

Il Modello Audimob per la generazione, la distribuzione e la scelta modale della domanda di mobilità passeggeri

Il contributo di Audimob per la valutazione degli scenari trasportistici

Chindemi Angela

Un nuovo obiettivo di ricerca per Isfort

Specificare, implementare e calibrazione modelli di domanda di mobilità a diversa scala geografica (regionale, locale, media e lunga percorrenza) attraverso la valorizzazione della **serie storica Audimob di Isfort** e l'integrazione con i dati di offerta e domanda del gruppo FS, e Big Data.



Modelli di mobilità regionali e nazionali calibrati con Audimob

20 Modelli Regionali

1. Generazione spostamenti per motivo nazionale (*fonte: Diario di bordo giornaliero Audimob*)

2. Modello Distribuzione regionali

- 2.1 Stima spostamenti intercomunali;
- 2.2 Stima OD intercomunali regionale.

20 Modelli gravitazionali regionali degli spostamenti intercomunali OD.

3. Modello scelta modale regionali

Modello Logit applicato alle matrici OD intercomunali regionali

Calibrato con i microdati *Audimob*. Le funzioni di costo sono stimate dai Modelli di offerta di trasporto delle infrastrutture locali e servizi ferro e bus regionali

Modello territoriale nazionale



911 zone di traffico

Modello Nazionale MLP

1. Generazione spostamenti ≥ 80 km (*Fonte: Diario di bordo giornaliero + settimanale Audimob*)

2. Modello Distribuzione

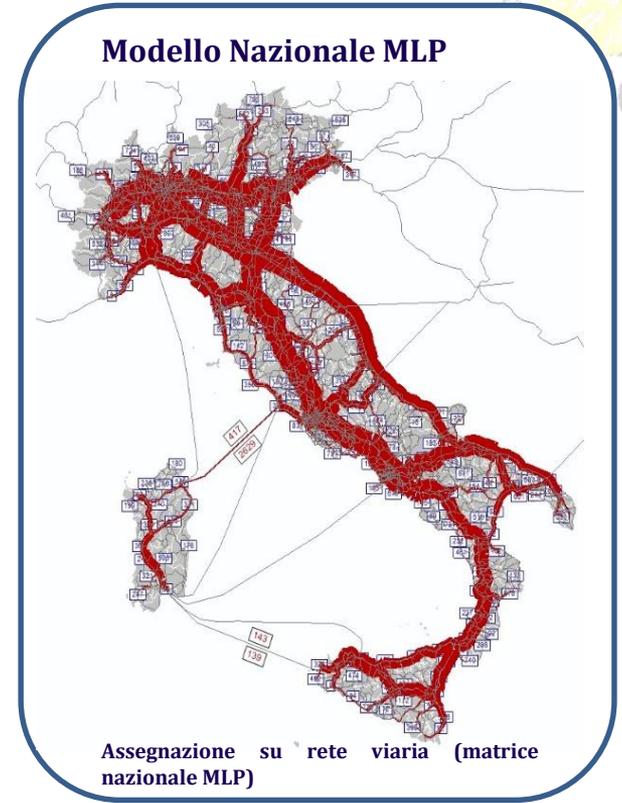
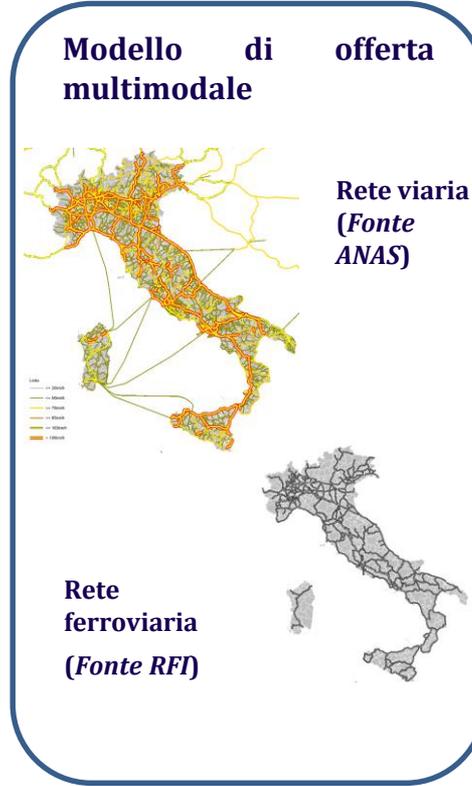
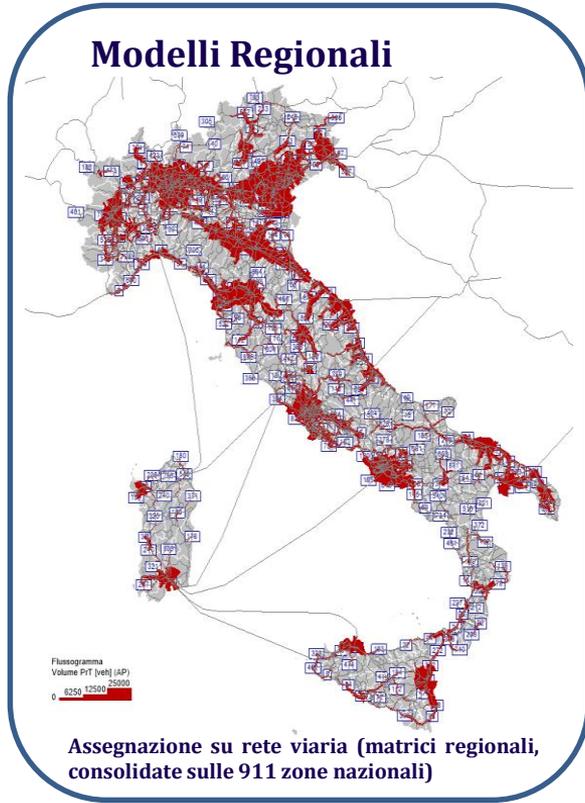
Modello gravitazionale calibrato con Matrice OD Vodafone degli spostamenti ≥ 80 Km. (OD 911 zone di traffico)

3. Modello scelta modale

Modello Logit applicato alle matrici OD interzonali (911*911) degli spostamenti maggiori di 80 km.

Calibrato con i microdati *Audimob*. Le funzioni di costo stimate da modello di offerta a scala nazionale (*Grafo ANAS, Grafo RFI, GTFS Ferro (Trenitalia, NTV, Trenord ottobre 2019), GTFS Flixbus; Costi aerei.*)

Modelli di mobilità regionali e nazionali calibrati con Audimob



Modello di generazione regionale

OUTPUT VETTORI COMUNALI

Applicando il modello si ottengono i vettori degli spostamenti complessivi (intra ed extra comunali) generati sul territorio comunale per i motivi : lavoro, studio e altri motivi



Il numero di spostamenti procapite medi generati per motivo da ogni singolo comune italiano è stimato **tramite i parametri estrapolati dall'analisi della serie storica di AUDIMOB** (diario di bordo giornaliero) per ciascuno dei 12 profili omogenei (classe di età attivo/non attivo) in cui si distribuisce la popolazione residente in considerazione delle classe di accessibilità del comune (ovvero distanza del comune dal Polo più vicino).

Variabile esogene del modello

Ciascuna delle 6 classi anagrafiche, in considerazione dei tassi di occupazione, è distinta in popolazione attiva (lavoratori e/o studenti) e non attiva (tutti gli altri).

- 0-13 anni*
- 14-19 anni
- 20-24 anni
- 25-29 anni
- 30-64 anni
- 65-74 anni
- 75-84 anni
- 85 anni e più*



* Classi demografiche non rappresentate nel modello di generazione

Variabile Accessibilità

La classificazione di accessibilità SNAI individua i poli in quei comuni che hanno carattere di «Centro di offerta di Servizi» primari. In relazione alla distanza dal polo più vicino distinguiamo i comuni in:

- di cintura – a meno di 20 minuti da un polo;
- intermedi – tra 20 e 40 minuti;
- periferici – tra 40 e 75 minuti;
- ultraperiferici – oltre i 75 minuti.

59.641.488 popolazione italiana residente al 1 gennaio 2020

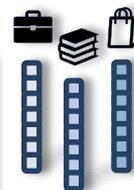
Il contributo di Audimob per la valutazione degli scenari trasportistici

CNEL , Roma, 12 dicembre 2022

Modello di generazione nazionale

OUTPUT VETTORI COMUNALI

Applicando il modello si ottengono i vettori degli spostamenti generati *sopra gli 80 km* generati sul territorio comunale per i motivi: lavoro e affari, studio, affari privati, vacanza e svago.



Il numero di spostamenti medi sopra gli 80 km generato per motivo da ogni singolo comune italiano è stimato **tramite i parametri estrapolati dall'analisi della serie storica di AUDIMOB** (diario di bordo e settimanale) per ciascuno dei 12 profili omogenei (classe di età attivo/non attivo) in cui si distribuisce la popolazione residente per classe di accessibilità del comune (ovvero distanza del comune dal Polo più vicino).

Variabile esogena del modello

Ciascuna delle 6 classi anagrafiche, in considerazione dei tassi di occupazione, è distinta in popolazione attiva (lavoratori e/o studenti) e non attiva (tutti gli altri).

- 0-13 anni*
- 14-19 anni
- 20-24 anni
- 25-29 anni
- 30-64 anni
- 65-74 anni
- 75-84 anni
- 85 anni e più*



* Classi demografiche non rappresentate nel modello di generazione

59.641.488 popolazione italiana residente al 1 gennaio 2020

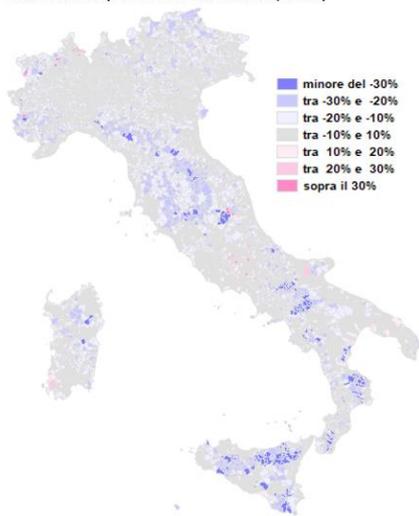
Variabile Accessibilità

La classificazione di accessibilità SNAI individua i poli in quei comuni che hanno carattere di «Centro di offerta di Servizi» primari. In relazione alla distanza dal polo più vicino distinguiamo i comuni in:

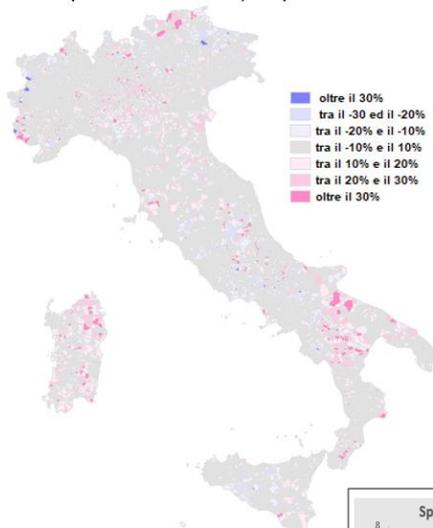
- *cintura* – a meno di 20 minuti da un polo;
- *intermedi* – tra 20 e 40 minuti;
- *periferici* – tra 40 e 75 minuti;
- *ultraperiferici* – oltre i 75 minuti.

Validazione del modello di generazione Audimob

I Comuni per classi degli scarti % tra spostamenti per motivo lavoro stimati dal MNGL e i pendolari per motivo lavoro (Censimento Permanente, 2019)



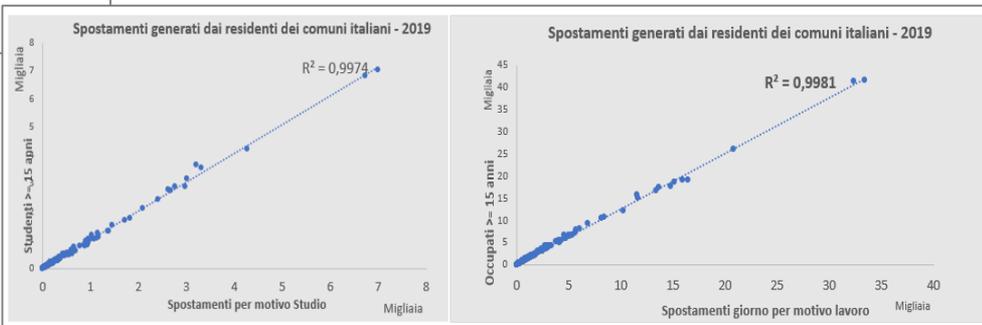
I Comuni per classi degli scarti % tra spostamenti per motivo studio stimati dal MNGL e studenti maggiore di 15 anni (Censimento Permanente, 2019)



La distanza massima tra spostamenti stimati dal modello anno base 2019 con i pendolari stimati dall'Istat nell'ambito del Censimento Permanente della Popolazione 2019 - per quei comuni il cui insieme è rappresentativo dell'85% della popolazione residente italiana - è inferiore al 15%.

Solo per i comuni rappresentativi dell'1% della popolazione la distanza è superiore al 30%

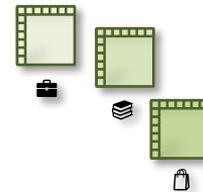
Ottima correlazione tra le stime comunali degli spostamenti lavoro e studio del modello di Generazione Audimob nazionale con i valori rispettivamente degli occupati e studenti maggiori di 15 anni censiti dal Censimento Permanente della popolazione 2019.



Modello di distribuzione

Output matrici O/D spostamenti

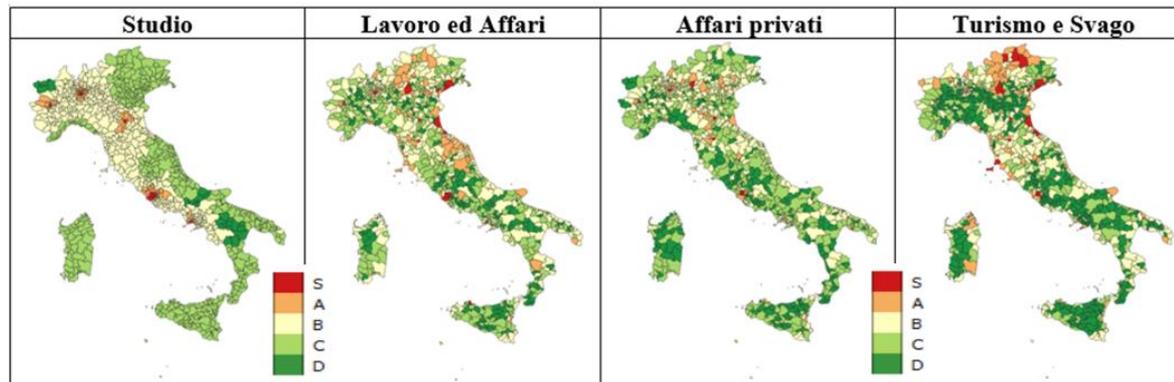
Applicando il modello si ottengono le matrici di distribuzione degli spostamenti extraurbani intraregionali per i motivi lavoro, studio e occasionale (modello regionale), degli spostamenti maggiore di 80 km per il modello nazionale



La formulazione funzionale adottata per i modelli di distribuzione regionale e nazionale di media e lunga percorrenza è di tipo gravitazionale. Le fonti di dati osservate sono varie e cambiano a seconda della scala geografica del modello e del motivo.

I modelli regionale con le matrici del pendolarismo per motivo lavoro e studio, con i dati Audimob per classe di distanza tutti gli altri motivi. I parametri dei modelli di distribuzione nazionali sono stati calibrato con l'ausilio della matrice OD degli spostamenti giornalieri complessivi sopra gli 80 km estratta dai dati di telefonia mobile.

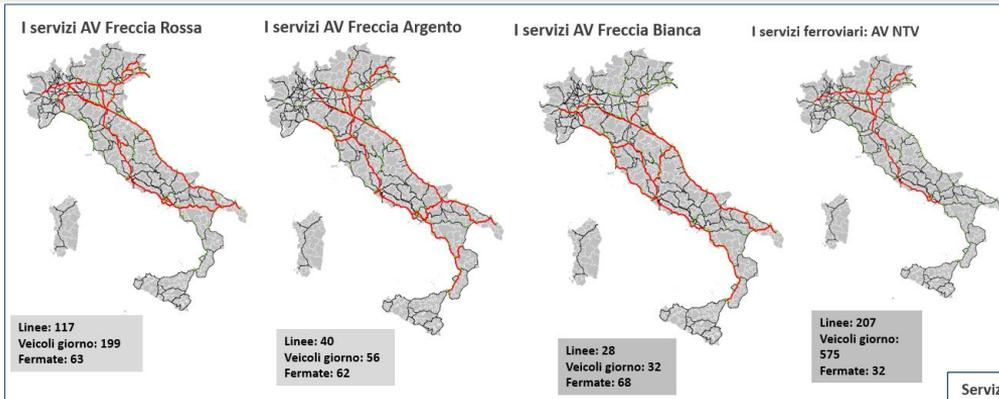
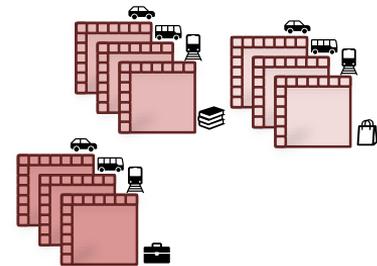
Classificazione gerarchica delle zone nazionale per capacità di attrazione dei viaggi di media e lunga percorrenza applicata al modello di Distribuzione Nazionale della MLP.



Modello di Scelta Modale nazionale

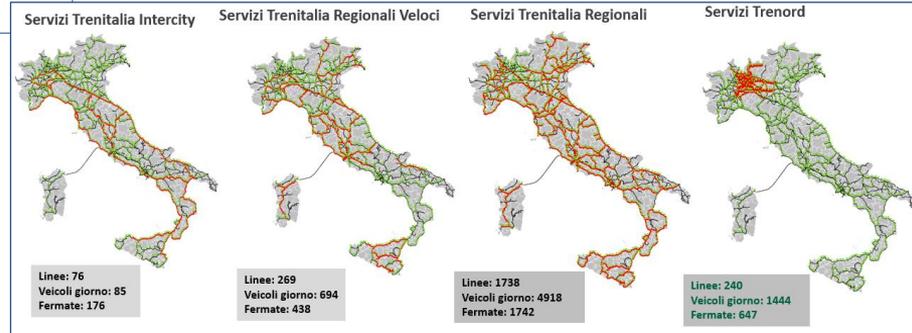
Output Matrici Modali O/D

Applicando il modello si ottengono le matrici di scelta modale degli spostamenti extraurbani. Essenziale i modelli di offerta modali di trasporto per la stima dei costi generalizzati degli spostamenti.



I costi generalizzati delle alternative modali per le diverse scale geografiche sono stati stimati con i modelli di offerta specifici. Il modello nazionale multimodale ha consentito di stimare tempi di viaggio e costi delle diverse alternative modali: stradali, Bus extra-urbano, servizi ferroviari AV, servizi ferroviari I&R e collegamenti di linea aeroportuali.

Il modello adottato è di tipo Logit Multinomiale, calibrato con il metodo della massima verosimiglianza, basato sulle scelte di mobilità rilevate **dal campione Audimob** per classe motivazionale del viaggio (lavoro, studio, affari privati, turismo e svago).



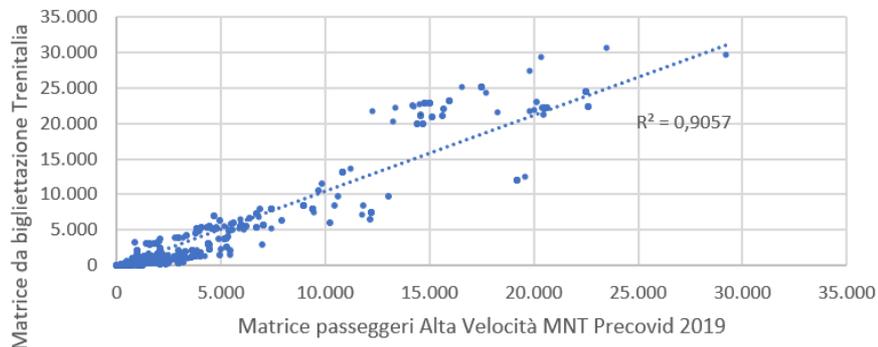
Assegnazione modello nazionale

Output Flussi d'arco modali. Assegnando le matrici modali sui rispettivi modelli di offerta si stimano i percorsi su rete da cui discendono i flussi d' arco e la stima dei passeggeri km, o i veicoli Km sia giorno che riferiti ad una data fascia oraria.

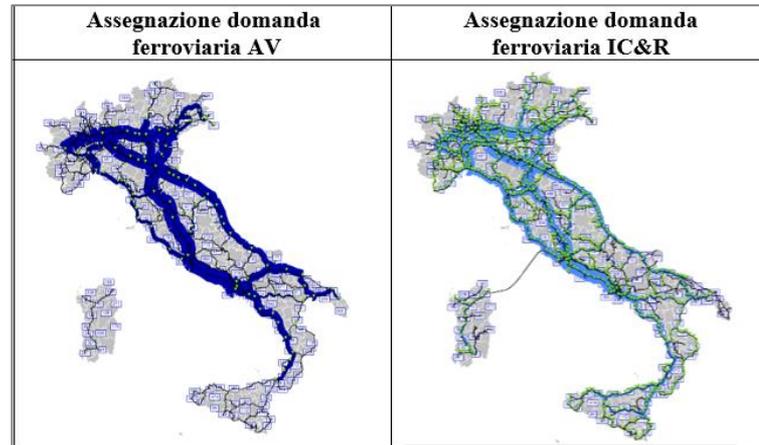
Il modello di assegnazione ha consentito di stimare, con l'ausilio del software di trasporto Visum, la distribuzione degli utenti sui percorsi alternativi k offerti dal modello di rete per ogni coppia od in funzione della percezione dei costi da parte degli utenti.

Confronto tra flussi d'arco ottenuti dall'assegnazione della Matrice dei biglietti AV di un giorno medio di Trenitalia e la Matrice Ferroviaria AV stimata da Modello

Flussi d'arco passeggeri AV da assegnazione 2019



Assegnazione della domanda ferroviaria sui servizi AV e servizi IC&R sul modello di offerta dei servizi ferroviari.



Previsione della domanda allo scenario Tx

Le previsioni tendenziali e programmatiche ufficiali sono adottati per aggiornare le seguenti variabili esogene comunali del modello di generazione:

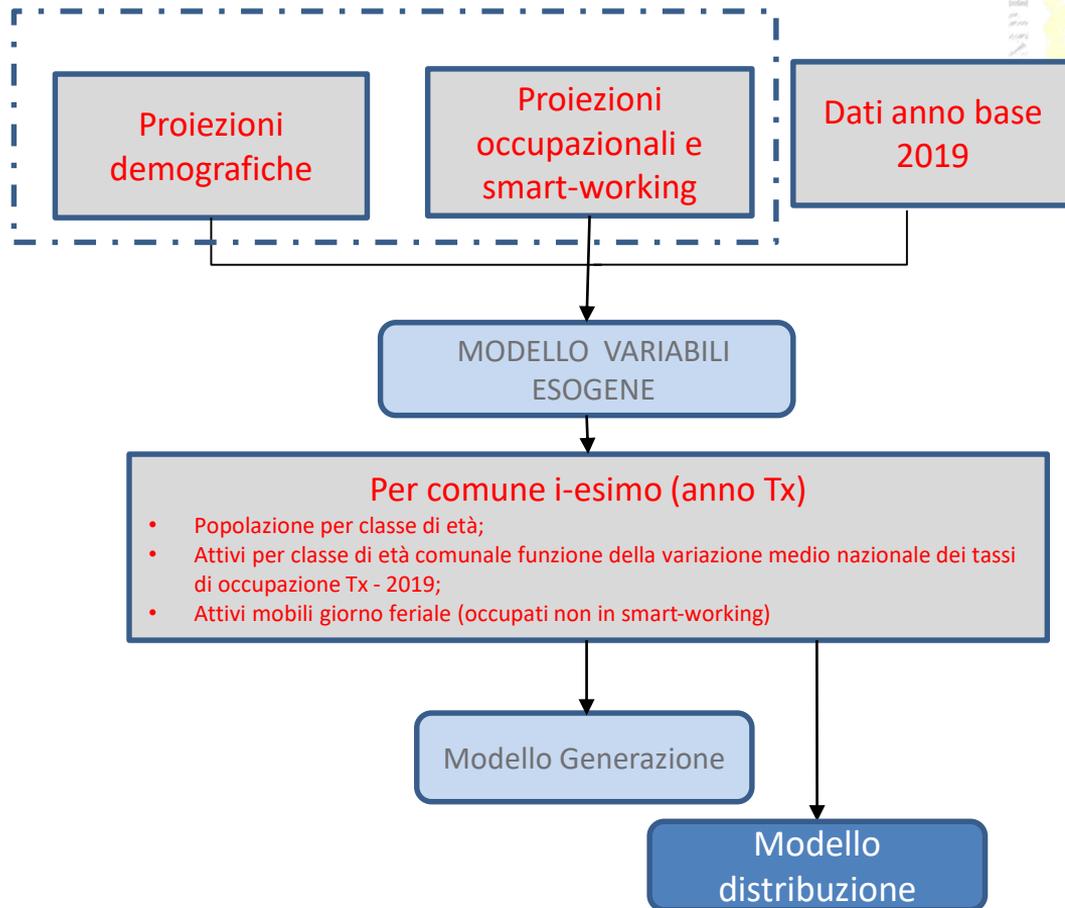
1) popolazione per classe di età *comune i-esimo* (da proiezione Istat riferita allo scenario mediano 1° gennaio Tx della regione di appartenenza del comune i-esimo)

2) Numero attivi per classe di età in considerazione delle proiezioni del numero di occupati attesi rispetto all'anno base 2019. Le fonti utilizzate per le previsioni sono:

2.1) *numero di occupati (fonte DEF, ANPAL)*

2.2) *Numero di occupati mobili (Fonte Isfort e varie)*

Le variazioni degli occupati consentono la stima delle variazioni degli addetti comunali e quindi di aggiornare la cornice esogena del Modello di Distribuzione.



Interfaccia modulo delle variabili esogene

Modulo di INPUT Scenari T_{2020+x}

Caricare per settore ATECO le previsioni di variazione degli occupati rispetto allo scenario di riferimento T₀ per due periodi successivi riferiti agli scenari T_{20xx} e T_{20xx+y} per aggiornare il parametro pi_attivi c(k) nel foglio di generazione.

		INPUT	INPUT
		↓	↓
Classe settore	Denominazione settore ATECO	Variazioni % Δ occupati per ΔT (anno T _{20xx} -T ₀)	Variazione % Δ occupati ΔT (anno T _{20xx+y} -anno T _{20xx})
A	A: AGRICOLTURA, SILVICOLTURA E PESCA	-1,4	0,13
B	B: estrazione di minerali da cave e miniere	-2,1	0,13
C	C: attività manifatturiere	-7,6	-0,30
D	D: fornitura di energia elettrica, gas, vapore e aria condizionata	-2,1	0,13
E	E: fornitura di acqua reti fognarie, attività di gest. rifiuti	-2,1	0,13
F	F: costruzioni	-2,1	0,13
G	G: commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazioni	-4,1	1,03
H	H: trasporto e magazzinaggio	-2,1	0,47
I	I: attività dei servizi di alloggio e di ristorazione	-2,1	1,03
J	J: servizi di informazione e comunicazione	6	3,00
K	K: attività finanziarie e assicurative	-2,1	0,50
L	L: attività immobiliari	-2,1	-0,10
M	M: attività professionali, scientifiche e tecniche	-2,1	0,13
N	N: noleggio, agenzie di viaggio, servizi di supporto	-2,1	0,13
O	O: AMMINISTRAZIONE PUBBLICA E DIFESA; ASSICURAZIONI	-0,8	0,87
P	P: istruzione	-0,8	0,87
Q	Q: sanità e assistenza sociale	5	1,37
R	R: attività artistiche, sportive, di intrattenimento e ricreative	-0,8	0,87
S	S: altre attività di servizi N.B. non comprende: attività	-0,8	0,87

INPUT

Aggiornamento variabili esogene Smart-Working per stima occupati mobili

Coefficiente di conversione in smart-worker equivalenti degli occupati mobili adottato (n. g sw su giorni lavorativi settimanali). Ipotesi adottata 2 gg di smart-working su 5 gg lavorativi (25)

↓

0,4

INPUT

Indicare l'anno tra 2021 e 2035 di cui si vuole stimare la proiezione demografica T_{2020+x}

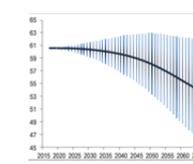
↓

2022

Coefficienti di proiezione della popolazione nⁱ al tempo T_{0+xx}

Variazione demografica	14-19	20-24	25-29	30-64	65-74	75-84
PIEMONTE	1,009	1,003	1,005	0,984	1,005	1,0
VALLE D'AOSTA	1,012	1,011	1,020	0,984	1,013	1,0
LIGURIA	1,002	1,001	1,011	0,983	0,996	0,9
LOMBARDIA	1,019	1,015	1,013	0,994	1,012	1,0
Trentino Alto Adige	0,998	0,999	1,017	0,998	1,037	1,0
PROV. AUTONOMA BOLZANO	0,996	0,992	1,018	1,001	1,044	1,0
PROV. AUTONOMA TRENTO	1,000	1,006	1,017	0,995	1,031	1,0
VENETO	1,008	1,011	1,013	0,988	1,021	1,0
FRIULI-VENEZIA GIULIA	1,009	1,017	1,009	0,986	0,996	1,0
EMILIA-ROMAGNA	1,026	1,019	1,010	0,992	1,016	1,0
TOSCANA	1,015	1,015	1,009	0,990	0,999	1,0
UMBRIA	1,018	1,008	0,992	0,987	1,009	1,0
MARCHE	1,009	0,995	0,994	0,985	1,021	1,0
LAZIO	1,020	1,006	0,992	0,995	1,022	1,0
ABRUZZO	1,002	0,991	0,974	0,989	1,020	1,0
MOLISE	0,977	0,956	0,980	0,990	1,019	1,0
CAMPANIA	0,973	0,980	0,966	0,991	1,023	1,0
PUGLIA	0,971	0,983	0,972	0,988	1,009	1,0
BASILICATA	0,962	0,975	0,954	0,985	1,030	1,0

... INPUT Var Esogene To
INPUT Scenari
OUTPUT zone aggregate
OUTPUT finale 911 zone
Metadati
ModelloVar Esogene_OCCUPATI
ModelloGenerazione



Potenziale applicativo del modello Audimob

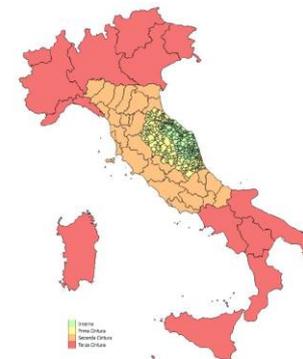
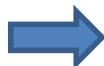
Un SDSS (Spatial Decision Support Systems) georiferito e multidimensionale a supporto della pianificazione e progettazione dei sistemi di trasporto alle diverse scale, integrate tra loro.

Il modello Audimob si articola su più scale integrate

➤ Scala nazionale (*spostamenti di MLP*)



➤ Scala regionale (*spostamenti intercomunali*)



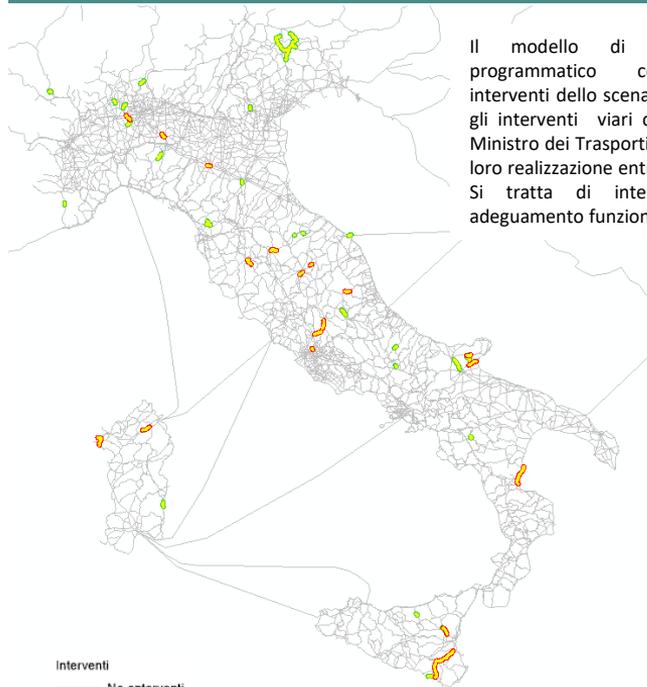
➤ Scala locale (*spostamenti sub comunali*)



Esempio di valutazione di uno scenario programmatico

Modellazione rete viaria scenario 2026

Il modello di offerta viario programmatico comprende gli interventi dello scenario tendenziale e gli interventi viari commissariati dal Ministro dei Trasporti per assicurare la loro realizzazione entro il 2026. Si tratta di interventi viari di adeguamento funzionale strategici.



Interventi
— No interventi
— Cat. C
— Cat. B

Modellazione rete Ferroviaria scenario PNRR 2026

Gli interventi ferroviari nello scenario programmatico 2026 si traducono in velocizzazione delle corse ferroviarie e/o incremento della frequenza dei servizi rispetto all'anno base 2019. Tali impatti sono descritti per singola direttrice dal Piano commerciale RFI. Per la modellazione dello scenario 2026 queste previsioni sono state tradotte in:

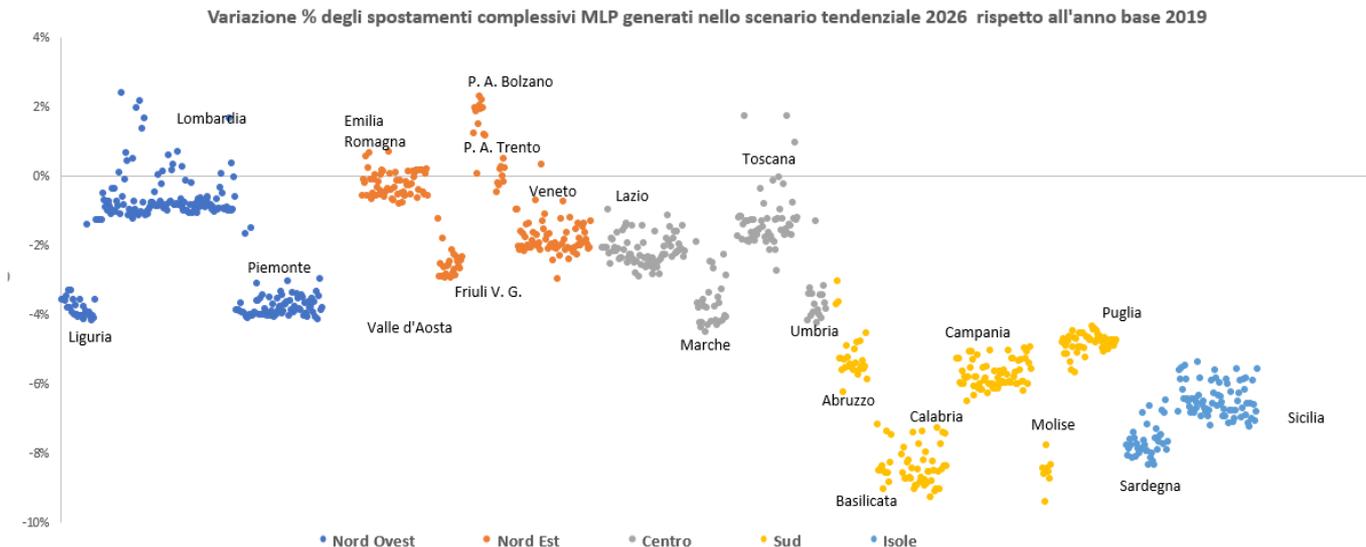
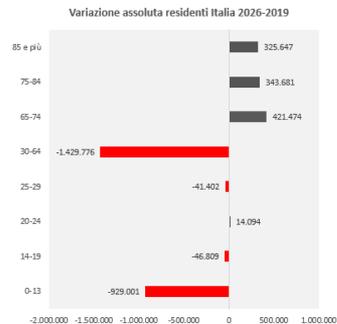
- velocizzazione di tutte le corse GTFS che transitano sugli archi ferroviari interessati dagli interventi di velocizzazione
- e/o incremento della frequenza dei servizi per quelli interessati da un aumento o introduzione di nuovi servizi.



Classificazione degli interventi
— No Interventi
— Risparmio 0 - 5 min
— Risparmio 5 - 10 min
— Risparmio 10 - 15 min
— Risparmio 15 - 30 min
— Risparmio >30 min

Impatto sulla domanda dei trend socio-economici 1/2

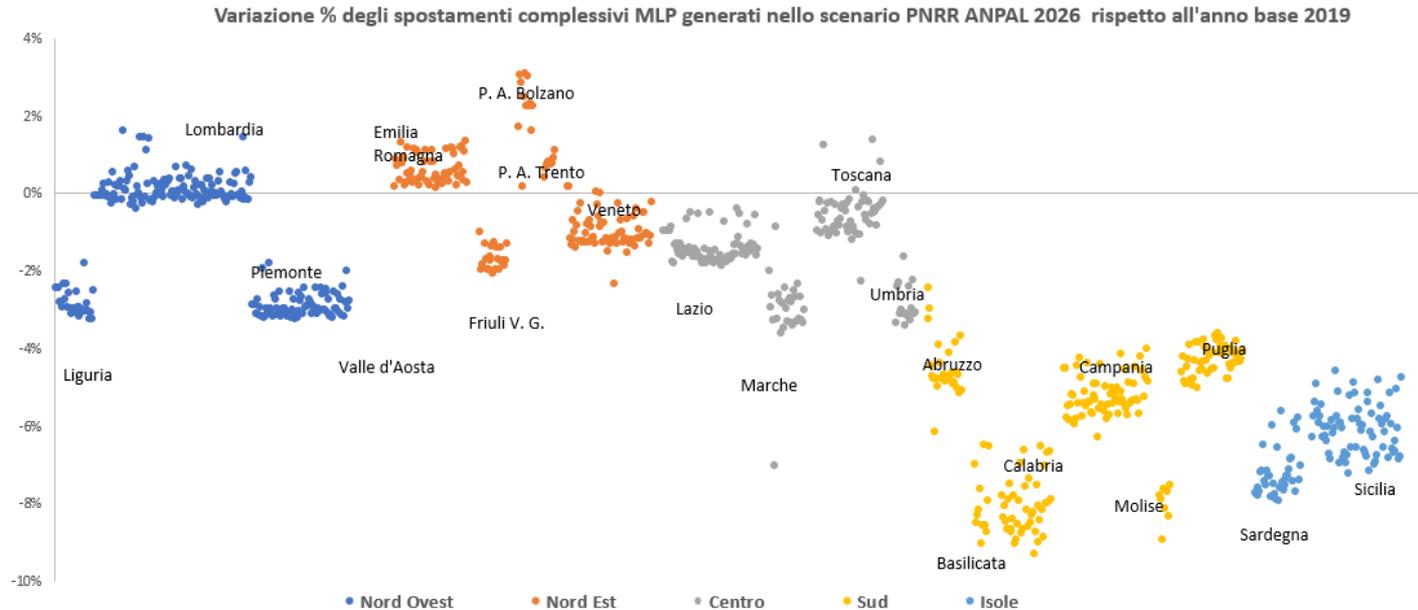
Scenario tendenziale 2026: variazione territoriale della domanda MLP rispetto all'anno base 2019



Le proiezioni degli andamenti demografici per classe di età (scenario mediano Istat), la previsione di una crescita occupazionale ridotta e una quota di smart working differenziata per caratteristiche della struttura economica dei comuni determinano complessivamente una variazione negativa degli spostamenti **del 3,1% nell'ipotesi che non si modificano i comportamenti di viaggio di media e lunga percorrenza (MLP)**. Tali variazioni si presentano tuttavia differenziate per macro area geografica, regione e singole zone di traffico. La Provincia autonoma di Bolzano e molte delle zone della provincia Autonoma di Trento, e solo alcune di Emilia Romagna, Lombardia e Toscana registrano un incremento della domanda complessiva. Il decremento interessa tutte le zone di traffico, ma è significativo per le zone del SUD e delle Isole dove supera il 4%.

Impatto sulla domanda dei trend socio-economici 2/2

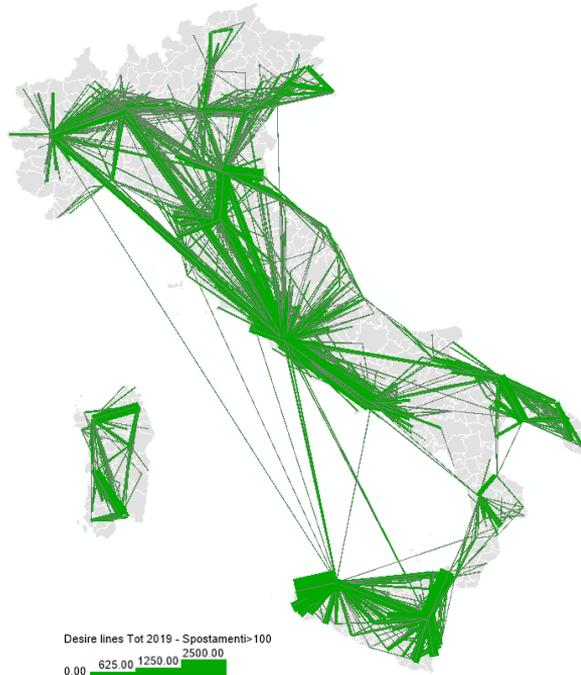
Scenario ANPAL 2026: variazione della domanda MLP rispetto all'anno base 2019



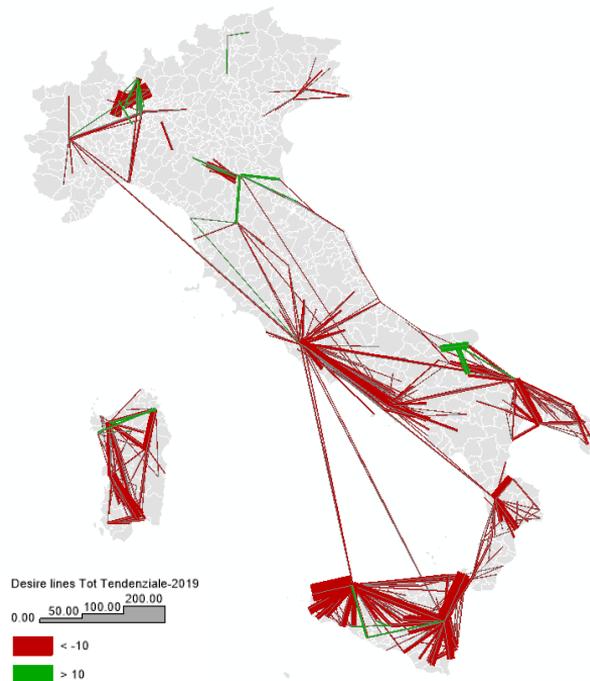
Nello scenario ANPAL 2026 le previsioni occupazionali che tengono conto degli investimenti infrastrutturali consentono di registrare un recupero della domanda rispetto allo scenario tendenziale e nonostante il decremento demografico di ridurre le distanze rispetto all'anno base 2019 (-2,4%). In particolare per la Lombardia, Emilia Romagna e Trentino Alto Adige si registra un incremento della domanda. Le zone della Toscana, del Veneto e del Lazio sono quelle più prossime per volumi ai valori pre Covid 2019. Variazione negativa degli spostamenti generati di media e lunga percorrenza (MLP) si registrano sul resto de territorio nazionale. Il decremento è ancora significativo per le zone del SUD e delle Isole. Tali variazioni sono la sintesi degli impatti relativi alle variazioni della struttura anagrafica della popolazione, non compensati dalla crescita del numero di occupati.

Scenari a confronto 2026 con 2019

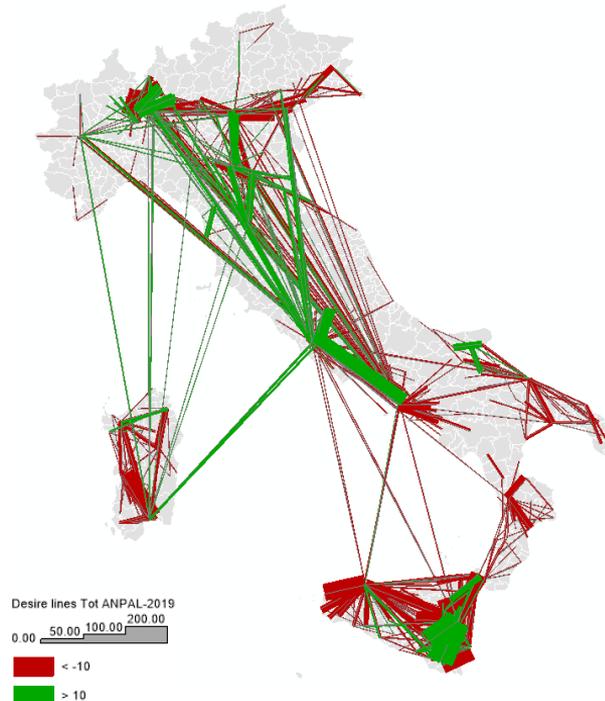
Distribuzione domanda OD anno base 2019



Variazioni della domanda OD (Tendenziale 2026 – 2019) di almeno 10 spostamenti MLP giorno



Variazioni della domanda OD (ANPAL 2026 – 2019) di almeno 10 spostamenti MLP giorno

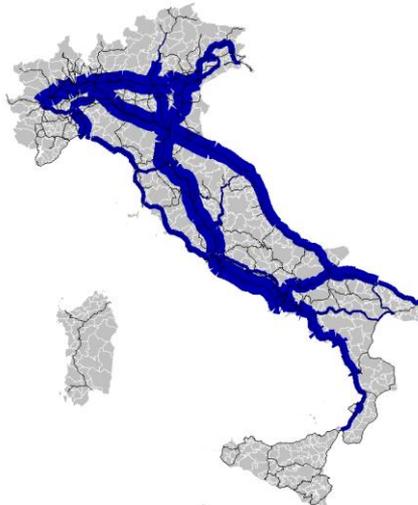


Assegnazione domanda sui servizi ferroviari 2026

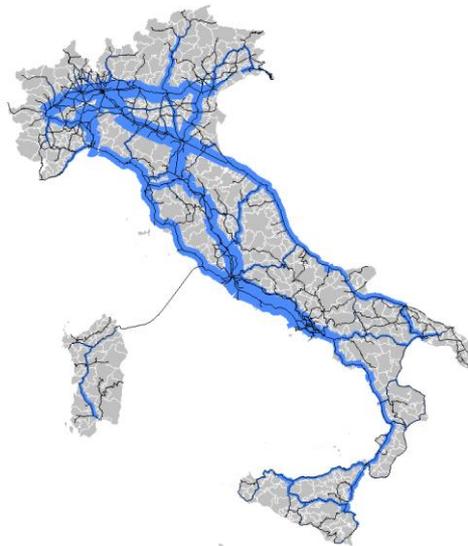
Scenario 0
Tendenziale 2026:
Assegnazione Treno
AV



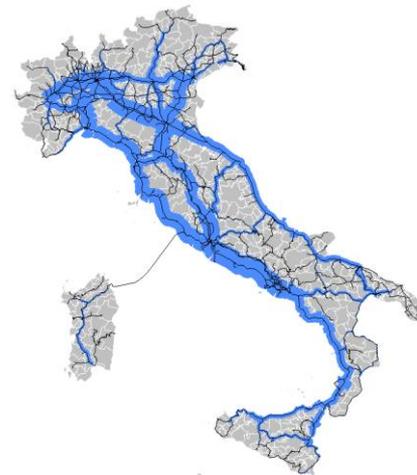
Scenario 1
programmatico 2026
ANPAL: Assegnazione AV



Scenario 0 Tendenziale
2026: Assegnazione IC&R



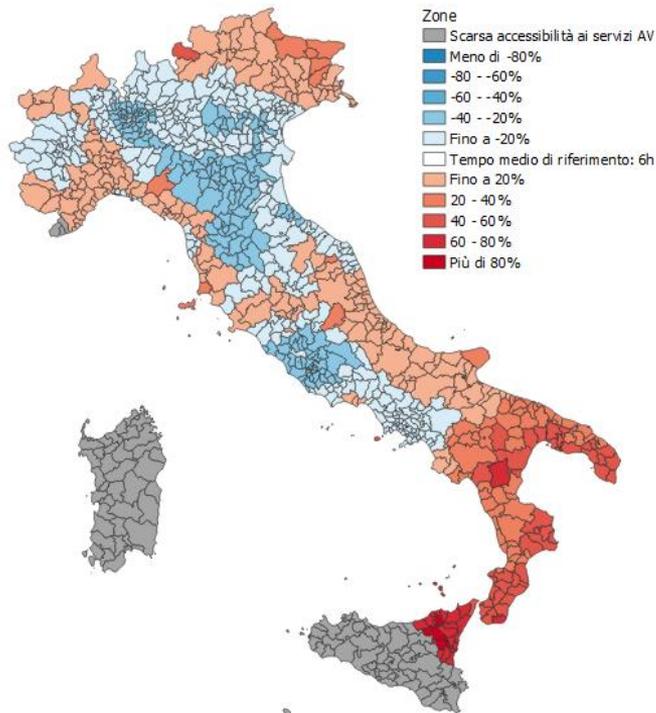
Scenario 1 2026
ANPAL:
Assegnazione IC&R



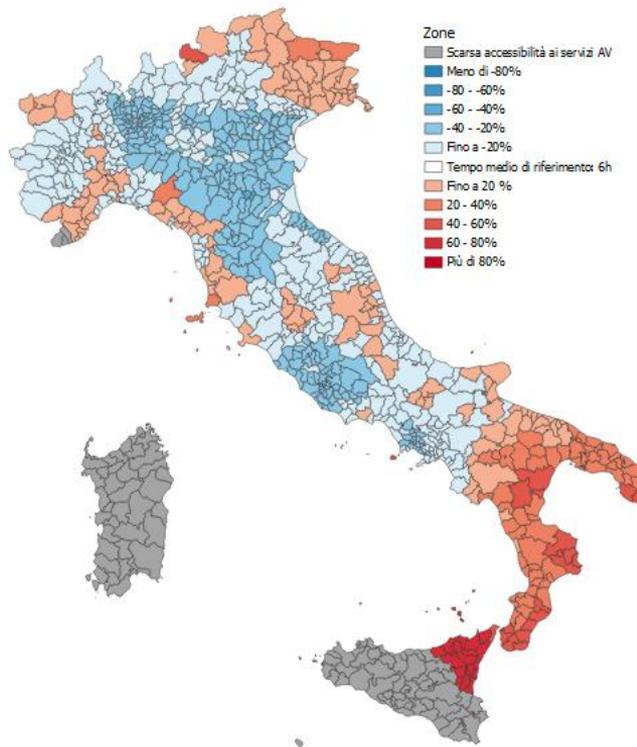
Indicatore di Accessibilità negli scenari 2026

Tempi medi per raggiungere dalla zona i-esima con l'AV le altre zone d'Italia

Treno AV 2026 Tendenziale



Treno AV 2026 PNRR ANPAL ottimizzato 2026



Rispetto ad un tempo medio di viaggio di 6 ore la scala del rosso evidenzia le zone che impiegano in media una quota percentuale di tempo maggiorata, la scala del colore azzurro quelle che impiegano una quota percentuale minore.

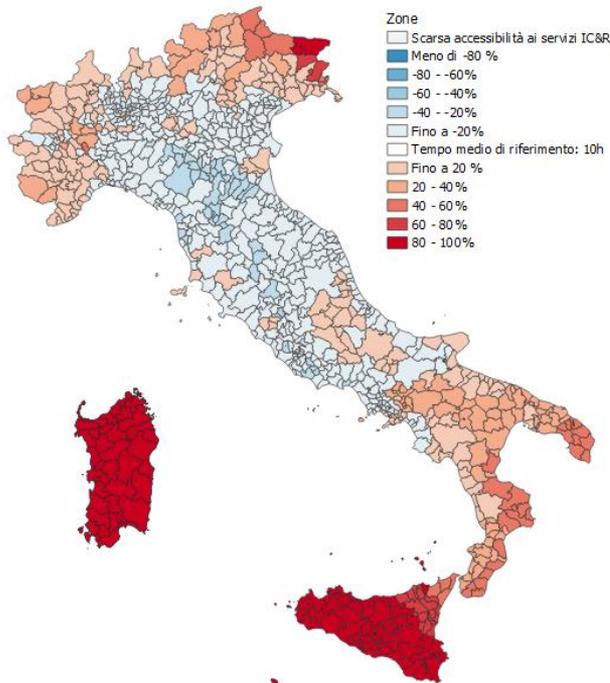
Nello scenario tendenziale le aree attraversate dalla direttrice T dell'AV sono quelle che godono della migliore accessibilità poiché riescono in media a raggiungere in meno di 6 ore con i servizi ferroviari AV il resto d'Italia.

Lo scenario di offerta 2026 produce un significativo miglioramento dei tempi per la fascia Centrale e Adriatica del paese. Si allarga in questa fascia il numero di zone che scendono sotto le 6 ore. Miglioramenti diffusi dell'accessibilità AV anche nel Nord Italia. Meno significativi i miglioramenti registrati dalle zone periferiche meridionali ed insulari.

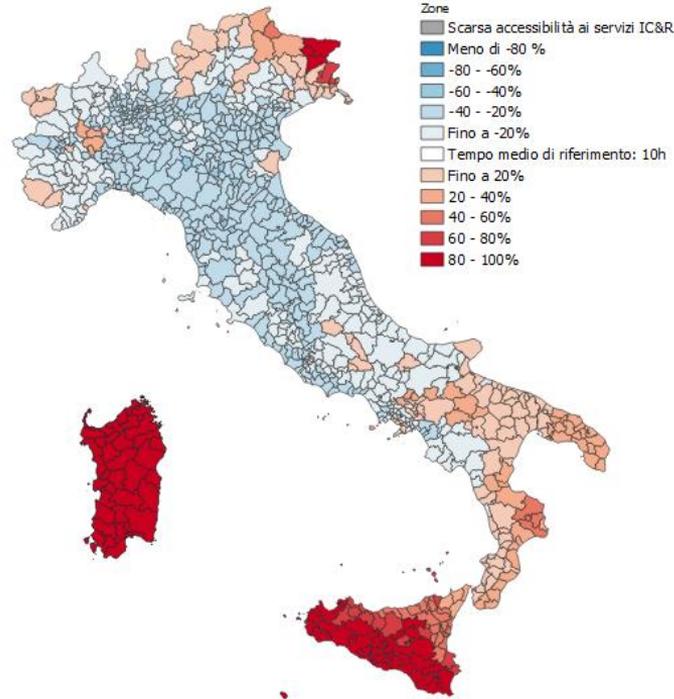
Indicatore di Accessibilità negli scenari 2026

Tempi medi per raggiungere dalla zona i-esima con la rete dei servizi IC&R le altre zone d'Italia

Treno IC&R 2026 Tendenziale



Treno IC&R 2026 PNRR 2026



Rispetto ad un tempo medio di viaggio di 10 ore la scala del rosso evidenzia le zone che impiegano in media una quota percentuale di tempo maggiorata, la scala del colore azzurro quelle che impiegano una quota percentuale minore.

Lo scenario di offerta PNRR produce nello scenario ottimizzato un miglioramento dei tempi per molte delle aree interne dell'Appennino. Migliora anche l'accessibilità della Sicilia Orientale, gran parte della fascia ionica della Calabria e della penisola Salentina.

Conclusioni

Il progetto di ricerca di Isfort si inserisce come contributo nel quadro delle criticità della pianificazione nazionale evidenziate dal documento *Quadro programmatico, scelte e valutazione. Verso la definizione di un framework integrato per la realizzazione di infrastrutture resilienti e sostenibili del MIT* (seminario 21/01/2021) e di seguito sintetizzate:

1. valutazioni di scenario e di policy nel settore dei trasporti prive del necessario riferimento quantitativo e predittivo;
2. mancanza di trasparenza nei documenti di analisi;
3. difficoltà di ancorare le scelte a degli scenari periodicamente aggiornati;
4. neutralità degli interventi rispetto alle priorità di efficacia ed efficienza.
5. asimmetrie informative del MIMS sia rispetto ai soggetti proponenti dei progetti che alle osservazioni provenienti da stakeholder esterni;
6. debolezza strutturale dell'analisi trasportistica, ma anche dell'analisi economica, sociale e ambientale.

La mission aziendale di Isfort

Contribuire a rafforzare il know how del mondo dei trasporti



Grazie per l'attenzione!

Il gruppo di lavoro Isfort

Angela Chindemi, Giulia Carbone, Marina Ferrara,
Massimo Procopio, William Sommario