piano di valutazioni NUVAP – PON Governance e Assistenza Tecnica.

Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2021). *Modelling Transport* (6th Edition). Chichester: John Wiley & Sons.

Tartaglia, M., Nourbakhsh, S., Vannacci, L., Chindemi, A., Carbone, G., Ferrara, M., Sommario, W., Marino, M. (2023). *Un modello multimodale per la simulazione della mobilità di media e lunga percorrenza delle persone in Italia*. *Ingegneria Ferroviaria*, pp. 217–250.

U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration. (2022). *National Household Travel Survey (NHTS) 2017–2022: Methodology and Data Files*. Washington, DC: FHWA. <https://nhts.ornl.gov>