

Strade e autostrade: qual è il prezzo giusto?



Discussion

Paper 11

8 aprile 2024

SUMMARY

La simulazione che qui si presenta fa parte di un programma di ricerca congiunto tra BRT, il Politecnico di Milano, e META Srl, per sondare gli effetti trasportistici, economici, finanziari ed ambientali di modificazione delle più significative tariffe del sistema dei trasporti italiano.

Lo studio condotto ha una doppia valenza: una euristica per un campo di indagine che appare fortemente innovativo, e una relativa a obiettivi operativi, fornendo strumenti per valutare politiche tariffarie locali o nazionali.

Si è ipotizzato di tariffare il sistema autostradale imputando agli utenti solo i costi sociali che generano viaggiando (“tariffazione ai costi marginali sociali”).

Si assume che i costi ambientali e di sicurezza siano sostanzialmente internalizzati via accise sui carburanti e premi assicurativi, e si imputano agli utenti i costi variabili di manutenzione e i costi di congestione. Si è assunto anche che i ricavi tariffari totali siano invariati.

La teoria economica postula che imputando a ciascun utente tutti e soli i costi sociali che genera viaggiando, il benessere collettivo aumenti.

Gli assunti teorici sono pienamente confortati dai risultati: il benessere collettivo in effetti aumenta

L’analisi mette in luce molti fenomeni non scontati e rivela anche che una serie di effetti incrociati tendono ad elidersi a livello globale, per cui la dimensione dei benefici economici totali è limitata.

Tuttavia, questo quadro aggregato apre ampi spazi per approfondimenti locali, che sicuramente vedranno impatti più rilevanti.

Infine, la simulazione di quest’anno già da ora vede ricadute tecniche e teoriche importanti: da un lato la messa a punto di un’interfaccia del modello con valutazioni del tipo costi-benefici sociali, dall’altro innovazioni teoriche sul trattamento della congestione, con l’adozione di metodi di calcolo semplificati per l’ottimizzazione delle tariffe e con l’estensione a questo tipo di esternalità del fenomeno noto agli economisti come “inversione della regola di Ramsey-Boiteaux”.

1 Premessa

1.1 Oggetto e scopo del documento

Il presente rapporto illustra i risultati delle simulazioni, effettuate da META srl e dal Laboratorio di Politica dei Trasporti (TRASPOL), relative ad alcuni scenari di tariffazione alternativa della rete autostradale, ed in parte anche di quella ordinaria, nell'intero territorio italiano.

Si tratta di un tema diverso ed in qualche misura complementare a quello della gratuità del trasporto pubblico, già oggetto dell'analogo studio effettuato nel corso del 2023.

Anche in questo caso, l'interesse per gli scenari si basa su motivazioni di policy, che ne fanno un test pertinente e rilevante per lo sviluppo di simulazioni di traffico multiscalari.

1.2 Metodologia adottata

Le simulazioni in oggetto sono state effettuate utilizzando il modello di simulazione multimodale e multiscalare del sistema di trasporto italiano i-TraM (italian Transport Model), sviluppato da META srl e dal Laboratorio di Politica dei Trasporti (TRASPOL) del Politecnico di Milano, ed hanno comportato lo svolgimento delle seguenti attività:

- verifica e validazione di dettaglio dello scenario attuale (baseline) in termini di flussi stimati sulle diverse reti e corrispondenti indicatori funzionali (passeggeri-km, passeggeri-h, km/h), articolati per macromotivo (studio, lavoro, affari, commissioni personali/familiari, tempo libero), modo di trasporto e tipologia di contesto insediativo;
- stima degli impatti ambientali connessi al sistema (consumi energetici, emissioni di CO₂, CO, NO_x, COV, particolato), sulla base del parco veicolare attualmente circolante a livello nazionale e dei corrispondenti coefficienti unitari CORINAIR;
- costruzione degli scenari di tariffazione alternativi agli attuali, secondo quanto di seguito indicato;
- stima degli indicatori funzionali (passeggeri-km, passeggeri-h, km/h) ed ambientali (consumi energetici, emissioni di CO₂, CO, NO_x, COV, particolato), articolati per macromotivo di viaggio, modalità di trasporto e contesto insediativo.
- confronto critico tra le diverse serie di indicatori relative allo scenario attuale ed a quelli di studio.

Considerato nel suo complesso, lo studio ha preso in esame quattro scenari:

- innanzi tutto, lo **scenario attuale** (SDF) corrispondente alla configurazione della domanda/offerta di trasporto all'orizzonte temporale più aggiornato, precedente alla crisi pandemica del 2020-21, cioè al 2019;
- in secondo luogo, uno **scenario di completa gratuità della rete** ("AUTZERO"), ottenuto a partire dallo scenario attuale semplicemente annullando tutti i pedaggi attualmente applicati alle autostrade ed ai trafori autostradali;
- successivamente, uno **scenario di tariffazione a costi marginali** ("COSTMARG"), ottenuto applicando a tutta la rete autostradale, ivi inclusi trafori e raccordi, un pedaggio che eguaglia i costi marginali di usura infrastrutturale, così come definiti dall'Unione Europea;
- da ultimo, uno **scenario "esplorativo", volto a ricercare una maggior efficienza economica sulla base sia dei livelli di congestione, sia dell'elasticità dei flussi veicolari alle tariffe applicate** ("CONGELAST").

I risultati ottenuti nei quattro casi sono presentati a mezzo di un "cruscotto", che li illustra attraverso specifici indicatori funzionali, rappresentati in tabelle, grafici e cartogrammi, a loro volta articolati in quattro sezioni: configurazione della domanda di mobilità (passeggeri), flussi di traffico, pubblici e privati, impatti ambientali.

1.3 Organizzazione del documento

Oltre che nella premessa, il presente documento si articola in quattro blocchi tematici, ciascuno corrispondente ad uno specifico scenario:

- descrizione della baseline, espressa in termini di domanda/offerta di mobilità alla scala nazionale, così come stimata per l'anno 2019 (capitolo 2);
- descrizione dello scenario "autostrade gratis", e conseguente commento dei potenziali effetti della misura nelle diverse parti del territorio nazionale (capitolo 3);
- descrizione dello scenario di tariffazione ai costi marginali, con analogo confronto delle variazioni rispetto alla baseline (capitolo 4);

Il quinto ed ultimo capitolo include alcune riflessioni di carattere conclusivo, relative ai risultati ottenuti.

2 Uno sguardo al sistema di trasporto nazionale

2.1 Significato dello scenario attuale

Per comprendere bene la logica delle elaborazioni effettuate, è opportuno anteporre una descrizione sintetica del sistema di trasporto nazionale, così come risultante dalle simulazioni condotte con il modello i-TraM nello scenario attuale, corrispondente ad un tipico giorno feriale (lavorativo/scolastico) dell'autunno 2019.



Fig. 2.1.i- Zonizzazione del modello i-TraM

Fonte: elaborazione META

Tali simulazioni consentono di mettere in relazione tra loro tutti i principali indicatori funzionali ed ambientali relativi:

- alla domanda di mobilità passeggeri, articolata per motivo (studio, lavoro, affari, commissioni personali e familiari, tempo libero) e modo di trasporto (mobilità non motorizzata, traffico privato, trasporto pubblico);
- ai livelli di frequentazione del trasporto pubblico;
- ai flussi veicolari sulla rete viaria;

- ai consumi energetici ed alle emissioni inquinanti associate al traffico veicolare.

Buona parte di questi indicatori può essere a sua volta messa a confronto con i dati statistici resi disponibili da varie fonti in ordine alla funzionalità del sistema; ed è proprio attraverso questo confronto che è possibile validare il modello di simulazione utilizzato.?

2.2 Domanda di mobilità

Il modello di simulazione stima la domanda di mobilità passeggeri di un tipico giorno ferialo lavorativo/scolastico non in modo aggregato, ma ricostruendo l'insieme degli spostamenti fra le 1.768 zone di traffico, effettuati per cinque distinti macromotivi di viaggio (studio, lavoro, affari, commissioni personali, tempo libero).

Ciò significa operare con basi numeriche di dimensioni importanti: le relazioni O/D simulate sono infatti in tutto $1.768 \times 1.768 = 3.125.824$; e proprio questo elevato livello di dettaglio consente di riprodurre la maggior parte della domanda di mobilità reale, che tende a concentrarsi sulle brevi o al più sulle medie distanze.

Nel complesso, il modello riproduce un totale di **circa 121 milioni di spostamenti/giorno**, ripartiti per il 63,0% sul mezzo privato, per il 13,9% su quello pubblico e per il 23,1% sulla mobilità non motorizzata (Fig. 2.2.i).

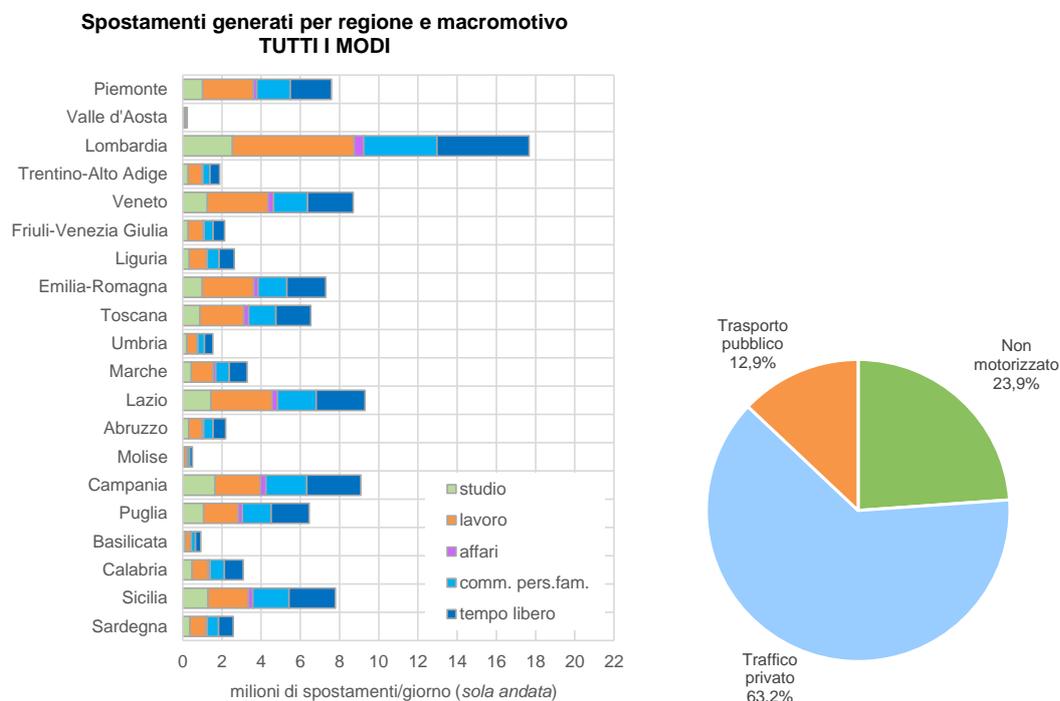


Fig. 2.2.i- Scenario attuale: spostamenti generati per regione, macromotivo e modo

Fonte: Elaborazione META

Questo valore risulta un po' superiore a quello stimato dall'ISFORT per il medesimo anno 2019 (105,7 milioni di spostamenti/giorno), facendo però riferimento alla sola popolazione di età compresa fra 14 ed 80 anni. Considerando l'entità delle componenti di domanda esclusa, i due valori possono ritenersi coerenti tra loro.

i:TraM: riepilogo domanda di mobilità per modo					
	sposta menti	percor renze	tempi	distanze medie	velocità medie
Macromodo	Mpax/g.	Mpkm/g.	Mph/g.	km	km/h
Non motorizzato	29,04				
Traffico privato	76,87				
Trasporto pubblico	15,73				
TOTALE	121,64	0	0	0	0

Tab. 2.2.i - Scenario attuale: riepilogo della domanda di mobilità passeggeri per macromodalità di trasporto

Fonte: Elaborazione META

Una possibile rappresentazione grafica della configurazione della domanda a scala nazionale può essere ottenuta con la **mappa degli spostamenti attratti e generati** dalle singole zone di traffico (Fig. 2.2.ii), dalla quale è agevole apprezzare il ruolo primario svolto dalle aree urbane nell'indirizzare i comportamenti di viaggio dei singoli cittadini.



Fig. 2.2.i – Scenario attuale: spostamenti attratti e generati per zona

Rosso = spostamenti attratti; **blu** = spostamenti generati

Gradazione cromatica = sbilanciamento tra attrazione e generazione

Fonte: Elaborazione META

2.3 Traffico privato

Uno dei principali punti di forza del modello multimodale è che esso è in grado di simulare in modo attendibile la configurazione generale del traffico veicolare sulla rete stradale e autostradale italiana, così come rilevato dalle statistiche rese disponibili dai diversi gestori (società concessionarie, ANAS, enti locali).

Nel complesso, il modello riproduce un totale di circa **1,33 miliardi di veicoli equivalenti-km/giorno**, di cui circa 1.096 milioni afferenti al traffico leggero (motoveicoli, autovetture e furgoni) e 120 a quello pesante. Facendo riferimento alla sola componente autostradale, i totali ammontano rispettivamente a circa 307 e a 76 milioni di veicoli-km/giorno.

Moltiplicando questi ultimi valori, rispettivamente, per 330 e 300 giorni/anno, si ottengono circa 362 miliardi di veicoli leggeri-km/anno (di cui 101 autostradali) e 39 miliardi di veicoli pesanti-km/anno (di cui 25 autostradali). Si tratta di risultati

coerenti con i dati AISCAT (65/20 miliardi di veicoli-km), riferiti, come noto, unicamente alle autostrade a pedaggio, e compatibili con una stima totale di 450÷500 miliardi di veicoli-km/anno sull'intera rete stradale (inclusi gli spostamenti intrazonali e le reti strettamente locali, non simulate dal modello). I tempi di percorrenza complessivi sono stimati - per il traffico leggero - in **circa 32 milioni di veicoli-h/giorno** (3,4 mln in autostrada), per una velocità media di circa 34 km/h (89 in autostrada).

CLASSE	VOLUMI E PERCORRENZE - TOTALI									
	Estesa km	Volumi di traffico			Tempi di percorrenza			Velocità medie		
		milioni di veicoli-km/giorno			milioni di veicoli-h/giorno			km/h		
		leggeri	pesanti	equiv.	leggeri	pesanti	equiv.	leggeri	pesanti	equiv.
Autostrade	7.433	307,00	76,00	459,01	3,459	1,021	5,501	88,8	74,4	83,4
Principali	23.961	384,71	27,74	440,19	11,846	0,631	13,108	32,5	44,0	33,6
Secondarie	25.773	221,70	10,76	243,21	9,285	0,325	9,936	23,9	33,1	24,5
Complement.	38.093	182,29	5,32	192,93	7,832	0,185	8,202	23,3	28,8	23,5
TOTALE	95.259	1.095,70	119,82	1.335,34	32,422	2,162	36,746	33,8	55,4	36,3

Tab. 2.3.i - Rete stradale: volumi di traffico e tempi di percorrenza

Fonte: Elaborazione META

Analizzando la distribuzione territoriale dei valori, la regione con il maggior volume di traffico è la Lombardia (211milioni di veqkm/giorno ad una media di 25 km/h), seguita da Veneto, Emilia-Romagna, Lazio, Piemonte, Toscana e Campania (tutte fra i 90 ed i 130 milioni di veqkm/giorno).

L'incidenza del traffico pesante tende a crescere a mano a mano che ci si sposta da Sud verso Nord, con un minimo del 9% (espresso in veicoli equivalenti) in Sicilia, ed un massimo del 32% in Trentino-Alto Adige.

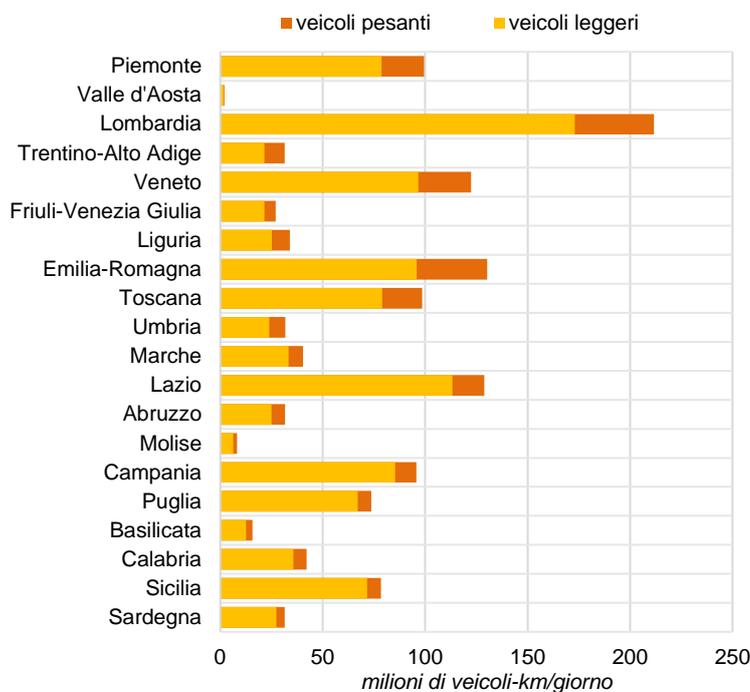
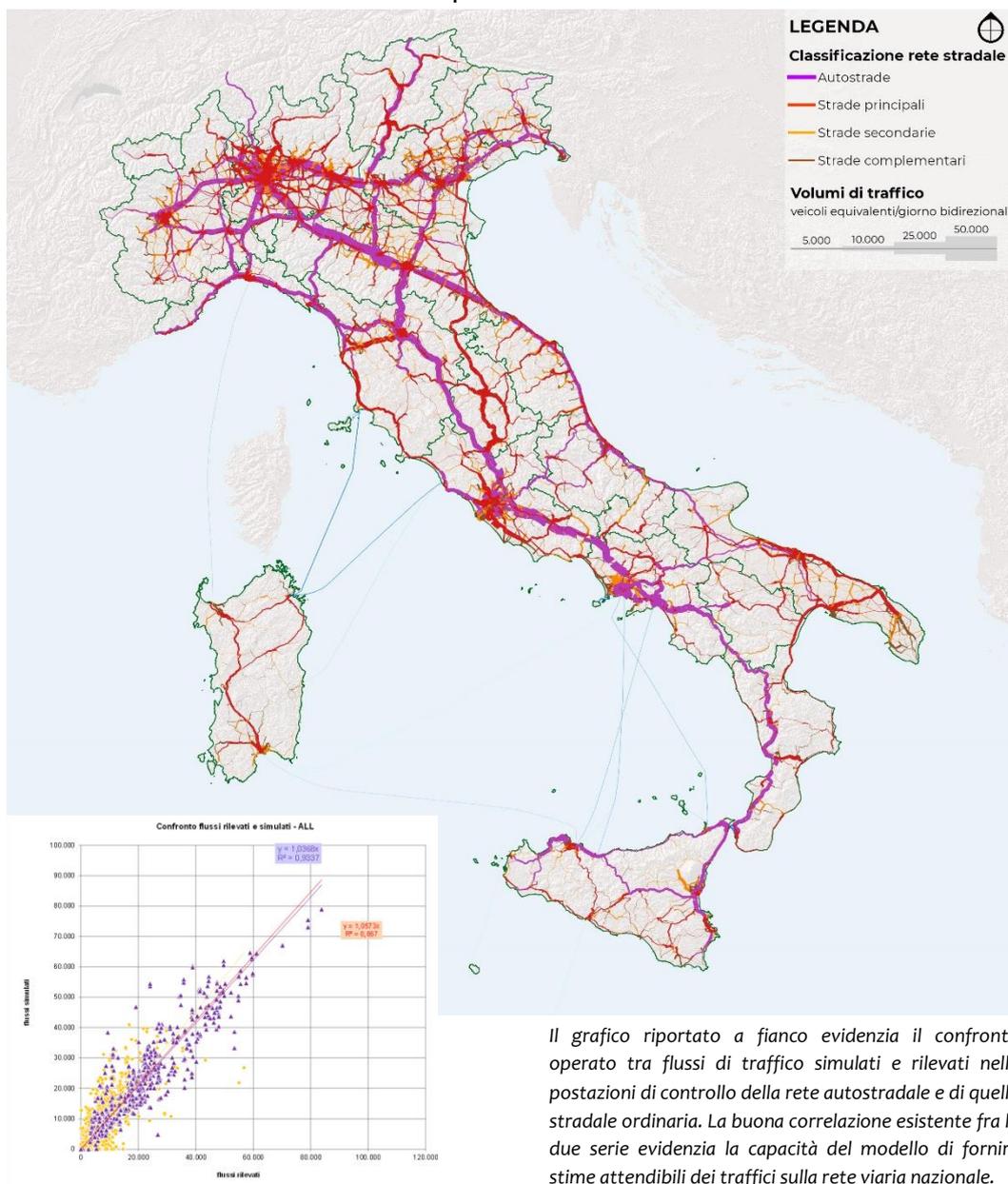


Fig. 2.3.i - Scenario attuale: percorrenze veicolari per regione e tipo di strada

Fonte: Elaborazione META

Prendendo invece in esame il flussogramma dei carichi sulla rete, è immediato rilevare l'importanza degli addensamenti intorno alle principali aree urbane (Torino, Milano, Roma, Napoli ecc...), che nel caso dell'Italia settentrionale tendono a saldarsi tra di loro, dando luogo ad un unico contesto interregionale ad elevata densità di traffico. Molto diversa appare invece la situazione nel Centro-Sud Italia, dove le concentrazioni urbane sono separate da ampi settori in cui i flussi tendono a rarefarsi alquanto.



Il grafico riportato a fianco evidenzia il confronto operato tra flussi di traffico simulati e rilevati nelle postazioni di controllo della rete autostradale e di quella stradale ordinaria. La buona correlazione esistente fra le due serie evidenzia la capacità del modello di fornire stime attendibili dei traffici sulla rete viaria nazionale.

Fig. 2.3.ii - Scenario attuale: flussogramma traffico privato

Fonte: Elaborazione META

2.4 Un focus: l'incidentalità stradale

La disponibilità di una stima estensiva dei volumi di traffico sull'intera rete viaria nazionale si presta ad un esercizio riguardante i corrispondenti tassi di

incidentalità. Infatti, come ben noto, di norma questi tassi vengono determinati anche in termini relativi, cioè in rapporto ai veicoli-km, soltanto nel caso della rete autostradale, per cui tali valori sono in qualche misura noti sulla base dei transiti pedaggiati, mentre restano solitamente inaccessibili per la rete ordinaria, sulla quale i livelli di traffico sono noti soltanto in maniera discontinua. Invece, utilizzando i risultati dello scenario qui presentato è possibile mettere direttamente a confronto il numero dei sinistri, delle persone coinvolte e dei decessi, rilevati dalle statistiche sugli incidenti stradali, con i volumi di traffico che interessano le diverse porzioni di rete.

In particolare, si è qui operato un confronto tra i volumi di traffico annuali, simulati dal modello i-TraM, ed i valori medi annui di incidentalità derivanti dalle statistiche per gli anni compresi fra il 2014 ed il 2021.

Analizzando dapprima i **tassi di incidentalità relativi**, espressi come numero di sinistri per milione di veicolo-km, distinti per le autostrade e rete ordinaria (Fig. 2.4.i), è possibile innanzi tutto evidenziare l'esistenza di una buona correlazione tra entrambe le serie ($R^2 > 0,95$), con valori medi di interpolazione pari a circa 0,07 incidenti/Mvkm sulle autostrade, ed a 0,56 incidenti/Mvkm sulle strade ordinarie.

Ne consegue che il tasso di incidentalità relativa sulla rete ordinaria risulta di circa $0,56 : 0,07 = 8$ volte superiore a quello riscontrabile sulla rete autostradale.

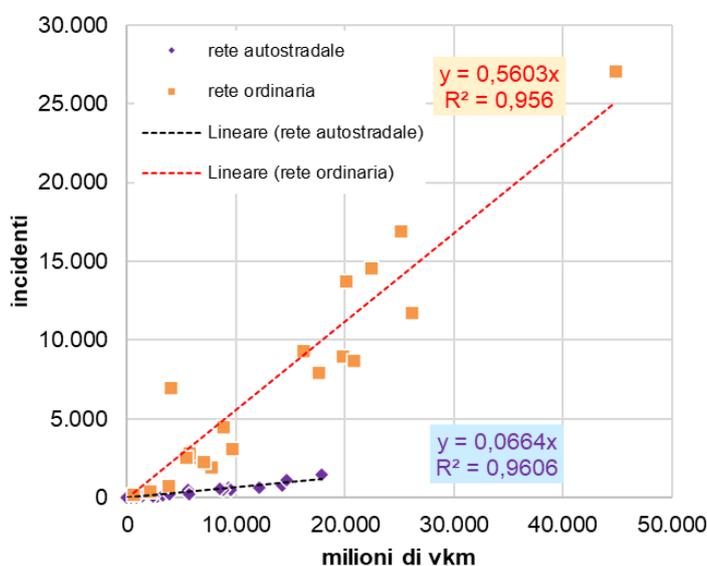


Fig. 2.4.i - Calcolo dei tassi di incidentalità relativa per la rete autostradale e stradale italiana

Fonte: Elaborazione META

Prendendo quindi in considerazione i **tassi di lesività relativa**, espressi come numero di persone coinvolte per milione di veicoli-km (Fig. 2.4.ii), è possibile rilevare anche in questo caso una buona correlazione ($R^2 > 0,93$) con valori medi interpolati pari ancora a 0,07 persone coinvolte/mvkm sulle autostrade, ed a 0,77 persone coinvolte/Mvkm sulle strade ordinarie.

Il rapporto tra i tassi di lesività relativa è dunque pari in questo caso a $0,77 : 0,07 = 11$.

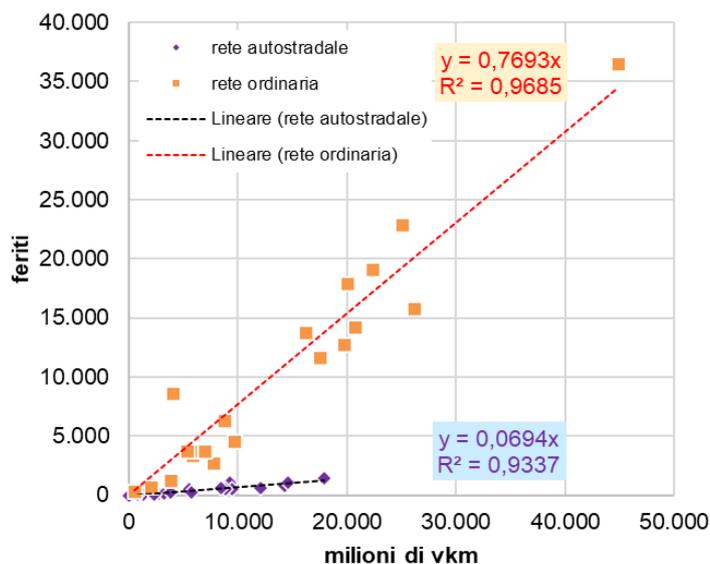


Fig. 2.4.ii - Calcolo dei tassi di lesività relativa per la rete autostradale e stradale italiana

Fonte: Elaborazione META

Da ultimo, i tassi di mortalità relativa, espressi come decessi per milione di veicoli-km (Fig. 2.4.iii), caratterizzati da livelli di correlazione ancor più elevati ($R_2 > 0,97$), presentano valori medi interpolati pari a 0,002 morti/Mvkm sulle autostrade, ed a 0,009 morti/Mvkm sulle strade ordinarie.

Il rapporto tra i due tassi relativi è dunque in questo caso pari soltanto a $0,009 : 0,002 = 4,5$.

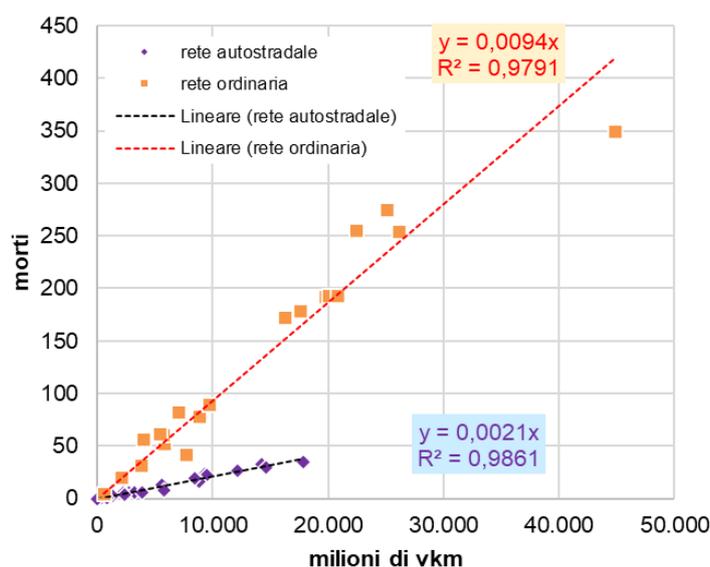


Fig. 2.4.iii - Calcolo dei tassi di mortalità relativa per la rete autostradale e stradale italiana

Fonte: Elaborazione META

2.5 Trasporto pubblico

Il modello i-TraM è in grado di simulare, con ragionevole precisione, anche le frequentazioni di tutte le linee di trasporto a medio-lungo raggio esistenti in Italia (navigazione aerea, treni a lunga percorrenza e regionali, bus a lunga percorrenza, navigazione marittima), nonché delle principali linee di forza locali (metropolitane e tram). Per contro, i carichi delle autolinee TPL urbane ed extraurbane sono stimati mediante tecniche aggregate ("bus virtuale"), che prescindono dall'assegnazione alle corrispondenti reti, e che dunque permettono di stimare il totale dei passeggeri per relazione O/D, ma non i carichi delle singole linee.

Nel complesso, gli **spostamenti assegnati alla rete** descritta dal modello sono poco più di 6 milioni (cioè, circa il 38% della domanda afferente al trasporto pubblico), per un volume di traffico pari a circa 178.000 passeggeri-km/giorno, corrispondenti a circa 59 miliardi di passeggeri-km/anno (su un totale di 120 riportati dal Conto Nazionale dei Trasporti per l'intero aggregato comprendente il TPL su gomma¹). La differenza, non verificabile, è data dalla quota di spostamenti non assegnati (il 62%) relativi alla rete locale e dunque caratterizzati da percorrenze decisamente inferiori.

La frequentazione dei servizi a lungo raggio si articola in:

- circa 40 mila passeggeri/giorno su aereo
- circa 140 mila passeggeri/giorno su treno (alta velocità ed intercity);
- circa 50 mila passeggeri su bus (autolinee di competenza statale)

Questi numeri corrispondono a **meno del 5% dei passeggeri saliti, ma ad oltre la metà del volume di traffico, espresso in passeggeri-km.**

i-TraM - Servizi di trasporto pubblico - TOTALE									
Categoria di servizio	Domanda (passeggeri)			Offerta		Dist. media	Velocità commerciale		Coeff. occ.
	saliti	trasp.	tempi	volumi	tempi		pkm/ph	vkm/vh	
	000 pass	000 pkm	000 ph	corse*km	corse*h	km			pkm/vkm
Navigazione aerea	40,8	27.663	58	316.717	660	678,1	477,5	479,8	87
Navigazione marittima	17,4	2.008	68	13.370	558	115,3	29,6	24,0	150
Autolinee LP/APT	52,4	2.472	45	293.091	5.224	47,2	55,4	56,1	8
Ferrovia LP (AV)	76,0	32.132	203	134.108	915	422,9	158,0	146,5	240
Ferrovia LP (altri)	62,4	14.404	140	50.084	576	230,8	102,8	87,0	288
Ferrovia Reg (RV)	537,6	25.122	338	81.510	1.155	46,7	74,3	70,6	308
Ferrovia Reg (R)	1.439,7	39.446	741	264.126	5.401	27,4	53,2	48,9	149
Ferrovia Reg (S)	1.232,5	20.208	521	90.097	2.397	16,4	38,8	37,6	224
TPL metropolitane	2.233,2	14.379	532	58.794	2.294	6,4	27,0	25,6	245
TPL tramvie	208,4	656	41	55.787	4.431	3,1	16,1	12,6	12
TOTALE	5.900,4	178.491	2.687	1.357.684	23.610	30,3	66,4	57,5	131

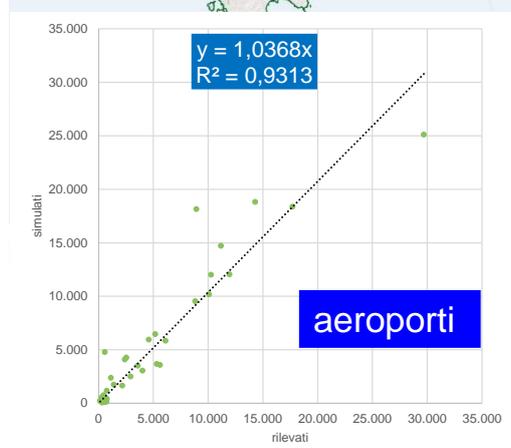
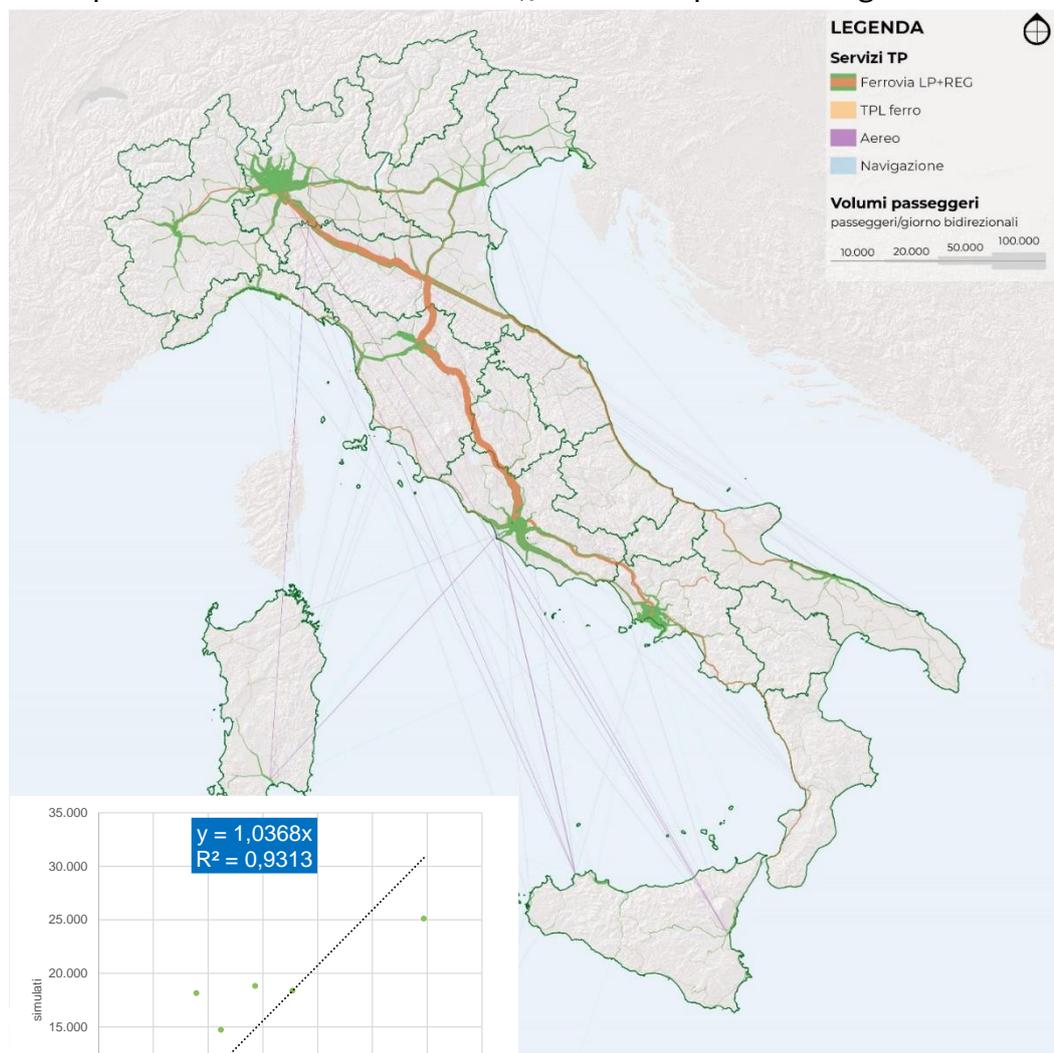
Tab. 2.5.i - Rete del trasporto pubblico: volumi di traffico e tempi di percorrenza

Fonte: Elaborazione META

La restante quota si suddivide invece fra i servizi ferroviari regionali (considerati nelle loro diverse articolazioni interne, dai treni suburbani a quelli regionali veloci), le metropolitane e le tramvie urbane. Nel complesso, la frequentazione

¹ Al netto dell'aggregato formato dalle autolinee di competenza statale e dai servizi a noleggio, non ulteriormente disaggregabile.

dei treni regionali (ordinari e veloci) è stimata intorno ad 3 milioni di passeggeri/giorno, contro i circa 2,9 milioni rilevati in un giorno feriale medio. La quota residua afferisce ai servizi ferroviari suburbani che insieme a metropolitane e tramvie attrae circa 2,5 milioni di spostamenti/giorno.



I due grafici riportati a fianco riportano i confronti operati tra il numero di passeggeri saliti simulato dal modello, e quello rilevato negli aeroporti (solo voli nazionali) e nelle stazioni ferroviarie (solo servizi a lunga percorrenza). La buona correlazione ottenuta anche in questi casi rispecchia la capacità del modello di fornire stime affidabili dei flussi di passeggeri sulle reti di trasporto pubblico a livello nazionale.

Fig. 2.5.i - Scenario attuale: flussogramma trasporto pubblico

Fonte: Elaborazione META

Considerando il dettaglio della zonizzazione adottata, l'assegnazione alla rete di queste ultime componenti, concentrate nelle principali aree metropolitane, fornisce risultati soltanto indicativi ed è dunque ritenuta attendibile soltanto a livello aggregato². Il flussogramma dei carichi di rete (Fig. 2.5.i) si caratterizza per una sensibile concentrazione attorno alle principali aree urbane (servizi ferroviari regionali) e sui principali corridoi della rete AV/AC.

2.6 Impatto ambientale

La ricostruzione dei flussi di traffico è alla base della possibilità di stimare in modo analitico molti indicatori di pressione ambientale del sistema.

Facendo riferimento, in primo luogo, ai **consumi energetici del traffico stradale**, essi possono essere stimati in **circa 100.000 tep/giorno**, valore che risulta coerente con le vendite di carburanti per autotrazione pubblicate nel Bollettino Petrolifero per il mese di ottobre 2019 (3,0 Mtep).

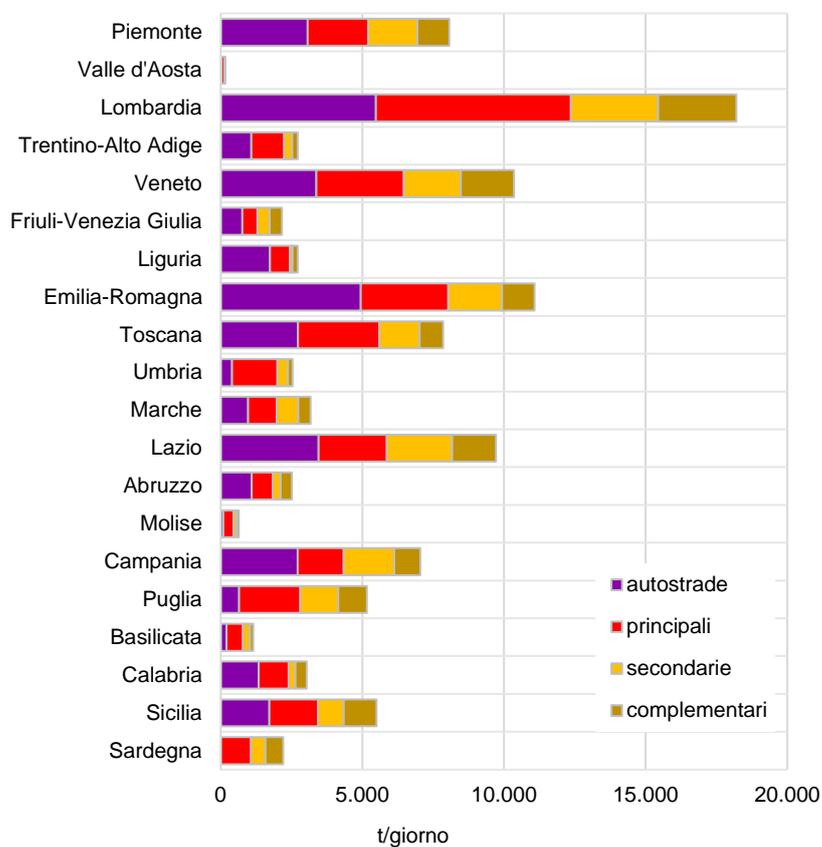


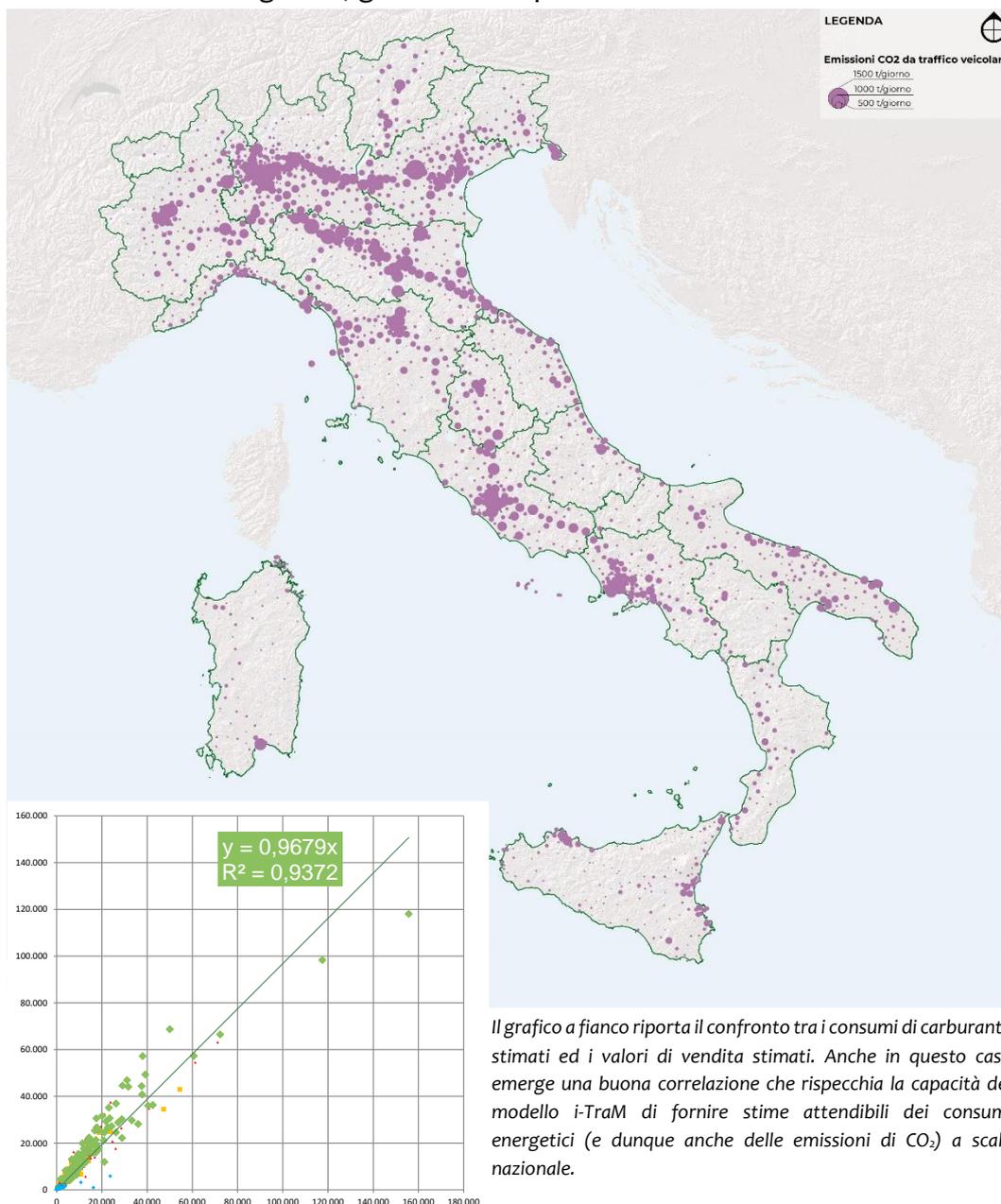
Fig. 2.6.i - Scenario attuale: consumi energetici del traffico stradale per regione e tipo di strada

Fonte: Elaborazione META

² A queste componenti va sommato il "bus virtuale", non assegnato, per cui si assumono i valori medi di percorrenza e velocità tratti dalle statistiche nazionali sulle autolinee TPL urbane ed extraurbane.

Se rapportato alle **emissioni di CO₂**, questo valore rimanda ad un totale di **308.000 t/giorno** e di circa **95 milioni di t/anno**, di cui rispettivamente 191.000 e 63 attribuibili ai veicoli leggeri. Quest'ultimo valore risulta leggermente inferiore a quello riportato dall'inventario nazionale delle emissioni per il settore road transport, pari nel 2019 a 79,6 milioni di t di CO₂ nel 2019, ottenuto come somma delle tre componenti corrispondenti a motoveicoli (2,9), autovetture (66,9) e veicoli commerciali leggeri (9,8).

La distribuzione territoriale delle emissioni per zona di traffico (Fig. 2.6.ii) riflette la concentrazione del traffico nelle grandi aree urbane e sui principali corridoi viari interregionali, già osservata per i flussi automobilistici.



Il grafico a fianco riporta il confronto tra i consumi di carburante stimati ed i valori di vendita stimati. Anche in questo caso emerge una buona correlazione che rispecchia la capacità del modello i-TraM di fornire stime attendibili dei consumi energetici (e dunque anche delle emissioni di CO₂) a scala nazionale.

Fig. 2.6.ii - Scenario attuale: emissioni di CO₂ da traffico stradale per zona di traffico

Fonte: Elaborazione META

3 Lo scenario "autostrade gratis"

3.1 Costruzione dello scenario

Lo scenario "autostrade gratis" (AUTZERO) è finalizzato specificamente a comprendere l'insieme dei possibili effetti indotti dall'introduzione della gratuità dei servizi di trasporto pubblico locale e regionale a scala nazionale italiana.

Esso è ottenuto semplicemente azzerando i pedaggi simulati sull'intera rete forma dalle autostrade e dai trafori autostradali, senza introdurre alcun elemento in ordine al recupero dei ricavi attualmente assicurati dal sistema, che secondo i dati AISCAT nel 2019 sono risultati a circa 9,9 miliardi di euro (di cui 1.5 di IVA)³.

CONCESSIONARIA	TRAFFICI (milioni di veic.-km)			INTROITI DA PEDAGGIO (€/migliaia)				PRODOTTO MEDIO UNITARIO (€/km)	
	Leggeri	Pesanti	Totale	della Società	Canone aggiuntivo ⁽³⁾	I.V.A. ⁽⁴⁾	Totale	della Società	Totale
	1	2	3=1+2	4	5	6	7=4+5+6	8=4,3	9=7,3
AUTOSTRADE PER L'ITALIA	37.165,4	11.197,0	48.362,4	3.039,021	366.650	749.248	4.154.919	0,063	0,086
AUTOVIE VENETE	1.762,7	815,8	2.578,5	186.408	21.820	45.543	253.771	0,072	0,098
MILANO SERRAVALLE - MILANO TANGENZIALI ⁽¹⁾	2.517,0	605,0	3.122,0	234.766	22.712	56.645	314.123	0,075	0,101
BRESCIA-PADOVA	4.080,0	1.569,3	5.649,3	341.628	45.695	85.169	472.492	0,060	0,084
C.A.V. ⁽¹⁾	1.347,4	479,2	1.826,6	144.151	14.518	34.907	193.576	0,079	0,106
AUT. MERIDIONALI	1.548,1	153,8	1.701,9	78.774	10.463	19.632	108.869	0,046	0,064
AUT. DEI FIORI Tronco Torino-Savona	747,7	169,4	917,1	70.248	6.472	16.878	93.598	0,077	0,102
AUT. DEL BRENNERO	3.562,2	1.516,7	5.078,9	327.442	42.263	81.175	450.880	0,064	0,089
S.A.T.A.P. A4 Torino-Milano	1.739,5	600,8	2.340,3	275.527	18.148	64.608	358.283	0,118	0,153
S.A.T.A.P. A21 Torino-Piacenza	1.344,4	681,7	2.026,1	178.107	17.843	43.109	239.059	0,088	0,118
TANG.LE DI NAPOLI	906,5	15,7	922,2	62.270	4.930	14.784	81.984	0,068	0,089
A. T. I. V. A. ⁽¹⁾	1.512,0	335,1	1.847,1	128.939	12.965	31.219	173.123	0,070	0,094
ASTI-CUNEO	119,0	39,0	158,0	19.871	1.217	4.638	25.726	0,126	0,163
S.I.T.A.F. ⁽²⁾	226,6	94,2	320,8	56.458	3.012	13.083	72.553	0,176	0,226
R.A.V.	83,4	31,9	115,3	30.040	770	6.778	37.588	0,261	0,326
AUTOVIA PADANA	662,2	352,7	1.014,9	61.104	9.086	15.442	85.632	0,060	0,084
S. A. V.	277,3	81,9	359,2	69.212	2.692	15.819	87.723	0,193	0,244
AUT. DEI FIORI Tronco Savona-Ventimiglia	922,3	309,3	1.231,6	157.866	9.657	36.855	204.378	0,128	0,166
S. A. L. T. Tronco Ligure Toscano	1.521,8	381,1	1.902,9	188.714	13.843	44.372	246.929	0,099	0,130
S.A.T.	252,0	50,4	302,4	35.613	2.051	8.286	45.950	0,118	0,152
S.A.L.T. Tronco Autocisa	658,7	199,0	857,7	102.826	6.724	23.924	133.474	0,120	0,156
CONSORZIO AUTOSTRADE SICILIANE	1.446,2	226,5	1.672,7	64.908	11.190	16.742	92.840	0,039	0,056
STRADA DEI PARCHI ⁽¹⁾	1.827,4	302,5	2.129,9	162.858	12.796	38.644	214.298	0,076	0,101
SOCIETÀ DI PROGETTO BREBEMI	356,0	138,1	494,1	91.444	3.851	20.965	116.260	0,185	0,235
TANGENZIALE ESTERNA DI MILANO	229,0	100,1	329,1	66.645	2.659	15.247	84.551	0,203	0,257
PEDEMONTANA LOMBARDA	193,3	46,6	239,9	32.225	1.715	7.467	41.407	0,134	0,173
SUPERSTRADA PEDEMONTANA VENETA	3,0	0,8	3,8	0,67	-	0,15	0,82	-	-
TOTALE	67.011,2	20.493,6	87.504,8	6.207,066	665.742	1.511.179	8.383.987	0,071	0,096

Tab. 3.1.i – Volumi di traffico e ricavi da traffico sulla rete autostradale italiana

Fonte: AISCAT

Per la sua natura, questo scenario tende a configurarsi più che altro come elemento "di controllo" per i successivi approfondimenti a carattere modellistico.

³ Il dato relativo al 2022 si mantiene su valori del tutto analoghi, essendo la riduzione dei volumi di traffico quasi perfettamente compensata dalla variazione dei livelli tariffari. Il dato relativo al 2023 non è ancora stato pubblicato.

3.2 Impatti in termini di diversione modale

Un primo risultato delle simulazioni consiste nella modifica della ripartizione modale della domanda di mobilità, considerata nel suo complesso.

Il modello stima in questo caso una **diversione sul trasporto privato di circa 117 mila spostamenti/giorno** (intrazonali inclusi), corrispondenti ad **un incremento dello 0,2%** della domanda afferente a questa macromodalità.

Questo effetto peraltro deriva dalla somma di due componenti, così articolate:

- 114 mila spostamenti sottratti alla mobilità motorizzata individuale (-0,7%)
- mila di spostamenti sottratti alla mobilità non motorizzata (sostanzialmente invariata)

A seguito di questo trasferimento, la quota modale del trasporto privato passa dal 63,2 al 63,3%, mentre quella del trasporto pubblico si riduce dal 12,9 al 12,8%. La quota della mobilità attiva resta in pratica invariata al 23,9%.

Come si osserva nella Fig. 3.2.ii, L'effetto di trasferimento modale tende di norma ad essere più forte nelle Regioni, come la Liguria e la Valle d'Aosta, ma anche il Piemonte, il Trentino-Alto Adige e l'Emilia-Romagna, nelle quali la rete autostradale a pedaggio si sovrappone in modo sistematico alle principali direttrici del trasporto ferroviario. Esso è invece praticamente nullo nelle Regioni, come la Calabria e la Sardegna, che non ospitano infrastrutture tariffate. Gli altri casi presentano valori intermedi, decrescenti a mano a mano che si passa da Nord (Lombardia, -0,9%) a Sud (Puglia, -0,2%).

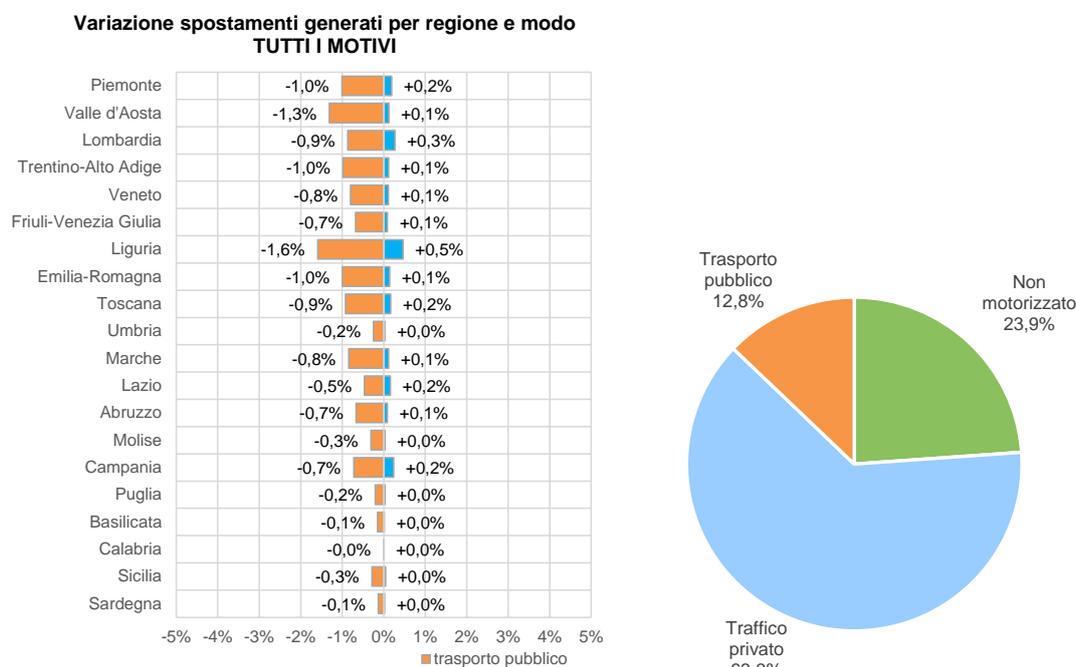


Fig. 3.2.i - Scenario AUTZERO: variazioni della domanda di mobilità su trasporto pubblico e traffico privato

Fonte: Elaborazione META

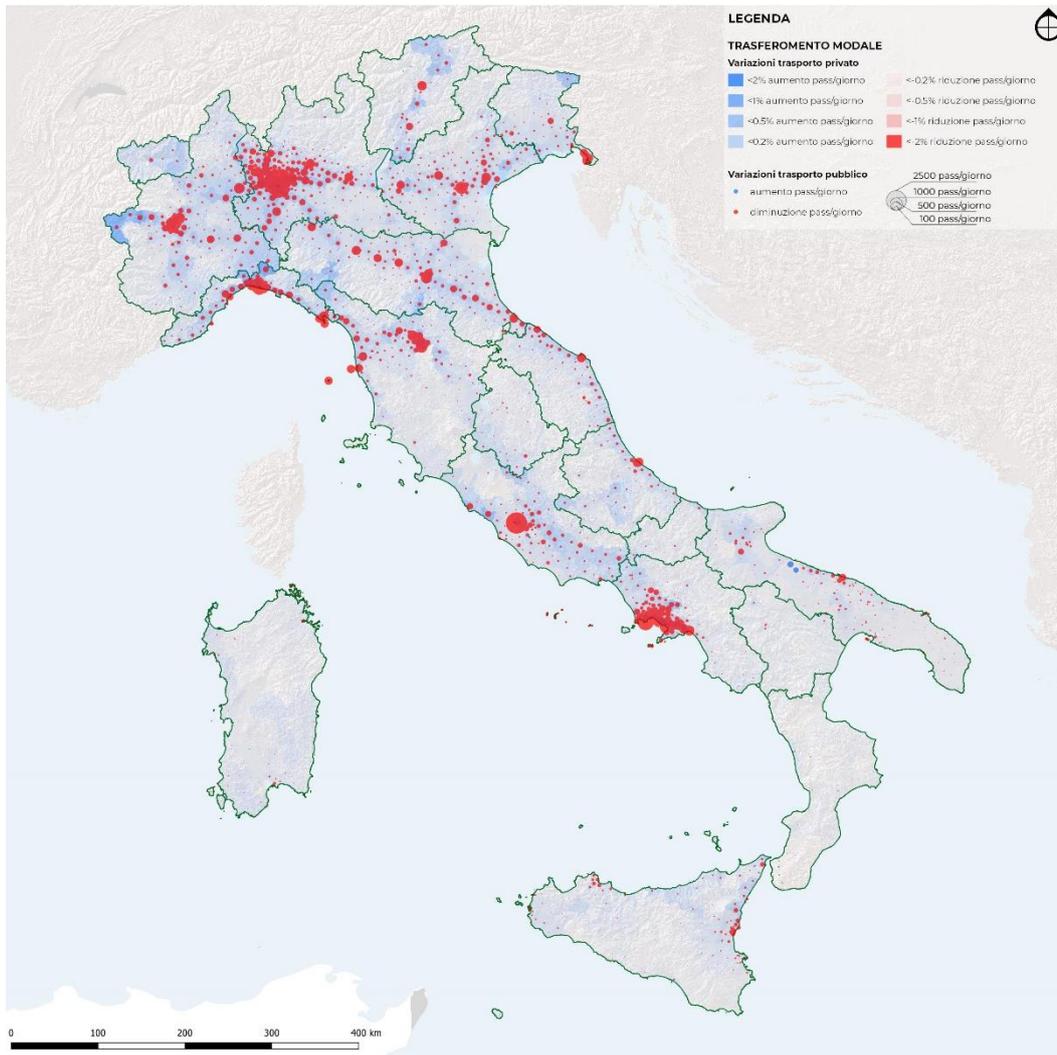


Fig. 3.2.ii - Scenario tariffa 0: variazioni di domanda pubblico/privato

Fonte: Elaborazione META

3.3 Impatti sul traffico privato

Il modello consente anche di simulare le variazioni indotte sul traffico privato, con un **incremento dei volumi, espressi in veicoli equivalenti-km, pari al +1,8%** (+2,0% per i veicoli leggeri, +0,5% per quelli pesanti). Tale effetto risulta dalla somma algebrica dell'aumento simulata sulla rete autostradale (+17,6%) e della diminuzione stimata sulla rete ordinaria (-6,4%).

L'incremento assoluto dei veicoli-km simulati sul complesso della rete rispecchia in parte il trasferimento di domanda dal modo pubblico a quello privato, in parte l'allungamento delle distanze medie dei singoli spostamenti, associata al maggior utilizzo della rete autostradale. Quest'ultimo elemento spiega anche l'**incremento delle velocità medie sull'intera rete**, che passano da 36,3 a 37,7 km/h (+3,7%), generando una **sensibile riduzione dei tempi di viaggio associati al traffico leggero** (-0,8 milioni di veicoli-h/giorno, pari al -2,6%). Per contro l'effetto di richiamo di una maggior quota di traffico leggero verso la

rete autostradale si traduce in un sensibile rallentamento del deflusso su questo segmento di rete (da 83,4 a 74,8 km/h), che penalizza il traffico pesante, già fortemente concentrato su di esso (+0,1 milioni di veicoli-h/giorno, pari al +2,7%).

VOLUMI E PERCORRENZE - TOTALI											
CLASSE	Estesa km	Volumi di traffico			Tempi di percorrenza			Velocità medie			
		milioni di veicoli-km/giorno			milioni di veicoli-h/giorno			km/h			
		leggeri	pesanti	equiv.	leggeri	pesanti	equiv.	leggeri	pesanti	equiv.	
Autostrade	7.433	382,83	78,56	539,95	4,907	1,157	7,221	78,0	67,9	74,8	
Principali	23.961	348,99	26,33	401,64	10,259	0,573	11,405	34,0	45,9	35,2	
Secondarie	25.773	211,76	10,43	232,62	8,839	0,313	9,464	24,0	33,3	24,6	
Complement.	38.093	174,98	5,14	185,26	7,587	0,181	7,949	23,1	28,4	23,3	
TOTALE	95.259	1.118,56	120,45	1.359,47	31,592	2,223	36,039	35,4	54,2	37,7	
Diff SDF (v.a.)	-0	+22,9	+0,6	+24,1	-0,8	+0,1	-0,7	+1,6	-1,2	+1,4	
Diff SDF	-0,0%	+2,0%	+0,5%	+1,8%	-2,6%	+2,7%	-2,0%	+4,6%	-2,3%	+3,7%	

Tab. 3.3.i - Rete stradale: volumi di traffico e tempi di percorrenza

Fonte: Elaborazione META

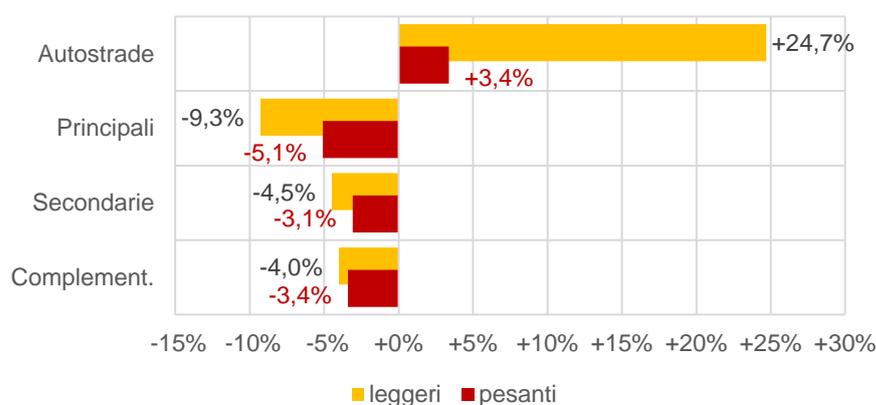


Fig. 3.3.i - Scenario tariffa 0: variazione delle percorrenze veicolari per tipo di strada

Fonte: Elaborazione META

Coerentemente con il quadro descritto per il trasporto collettivo, gli incrementi del traffico privato riguardano soprattutto gli assi autostradali paralleli alle principali direttrici ferroviarie, ed orientati verso le maggiori aree urbane del paese, e sono particolarmente forti nei casi di autostrade oggi caratterizzate da livelli tariffari più elevati della media.

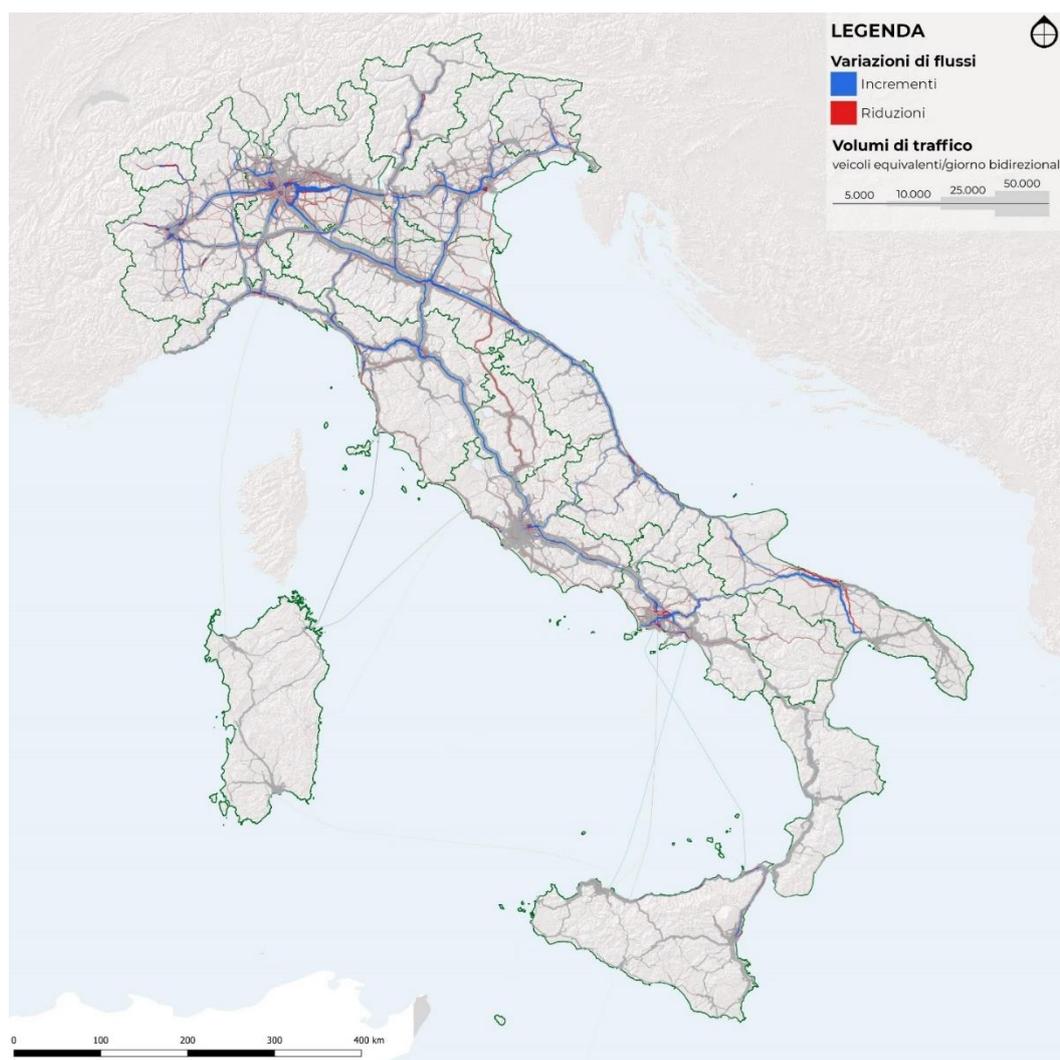


Fig. 3.3.ii - Scenario AUTZERO: variazione flussi veicolari

Fonte: Elaborazione META

3.4 Impatti sul trasporto pubblico

L'assegnazione dei flussi alla rete di forza del trasporto pubblico evidenzia una riduzione di circa il 3% (-172.000 spostamenti/giorno), imputabile soprattutto ai servizi ferroviari di media e lunga percorrenza,

È comunque possibile osservare che tale riduzione corrisponde in valore assoluto ad una componente minoritaria della domanda trasferita dal mezzo pubblico a quello privato. La quota più rilevante di tale trasferimento riguarda infatti i servizi più strettamente locali, simulati attraverso la metodologia del "bus virtuale" ed esclusi dall'assegnazione alla rete del trasporto pubblico.

i-TrAM - Servizi di trasporto pubblico - TOTALE									
Categoria di servizio	Domanda (passeggeri)			Offerta		Dist. media	Velocità commerciale		Coeff. occ.
	saliti	trasp.	tempi	volumi	tempi		pkm/ph	vkm/vh	
	000 pass	000 pkm	000 ph	corse*km	corse*h	km			pkm/vk
Navigazione aerea	36,2	24.229	51	316.717	660	669,3	475,8	479,8	76
Navigazione marittima	16,9	1.714	60	13.370	558	101,2	28,7	24,0	128
Autolinee LP/APT	49,5	2.211	41	293.091	5.224	44,7	53,7	56,1	8
Ferrovia LP (AV)	62,0	26.085	165	134.108	915	420,8	158,4	146,5	195
Ferrovia LP (altri)	53,7	11.606	113	50.084	576	216,2	102,4	87,0	232
Ferrovia Reg (RV)	504,0	22.933	310	81.510	1.155	45,5	74,1	70,6	281
Ferrovia Reg (R)	1.395,0	37.632	710	264.126	5.401	27,0	53,0	48,9	142
Ferrovia Reg (S)	1.205,7	19.624	506	90.097	2.397	16,3	38,7	37,6	218
TPL metropolitane	2.198,9	14.153	524	58.794	2.294	6,4	27,0	25,6	241
TPL tramvie	206,0	645	40	55.787	4.431	3,1	16,1	12,6	12
TOTALE	5.727,9	160.831	2.520	1.357.684	23.610	28,1	63,8	57,5	118
Diff SDF (v.a.)	-172,5	-17.660	-167	0	0	-2,2	-2,6	0,0	-13
Diff SDF (%)	-3,0%	-11,0%	-6,6%	+0,0%	+0,0%	-7,7%	-4,1%	+0,0%	-11,0%

Tab. 3.4.i - Rete del trasporto pubblico: volumi di traffico e tempi di percorrenza

Fonte: Elaborazione META

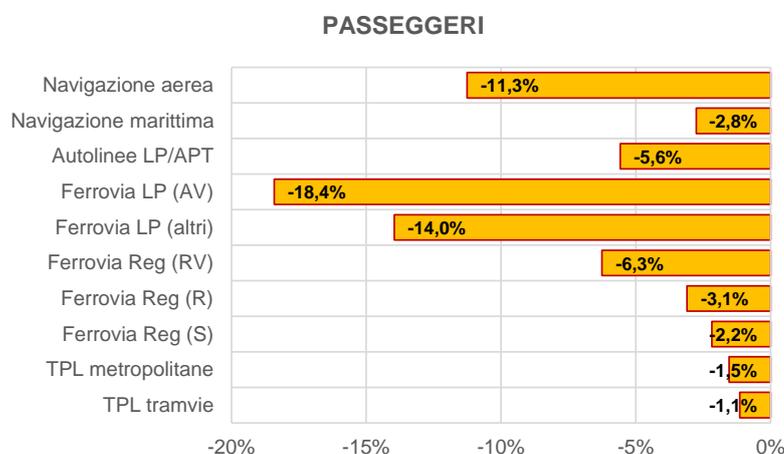


Fig. 3.4.i - Scenario AUTZERO: variazione passeggeri del trasporto pubblico per modalità

Fonte: Elaborazione META

Analizzando i flussi assegnati (Fig. 3.4.ii) si osserva che il **decremento dei carichi riguarda soprattutto le principali direttrici interregionali facenti capo innanzi tutto al nodo di Milano, e quindi a quelli di Roma, Napoli e Torino**. Ciò conferma la concentrazione dell'effetto sulle componenti di domanda a medio raggio, che nello scenario attuale utilizzano il treno per raggiungere un grande polo urbano distante al massimo un paio d'ore di viaggio, e che nello scenario "autostrade gratis" subiscono la concorrenza dei paralleli corridoi autostradali.

Come già nel caso del TPL gratuito, l'**effetto sulle linee ferroviarie minori**, già oggi caratterizzate da livelli di traffico modesti, **appare molto ridotto**, quanto meno in valore assoluto.



Fig. 3.4.ii - Scenario AUTZERO variazione dei flussi sul trasporto pubblico

Fonte: Elaborazione META

3.5 Effetti sui consumi e sulle emissioni

Da ultimo, il modello consente di stimare l'impatto ambientale della misura, in termini di consumi energetici e di emissioni atmosferiche. Il risultato, ottenuto a parco veicolare invariante, consiste in un **leggero aumento dei consumi energetici (+0,3%) e delle emissioni di CO₂ (+0,3%), così come di NO_x (+1,2%) e di PM (+0,3%),** cui si contrappone invece un **calo delle emissioni di CO (-1,9%) e di COV (-1,3%).**

Facendo riferimento alle sole emissioni di biossido di carbonio, è interessante osservare come l'incremento complessivo derivi, in realtà dalla media ponderata di effetti di segno differente, riscontrabili per la componente di traffico leggero (-0,4%) e pesante (+1,8%), così come nelle singole regioni. Gli incrementi maggiori si verificano in Liguria, Toscana, Abruzzo, Emilia-Romagna

e Puglia, mentre i decrementi più sensibili si manifestano in Umbria, Basilicata e Valle d'Aosta⁴.

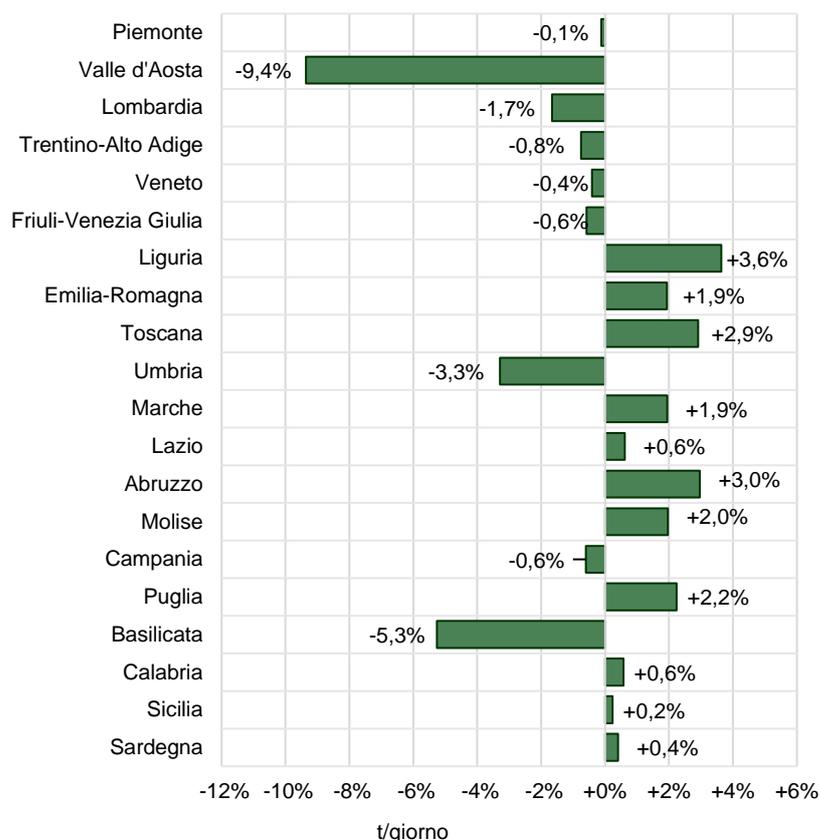


Fig. 3-5.i - Scenario AUTZERO: variazione % consumi energetici da traffico stradale per regione

Fonte: Elaborazione META

In valore assoluto, **l'impatto sulle emissioni di CO₂ viene stimato in un migliaio di t/giorno** (ca. 320.000 t CO₂/anno), aggiuntive rispetto alla situazione attuale. Gli incrementi maggiori vengono simulati nelle aree urbane e lungo i principali corridoi di traffico interregionali, mentre nei comparti rurali più discosti dalla grande rete si osservano di norma riduzioni anche sensibili delle emissioni.

⁴ Nei casi di piccole regioni, prive di grandi centri urbani, il risultato potrebbe anche dipendere da alcuni parametri modellistici volti a penalizzare il traffico sulla rete ordinaria, in funzione degli aggravamenti di consumi ed emissioni tipici della marcia in ciclo urbano, che potrebbero in questi casi indurre una certa sovrastima del carico ambientale associato al traffico extra-autostradale.

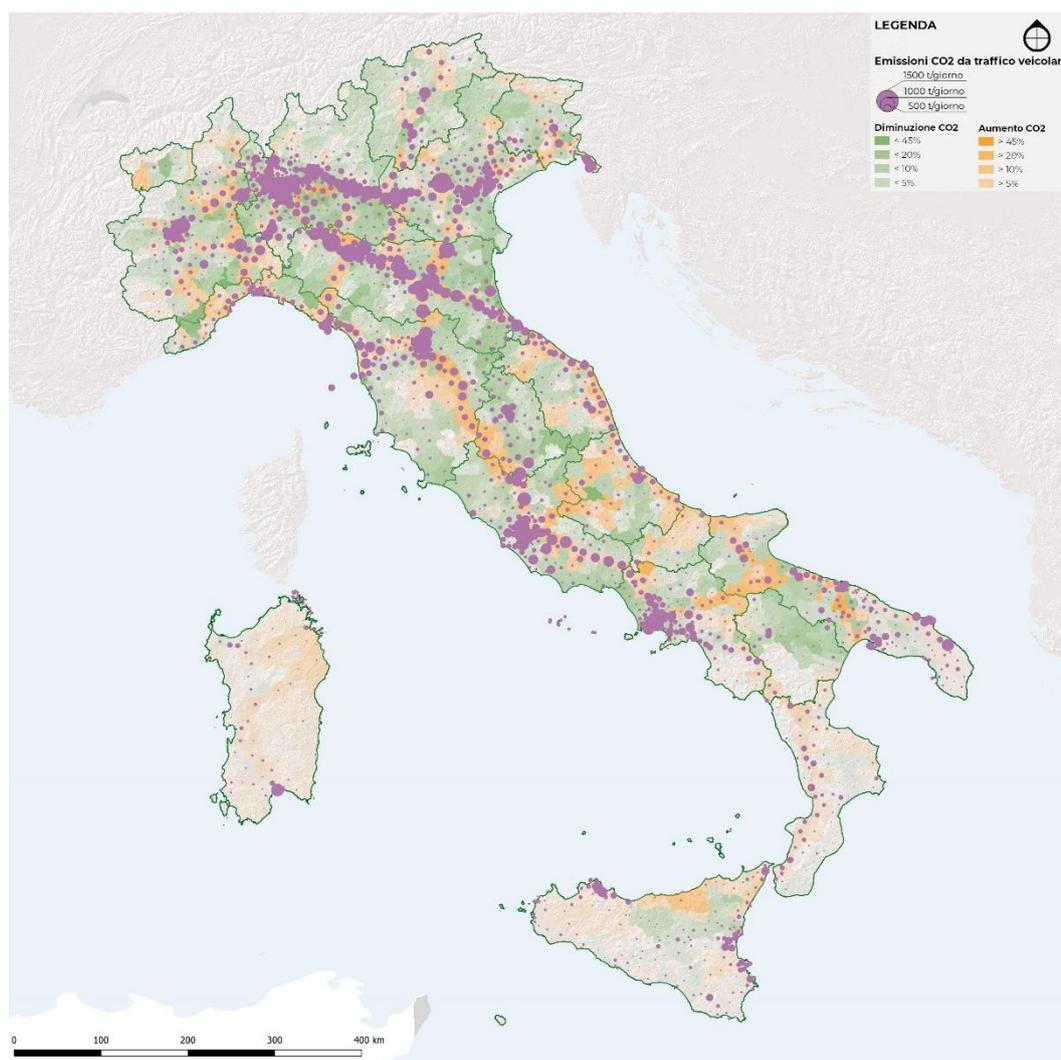


Fig. 3.5.ii - Scenario AUTZERO: variazione emissioni di CO2 da traffico stradale

Fonte: Elaborazione META

4 Lo scenario di tariffazione ai costi marginali

4.1 Presupposti teorici e valori di riferimento

La teoria della tariffazione delle infrastrutture (stradali e non) ai costi marginali ha nella scienza economica radici molto antiche, essendo fatta risalire da alcuni a Jules Dupuit, l'ingegnere francese che fu, nel XIX secolo, tra i fondatori dell'analisi costi-benefici (Mosca 1991).

In ogni caso tale teoria trova un fondamentale consolidamento con Hotelling (1938), con la dimostrazione che il massimo benessere sociale si consegue con la vendita dei servizi infrastrutturali ai soli costi marginali, anche nel caso in cui il punto di equilibrio si manifesta sul ramo decrescente dei costi medi, generando così un deficit a fronte dei costi sostenuti per realizzare l'infrastruttura stessa. In tale evenienza, la copertura dei costi dovrebbe essere garantita attraverso il prelievo fiscale (Forte 2008).

Il principio ha trovato ampia applicazione nei contesti nazionali che, per un qualunque motivo, hanno avviato processi di liberalizzazione dell'accesso alle infrastrutture di trasporto, venendosi così a trovare nella necessità di stimare i costi marginali generati dalle diverse categorie di traffico ferroviario e stradale, sia pesante che leggero.

Si è sviluppata così un'ampia letteratura scientifica, prevalentemente di matrice nord-europea, finalizzata a definire le metodologie ed i valori di stima dei costi di manutenzione e ripristino (*wear and tear*) delle singole tipologie infrastrutturali: fra i contributi più importanti, si possono citare Fridtjof (2003), Bruzelius (2004), Haraldsson (2007), Link (2014), Nilsson, Svensson e Haraldsson (2015), Murray e Link (2020), Link (2021).

Ne sono derivati, fra l'altro, i valori ufficialmente adottati dall'Unione Europea per le analisi costi-benefici (UE-DG MOVE 2014), riportati nella tabella che segue.

Vehicle category	All roads	Motorways	Other trunk roads	Other roads
Motorcycles and mopeds	0.2	0.1	0.1	0.3
Cars	0.5	0.2	0.3	0.8
Buses	2.0	0.8	1.4	2.7
LDV < 3.5 t	0.7	0.3	0.5	1.2
HGV 3.5 - 7.5 t, 2 axles	0.1	0.0	0.0	0.4
HGV 7.5 - 12 t, 2 axles	1.5	0.6	1.0	8.2
HGV 12 - 18 t, 2 axles	3.9	1.6	2.7	21.5
HGV 18 - 26 t, 3 axles	5.2	2.2	3.6	28.9
HGV 26 - 32 t, 4 axles	6.6	2.8	4.6	36.7
HGV 26 - 32 t, 5 axles	3.6	1.5	2.5	20.1
HGV 32 - 40 t, 5 axles	8.0	3.3	5.6	44.6
HGV 32 - 40 t, 6 axles	4.8	2.0	3.3	26.7
HGV 40 - 50 t, 8 axles	5.0	2.1	3.5	28.1
HGV 40 - 50 t, 9 axles	3.8	1.6	2.7	21.5
HGV 50 - 60 t, 8 axles	10.6	4.4	7.4	59.3
HGV 50 - 60 t, 9 axles	7.6	3.2	5.3	42.3
HGV 40 t, 8 axles	3.5	1.5	2.4	19.4
HGV 40 t, 9 axles	2.8	1.2	2.0	15.6
HGV 44 t, 5 axles	18.8	7.9	13.1	105.0
HGV 44 t, 6 axles	10.3	4.3	7.2	57.7

Source: Own calculations based on Link et al. (2009). Road types are as described by the parameters in Table 50.

* Country-specific values are provided in Excel tables as Annexes to this report.

Tab. 4.1.i - Costi marginali infrastrutturali per l'Unione Europea (espressi in eurocent, 2010)

Fonte: UE-DG MOVE (2014), tab.51

Lo scenario di tariffazione ai costi marginali ("COSTMARG") è stato pertanto ottenuto applicando a tutte le tratte appartenenti alla rete autostradale (incluso tangenziali, raccordi e trafori) uno stesso livello di pedaggiamento, corrispondente, per i veicoli leggeri, ai valori direttamente indicati dall'UE, e per i veicoli pesanti, alla media dei valori riportati per gli autocarri a 3 assi (HGV 18-26 t, 3 axles) e per gli autoarticolati/autotreni a 5 assi (HGV 44 t, 5 axles). Tali valori sono riportati nella tabella che segue.

Costi marginali di utilizzo dell'infrastruttura - Unione Europea (2010)					
Veicoli	Categoria di riferimento	€/vkm			
		tutte le strade	autostrade	strade principali	altre strade
leggeri	Cars	0,005	0,002	0,003	0,008
	HGV 18-26 t, 3 axles	0,052	0,022	0,036	0,289
pesanti	HGV 44 t, 5 axles	0,188	0,079	0,131	1,050
	media	0,120	0,051	0,084	0,670

Tab. 4.1.ii - Valori dei costi marginali utilizzati a riferimento per la determinazione dei pedaggi

Fonte: Elaborazione META su dati UE-DG MOVE

In altri termini, i livelli tariffari applicati all'intera rete autostradale in questo scenario sono pari a:

- **0,002 €/km** per i veicoli leggeri (-95% rispetto ai livelli medi attuali)
- **0,051 €/km** per i veicoli pesanti (-75% rispetto ai livelli medi attuali)

Si può osservare che tali valori corrispondono nel caso dei veicoli leggeri ad un decremento di oltre il -95% rispetto ai livelli medi di pedaggio attualmente applicati alla maggior parte della rete autostradale, e "soltanto" del -75% circa per i veicoli pesanti. Ne consegue che il rapporto tra i livelli tariffari applicati al traffico pesante ed al traffico leggero, oggi pari a circa 3,5, cresce sensibilmente sino ad oltre 25 volte.

Di fatto, dunque, questo scenario risulta molto prossimo a quello di completa gratuità per il traffico leggero, mentre mantiene elementi tariffari non trascurabili, seppure nettamente inferiori agli attuali, per il traffico pesante.

4.2 Impatti in termini di diversione modale

Un primo risultato delle simulazioni consiste, come per lo scenario precedente, nella modifica della ripartizione modale della domanda di mobilità passeggeri, considerata nel suo complesso.

Vista la modesta entità dei livelli tariffari applicati a questo segmento di traffico, l'effetto in termini di diversione modale non muta di molto: **la stima del traffico trasferito al traffico privato è infatti pari a 114 mila spostamenti/giorno**, di cui 111 mila provenienti dal trasporto pubblico e 3 mila dalla mobilità non motorizzata.

A seguito di questo trasferimento, la quota modale del trasporto privato continua a passare da 63,2 al 63,3%, a fronte di un decremento di quella afferente al trasporto pubblico dal 12,9% al 12,8%.

Anche la distribuzione degli effetti nei diversi territori regionali rimane pressoché invariata, con valori più elevati in Liguria, Valle d'Aosta, Piemonte, Trentino-Alto Adige ed Emilia-Romagna, praticamente nulli in Calabria e Sardegna, intermedi nelle altre regioni, con gradiente decrescente in valore assoluto a mano a mano che si passa da Nord al Centro al Sud.

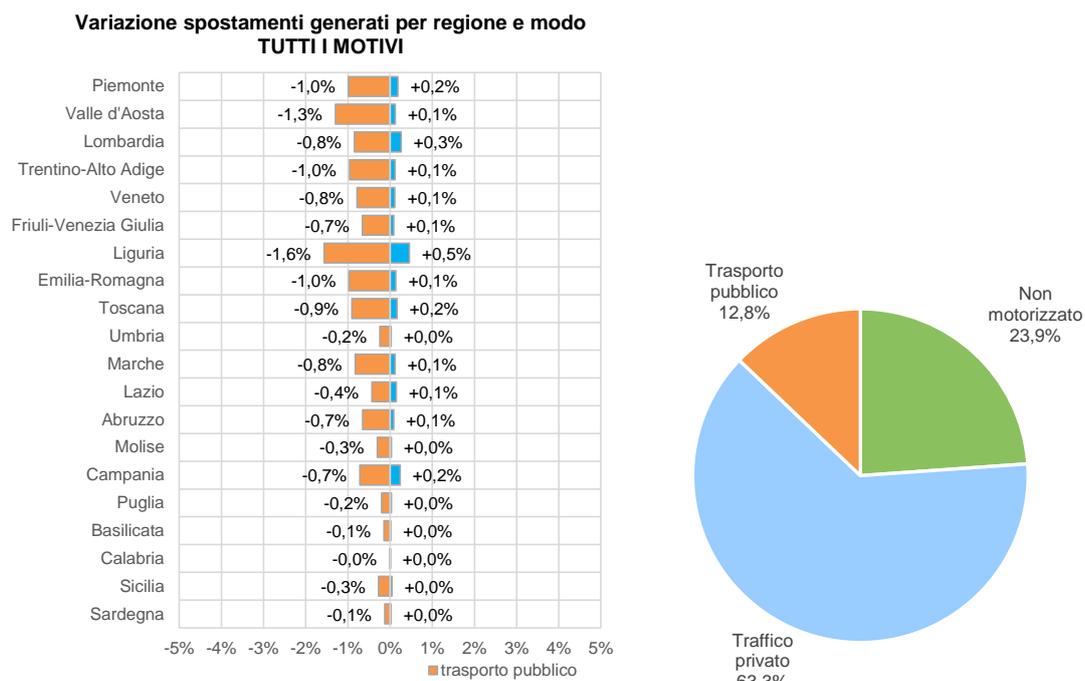


Fig. 4.2.i - Scenario COSTMARG: variazioni della domanda di mobilità su trasporto pubblico e traffico privato

Fonte: Elaborazione META

Ed anche in questo caso il decremento della domanda afferente ai servizi di trasporto pubblico tende ad interessare soprattutto i grandi corridoi orientati verso le principali aree urbane del Centro-Nord (Fig. 4.2.ii).

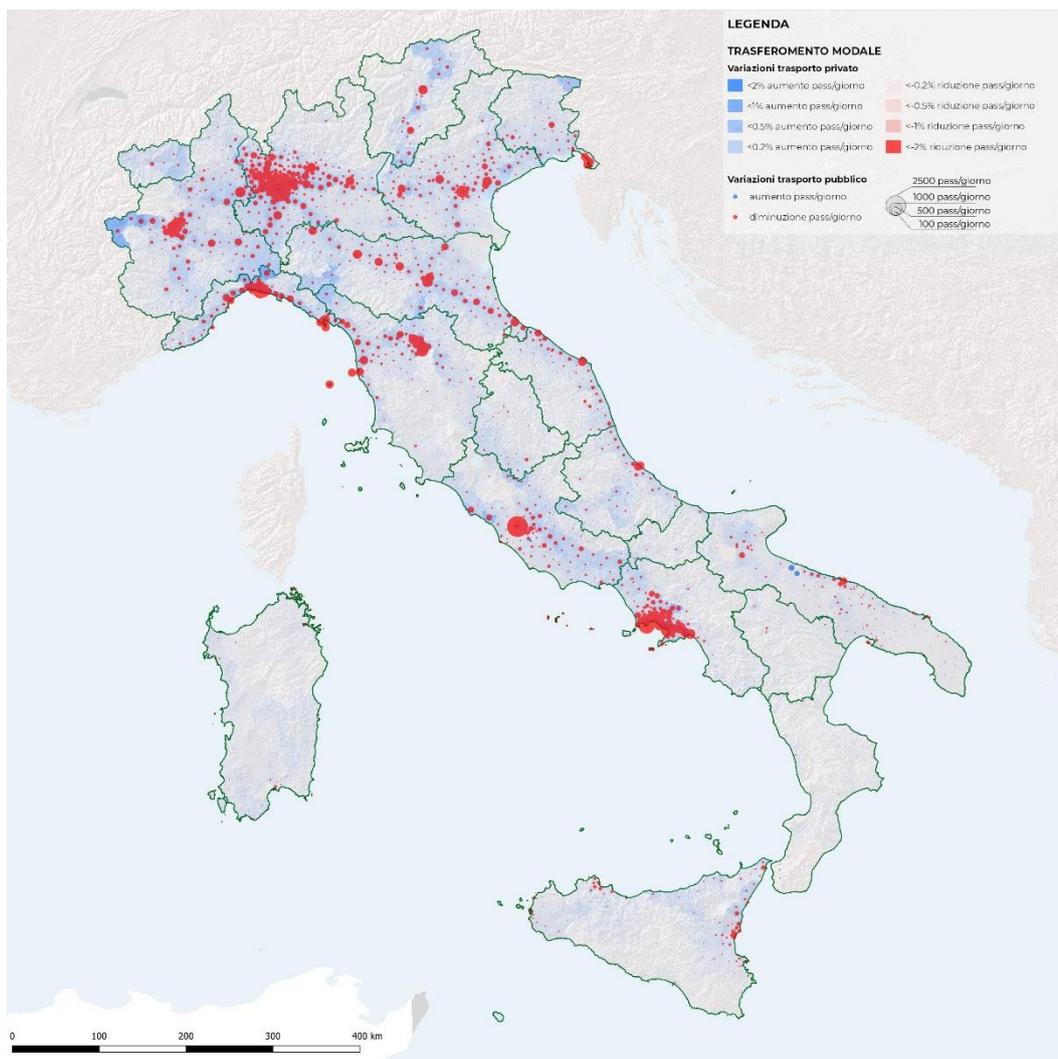


Fig. 4.2.ii - Scenario COSTMARG: variazioni di domanda pubblico/privato

Fonte: Elaborazione META

4.3 Impatti sul traffico privato

Per quanto riguarda gli effetti sui volumi di traffico privato, questo scenario si caratterizza per valori solo leggermente inferiori a quelli dello scenario di gratuità, con **incremento del 2,0% per il traffico leggero e dello 0,5% per quello pesante.**

Pure i risultati ottenuti in termini di tempi di percorrenza non variano sensibilmente rispetto a quelli del precedente scenario: espressi in veicoli-h, essi si riducono del 2,6% per il traffico leggero, mentre subiscono un incremento del 2,76% per quello pesante.

Anche in questo caso, pertanto, il richiamo di traffico leggero alla rete autostradale, che coinvolge sia itinerari stradali ordinari, sia altri modi di trasporto, tende a danneggiare il traffico pesante, già oggi largamente concentrato su questo segmento di rete: si tratta di un effetto per certi versi paradossale, se si considera che la categoria principalmente danneggiata da questa politica tariffaria sarebbe praticamente l'unica a dover sostenere

pedaggi di qualche entità, certo commisurati ai costi di manutenzione e ripristino generati, ma non proporzionali alle variazioni dei tempi di percorrenza indotte.

VOLUMI E PERCORRENZE - TOTALI										
CLASSE	Estesa km	Volumi di traffico			Tempi di percorrenza			Velocità medie		
		milioni di veicoli-km/giorno		equiv.	milioni di veicoli-h/giorno		equiv.	km/h		equiv.
	leggeri	pesanti	leggeri		pesanti	leggeri		pesanti		
Autostrade	7.433	381,47	77,55	536,58	4,854	1,134	7,123	78,6	68,4	75,3
Principali	23.961	349,24	26,89	403,03	10,289	0,586	11,461	33,9	45,9	35,2
Secondarie	25.773	211,96	10,56	233,08	8,850	0,317	9,483	23,9	33,4	24,6
Complement.	38.093	175,14	5,19	185,52	7,596	0,182	7,960	23,1	28,6	23,3
TOTALE	95.259	1.117,81	120,20	1.358,21	31,589	2,219	36,027	35,4	54,2	37,7
Diff SDF (v.a.)	-0	+22,1	+0,4	+22,9	-0,8	+0,1	-0,7	+1,6	-1,2	+1,4
Diff SDF	-0,0%	+2,0%	+0,3%	+1,7%	-2,6%	+2,6%	-2,0%	+4,5%	-2,3%	+3,6%

Tab. 4.3.i - Rete stradale: volumi di traffico e tempi di percorrenza

Fonte: Elaborazione META

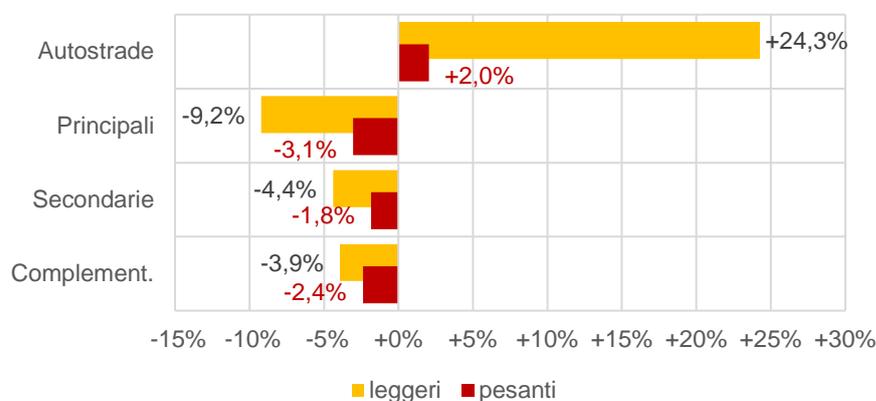


Fig. 4.3.i - Scenario COSTMARG: variazione delle percorrenze veicolari per tipo di strada

Fonte: Elaborazione META

Coerentemente con il quadro descritto sinora, gli incrementi di traffico tendono ad interessare soprattutto le tratte autostradali di adduzione alle maggiori aree urbane del Centro-Nord, ed in particolare quelle che presentano oggi livelli tariffari superiori alla media.

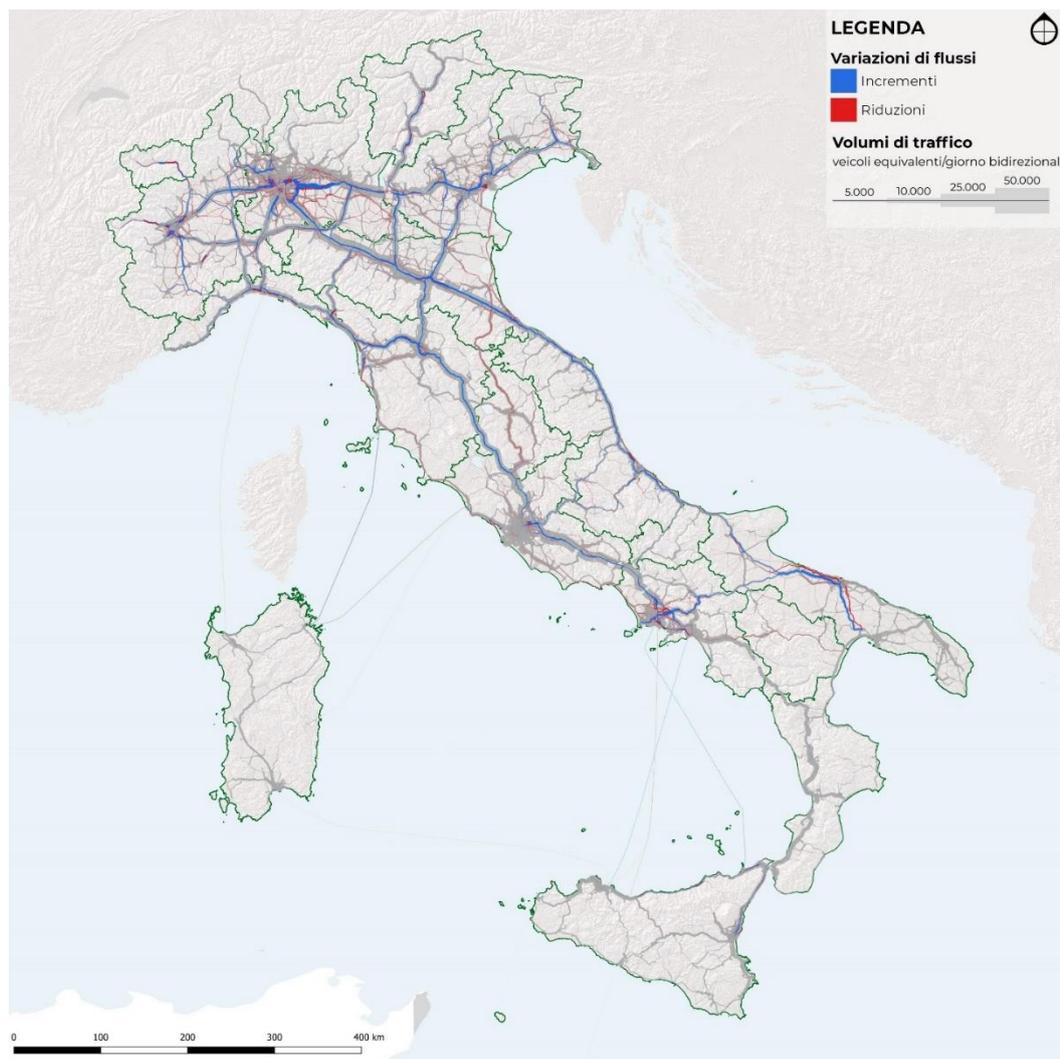


Fig. 4.3.ii - Scenario COSTMARG: variazione flussi veicolari

Fonte: Elaborazione META

4.4 Impatti sul trasporto pubblico

Dato il quadro generale, anche gli effetti sul sistema di trasporto pubblico risultano decisamente simili a quelli dello scenario di controllo, basato sulla piena gratuità della rete autostradale.

Nel complesso, la rete di trasporto pubblico a medio-lungo raggio perde circa 168 mila passeggeri/giorno, concentrati anche in questo caso sui servizi ferroviari di media e lunga percorrenza, più soggetti alla competizione con il traffico privato lungo alcune importanti direttrici autostradali.

i-TraM - Servizi di trasporto pubblico - TOTALE									
Categoria di servizio	Domanda (passeggeri)			Offerta		Dist. media	Velocità commerciale		Coeff. occ.
	saliti	trasp.	tempi	volumi	tempi		pkm/ph	vkm/vh	
	000 pass	000 pkm	000 ph	corse*km	corse*h	km			pkm/vk
Navigazione aerea	36,3	24.334	51	316.717	660	669,5	475,8	479,8	77
Navigazione marittima	16,9	1.723	60	13.370	558	101,7	28,7	24,0	129
Autolinee LP/APT	49,5	2.214	41	293.091	5.224	44,7	53,8	56,1	8
Ferrovia LP (AV)	62,2	26.177	165	134.108	915	420,8	158,4	146,5	195
Ferrovia LP (altri)	53,9	11.667	114	50.084	576	216,6	102,4	87,0	233
Ferrovia Reg (RV)	504,7	22.976	310	81.510	1.155	45,5	74,1	70,6	282
Ferrovia Reg (R)	1.396,0	37.671	711	264.126	5.401	27,0	53,0	48,9	143
Ferrovia Reg (S)	1.206,3	19.638	507	90.097	2.397	16,3	38,8	37,6	218
TPL metropolitane	2.200,0	14.160	525	58.794	2.294	6,4	27,0	25,6	241
TPL tramvie	206,1	646	40	55.787	4.431	3,1	16,1	12,6	12
TOTALE	5.731,9	161.206	2.524	1.357.684	23.610	28,1	63,9	57,5	119
Diff SDF (v.a.)	-168,5	-17.285	-163	0	0	-2,1	-2,5	0,0	-13
Diff SDF (%)	-2,9%	-10,7%	-6,5%	+0,0%	+0,0%	-7,6%	-4,0%	+0,0%	-10,7%

Nota: data la minore verosimiglianza delle assegnazioni all'interno delle aree urbane, i servizi ferroviari suburbani, le metropolitane e le tramvie vengono aggregate in un'unica voce. Il "bus virtuale", corrispondente all'insieme delle autolinee TPL urbane ed extraurbane, è simulato in termini di impatto sul numero totale degli spostamenti, ma mantiene le percorrenze medie e le velocità commerciali tratti dalle statistiche nazionali di settore.

Tab. 4.4.i - Rete del trasporto pubblico: volumi di traffico e tempi di percorrenza

Fonte: Elaborazione META

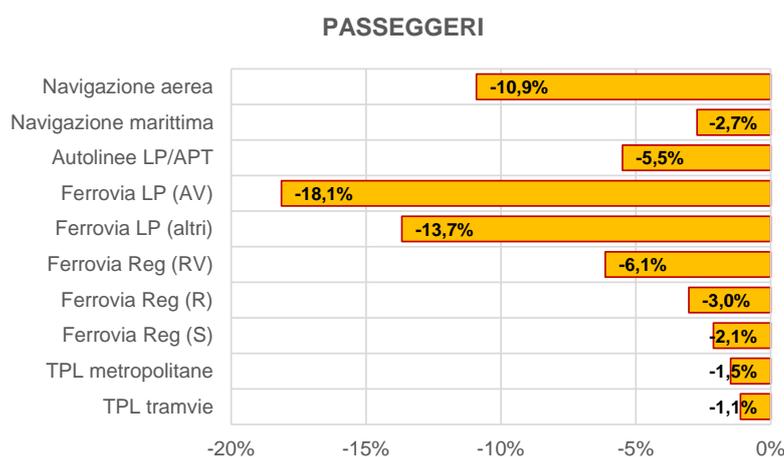


Fig. 4.4.i - Scenario COSTMARG: variazione passeggeri del trasporto pubblico per modalità

Fonte: Elaborazione META

Il quadro delle riduzioni di traffico appare in sostanza il medesimo di quello che caratterizza lo scenario precedente.



Fig. 4.4.ii - Scenario COSTMARG: variazione dei flussi sul trasporto pubblico

Fonte: Elaborazione META

4.5 Effetti sui consumi e sulle emissioni

Per quanto attiene infine l'impatto ambientale, questo scenario continua a caratterizzarsi per un **leggero aumento dei consumi energetici (+0,2%) e delle emissioni di CO₂ (+0,2%), così come di NO_x (+1,0%) e di PM (+0,2%), ed invece per una diminuzione calo delle emissioni di CO (-1,9%) e di COV (-1,3%).**

Anche in questo caso la riduzione stimata delle emissioni di CO₂ è massima in Regioni prevalentemente rurali priva di grandi agglomerati urbani, come l'Umbria, la Basilicata o la Valle d'Aosta, mentre appare in controtendenza in diverse Regioni maggiormente urbanizzate, quali la Liguria, l'Emilia-Romagna, la Toscana e la Puglia, con un saldo dunque leggermente in aumento.

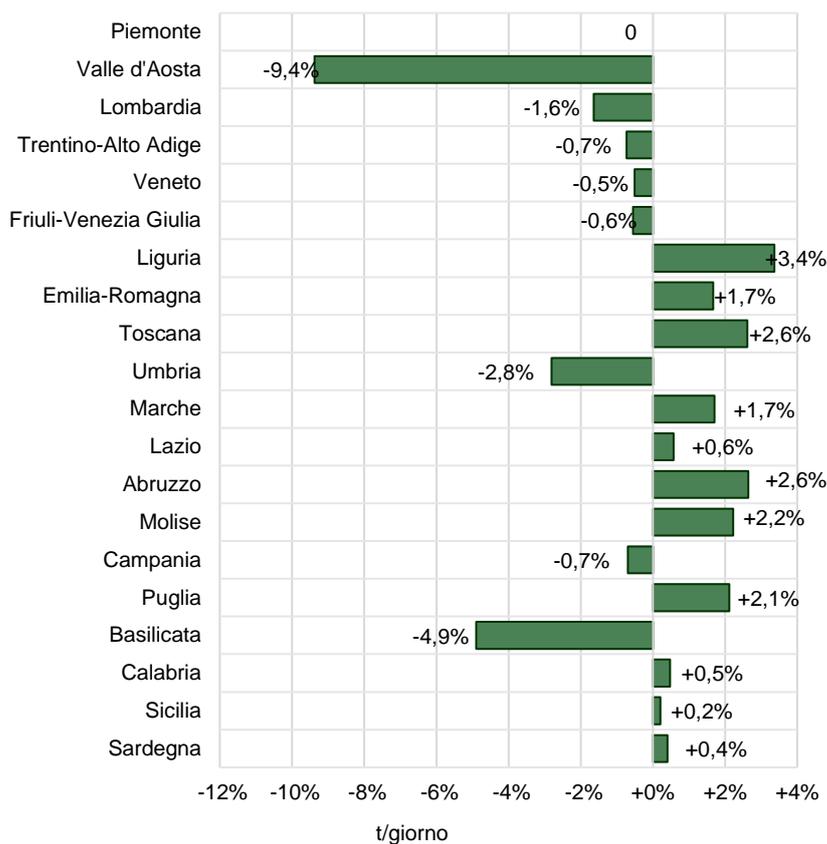


Fig. 4.5.i - Scenario COSTMARG: variazione % consumi energetici da traffico stradale per regione

Fonte: Elaborazione META

In valore assoluto, **l'impatto sulle emissioni di CO₂ viene stimato in poco meno di 800 t/giorno** (ca. 250.000 t CO₂/anno). Esso tende, in generale, a concentrarsi nelle aree urbane e lungo i principali corridoi di traffico interregionali.

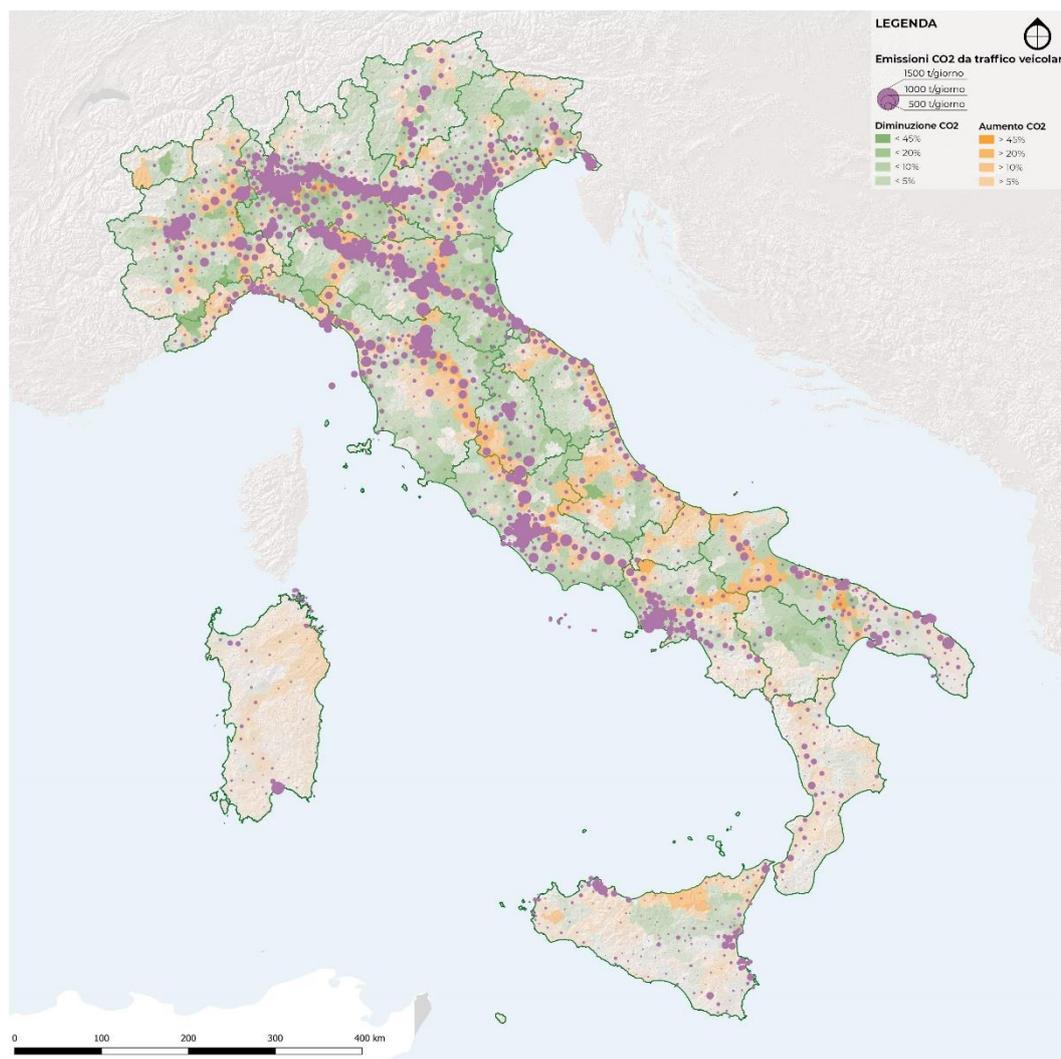


Fig. 4.5.ii - Scenario COSTMARG: variazione emissioni di CO2 da traffico stradale

Fonte: Elaborazione META

5 Verso uno scenario di tariffazione efficiente

5.1 Esternalità, congestione, elasticità

Dal punto di vista teorico, la tariffazione ai costi marginali garantisce il raggiungimento dell'efficienza socioeconomica soltanto a ben determinate condizioni, una delle quali è l'assenza di esternalità. Per contro, laddove siano presenti costi esterni, non sostenuti dal soggetto tariffato, questo tenderà a fissare il suo consumo a livelli non ottimali, accollandone i costi a soggetti terzi. Come ben noto, Pigou (1920) ha teorizzato che, in tali casi, sia possibile ripristinare le condizioni di efficienza introducendo una imposizione fiscale pari all'ammontare del danno marginale misurato in corrispondenza dell'allocazione efficiente sul piano socioeconomico.

Assumendo fra le esternalità anche la congestione indotta da ciascun singolo veicolo aggiunto ad un flusso di traffico preesistente, l'applicazione del principio pigouviano conduce a modificare le tariffe applicate agli utenti di una strada congestionata in modo da tener conto anche del danno da essi arrecato rallentando gli altri utenti della strada stessa. Questo criterio di tariffazione, non più basato sui soli costi marginali, è quello che viene applicato nelle aree urbane dotate di sistemi di pedaggiamento degli accessi urbani (Londra, Stoccolma, Milano...).

L'impiego della leva tariffaria è da tempo riconosciuta dagli economisti come metodologia efficiente di regolazione della congestione, applicabile anche in situazioni pratiche, tanto da poter essere ritenuta un normale strumento di politica dei trasporti (Newbery 1990, Lindsey e Verhoef 2000).

Un altro fattore che tende a rendere più complesso il tema della tariffazione ai costi marginali concerne l'elasticità della domanda, che regola l'effetto conseguente alla variazione delle tariffe, anche a seguito dell'imposizione di imposte finalizzate ad internalizzare le esternalità.

È chiaro, infatti, che in una situazione di domanda elastica l'introduzione di tariffe di efficienza tenderà soprattutto a modificare il comportamento degli utenti, mentre in una situazione di domanda rigida essa avrà per conseguenza soprattutto un incremento di gettito fiscale.

Il problema, studiato dapprima da Ramsey (1927) e quindi anche da Boiteux (1956), ha conseguenze specifiche in termini di fissazione delle tariffe di efficienza. La cosiddetta regola di Ramsey-Boiteux afferma che, in un monopolio naturale, la tariffa di massima efficienza per il produttore è superiore al costo marginale e deve variare in proporzione inversa all'elasticità della domanda. Infatti, i segmenti di domanda meno elastici (ovvero più *captive* dell'offerta) esprimono una disponibilità a pagare superiore a quelli dei segmenti più elastici.

L'applicazione della regola di Ramsey-Boiteux in presenza di esternalità presenta implicazioni ancor più complesse, da tempo oggetto di

approfondimento teorico (Sadmo 1975, Oum e Tretheway 1988, Verhoef, Nijkamp e Rietveld 1995). Essa, infatti, tende a gravare più sulla domanda rigida e meno sulla domanda elastica, con il risultato di minimizzare le variazioni di comportamento degli utenti, il che si traduce più che altro in una monetizzazione delle esternalità generate.

Appunto per questo, nei casi in cui l'obiettivo sia innanzi tutto quello di ridurre le esternalità prodotte dal consumo, e non quello di alimentare il gettito fiscale, la regola di Ramsey-Boiteux non andrebbe più applicata in modo diretto, bensì in modo inverso, ovvero tassando maggiormente i segmenti di domanda maggiormente elastici (Boggio e Ponti 2013, Ponti 2015).

In altri termini, volendo ridurre i livelli di congestione effettiva sulla rete, la tariffa da applicare agli assi congestionati risulta maggiore nei casi in cui la domanda è elastica, e minore in quelli in cui la domanda è rigida.

5.2 Una applicazione esplorativa al caso italiano

Date queste le premesse teoriche illustrate nel paragrafo precedente, il terzo ed ultimo scenario preso in esame ("CONGELAST") si propone di ricercare soluzioni di maggiore efficienza economica attraverso l'imposizione di tariffe che tengano conto:

- dei livelli di **congestione** esistenti sui singoli archi stradali;
- dell'**elasticità** dei flussi di traffico in rapporto ai livelli tariffari applicati.

L'imposizione della tariffa di efficienza avviene secondo il principio di Ramsey-Boiteux inverso, ovvero facendola gravare soltanto sugli archi contemporaneamente congestionati ed elastici, ovvero caratterizzati sia da eccesso di domanda rispetto all'offerta, sia dall'esistenza di possibili alternative al loro utilizzo da parte della domanda stessa.

Sotto tale profilo, è sempre importante sottolineare come, in un sistema a domanda "derivata" come quello dei trasporti, l'elasticità della domanda possa svilupparsi su diversi livelli. Infatti, la sua variazione della domanda al variare dei livelli tariffari può verificarsi quanto meno per cinque motivi diversi, nei quali gli utenti:

- cambiano **itinerario stradale**;
- scelgono **un'altra modalità di trasporto**;
- selezionano **un'altra destinazione di viaggio**;
- preferiscono **dematerializzare lo spostamento** (ad esempio adottando lo smart working)

e soltanto in ultima istanza

- **rinunciano del tutto all'attività** che motiva il viaggio.

Da questo punto di vista, il vero valore aggiunto di un modello multimodale esteso ad un intero ambito nazionale consiste proprio nel riuscire a simulare le opzioni alternative di viaggio, in modo da stimare in modo fine i livelli di elasticità dei singoli archi stradali.

D'altro canto, la stima dei livelli di elasticità del traffico leggero e pesante che impegna ogni singolo arco stradale pone importanti questioni, particolarmente in ordine alla selezione della struttura tariffaria di riferimento. È infatti chiaro che, in un sistema a rete come quello stradale, i livelli di traffico su un arco non dipendono soltanto dalla tariffa direttamente ad esso applicata su di esso, bensì anche da quelle gravanti sull'insieme degli archi circostanti e persino dalle tariffe applicate sui servizi di trasporto pubblico concorrenti. Ciò apre evidentemente la strada a problemi computazionali di rilevantissima entità, in quanto ogni stima di elasticità richiederebbe un ampio insieme di simulazioni basate su diverse possibili combinazioni dei livelli tariffari sulla rete di riferimento, con crescita esponenziale dei tempi di calcolo.

In prima approssimazione, si è dunque optato per una **stima dell'elasticità basata sull'applicazione di uno stesso livello tariffario a tutti gli archi della rete autostradale ed ordinaria**, sull'intero territorio nazionale, e verificando gli effetti ottenuti facendo variare tale livello del $\pm 10\%$ all'intorno di un valore-base, definito in modo da pareggiare il monte delle accise complessivamente gravanti sui carburanti per autotrazione (circa 19 miliardi di €/anno).

Secondo tale ipotesi, i livelli tariffari utilizzati per la stima dell'elasticità dei singoli archi della rete stradale sono stati pari a 0,05 €/km per il traffico leggero, ed a 0,20 €/km per quello pesante.

La stima è avvenuta in primo luogo tenendo conto soltanto degli effetti di reindirizzamento dei flussi stradali, e successivamente anche di quelli di trasferimento modale⁵.

I risultati ottenuti sono illustrati nelle pagine che seguono.

⁵ Ciò significa che le simulazioni effettuate hanno fatto riferimento soltanto ai primi due livelli di elasticità indicati all'inizio del paragrafo, neutralizzando sia la possibile selezione di altre destinazioni di viaggio, sia la dematerializzazione degli spostamenti, sia da ultimo la rinuncia all'attività che avrebbe motivato il viaggio, qualora effettuato.

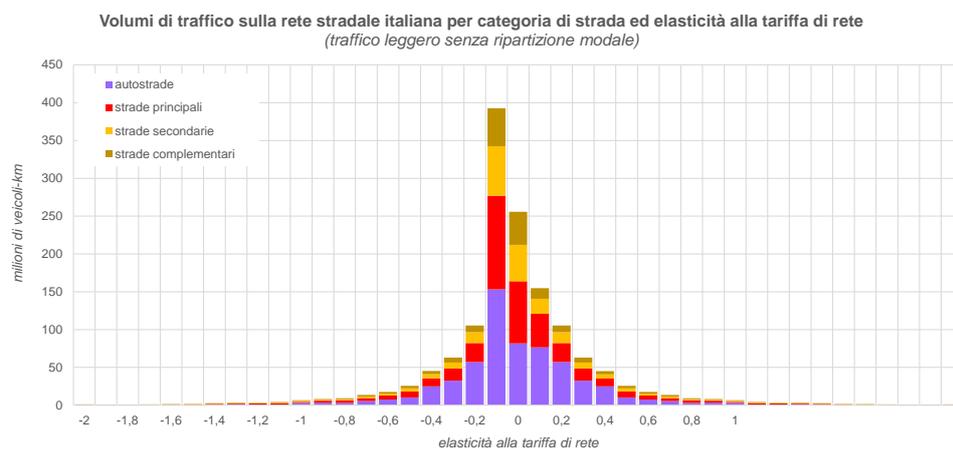
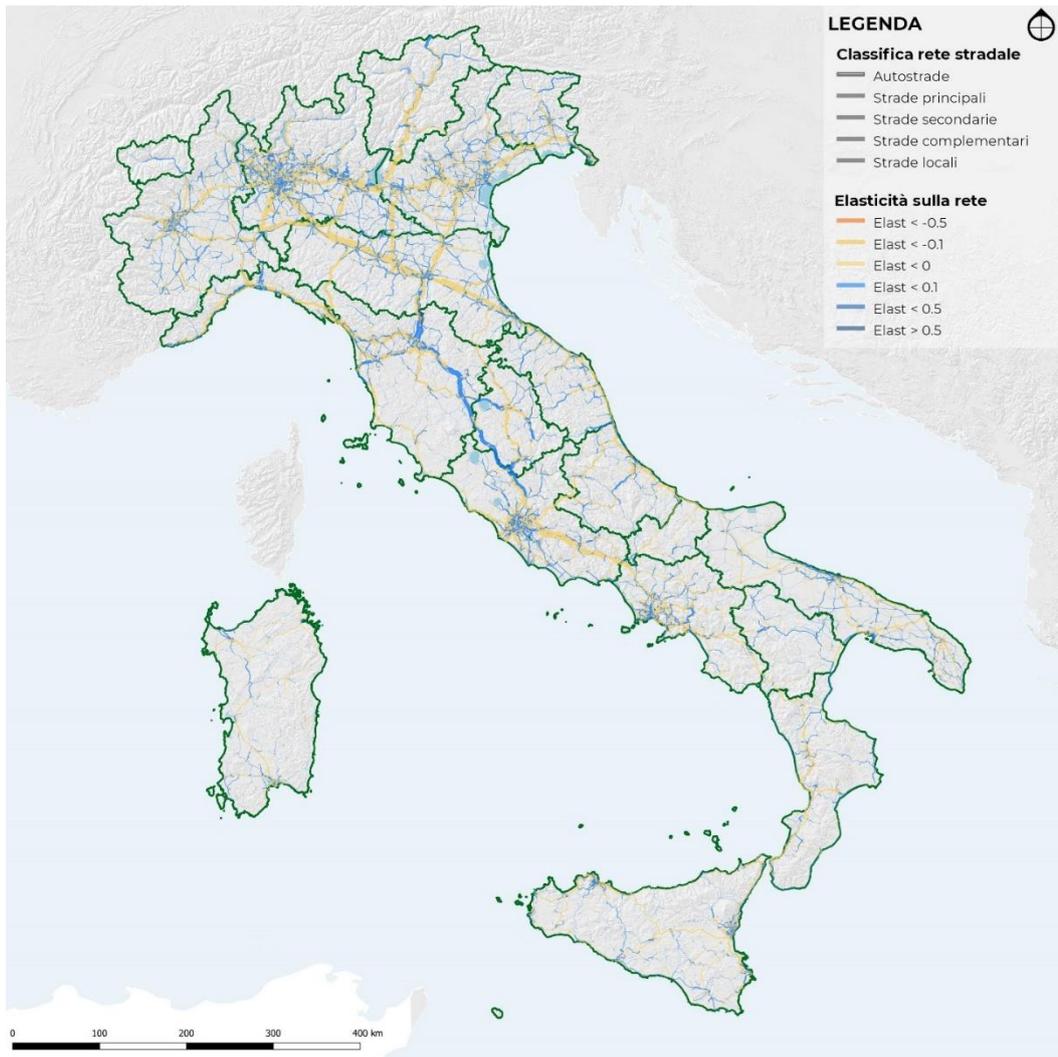


Fig. 5.2.i - Stima dell'elasticità tariffaria degli archi stradali: traffico leggero senza ripartizione modale

Fonte: Elaborazione META

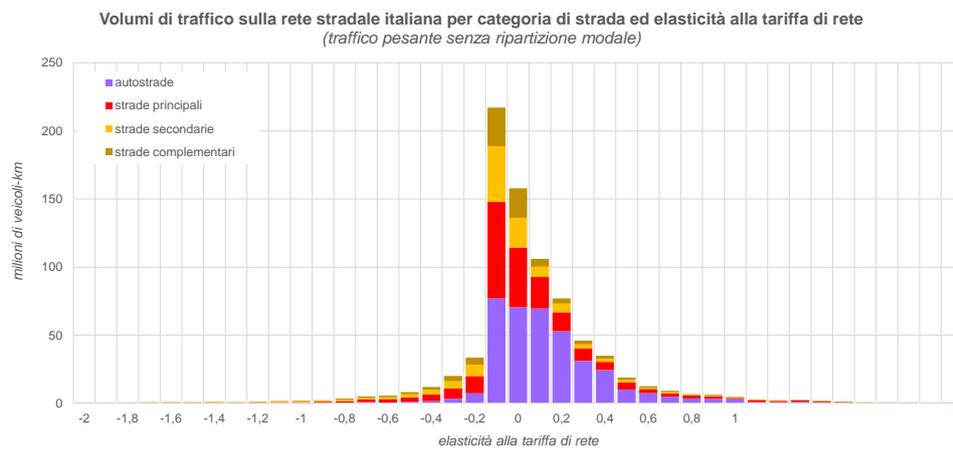


Fig. 5.2.ii - Stima dell'elasticità tariffaria degli archi stradali: traffico pesante senza ripartizione modale

Fonte: Elaborazione META

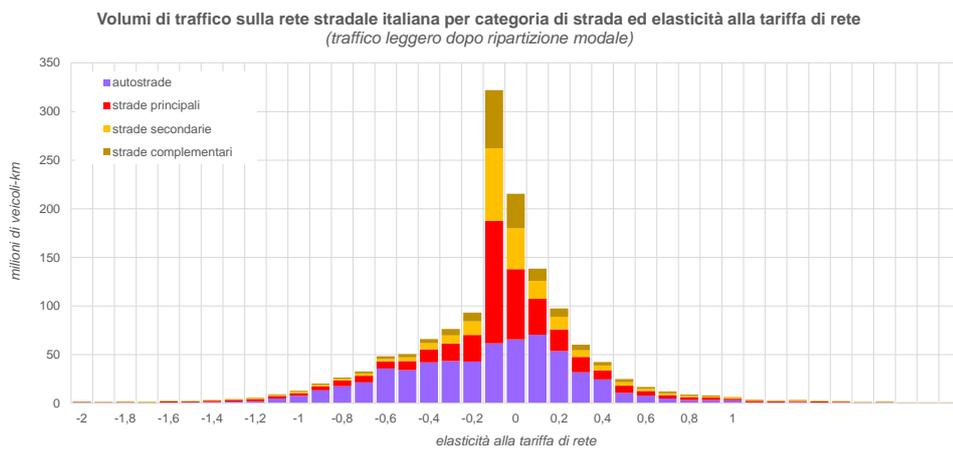


Fig. 5.2.iii - Stima dell'elasticità tariffaria degli archi stradali: traffico leggero con ripartizione modale

Fonte: Elaborazione META

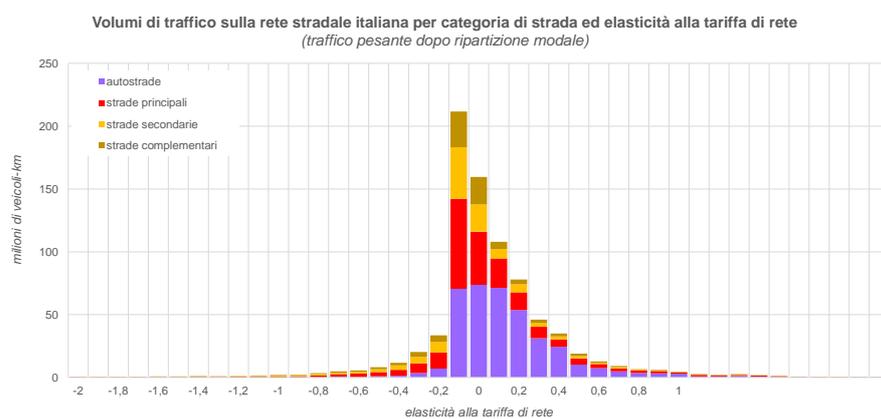


Fig. 5.2.iv - Stima dell'elasticità tariffaria degli archi stradali: traffico pesante con ripartizione modale

Fonte: Elaborazione META

Una volta stimati i livelli di elasticità (con effetti di trasferimento modale) dei singoli archi stradali, si è proceduto a definire lo scenario di simulazione, ottenuto tariffando solo gli archi che sono risultati contemporaneamente:

- congestionati (LdS ? D)
 - negativamente elastici ($e < 0$)
- e corrispondenti al 26÷27% dei volumi di traffico complessivamente simulati sulla rete nazionale.

VOLUME DI TRAFFICO PER ELASTICITA' E LIVELLO DI SERVIZIO							
VEICOLI LEGGERI							
Elasticità	milioni di vkm/giorno						
	Livello di servizio						
	A	B	C	D	E	F	TOT
inferiore a -2,0	0,17	0,09	0,00				0,26
da -2,0 a -1,5	0,05	0,00					0,05
da -1,5 a -1,0	0,13	0,06	0,02	0,04		0,01	0,26
da -1,0 a -0,9	0,10	0,02	0,02				0,14
da -0,9 a -0,8	0,16	0,00	0,02				0,18
da -0,8 a -0,7	0,16	0,03	0,01				0,20
da -0,7 a -0,6	0,24	0,03	0,01		0,01		0,28
da -0,6 a -0,5	0,53	0,09	0,01	0,02	0,01	0,01	0,66
da -0,5 a -0,4	0,76	0,17	0,11	0,05	0,02	0,05	1,15
da -0,4 a -0,3	1,35	0,52	0,18	0,10	0,00	0,02	2,16
da -0,3 a -0,2	3,97	1,83	1,00	0,31	0,11	0,11	7,33
da -0,2 a -0,1	12,24	20,12	11,16	3,27	0,85	2,27	49,90
da -0,1 a 0,0	109,07	111,60	165,99	119,57	38,10	123,77	668,10
da 0,0 a +0,1	64,89	51,79	65,01	42,70	16,86	88,50	329,74
da +0,1 a +0,2	6,79	4,35	3,96	1,78	0,56	1,67	19,11
da +0,2 a +0,3	2,91	0,77	0,46	0,11	0,15	0,12	4,52
da +0,3 a +0,4	1,42	0,28	0,23	0,06	0,02	0,05	2,05
da +0,4 a +0,5	0,66	0,29	0,14	0,00		0,00	1,09
da +0,5 a +0,6	0,61	0,03	0,02	0,00			0,66
da +0,6 a + 0,7	0,30	0,02	0,01				0,33
da +0,7 a +0,8	0,36	0,03					0,38
da +0,8 a +0,9	0,17	0,02					0,19
da +0,9 a +1,0	0,06	0,01					0,07
da +1,0 a +1,5	0,26	0,01	0,13				0,40
da +1,5 a +2,0	0,16	0,03					0,19
superiore a +2,0	0,22						0,22
Totale	207,70	192,18	248,47	168,00	56,69	216,58	1.089,63
Tariffati	0,00	0,00	0,00	123,35	39,10	126,24	288,70
% tariffati	0,0%	0,0%	0,0%	73,4%	69,0%	58,3%	26,5%

Tab. 5.2.i – Identificazione dei volumi di traffico leggero gravanti su archi congestionati ed elastici

Fonte: Elaborazione META

Una volta identificati gli archi corrispondenti a questi criteri, si è operata una **omogeneizzazione** a livello di rete in modo da evitare effetti "slalom" tra archi adiacenti di caratteristiche immediatamente inferiori o superiori al limite di tariffazione.

L'omogeneizzazione è avvenuta:

- a livello di **itinerario** per tutti gli archi corrispondenti a strade ad accesso controllato (autostrade e superstrade);
- a livello di **zona** per tutto il resto della rete ordinaria

I risultati ottenuti sono indicati nella figura che segue.

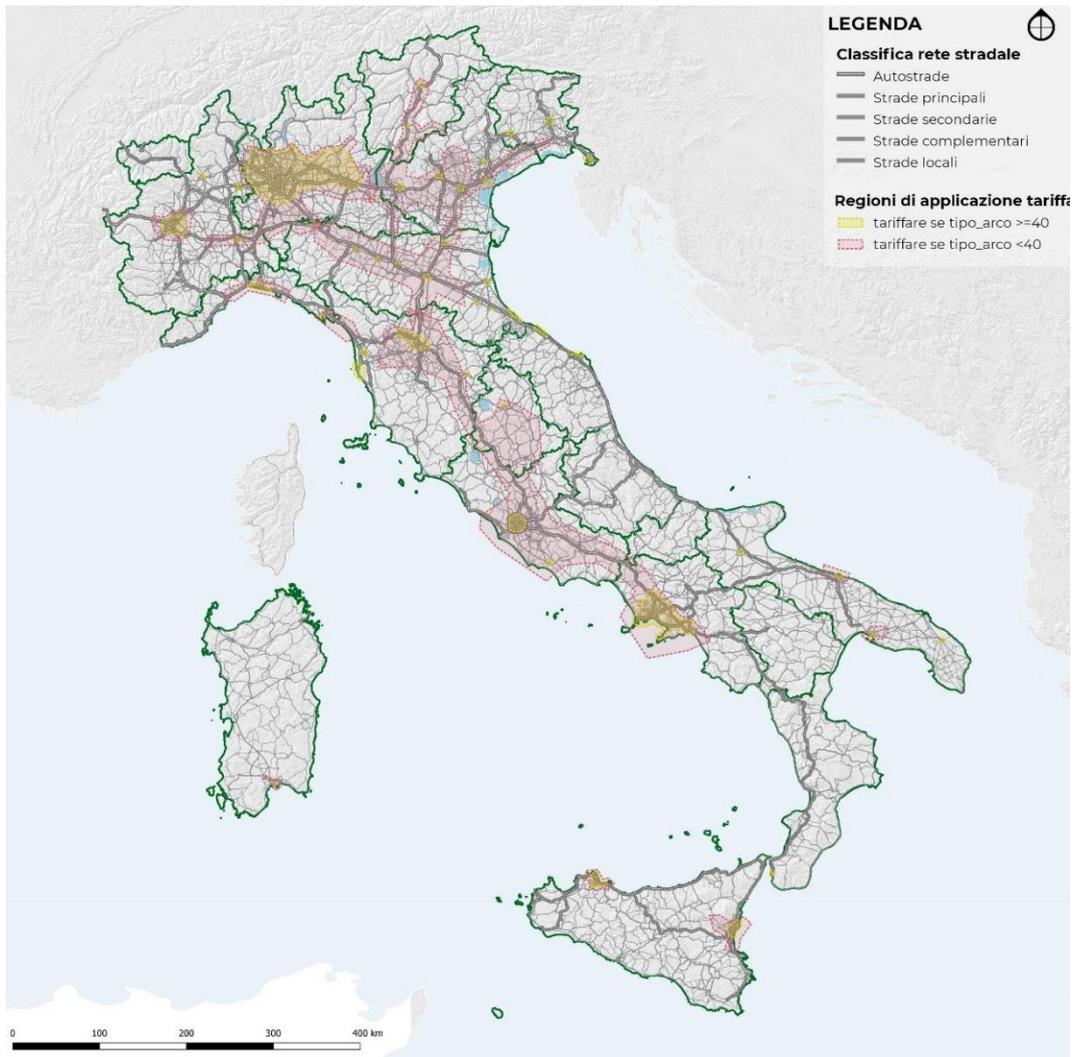


Fig. 5.2.v - Scenario CONGELAST: selezione ambiti tariffati per itinerario (rosso) e per zona (giallo)

Fonte: Elaborazione META

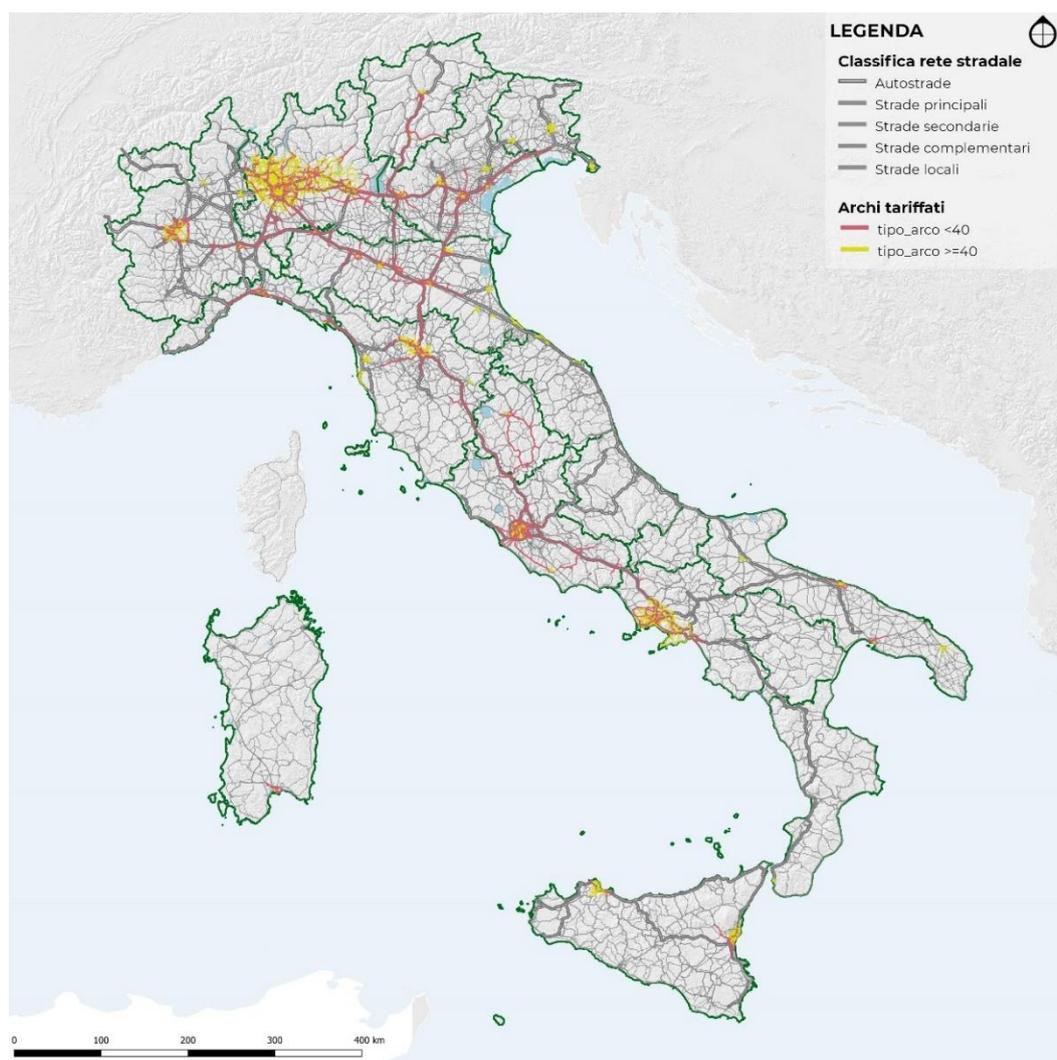


Fig. 5.2.vi - Scenario CONGELAST: selezione archi tariffati per itinerario (rosso) e per zona (giallo)

Fonte: Elaborazione META

I livelli tariffari applicati, definiti in modo da eguagliare l'attuale monte pedaggi autostradali, sono pari a:

- 0,04 €/km per i veicoli leggeri
- 0,16 €/km per i veicoli pesanti

Gli esiti della simulazione di questo scenario sono riportati, utilizzando il "cruscotto" già impiegato nei casi precedenti, nei paragrafi che seguono.

5.3 Impatti in termini di diversione modale

Facendo riferimento, in primo luogo, agli effetti di diversione modale, questo terzo scenario differisce dai precedenti per una **sensibile riduzione dei flussi trasferiti dal trasporto pubblico a quello privato, che sono in questo caso meno di 20 mila**, cui continuano a sommarsi i circa 3.000 provenienti dalla mobilità non motorizzata.

In conseguenza di questa attenuazione, la ripartizione modale non subisce variazioni rilevanti rispetto alla situazione attuale.

In generale attenuati appaiono anche gli effetti simulati nelle singole Regioni. Appaiono inoltre effetti in controtendenza, in corrispondenza sia dell'area urbana di Roma, sia di settori degli hinterland milanese e napoletano oggi serviti da superstrade non soggette a pedaggio.

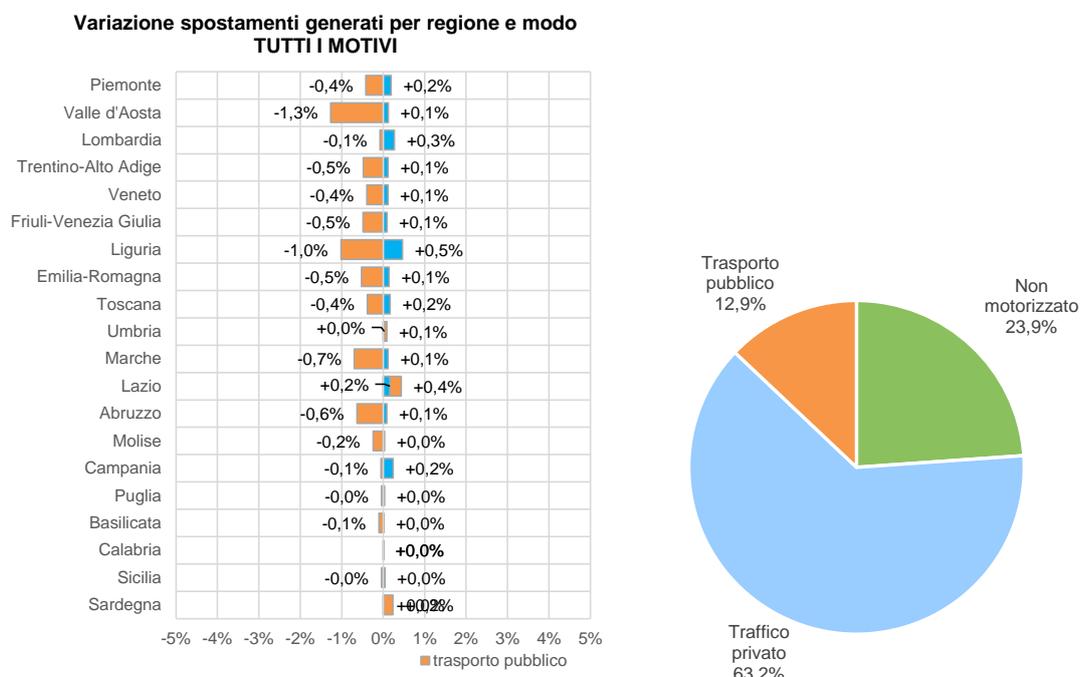


Fig. 5.3.i - Scenario CONGELAST: variazioni della domanda di mobilità su trasporto pubblico e traffico privato

Fonte: Elaborazione META

La minor entità dell'effetto di trasferimento modale è da mettere evidentemente in correlazione con la tariffazione delle tratte congestionate a livello regionale ed urbano, che tende a dissuadere gli utenti ad utilizzare l'auto privata proprio sulle direttrici maggiormente soggette alla concorrenza del trasporto pubblico.

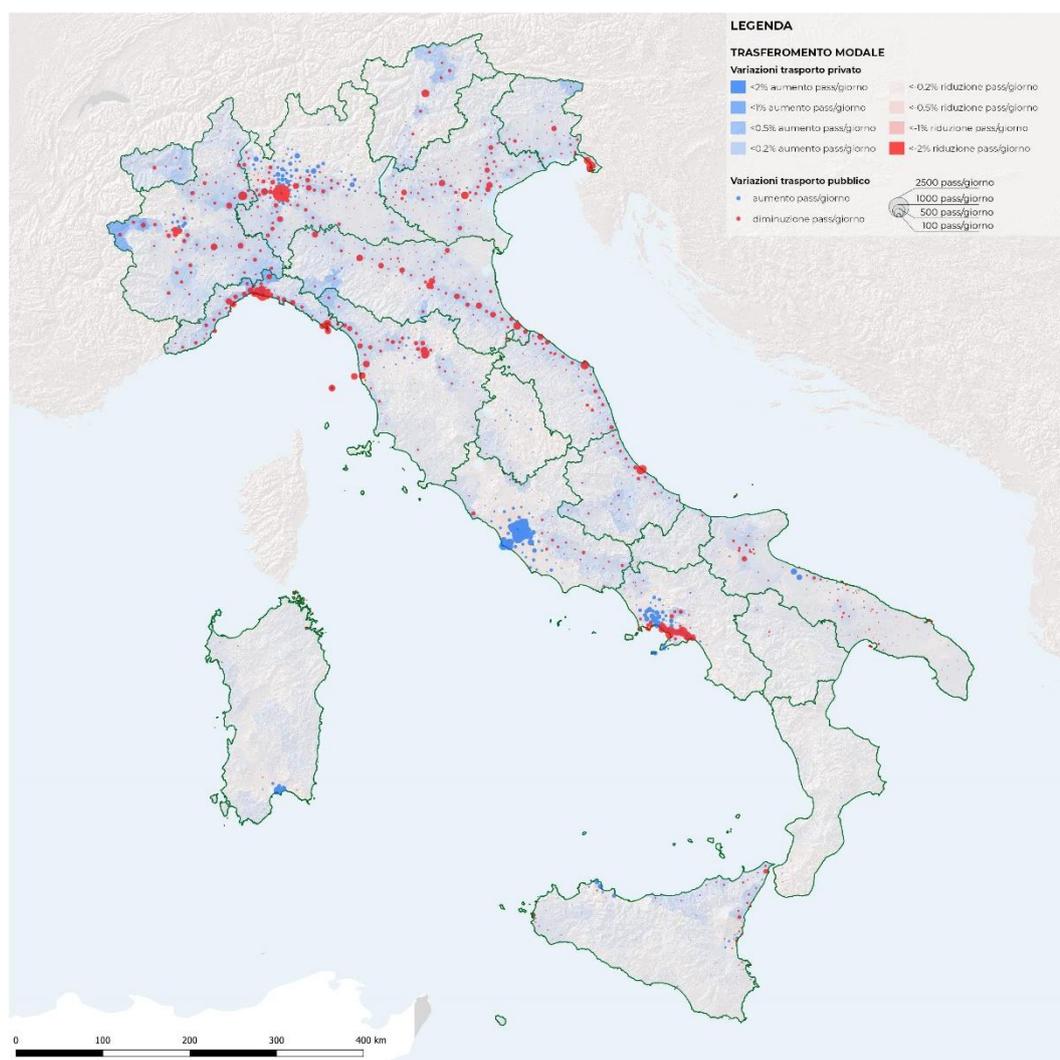


Fig. 5.3.ii - Scenario CONGELAST: variazioni di domanda pubblico/privato

Fonte: Elaborazione META

5.4 Impatti sul traffico privato

Dal punto di vista del traffico privato, lo scenario restituisce un **incremento rispetto alla situazione attuale all'incirca dimezzato per i veicoli leggeri (+1,0%) e quasi invariato per quelli pesanti (+0,2%).**

Tale andamento rispecchia una attenuazione sia degli effetti di trasferimento modale, sia di quelli di reindirizzamento dei flussi sulla rete, con minor crescita del traffico sulla rete autostradale ed anche minor diminuzione in valore assoluto sulla rete ordinaria.

Ciò che varia maggiormente sono però i tempi di percorrenza: infatti, **in questo caso la diminuzione dei valori relativi al traffico leggero (-1,1 milioni di veicoli-h/giorno) si accompagna ad una sostanziale invarianza, e non ad un significativo incremento, di quelli relativi al traffico pesante.**

VOLUMI E PERCORRENZE - TOTALI										
CLASSE	Estesa km	Volumi di traffico			Tempi di percorrenza			Velocità medie		
		milioni di veicoli-km/giorno			milioni di veicoli-h/giorno			km/h		
	leggeri	pesanti	equiv.	leggeri	pesanti	equiv.	leggeri	pesanti	equiv.	
Autostrade	7.433	367,98	77,50	522,98	4,380	1,085	6,550	84,0	71,4	79,8
Principali	23.961	349,34	26,74	402,81	10,361	0,584	11,529	33,7	45,8	34,9
Secondarie	25.773	213,48	10,62	234,72	8,923	0,318	9,559	23,9	33,4	24,6
Complement.	38.093	176,20	5,25	186,70	7,630	0,183	7,997	23,1	28,7	23,3
TOTALE	95.259	1.107,00	120,11	1.347,21	31,294	2,170	35,635	35,4	55,3	37,8
Diff SDF (v.a.)	-0	+11,3	+0,3	+11,9	-1,1	+0,0	-1,1	+1,6	-0,1	+1,5
Diff SDF	-0,0%	+1,0%	+0,2%	+0,9%	-3,6%	+0,4%	-3,1%	+4,5%	-0,1%	+3,9%

Tab. 5.4.i - Rete stradale: volumi di traffico e tempi di percorrenza

Fonte: Elaborazione META

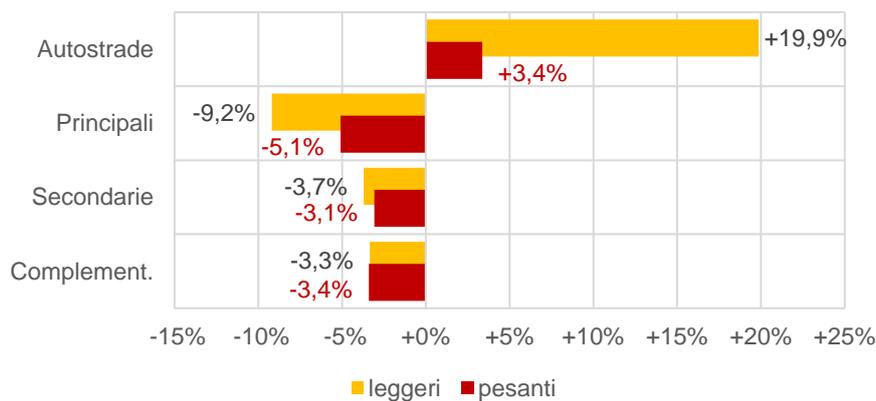


Fig. 5.4.i - Scenario CONGELAST: variazione delle percorrenze veicolari per tipo di strada

Fonte: Elaborazione META

Comunque, gli incrementi di traffico continuano a riguardare i maggiori corridoi autostradali orientati verso le principali aree urbane del Centro-Nord, specie se caratterizzati da pedaggi più elevati della media.

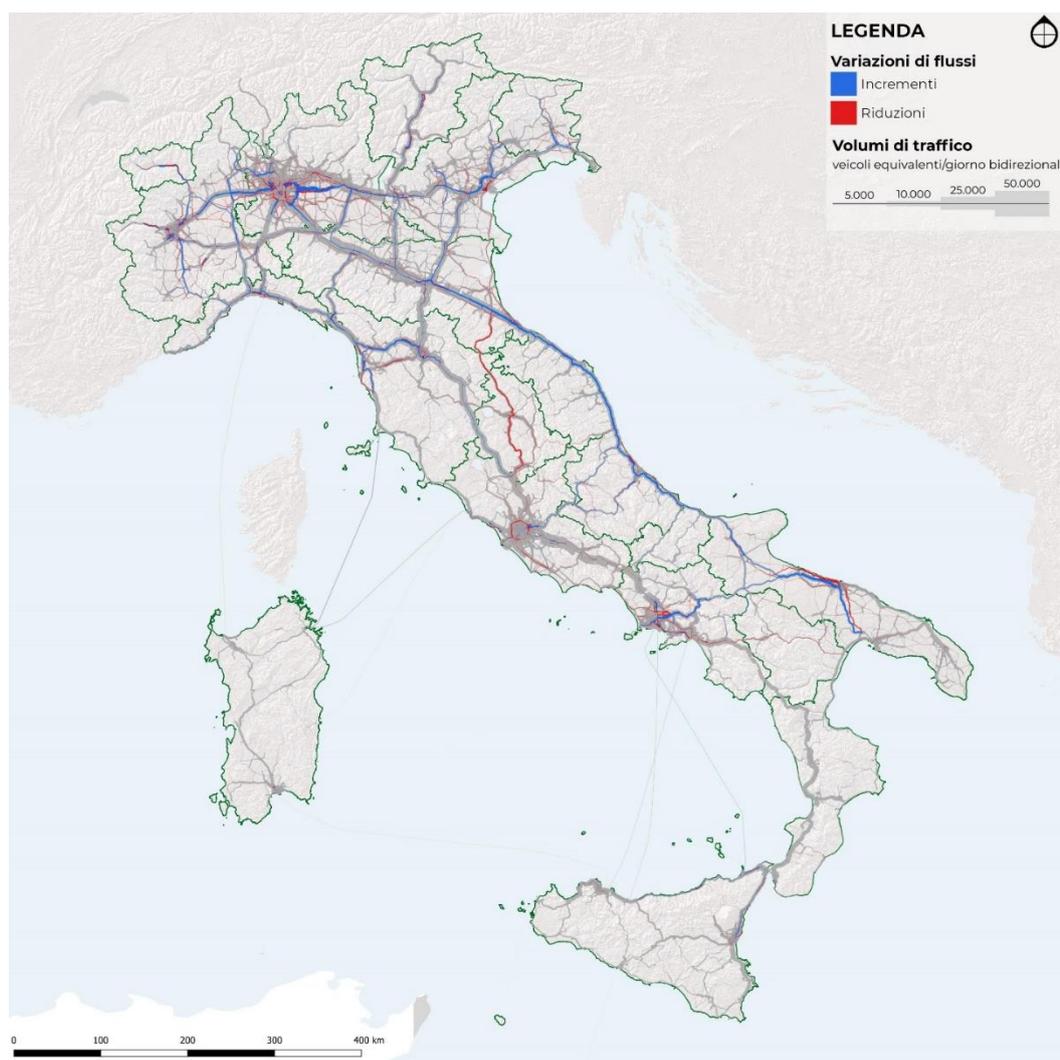


Fig. 5.4.ii - Scenario CONGELAST: variazione flussi veicolari

Fonte: Elaborazione META

5.5 Impatti sul trasporto pubblico

Per quanto attiene l'assegnazione dei flussi alla rete del trasporto pubblico, essa si caratterizza per una riduzione di circa 65.000 passeggeri/giorno (poco più di un terzo rispetto ai precedenti scenari).

Anche in questo caso si osserva un'attenuazione generalizzata dell'effetto indotto su tutte le tratte di adduzione ai grandi centri urbani.

i-Tram - Servizi di trasporto pubblico - TOTALE									
Categoria di servizio	Domanda (passeggeri)			Offerta		Dist. media	Velocità commerciale		Coeff. occ.
	saliti	trasp.	tempi	volumi	tempi		pkm/ph	vkm/vh	
	000 pass	000 pkm	000 ph	corse*km	corse*h	km			pkm/vkm
Navigazione aerea	38,0	25.618	54	316.717	660	674,2	476,7	479,8	81
Navigazione marittima	17,1	1.819	63	13.370	558	106,6	29,1	24,0	136
Autolinee LP/APT	50,6	2.297	42	293.091	5.224	45,4	54,5	56,1	8
Ferrovia LP (AV)	67,7	28.498	180	134.108	915	421,1	158,5	146,5	212
Ferrovia LP (altri)	56,6	12.419	121	50.084	576	219,6	102,5	87,0	248
Ferrovia Reg (RV)	518,9	23.803	321	81.510	1.155	45,9	74,1	70,6	292
Ferrovia Reg (R)	1.420,8	38.532	726	264.126	5.401	27,1	53,1	48,9	146
Ferrovia Reg (S)	1.228,2	20.079	518	90.097	2.397	16,3	38,8	37,6	223
TPL metropolitane	2.228,7	14.359	532	58.794	2.294	6,4	27,0	25,6	244
TPL tramvie	208,0	654	40	55.787	4.431	3,1	16,2	12,6	12
TOTALE	5.834,6	168.078	2.597	1.357.684	23.610	28,8	64,7	57,5	124
Diff SDF (v.a.)	-65,9	-10.414	-90	0	0	-1,4	-1,7	0,0	-8
Diff SDF (%)	-1,1%	-6,2%	-3,5%	+0,0%	+0,0%	-5,0%	-2,6%	+0,0%	-6,2%

Nota: data la minore verosimiglianza delle assegnazioni all'interno delle aree urbane, i servizi ferroviari suburbani, le metropolitane e le tramvie vengono aggregate in un'unica voce. Il "bus virtuale", corrispondente all'insieme delle autolinee TPL urbane ed extraurbane, è simulato in termini di impatto sul numero totale degli spostamenti, ma mantiene le percorrenze medie e le velocità commerciali tratti dalle statistiche nazionali di settore.

Tab. 5.5.i - Rete del trasporto pubblico: volumi di traffico e tempi di percorrenza

Fonte: Elaborazione META

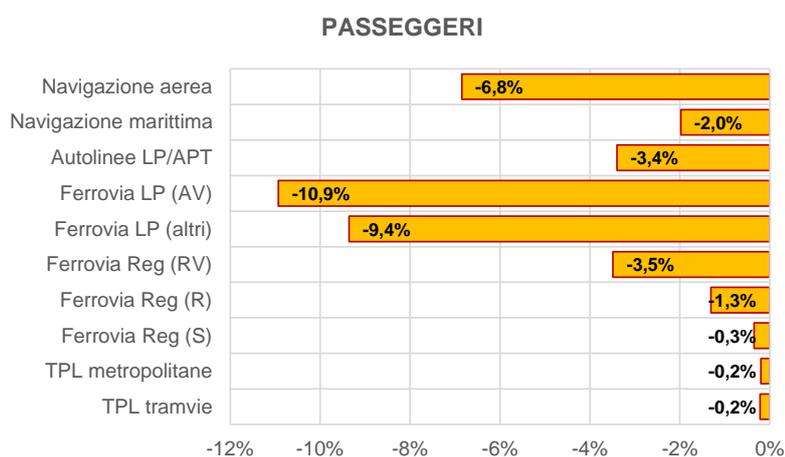


Fig. 5.5.i - Scenario CONGELAST: variazione passeggeri del trasporto pubblico per modalità

Fonte: Elaborazione META



Fig. 5.5.ii - Scenario CONGELAST: variazione dei flussi sul trasporto pubblico

Fonte: Elaborazione META

5.6 Effetti sui consumi e sulle emissioni

Da ultimo, le simulazioni relative all'impatto ambientale, restituiscono una **riduzione generalizzata sia dei consumi energetici (-0,5%) che delle emissioni di CO₂ (-0,5%), di CO (-2,5%) di COV (-2,5%) e di PM (-0,9%)**. L'unica eccezione è rappresentata da un **leggero incremento delle emissioni di NO_x (+0,2%)**.

Può essere interessante osservare come il ribaltamento del risultato relativo al bilancio della CO₂ non derivi tanto da una diversa distribuzione dei risultati a livello regionale, quanto piuttosto da una mutata intensità relativa dei casi di diminuzione rispetto a quelli di aumento.

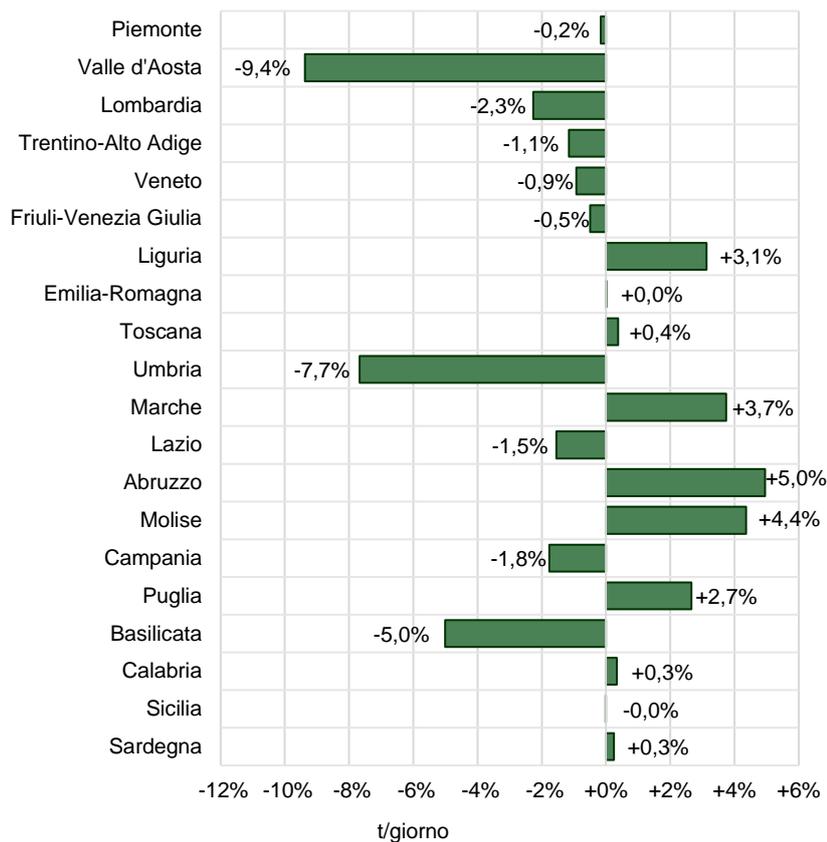


Fig. 5.6.i - Scenario CONGELAST: variazione % consumi energetici da traffico stradale per regione

Fonte: Elaborazione META

In valore assoluto, **l'impatto sulle emissioni di CO₂ viene stimato in circa -1.700 t/giorno** (ca. -550.000 di t CO₂/anno). Esso tende, come negli altri casi, a concentrarsi nelle aree urbane e lungo i principali corridoi di traffico interregionali.

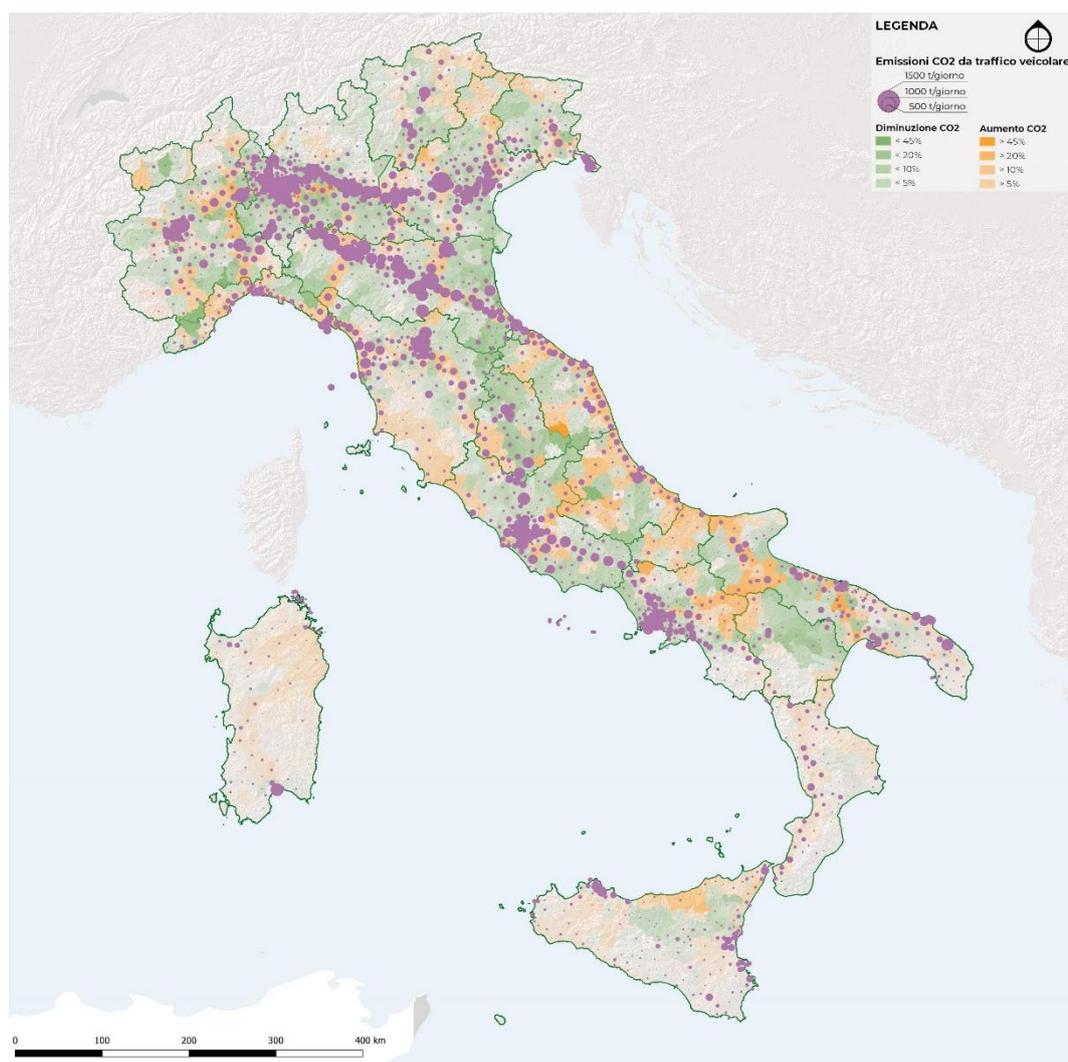


Fig. 5.6.ii - Scenario CONGELAST: variazione emissioni di CO2 da traffico stradale

Fonte: Elaborazione META

6 Qualche riflessione conclusiva

6.1 Tre scenari, e la stima di un indicatore importante

Con questa relazione, sono stati illustrati i risultati salienti dello studio modellistico, condotto su incarico di Bridges Research onlus, in ordine agli effetti di diversi schemi di tariffazione della rete autostradale italiana.

Tale studio è largamente basato su simulazioni di traffico effettuate mediante il modello multimodale del sistema di trasporto italiano i-TraM (Italian Transport Model), sviluppato da META in collaborazione con il Laboratorio di Politica dei Trasporti (TRASPOL) del Politecnico di Milano, ormai giunto ad uno stadio di relativa maturità.

Oltre alla situazione attuale - utilizzata come baseline delle successive valutazioni - lo studio ha preso in esame tre distinti scenari, così identificati:

completa gratuità della rete (AUTZERO);

tariffazione ai costi marginali della sola rete autostradale (COSTMARG);

ricerca di maggiore efficienza in base ad una rimodulazione delle tariffe secondo i livelli di congestione e di elasticità dei flussi di traffico leggeri e pesanti sui singoli archi stradali (CONGELAST).

Quest'ultimo scenario, a carattere eminentemente esplorativo, utilizza i risultati della stima dell'elasticità delle diverse componenti di traffico, operata con e senza effetti di trasferimento modale, che rappresenta per alcuni versi il risultato più innovativo della ricerca effettuata. Infatti, a conoscenza degli autori, nessun esercizio di stima di tale valore è mai stato effettuato, al livello di dettaglio qui raggiunto, sulla rete infrastrutturale italiana.

Nonostante la relativa semplicità delle ipotesi iniziali, i risultati ottenuti presentano numerose sfaccettature, con altrettanti elementi di interesse, talora differenziati a livello locale e/o regionale, come meglio evidenziato nel paragrafo che segue.

6.2 Azioni semplici, effetti complessi

Uno degli aspetti che più possono colpire nel leggere i risultati delle simulazioni condotte consiste infatti nella grande varietà degli effetti risultanti da azioni decisamente semplici, applicate in modo piuttosto uniforme sulla rete viaria nazionale su sue importanti porzioni.

La ragione più profonda di questa circostanza non sta nelle azioni, ma nelle condizioni di base, che come evidenziato dallo scenario attuale presentano una grande articolazione funzionale, sia rispetto agli equilibri tra domanda ed offerta di mobilità, sia rispetto ai livelli tariffari applicati: a fronte di una rete autostradale generalmente a pedaggio, in Italia vi sono molte tratte in qualche misura gratuite, così come tratte caratterizzate da livelli tariffari molto più elevati della media. Per contro, in alcune aree del paese la mobilità di livello regionale è largamente sostenuta da una rete superstradale ad accesso

completamente gratuito, di prestazioni non lontane da quelle garantire dalle autostrade.

Il resto lo fa la geografia del paese, che in un territorio relativamente ristretto riesce a riassumere un mosaico di situazioni assai differenziate per livelli di urbanizzazione, infrastrutturazione, reddito, ecc...

La grande articolazione degli effetti non è però tale da impedire di identificare alcune conseguenze d'insieme, normalmente ottenute ponderando in modo diverso variazioni regionali di segno differente.

Così, lo scenario di completa gratuità autostradale si connota per un trasferimento di domanda significativo, ma non enorme, dal trasporto pubblico a quello privato, e per un più macroscopico effetto di redistribuzione del traffico, soprattutto leggero, dalla rete ordinaria verso quella autostradale. Le simulazioni effettuate evidenziano però che tale redistribuzione può assumere entità tale da penalizzare in misura abbastanza sensibile il traffico pesante, già oggi fortemente concentrato sugli assi autostradali, dove subirebbe importanti rallentamenti rispetto alla situazione odierna. Dal punto di vista ambientale, questo scenario tende a caratterizzarsi per un limitato, ma non trascurabile, incremento sia dei consumi che delle emissioni di diversi inquinanti atmosferici, tra cui la CO₂.

Non molto diversi appaiono i risultati ottenuti nello scenario di tariffazione ai costi marginali, che del resto corrisponde per il traffico leggero ad una situazione di quasi gratuità, mentre quello pesante andrebbe incontro soltanto ad un rilevante decremento, ma non ad un azzeramento dei livelli tariffari. In questo caso, gli effetti di trasferimento di domanda dal trasporto pubblico a quello privato e di redistribuzione del traffico sulla rete viaria risultano molto simili a quelli dello scenario di completa gratuità, così come, del resto, anche i corrispondenti effetti ambientali.

Per quanto riguarda infine lo scenario con tariffe sensibili a congestione ed elasticità della domanda, si ottengono invece effetti abbastanza diversi, con una notevole attenuazione del trasferimento dal trasporto pubblico a quello privato, ed una redistribuzione di traffico nel complesso più premiante per il traffico leggero, e meno penalizzante per quello pesante. Dal punto di vista ambientale, emerge un ribaltamento delle tendenze, con sia pur modesti decrementi sia dei consumi e, dunque, una riduzione, anziché un aumento delle esternalità.

Da questo punto di vista, le simulazioni effettuate hanno verificato che, rimodulando le tariffe in base ai livelli di congestione ed elasticità, secondo il criterio di Ramsey-Boiteux "inverso", è effettivamente possibile ottenere un risultato caratterizzato da maggiori risparmi di tempo per gli automobilisti, a sostanziale parità di condizioni per i camionisti, a fronte di una limitata erosione dell'utenza del trasporto pubblico, così come di leggeri vantaggi sul versante ambientale.

Sarebbe evidentemente eccessivo indicare questo terzo scenario come ottimale dal punto di vista dell'efficienza socioeconomica; nondimeno, avere dimostrato che esso è più efficiente di quello ottenuto ipotizzando una tariffazione a costi marginali, rappresenta già un risultato degno di interesse, ed illustrativo delle potenzialità del modello di simulazione impiegato.

6.3 Possibili sviluppi futuri

Se si considerano i risultati dello studio sulle tariffe autostradali congiuntamente a quelli ottenuti dalle precedenti simulazioni degli scenari di gratuità del trasporto pubblico, emergono con una certa chiarezza diversi possibili sviluppi di potenziale interesse per ricerche applicate alla definizione di policy nazionali efficienti.

Una prima possibilità, banale nei suoi connotati di base, ma probabilmente molto meno nei suoi effetti sistemici, consiste nel costruire ulteriori scenari esplorativi facendo variare i livelli tariffari applicati per categoria di traffico e porzione di rete, ovvero modulandoli in misura più fine in rapporto ai livelli di servizio ed all'elasticità stimata.

Questo orizzonte di ricerca potrebbe trovare ulteriori spunti nell'interazione, presumibilmente ancor più complessa, fra i livelli tariffari applicati alle autostrade ed al trasporto pubblico.

Un'altra linea d'indirizzo potrebbe invece consistere in una comparazione dell'efficacia socioeconomica ed ambientale di singole azioni locali (ad esempio la tariffazione degli accessi alle principali aree urbane del paese, eventualmente accompagnate da sostanziali facilitazioni tariffarie per i paralleli servizi di trasporto pubblico, magari configurati come bus espressi autostradali), probabilmente differenziate nei loro effetti in ragione delle situazioni regionali di partenza.

Nel contempo, è necessario anche ricordare che la costruzione di procedure operative ancor più complesse, orientate alla ricerca dell'ottimalità, deve tener conto anche di importanti problemi sul piano computazionale che, al di là dell'interesse teorico dei diversi scenari, possono rendere i singoli esercizi piuttosto impegnativi dal punto di vista dell'impegno di risorse sia umane, che di calcolo.

Riferimenti bibliografici

- Boggio M., Ponti M. (2013) "The Role of Elasticity in Environmental Externality Internalization in the Transport Sector"; Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro.
- Boiteux (1956) "Sur le question des monopoles publics astreints à l'équilibre budgétaire"; *Econometrica*, Vol.24; pp.22-40.
- Bruzelius N. (2004) "Measuring the marginal cost of road use: an international survey"; VTI, Borlänge; 59 pp.
- Del Viscovo (1990) *Economia dei Trasporti*; UTET, Torino.
- Forte E. (2008) *Trasporti Logistica Economia*; CEDAM, Padova.
- Fridtjof T. (2003) "Marginal Costs for Wear and Tear Attributable to Heavy Vehicles Inherent in Effektsamband 2000"; VTI, Borlänge; 22 pp.
- Haraldsson (2007) "Marginal costs for road maintenance and operation - a cost function approach"; mimeo, 28 pp.
- Hotelling (1938) "The General Welfare in Relation to Problems of Taxation and of Railways and Utility Rates"; *Econometrica*, Vol.6(3); pp.242-269.
- Lindsey C.R., Verhoef E.T. (2000) "Traffic Congestion and Congestion Pricing"; Tinbergen Institute Discussion Paper, n.00-101/3, Tinbergen Institute, Amsterdam-Rotterdam.
- Link H. (2014) "A Cost Function Approach for Measuring the Marginal Cost of Road Maintenance"; *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.48(1), pp.15-33.
- Link H. (2021) "On the Difficulties to Calculate Infrastructure Charges for Heavy Goods Vehicles: A Review of 15 Years' Experience in Germany"; *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.55(2), pp.141-162.
- Mosca M. (1991) "Jules Dupuit e la teoria delle tariffe ottimali"; *Quaderni di storia dell'economia politica*, Vol.9(1), pp.29-56.
- Murray N., Link H. (2020) "A Duration Approach for Estimating the Marginal Renewal Cost at German Motorways"; DIW-Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung; Berlin; 35 pp.
- Newbery D.M. (1990) "Pricing and Congestion: Economic Principles Relevant to Pricing Roads"; *Oxford Review of Economic Policy*.
- Nilsson J.-E., Svensson K., Haraldsson M. (2015) "Estimating the marginal costs of road wear"; CST Working Paper, n.5; Centre for Transport Studies, Stockholm; 31 pp.
- Oum T.H., Tretheway M.W. (1988) "Ramsey Pricing in the Presence of Externality Costs"; *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22(3); pp.307-317.
- Pigou (1920) *The Economics of Welfare*; Macmillan, London.

Ponti M. (2015) "Una ipotesi di tariffazione discriminante per il finanziamento efficiente delle infrastrutture"; Rivista di Economia e Politica dei Trasporti, 1; pp.1-8.

Ramsey F.P. (1927) "A contribution to the Theory of Taxation"; Economic Journal, Vol.37; pp.47-61.

Sadmo A. (1975) "Optimal Taxation in the Presence of Externalities"; Swedish Journal of Economics, Vol.77 (1); pp.86-98.

UE-DG MOVE (2014) Update of the Handbook on External Costs of Transports, Bruxelles.

Verhoef E., Nijkamp P., Rietveld P. (1995) "Second-best Regulation of Road Transport Externalities"; Journal of Transport Economics and Policy, Vol.29(2); pp.147-167.

CHI SIAMO?

Bridges Research Trust è un think-tank indipendente. Costituito nel 2017 sotto forma di Trust, nel dicembre 2019 è stato iscritto all'Anagrafe Unica delle ONLUS.

COSA FACCIAMO?

Bridges Research promuove la ricerca nell'ambito delle politiche dei trasporti ispirandosi alla tradizione liberale anglosassone, che in Italia manca o scarseggia, di dedicare risorse private senza scopo di lucro a fini di ricerca. Si propone di affiancare in questo compito l'università, sede fisiologica della libera ricerca, che nel settore dei trasporti sembra spesso affetta da conformismo ideologico e poco propensa a criticare le scelte dello Stato da cui riceve la maggior parte delle risorse.

I NOSTRI RIFERIMENTI

Bridges Research non ha alcuna pretesa di una "neutralità scientifica" (inesistente nel campo dell'economia pubblica), ma fa riferimento a un approccio teorico, noto come "Public choice", il quale assume che il decisore politico sia mosso spesso da obiettivi egoistici e non solo da quelli dichiarati per avere consenso. Quindi siamo tendenzialmente critici nei confronti delle politiche pubbliche e degli attuali meccanismi di spesa, che sono caratterizzati in Italia da informazioni molto spesso manipolate per scopi politici, in particolare quando si tratta di rendere correttamente conto dei risultati conseguiti dall'uso dei soldi dei contribuenti.

I NOSTRI OBIETTIVI

L'obiettivo principale è il controllo della spesa pubblica nel settore che oggi, di norma, non è soggetta a verifiche indipendenti né in termini di efficienza (troppi sprechi) né di efficacia (scarsi risultati). Per esempio, negli ultimi 50 anni risorse per un ammontare superiore a circa un quarto dell'attuale debito pubblico sono state destinate al finanziamento di ferrovie e trasporti collettivi. I risultati conseguiti sia in termini sociali che ambientali non sembrano proporzionali all'entità delle risorse spese.