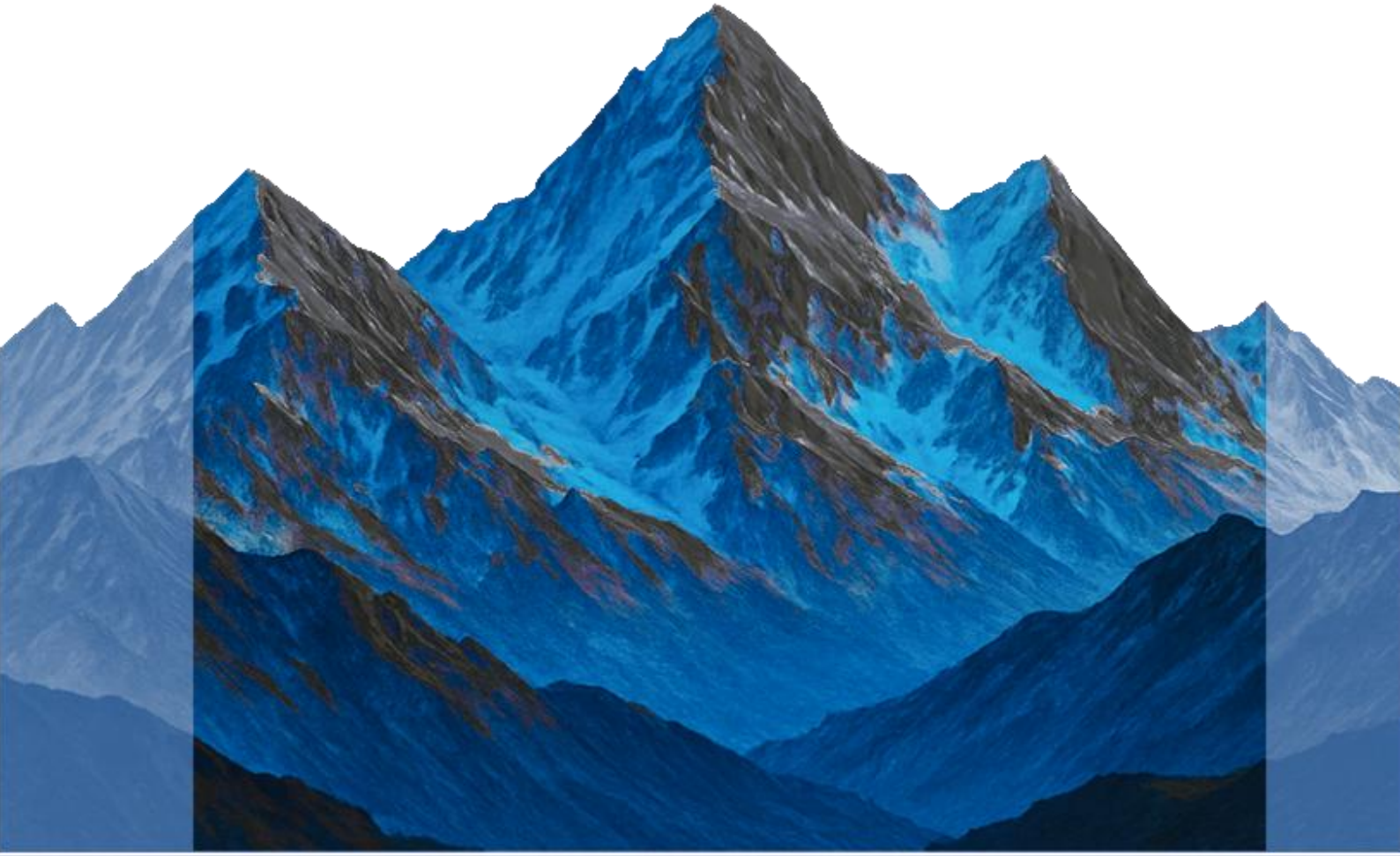
ANALISI DI RESILIENZA DEL SISTEMA DEI VALICHI ALPINI

Applicazione di un modello di traffico multimodale



Studio realizzato per

UNIONCAMERE

Dicembre 2025

PROGRAMMA INFRASTRUTTURE | UNIONTRASPORTI | TRT

GRUPPO DI LAVORO

Il presente rapporto è stato realizzato da un gruppo di lavoro composto da ricercatori senior di Uniontrasporti (coordinato dall'ing. Rosanna Guzzo), con la consulenza specialistica di TRT Trasporti e Territorio (per la parte modellistica, coordinata dall'ing. Enrico Pastori) e dell'ing. Giancarlo Bertalero, esperto di mobilità e logistica transalpina.

SOMMARIO

INTRODUZIONE 2
1 AREA DI STUDIO 4
2 APPROCCIO METODOLOGICO: MODELLO "TRUST" 6
2.1 Modellazione dell'offerta di trasporto 6
2.1.1 La rete stradale 6
2.1.2 La rete ferroviaria 9
2.2 Modellazione della domanda di trasporto 11
2.2.1 La domanda stradale 11
2.2.2 La domanda ferroviaria 12
2.3 Modulo di ripartizione modale 12
2.4 Modulo di assegnazione 15
2.5 Zonizzazione 15
3 CALIBRAZIONE DEL MODELLO ALL'ANNO BASE 19
3.1 Dati di traffico osservati 19
3.2 Confronto tra dati osservati e dati stimati 22
4 SIMULAZIONE DI SCENARI PERTURBATIVI 26
4.1 Scenari al 2025 28
4.1.1 Scenario 2025-1 28
4.1.2 Scenario 2025-2 35
4.1.3 Sintesi scenari al 2025 42
4.2 Scenari al 2040 43
4.2.1 Scenario SC40-1 48
4.2.2 Scenario SC40-2 53
4.2.3 Sintesi scenari al 2040 57
5 ANALISI DELLE PRESTAZIONI DELLA RETE STRADALE 59
5.1 Scenari al 2025 60
5.2 Scenari al 2040 63
6 VALUTAZIONE DI EFFETTI DIRETTI ED ESTERNALITÀ 66
6.1 Variazione dei veicoli-km e dei veicoli-ora 66
6.1.1 Analisi per direttrice 67
6.2 Monetizzazione degli impatti 69
6.2.1 Costi diretti 69
6.2.2 Costi esterni 71
6.3 Quadro riassuntivo 75
7 CONCLUSIONI 79
7.1 Comparazione degli scenari simulati 79
7.2 Riflessioni conclusive 81
7.3 Raccomandazioni e Prossimi step 82
8 BIBLIOGRAFIA 84

INTRODUZIONE

Il nostro Paese ha un forte orientamento all'export e in particolare circa il 66% degli scambi commerciali avviene con altri Paesi europei. L'orografia italiana obbliga che le merci importate o esportate via terra, in relazione al centro nord Europa, debbano necessariamente attraversare il sistema dei valichi alpini (oltre l'80% dell'interscambio commerciale).

Negli ultimi anni, il sistema dei transiti alpini ha attraversato una fase di profonda riconfigurazione logistica, dettata da **una serie di criticità infrastrutturali e operative senza precedenti**: infrastrutture datate, lavori prolungati, eventi naturali estremi e limiti normativi hanno mostrato quanto sia fragile – e al tempo stesso indispensabile – la dorsale che collega l'Italia al resto d'Europa. Dalle limitazioni unilaterali austriache al valico del Brennero, oggetto di un complesso iter legale presso la Corte di Giustizia dell'Unione europea, alla frana della Maurienne di fine agosto 2023, che ha bloccato per due anni la linea ferroviaria del Fréjus, dai lavori di manutenzione del Monte Bianco, con chiusure cicliche stagionali fino al 2040 (nell'ambito del programma pluriennale di rifacimento della volta, avviato nel 2023), alla parziale chiusura del Gottardo, si stanno sperimentando impatti significativi sul trasporto merci da e per il nord Europa che derivano da chiusure parziali o totali su alcune di queste tratte transfrontaliere. Sebbene il Tunnel di base del Gottardo sia tornato alla piena operatività a fine 2024 (dopo i lunghi lavori seguiti al deragliamento del 2023), persistono forti strozzature sui restanti assi principali. Le criticità hanno generato **un significativo aggravio dei costi operativi per le tratte transfrontaliere**, riconducibile alle deviazioni chilometriche forzate, all'incremento dei pedaggi e ai costi di stasi dei mezzi ai confini.

In questo contesto, Unioncamere italiana, attraverso la sua società in house Uniontrasporti e la propria rete territoriale, si è fatto promotore di un'analisi approfondita della resilienza dei valichi di frontiera, con l'obiettivo di offrire a imprese e istituzioni uno strumento condiviso di lettura dei rischi e di individuazione degli scenari possibili.

Il presente studio si pone quindi l'obiettivo di valutare quanto il complesso dei valichi, inteso come "sistema", sia capace di garantire e mantenere un adeguato livello di servizio a fronte di eventi di "rottura" al suo interno.

Come strumento di analisi viene utilizzato il **modello di traffico multimodale TRUST**[1], sviluppato dalla società TRT Trasporti e Territorio Srl, che, a partire dalla riproduzione della situazione attuale ("scenario base"), permette di simulare e confrontare la ridistribuzione del traffico lungo l'arco alpino in **diversi scenari perturbativi ipotizzati**.

La definizione degli scenari tiene conto del fatto che, dal punto di vista della loro modellizzazione, non è significativa la natura dell'evento che genera una certa variazione degli input (perturbazione di tipo ambientale, fisico, geopolitico, ecc.) quanto, piuttosto, l'entità

[1] TRUST - TRansport eUropean Simulation Tool è un modello di rete multimodale a scala europea con zonizzazione NUTS3 (cfr. Capitolo 2). Il modello è stato sviluppato dalla società TRT Trasporti e Territorio, specializzata in economia, pianificazione e modellistica della mobilità e dei trasporti.

della variazione che viene determinata nel funzionamento del sistema di trasporto. Dunque, due scenari che prevedano entrambi l'interruzione di un determinato valico per cause diverse, pur essendo diversi sul piano qualitativo, dal punto di vista della rappresentazione modellistica sono equivalenti. Ai fini della simulazione, gli scenari sono tradotti in variazioni di uno o più elementi di input del modello stesso, in termini di:

- Transitabilità di alcuni archi stradali e ferroviari;
- Capacità degli archi stradali;
- Velocità di percorrenza sugli archi stradali e ferroviari.

Le attività svolte hanno previsto, oltre alla simulazione degli scenari, un preliminare affinamento del modello sulla zona geografica di maggiore interesse per questo progetto (area alpina). Il modello TRUST, infatti, è un modello strategico calibrato per riprodurre l'attività di trasporto passeggeri e merci a scala europea a livello dei Paesi UE27; pertanto, verifiche e aggiustamenti puntuali sono stati effettuati per riprodurre la situazione attuale (scenario base) con un maggior grado di accuratezza nella zona di interesse.

Il presente studio non rappresenta un punto d'arrivo, bensì vuole essere un primo tassello di un percorso più ampio che punta a una **gestione condivisa e organizzata dell'emergenza valichi**: i risultati delle simulazioni e l'analisi delle criticità costituiscono la base tecnica sulla quale si possa disegnare un **Piano d'Azione** che preveda procedure condivise, ruoli chiari e canali informativi tempestivi, a tutela tanto delle comunità alpine quanto della continuità operativa del tessuto economico.

Per raggiungere questo obiettivo è fondamentale una visione, un dialogo costante con i partner istituzionali nazionali ed europei, con gli operatori logistici, con le associazioni d'impresa e con le autorità dei Paesi confinanti: solo una **regia sovranazionale** potrà infatti garantire coerenza di intervento e rapidità decisionale. Il presente rapporto offre dunque la conoscenza tecnica necessaria per avviare questo percorso collettivo e pone le premesse per trasformare le criticità individuate in opportunità di governo efficace della mobilità alpina.

1 AREA DI STUDIO

Lo studio ha per oggetto i traffici passeggeri e merci lungo i valichi alpini con focus sui confini italiani. Facendo riferimento all'Osservatorio Transalpino, l'area di studio comprende idealmente tutto l'arco alpino da Ventimiglia a Fernetti (Trieste) rappresentato nella figura sottostante come arco B, quindi i valichi di frontiera tra l'Italia e i Paesi esteri.

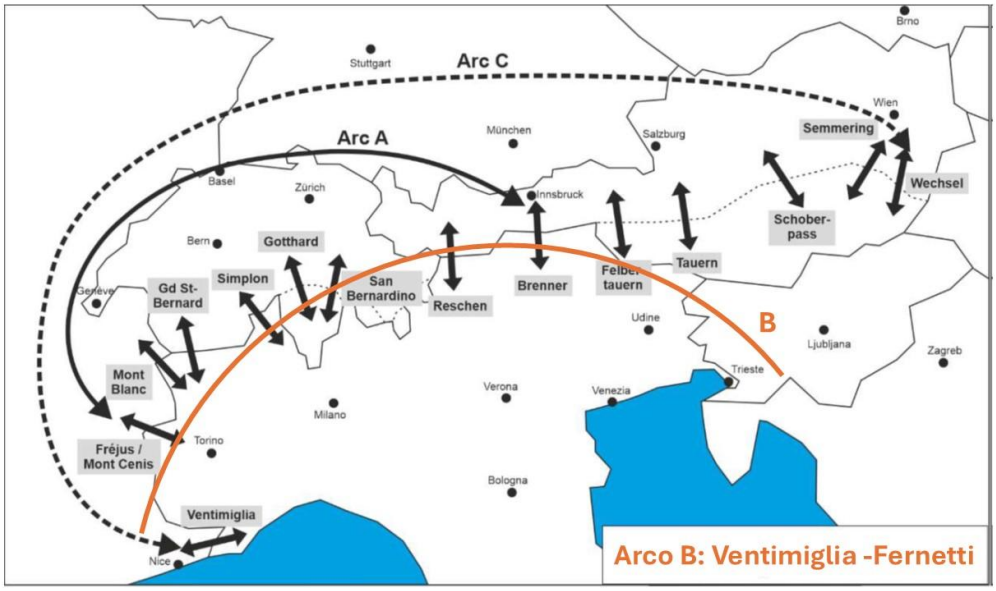


Figura 1-1: Arco Alpino B, elaborazione su figura dell'"Observation and Analysis of Trans-Alpine Freight Traffic Flows: Methodology Report"

Nello specifico, ai fini dell'analisi vengono considerati **11 valichi di frontiera**, stradali e ferroviari, complessivamente attraversati da circa 180 milioni di tonnellate di merce.

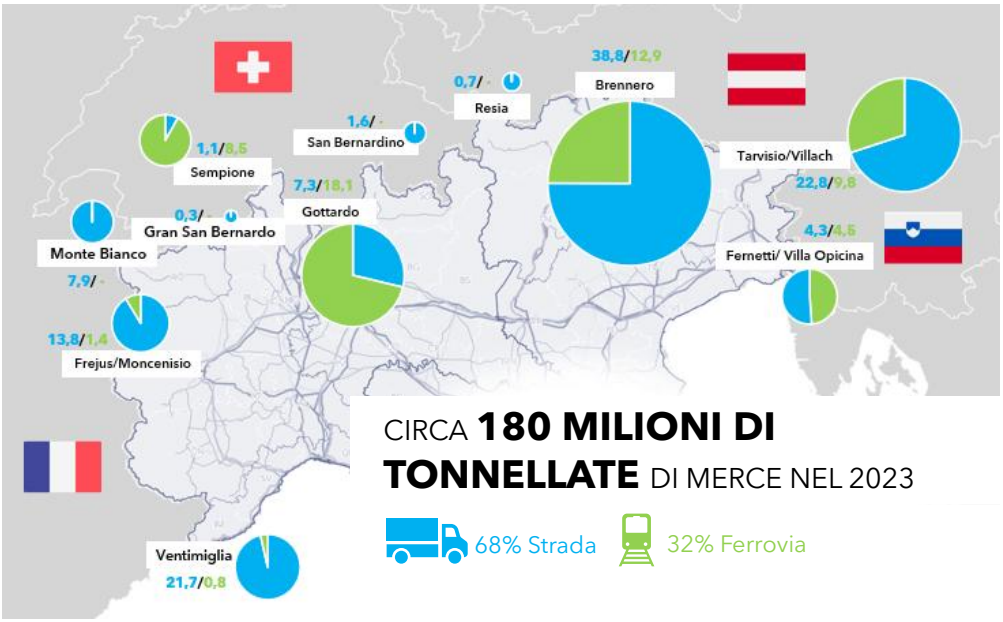


Figura 1-2: Traffici merci nei valichi di frontiera oggetto di analisi. Elaborazione su dati «Observation and analysis of transalpine freight traffic flows. Key figures 2023»[2]

[2] Vengono illustrati i dati al 2023 per coerenza con le altre sezioni del report e in quanto rappresentativi di una situazione più consolidata, al riparo da anomalie logistiche che hanno caratterizzato il 2024.

Nella tabella seguente si riporta una descrizione puntuale degli 11 valichi considerati, evidenziando come 7 di essi dispongano di una infrastruttura sia stradale che ferroviaria, mentre i rimanenti 4 solo stradale.

Tabella 1-1: Valichi e infrastrutture oggetto di analisi

	CONFINE		VALICO DI FRONTIERA	TIPOLOGIA INFRASTRUTTURA
1	IT-FR		Ventimiglia	Strada + Ferrovia
2	IT-FR		Fréjus/Moncenisio	Strada + Ferrovia
3	IT-FR		Monte Bianco	Strada
4	IT-CH		Gran San Bernardo	Strada
5	IT-CH		Sempione	Strada + Ferrovia
6	IT-CH		Gottardo	Strada + Ferrovia
7	IT-CH		San Bernardino	Strada
8	IT-AT		Resia	Strada
9	IT-AT		Brennero	Strada + Ferrovia
10	IT-AT		Tarvisio/Villach	Strada + Ferrovia
11	IT-SI		Fernetti/Villa Opicina	Strada + Ferrovia

Una rete teoricamente multimodale, ma la cui resilienza, allo stato attuale (fine 2025), è messa a dura prova da una serie di "colli di bottiglia" infrastrutturali che riducono drasticamente la capacità reale di trasporto:

- **Asse Italo-Francese** (emergenza ferroviaria): il sistema soffre per la chiusura prolungata del tunnel ferroviario del Fréjus, causata dalla frana della Maurienne dell'agosto 2023. Questo blocco, durato oltre due anni, ha costretto il traffico merci a spostarsi massicciamente sulla strada e, in particolare, sui valichi di Ventimiglia e del Monte Bianco (a sua volta interessato da un piano di manutenzione straordinaria pluriennale per il rifacimento della volta – circa 15 settimane all'anno fino al 2040). L'attuale sofferenza deriva dalla difficoltà, da parte degli operatori ferroviari, a recuperare le importanti quote di traffico che si sono trasferite su gomma.
- **Asse Italo-Svizzero** (Gottardo e Sempione): sebbene il Tunnel di base del Gottardo sia tornato alla piena operatività nel settembre 2024[3], l'asse del Sempione è interessato da cantieri intensivi per l'adeguamento ferroviario ai 4 metri (profilo P400), che limita la capacità di carico intermodale, e dal vasto progetto di ristrutturazione della Galleria del Sempione, previsto per il quadriennio 2025-2028.
- **Asse Italo-Austriaco** (incertezza Brennero): il Brennero rimane il punto di massima tensione politica e operativa. L'asse, infatti, subisce la pressione combinata delle restrizioni tirolesi (sistema dosaggi, divieti notturni e settoriali), dei disagi causati dagli interventi di manutenzione del ponte Lueg sull'A13, avviati a gennaio 2025 con previsione di conclusione nel 2030, a cui si somma l'adeguamento di gallerie e viadotti dell'autostrada del Tauri (A10) fino al 2027, che compromette la fluidità dei flussi verso il valico di Tarvisio.

[3] In prospettiva (tra il 2032 e il 2034) è anche pianificata la sostituzione di 228 km di binari.

2 APPROCCIO METODOLOGICO: MODELLO "TRUST"

Le analisi degli scenari sono state condotte utilizzando il **modello multimodale strategico TRUST**[4]. Il modello TRUST, realizzato da TRT Trasporti e Territorio, è un modello di rete a **scala europea** che rappresenta la domanda e le reti di trasporto a livello continentale per i principali modi di trasporto, passeggeri e merci, disponibili per i movimenti di media e lunga distanza. Il modello opera con una disaggregazione spaziale a livello **NUTS3** (corrispondente, in Italia, alle province) per i Paesi dell'Unione Europea e per i Paesi confinanti. La domanda considerata dal modello è quella tra le zone, mentre non viene rappresentata la domanda entro le zone (se non, implicitamente, sotto forma di occupazione di una parte della capacità degli archi stradali).

Il modello TRUST consiste di modelli di assegnazione modali (per la strada, per la ferrovia, per la navigazione interna e per la navigazione marittima) e di un modulo di ripartizione modale che tratta, separatamente, la domanda passeggeri e merci. Il modello è calibrato per riprodurre, con ragionevole approssimazione, il valore dell'attività di trasporto, in termini di **passeggeri-km e tonnellate-km per modo di trasporto nei Paesi europei**.

2.1 Modellazione dell'offerta di trasporto

Di seguito si riporta una descrizione puntuale della rete di riferimento, stradale e ferroviaria, utilizzata nel modello TRUST. La rete di trasporto si basa su quanto sviluppato dapprima nell'ambito dei progetti TRANS-TOOLS[5] ed ETISplus[6] e viene costantemente aggiornata per tenere conto dell'evoluzione delle infrastrutture.

2.1.1 La rete stradale

La rete stradale include tutti i collegamenti rilevanti tra le regioni NUTS3: autostrade, strade principali e strade di interesse regionale e subregionale, collegamenti dei traghetti (servizi Ro-Ro).

I collegamenti della rete stradale sono separati in classi diverse, ciascuna con caratteristiche specifiche in termini di capacità, velocità di flusso libero e pedaggio. I tipi di collegamento sono utilizzati per distinguere diverse categorie di strade (ad esempio, autostrade). Flag specifici sono utilizzati per identificare i collegamenti appartenenti alla rete TEN-T principale (Figura 2-1) e a ciascun corridoio TEN-T (Figura 2-2) e alla rete completa secondo il regolamento TEN-T 2024.

[4] www.trt.it/strumenti/trust/

[5] cordis.europa.eu/project/id/502644

[6] cordis.europa.eu/project/id/233596



Figura 2-1: Gerarchia della rete stradale

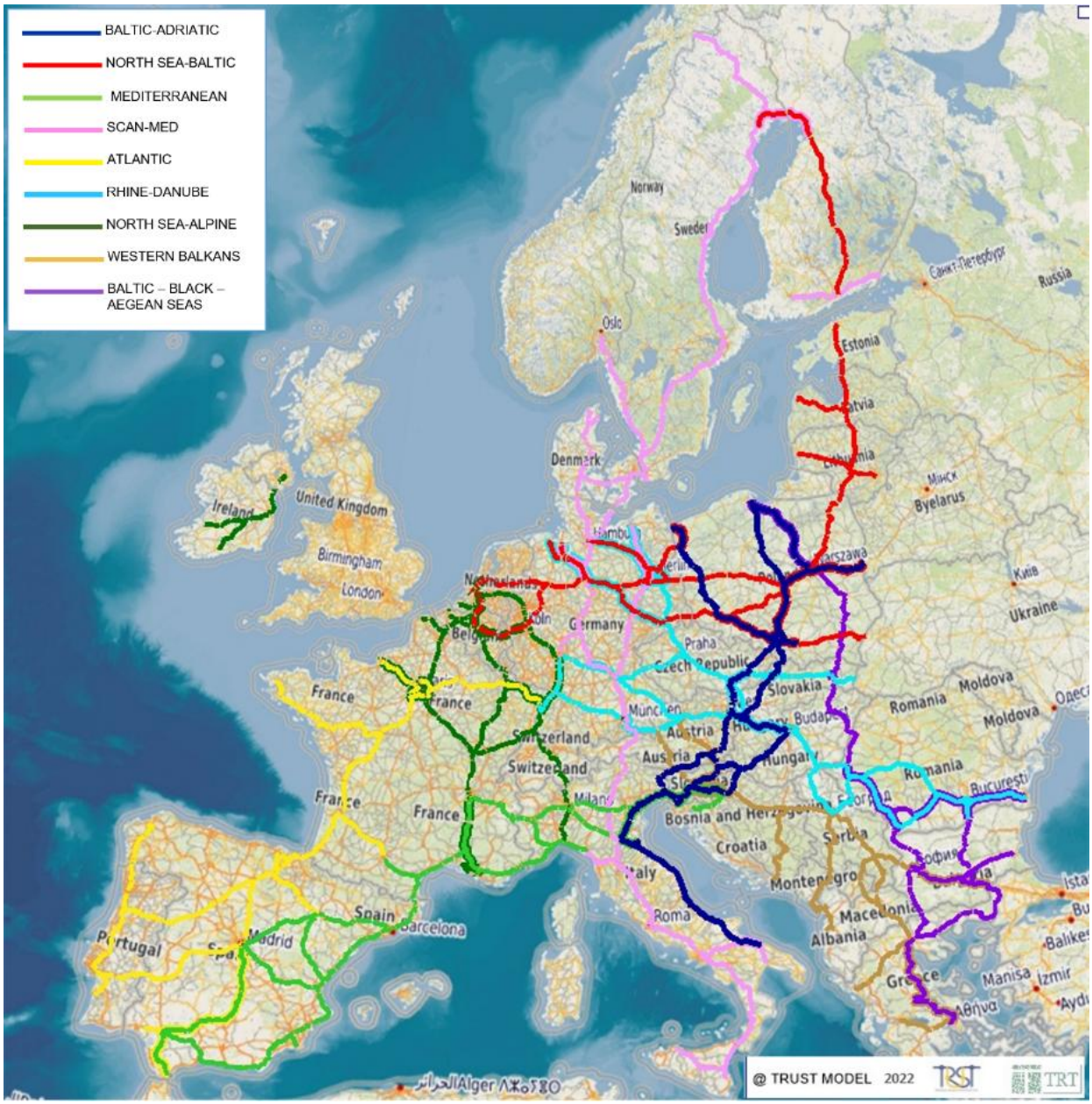


Figura 2-2: Corridoi stradali TEN-T

La differenziazione dettagliata dei tipi di collegamento nei Paesi dell'UE è la seguente:

- Autostrada (a pedaggio)
- Autostrada (senza pedaggio)
- Interurbana con carreggiate separate
- Interurbana a due corsie
- Interurbana a due corsie senza camion
- Urbano
- Traghetti.

2.1.2 La rete ferroviaria

La rete ferroviaria include diversi tipi di collegamento in base agli elementi tecnici (velocità massima consentita, carico massimo consentito, tipologia di trasporto ammesso, ecc.). È collegata alla rete stradale attraverso centri di interscambio per simulare il trasporto intermodale, utilizzando flag specifici per identificare i collegamenti stradali appartenenti alla rete TEN-T Core/Extended Core, a ciascun corridoio (Figura 2-3 e Figura 2-4) e alla rete completa in base al Regolamento TEN-T 2024.

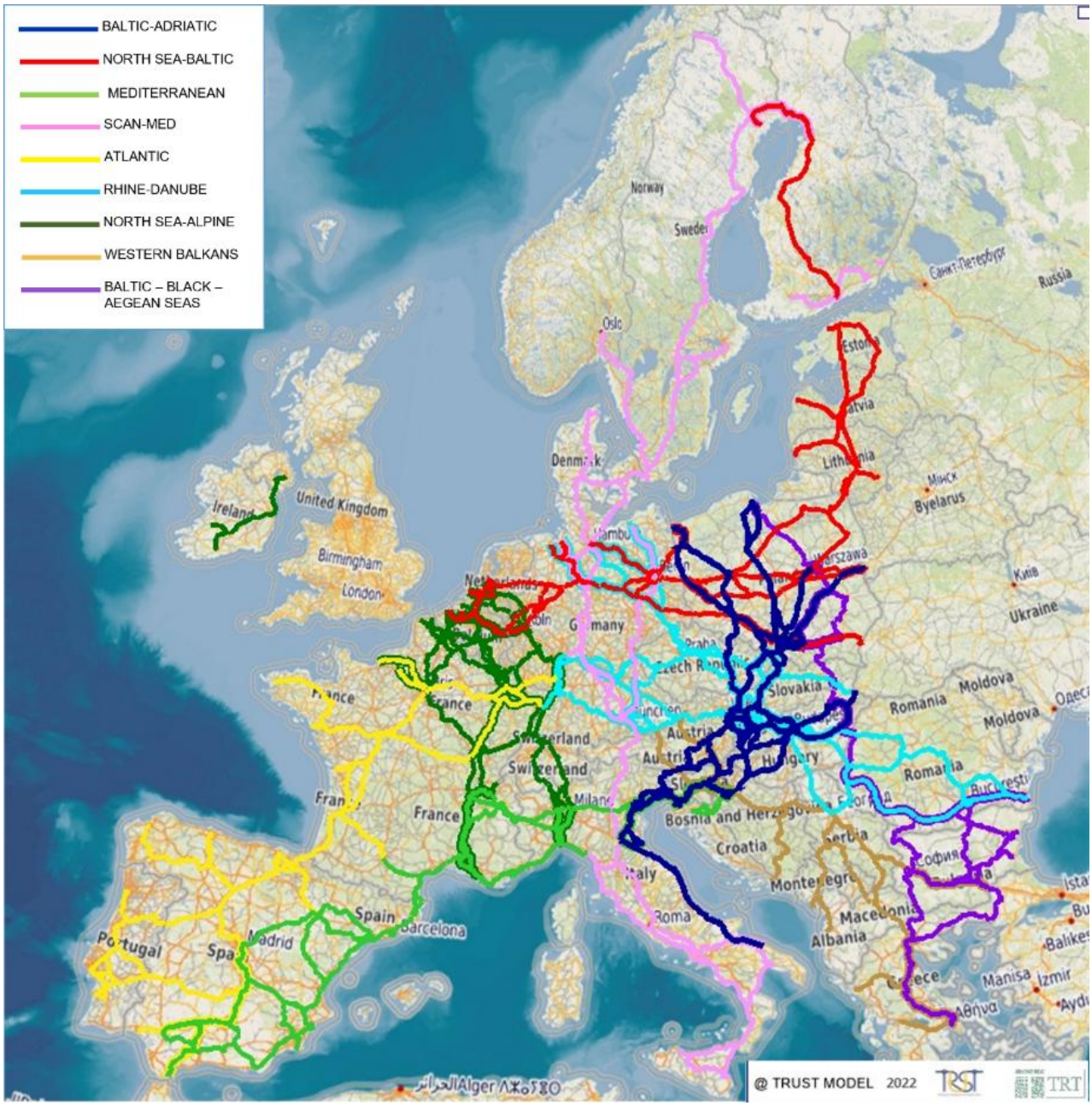


Figura 2-3: Corridoi ferroviari merci TEN-T

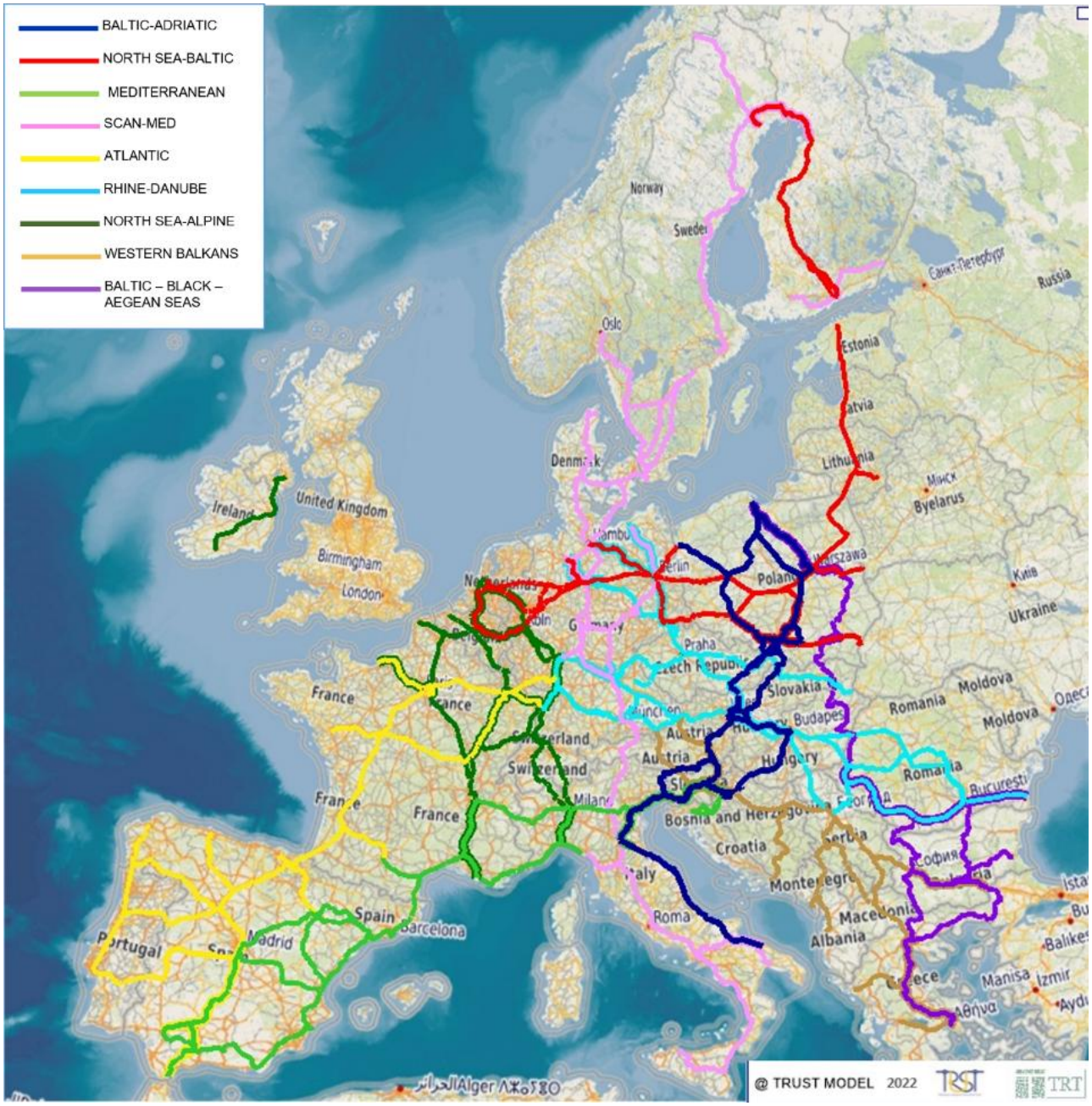


Figura 2-4: Corridoi ferroviari passeggeri TEN-T

La differenziazione dettagliata dei tipi di collegamento nei Paesi dell'UE è la seguente:

- Collegamenti ferroviari locali convenzionali per il trasporto passeggeri: sono ammessi solo i treni passeggeri regionali
- Collegamenti ferroviari locali convenzionali sia per il trasporto passeggeri che per quello merci: sono ammessi solo treni passeggeri regionali e treni merci
- Collegamenti ferroviari convenzionali a lunga percorrenza per il trasporto passeggeri: sono ammessi sia i treni passeggeri regionali che quelli intercity
- Collegamenti ferroviari convenzionali a lunga percorrenza sia per il trasporto passeggeri che per quello merci: sono ammessi sia i treni regionali e intercity che i treni merci

- Collegamenti ferroviari convenzionali solo per il trasporto merci: collegamenti in cui non sono ammessi treni passeggeri
- Collegamenti ferroviari ad alta velocità su binari propri, sia per il trasporto passeggeri che per quello merci: i collegamenti possono essere utilizzati anche dai treni merci ad alta velocità
- Collegamenti ferroviari ad alta velocità su binari propri, destinati esclusivamente al trasporto passeggeri: collegamenti in cui i treni merci non sono ammessi
- Collegamenti ferroviari ad alta velocità su binari convenzionali esistenti, destinati esclusivamente al trasporto passeggeri: sono ammessi treni passeggeri come i treni ICE tedeschi (o simili) che condividono la stessa infrastruttura con altri treni
- Collegamenti ai confini, sia per merci che per passeggeri: è codificato un tempo aggiuntivo alle frontiere (ad esempio a causa di diverse elettrificazioni ferroviarie e cambi di personale o cambi di locomotive ecc.).

2.2 Modellazione della domanda di trasporto

Ai fini dell'assegnazione dei flussi di traffico sulla rete, il modello TRUST considera una domanda stradale merci e passeggeri, una domanda ferroviaria merci e passeggeri, una domanda IWW (Inland Waterways, quindi navigazione interna) solo merci e una domanda marittima solo merci.

Solo ai fini della ripartizione modale, viene considerata anche una domanda passeggeri aerea per poter utilizzare, in fase di calibrazione delle costanti modali, la giusta quota modale degli spostamenti di lunga distanza in cui la quota dell'aereo non è trascurabile. La domanda passeggeri aerea non viene assegnata, ma è stimata in base alle statistiche Eurostat del traffico aereo.

Le matrici stradali e ferroviarie dell'anno base di riferimento derivano da quelle stimate originariamente nel progetto europeo sopramenzionato ETISplus e vengono costantemente aggiornate in conformità alle statistiche Eurostat sull'attività di trasporto per Paese (tonnellate-km e passeggeri-km).

2.2.1 La domanda stradale

La **matrice passeggeri** include i viaggi in auto ed è segmentata in tre gruppi:

- Breve Distanza (< 100 km) pendolarismo
- Breve Distanza (< 100 km) non pendolarismo
- Lunga Distanza (> 100 km).

La **matrice merci** include le tonnellate trasportate da veicoli superiori a 3,5 tonnellate ed è segmentata nei seguenti gruppi di domanda:

- Nazionale Breve Distanza (<= 50 km)
- Nazionale Media Distanza (50 – 150 km)
- Nazionale Lunga Distanza (>= 150 km)
- Internazionale.

Ai fini di questo progetto i segmenti di domanda merci sono stati aggregati in nazionale e internazionale.

2.2.2 La domanda ferroviaria

La domanda ferroviaria è segmentata in base ai tipi di traffico che corrispondono a diversi **tipi di treno**. A ciascun segmento di domanda sono associati dei parametri (come il valore del tempo) facendo delle assunzioni sui motivi di spostamento dell'utenza di ciascun tipo di servizio. Per esempio, si suppone che la maggior parte dei pendolari utilizzi treni regionali mentre i viaggi di business siano effettuati su treni più veloci. A ciascun tipo di treno è quindi associato un costo e una velocità media.

Per il traffico passeggeri vengono considerate tre tipologie di treni:

- regionali
- interurbani
- alta velocità.

Per il traffico merci vengono considerate due tipologie di treni

- intermodali
- convenzionali.

2.3 Modulo di ripartizione modale

La ripartizione modale è basata, sia per le merci che per i passeggeri, sui **costi di trasporto**, i **tempi di trasporto** e un **parametro modale specifico**. Il valore di questo parametro viene stimato all'anno base di riferimento a partire dai costi e dai tempi di ciascuna alternativa modale. Questo procedimento consente di ricostruire le matrici modali che, per l'anno base, sono input esterni, attraverso delle matrici di domanda target (come descritto nel paragrafo precedente). In pratica, si parte dalla distribuzione modale osservata o ricostruita nell'anno base e si stimano i parametri necessari, affinché il modello sia in grado di riprodurla. Analiticamente la procedura si basa sull'inversione del modello Logit[7] e consente di stimare le costanti modali che verranno poi utilizzate nella simulazione degli scenari.

[7] Il modello Logit è una funzione statistica che esprime la probabilità di scelta di un mezzo in funzione della sua utilità (attrattività); la sua inversione trasforma le quote modali osservate in valori lineari, consentendo di stimare come variazioni nei tempi o nei costi di trasporto influenzino la ripartizione della domanda tra le diverse modalità.

Mentre le matrici di domanda target all'anno base derivano dal progetto ETISplus, opportunamente aggiornate come precedentemente descritto, le matrici target degli anni futuri derivano dalle stime dell'EU Reference Scenario 2020[8].

L'algoritmo di ripartizione modale è basato sul modello Logit la cui equazione è la seguente

$$ {}^{m}_{p}f(T_{ij}) = \frac{e^{-\mu[{}^{m}_{p}GT_{ij}]}}{\sum_{m} e^{-\mu[{}^{m}_{p}GT_{ij}]}} \quad \{i \neq j\} $$

Figura 2-5: Equazione del modello Logit

dove il tempo generalizzato $\boldsymbol{GT_{ij}}$ *tra la zona di origine i e la zona di destinazione j, per il modo m e il gruppo di popolazione p, è una funzione lineare del tipo* $GT_{ijmp} = \beta_1 * T_{ijm} + \beta_2 * C_{ijm}/VOT_p$ *con* T_{ijm} *= Tempo di percorrenza con il modo m e* C_{ijm}*= Costo per effettuare lo spostamento con il modo m,* VOT_p *è il valore del tempo del gruppo di popolazione p e* β_1 *e* β_2 *sono dei parametri di calibrazione.*

Per il comparto **passeggeri**, il modulo di ripartizione modale considera la domanda segmentata in tre gruppi:

- Breve Distanza Pendolare (spostamenti sistematici casa-lavoro/scuola, dove la variabile critica è la frequenza e l'orario)
- Breve Distanza Altro/Non Pendolare (spostamenti occasionali, per tempo libero/visite/affari locali)
- Lunga distanza (viaggi nazionali o internazionali, spesso coperti da Alta Velocità o Aereo).

La "Media Distanza" non viene esplicitata in quanto assorbita da una delle due categorie a seconda del contesto: se il viaggio avviene tra città diverse ma non troppo lontane (es. Milano-Bologna), viene gestito commercialmente come "Lunga Distanza" (Intercity o AV); se, invece, il viaggio avviene all'interno di una macroregione, viene classificato sotto il trasporto regionale, anche se copre 100-150 km.

La Figura 2-6 mostra lo schema di funzionamento della ripartizione modale passeggeri, evidenziando la distinzione, nella "Breve Distanza", tra chi viaggia per necessità quotidiana (Pendolari) e chi viaggia per motivi diversi nello stesso raggio d'azione (Altro). La scelta modale ("mode choice") è di tipo "annidato": al primo livello avviene la scelta tra i modi "principali": Auto, Treno, Aereo (fondamentale sulla lunga distanza). Se, ad esempio, avviene la scelta "Treno", questa domanda viene presa in input dal secondo livello per essere suddivisa tra i vari servizi a disposizione.

[8] https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2020_en

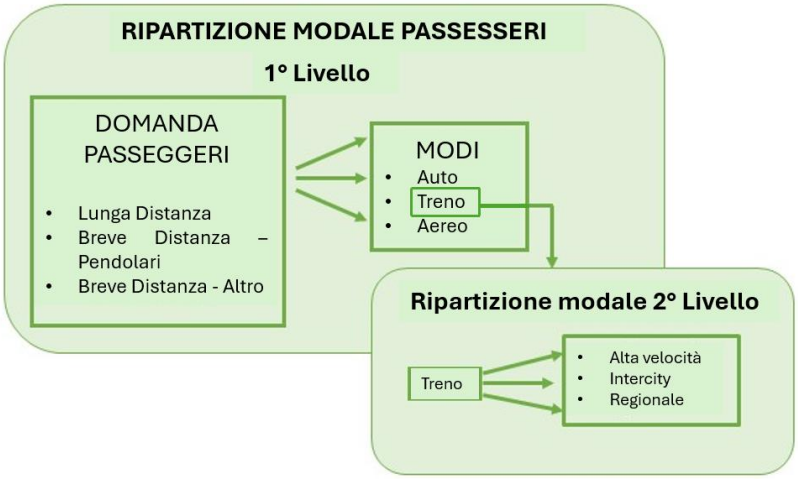


Figura 2-6: Schema del modulo di ripartizione modale passeggeri di TRUST

Per la parte **merci**, rappresentata in Figura 2-7, la ripartizione modale è effettuata per otto gruppi di domanda derivanti dall'incrocio di fasce di distanza (es. meno di 150 km; oltre i 700 km) e modalità di trasporto che può essere "Intermodale" (indicata in figura come UNT, acronimo di Unità di Trasporto Intermodale che facilita il passaggio tra i vari modi) o "Convenzionale" (merci trasportate in modo tradizionale, es. carico sfuso, pallet su camion standard). L'efficienza del trasporto intermodale, infatti, normalmente aumenta con la distanza e la necessità di cambiare mezzo di trasporto.

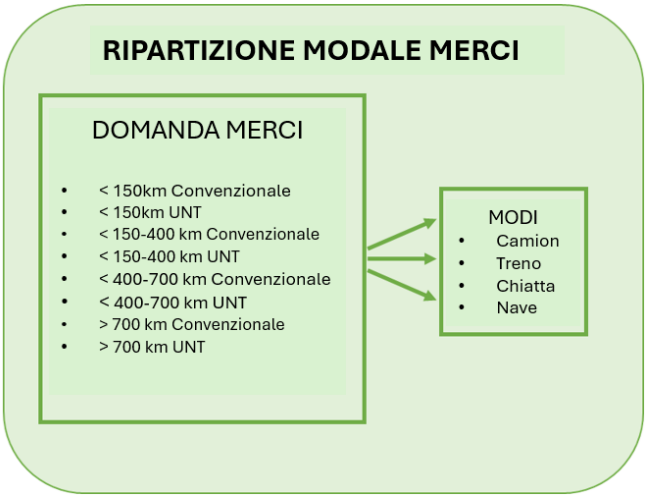


Figura 2-7: Schema del modulo di ripartizione modale merci di TRUST

2.4 Modulo di assegnazione

Per quanto riguarda la **strada** il modulo di assegnazione tratta i flussi passeggeri e merci che utilizzano la rete di trasporto comprensiva di tutti gli archi rilevanti per le relazioni tra zone NUTS3: autostrade, strade primarie e anche una parte di strade secondarie ove necessario. Gli archi sono descritti con una velocità di base a deflusso libero, una capacità e delle curve di deflusso che mettono in relazione la velocità di percorrenza in funzione del carico via via assegnato sull'arco. Il modello applica un algoritmo all'equilibrio, eseguendo iterazioni successive in cui distribuisce i flussi tra i percorsi alternativi in funzione dei tempi e costi di viaggio fino a che tali modifiche determinano dei vantaggi almeno per una parte dei flussi.

Anche per la **ferrovia** il modulo di assegnazione tratta passeggeri e merci. La rete di trasporto comprende tutte le ferrovie europee ad eccezione di alcuni rami locali. Inoltre, sono rappresentati i terminal ferroviari nei quali i treni del trasporto combinato possono interscambiare con la strada. Alcuni archi sono disponibili solo per alcune categorie di domanda (es. gli archi delle reti ad alta velocità, dove non sono ammessi treni convenzionali). L'offerta di trasporto non è rappresentata attraverso servizi, cioè non sono descritti i percorsi, le fermate intermedie e i tempi di viaggio da orario. Di fatto, l'assegnazione ferroviaria funziona come quella stradale ma, non essendoci una rappresentazione della capacità (che per le ferrovie è un concetto molto più articolato che per le strade), il tempo di viaggio non dipende dal carico sugli archi. Dunque, non ci sono iterazioni all'equilibrio.

Il modulo di **assegnazione marittima** considera anche le tratte su terra dei modi utilizzati per raggiungere i porti dalle origini dei flussi o per raggiungere dai porti le destinazioni finali. Parte di queste tratte sono rilevanti per il traffico transalpino, in quanto porti del Mediterraneo servono regioni a nord delle Alpi e porti del Mare del Nord servono regioni a sud delle Alpi.

2.5 Zonizzazione

Il modello lavora con una zonizzazione disaggregata a livello NUTS 3 per tutti i Paesi UE 27 e per Svizzera, Norvegia, Regno Unito, Turchia e Paesi dei Balcani mentre l'aggregazione è meno dettagliata per Ucraina, Russia e Bielorussia, Islanda e Paesi del nord Africa.

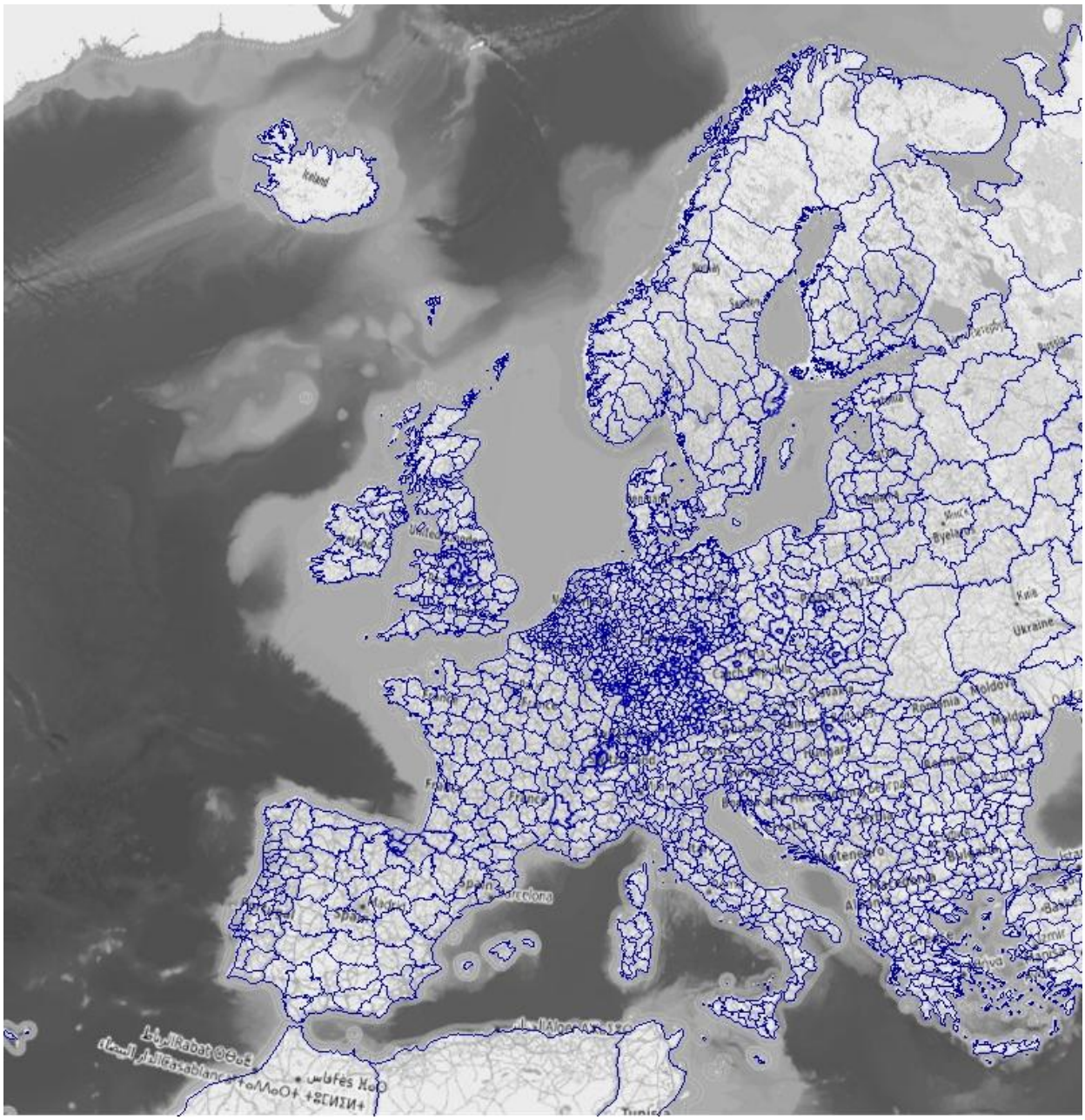


Figura 2-8: Zonizzazione NUTS 3 di TRUST

Allo scopo di facilitare le analisi e la rappresentazione dei risultati, ciascuna zona del modello è stata associata ad una macro-zona. L'aggregazione segue l'organizzazione in macro-zone del rapporto "Transalpine Freight Traffic Flows: Summary Report on CAFT-Surveys 2019", sintesi del lavoro coordinato di indagine svolto dai Paesi Alpini (Cross-Alpine Freight Transport).

La tabella seguente (Tabella 2-1) mostra le aggregazioni considerate nello studio CAFT.

Tabella 2-1: Aggregazione in macro-zone dello studio "*Transalpine Freight Traffic Flows: Summary Report on CAFT-Surveys 2019*"

NAME	NUTS CODE	AGGREGATION	COUNTRY
Northern Switzerland		Northern Switzerland	CH
Southern Switzerland		Southern Switzerland	CH
Freiburg	DE13	Southwest Germany	DE
Tübingen	DE14	Southwest Germany	DE
Stuttgart	DE11	Southwest Germany	DE
Karlsruhe/Rheinhessen-Pfalz	DE12, DE83	Southwest Germany	DE
Hessen, Saarland, Koblenz, Trier	DE7; DEC; DEB1; DEB2	Southwest Germany	DE
Southern Bavaria	DE21; DE27; DE22	Southeast Germany	DE
Northern Bavaria	DE23; DE24; DE25; DE26	Southeast Germany	DE
Nordrhein-Westfalen	DEA	Northern Germany	DE
Thüringen, Sachsen	DE0; DEG	Northern Germany	DE
Northeast Germany	DE3; DE4; DE8; DEE	Northern Germany	DE
Northwest Germany	DE5; DE6; DE9; DEF	Northern Germany	DE
Vorarlberg	AT34	Austria	AT
Tyrol	AT33	Austria	AT
Southern Austria	AT2	Austria	AT
Northeast Austria	AT1; AT31; AT32	Austria	AT
Rhône-Alpes	FRK2	Southern and central France	FR
Franche-Comté	FRC2	Southern and central France	FR
Bourgogne	FRC1	Southern and central France	FR
Mediterranean region	FRL; FRM; FRJ1	Southern and central France	FR
Southwest France	FR1; FR3; FRJ2	Southern and central France	FR
Northwest France and center	FRB; FRG; FRH; FR12; FRK1	Southern and central France	FR
Paris and North France	FR1; FRD; FRE	Northern France	FR
Champagne-Ardennes	FRF2	Northern France	FR
Alsace/Lorraine	FRF1; FRF3	Northern France	FR
Lombardia	ITC4	Lombardia	IT
Liguria	ITC3	Northwest Italy	IT
Piemonte/Aosta	ITC1; ITC2	Northwest Italy	IT
Northeast Italy	ITH1; ITH2; ITH3; ITH4	Northeast Italy	IT
Emilia-Romagna/Toscana	ITH5; ITI1	Other regions of Italy	IT
Central Italy	ITI2; ITI3; ITI4; ITF1; ITF2	Other regions of Italy	IT
Southern Italy and islands	ITG; ITF3; ITF4; ITF5; ITF6	Other regions of Italy	IT
Poland	PL	Northeast Europe	
Czech Republic	CZ	Northeast Europe	
Slovakia	SK	Northeast Europe	
Hungary	HU	Southeast Europe	
Benelux countries	BE; NL; LU	Benelux countries	
British Isles	UK; IE	British Isles	
Skandinavia	SE; DK; FI; NO	Skandinavia	
Iberia	ES; PT	Iberia	
Slovenia/Croatia	SI; HR	Southeast Europe	
Southern Balkans	AL; BA; BG; KO; ME; MK; RO; RS	Southeast Europe	
Southeast Europe and islands	EL; CY; MT; TR	Southeast Europe	
Former Soviet Union	BY; EE; KZ; LT; LV; MD; RU; UA	Former Soviet Union	

Rispetto a questa aggregazione, nel modello TRUST la Grecia è tenuta separata dalla Turchia e le Repubbliche Baltiche sono unite in una stessa macro-zona, ma separate dalla Russia e dai Paesi dell'ex Unione Sovietica

La Figura 2-9 mostra la mappa delle macro-zone considerate nel modello TRUST per il presente studio.

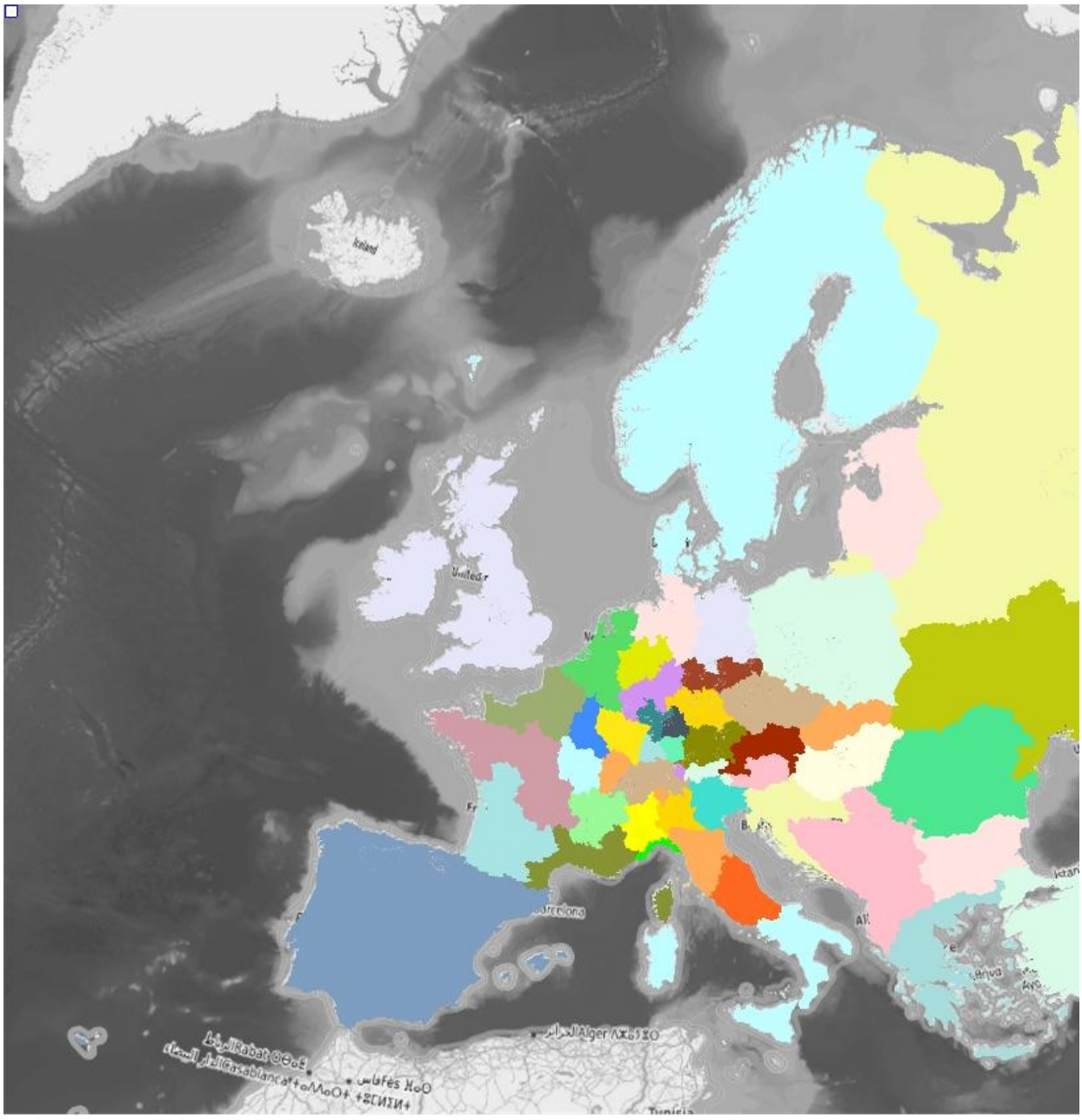


Figura 2-9: Macro-zone del modello TRUST

3 CALIBRAZIONE DEL MODELLO ALL'ANNO BASE

La definizione dell'anno base rappresenta il pilastro metodologico su cui si fonda l'intera architettura del modello di simulazione: non è semplicemente un riferimento cronologico, ma costituisce lo stato di fatto (o baseline) rispetto al quale vengono calibrate tutte le variabili del sistema di trasporto analizzato. Per il presente studio, è stato fissato come **anno base** il **2023** che risponde a tre obiettivi fondamentali:

- **Rappresentatività statistica**. Il 2023 fornisce il set di dati più recente e consolidato per quanto riguarda i flussi di passeggeri e merci, superando le fluttuazioni anomale del periodo pandemico e riflettendo l'attuale assetto socioeconomico dell'area alpina.
- **Calibrazione e validazione**. L'anno base funge da "punto zero" per la taratura del modello Trust. Attraverso il confronto tra i dati simulati dal software e i dati reali rilevati (riportati nella Tabella 3-1), è possibile verificare l'accuratezza del modello. Un'elevata coerenza nell'anno base, infatti, garantisce l'affidabilità delle proiezioni sugli scenari futuri.
- **Uniformità dei dati**. Poiché le fonti di traffico possono avere cicli di aggiornamento differenti (con alcuni dati risalenti al 2022 o precedenti), l'anno base agisce come correttore metodologico. I dati non contemporanei vengono normalizzati e ricondotti ai volumi del 2023 per garantire una base di analisi uniforme e priva di distorsioni temporali.

Il perfezionamento del modello all'anno base, con specifico focus sulla zona geografica oggetto del presente studio (area alpina), quindi, permette di ottenere una riproduzione fedele della mobilità transalpina attuale, condizione indispensabile per valutare l'impatto di futuri interventi infrastrutturali o variazioni della domanda.

3.1 Dati di traffico osservati

Per calibrare il modello alla scala adeguata all'applicazione di questo studio si sono presi in considerazione i dati di traffico disponibili dalle fonti elencate nella tabella sottostante.

Per quanto riguarda i traffici su infrastrutture che, nel corso del 2023, hanno subito delle interruzioni, come ad esempio le chiusure del Fréjus ai mezzi pesanti dal 27/08 al 08/09 (per frana) e dal 16/10 al 15/12 (per manutenzione), i dati annuali sono stati riproporzionati per tenere conto degli effettivi giorni di apertura dell'infrastruttura.

I dati disponibili nello studio CAFT, pur facendo riferimento all'anno 2019, sono stati utilizzati non tanto per il conteggio ai valichi (disponibile più aggiornato da altre fonti) quanto perché forniscono una indicazione sulle origini e destinazione dei flussi permettendo di verificare la correttezza della forma delle matrici merci, sia stradali che ferroviarie. I dati dello studio CAFT vengono forniti a livello aggregato di macro-zone e in forma percentuale rispetto al totale delle tonnellate transitate per ogni valico di frontiera.

Tabella 3-1: Fonti dati traffico dei valichi principali

FONTE	ANNO	INFRASTRUTTURA	TIPO FLUSSO
Osservatorio Transalpino[9]	2023	Strada e Ferrovia	Merci
iMonitraf![10]	2023	Strada	Passeggeri e Merci
Asfinag[11]	2023	Strada	Passeggeri e Merci
Tunnel Monte Bianco[12]	2023	Strada	Passeggeri e Merci
Sitaf[13]	2023	Strada	Passeggeri e Merci
Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE[14]	2023	Strada e Ferrovia	Passeggeri e Merci
CAFT[15]	2019	Strada e Ferrovia	Merci

Nelle figure seguenti sono illustrate le principali relazioni (Origine/Destinazione) merci di tre valichi dotati di infrastruttura stradale e ferroviaria e tre valichi che hanno solo l'infrastruttura stradale[16].

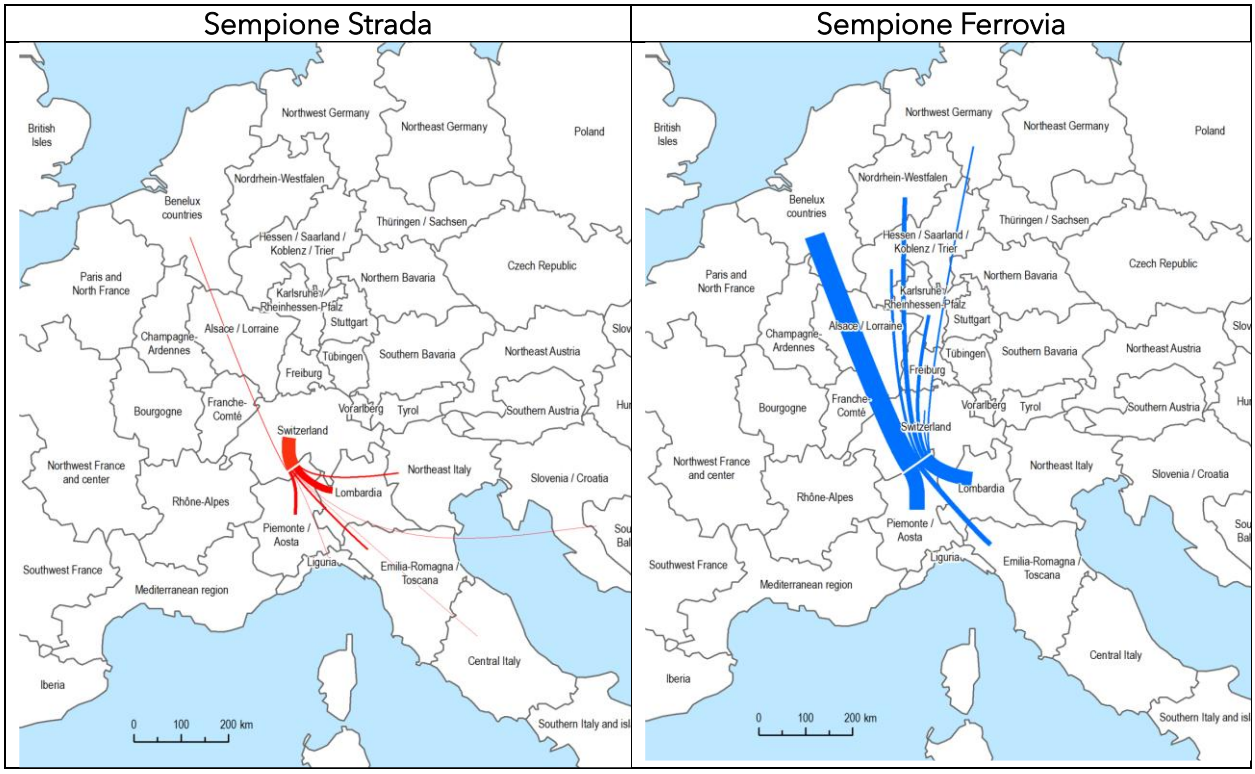


Figura 3-1: Principali O/D merci per il Sempione – CAFT 2019

[9] Observation et analyse des flux de transports de marchandises transalpins, Commission Européenne-DG MOVE, Confédération suisse Office fédéral des transports (OFT), 2023

[10] iMONITRAF! Annual Report 2023, INFRAS / Climonomics / Eurac Research.

[11] https://www.asfinag.at/verkehr-sicherheit/verkehrszaehlung/

[12] https://www.tunnelmb.net/it-IT/statistiche-del-traffico

[13] https://www.sitaf.it/t4-traforo-del-frejus/percorso-e-trafficot4/dati-di-traffico/

[14] https://www.are.admin.ch/are/it/home/mobilita/programmi-e-progetti/mag.html

[15] Transalpine Freight Traffic Flows: Summary Report on CAFT-Surveys 2019, European Commission-DG MOVE, Swiss Confederation Federal Office of Transport (FOT)

[16] Si riportano solo i flussogrammi di alcuni valichi come disponibili nell'ultimo report CAFT 2019.

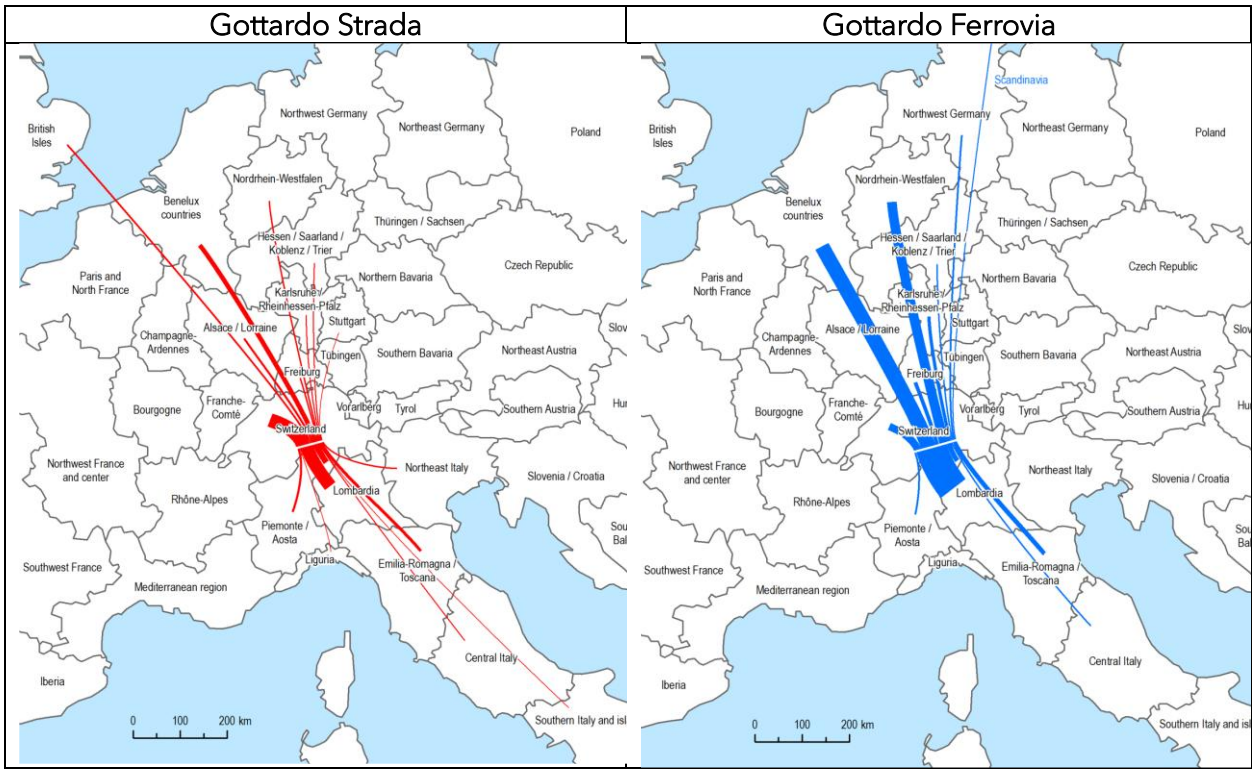


Figura 3-2: Principali O/D merci per il Gottardo – CAFT 2019

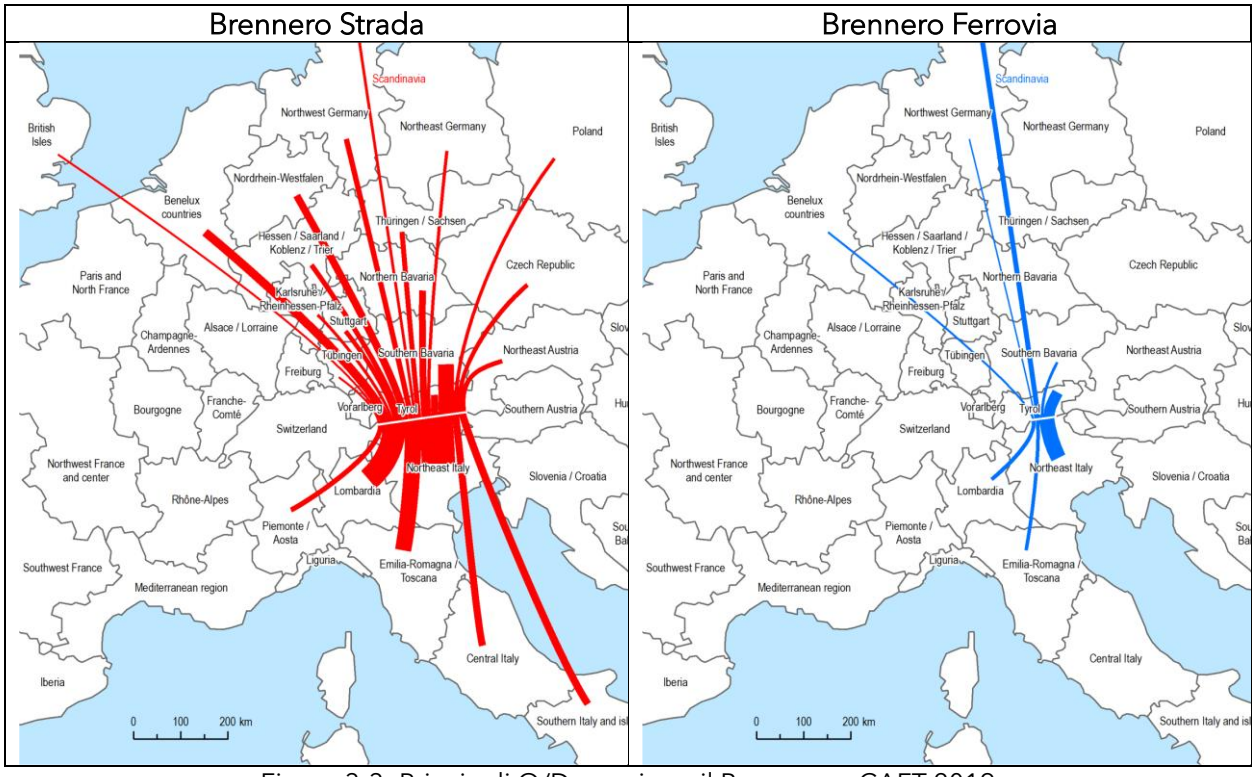


Figura 3-3: Principali O/D merci per il Brennero – CAFT 2019

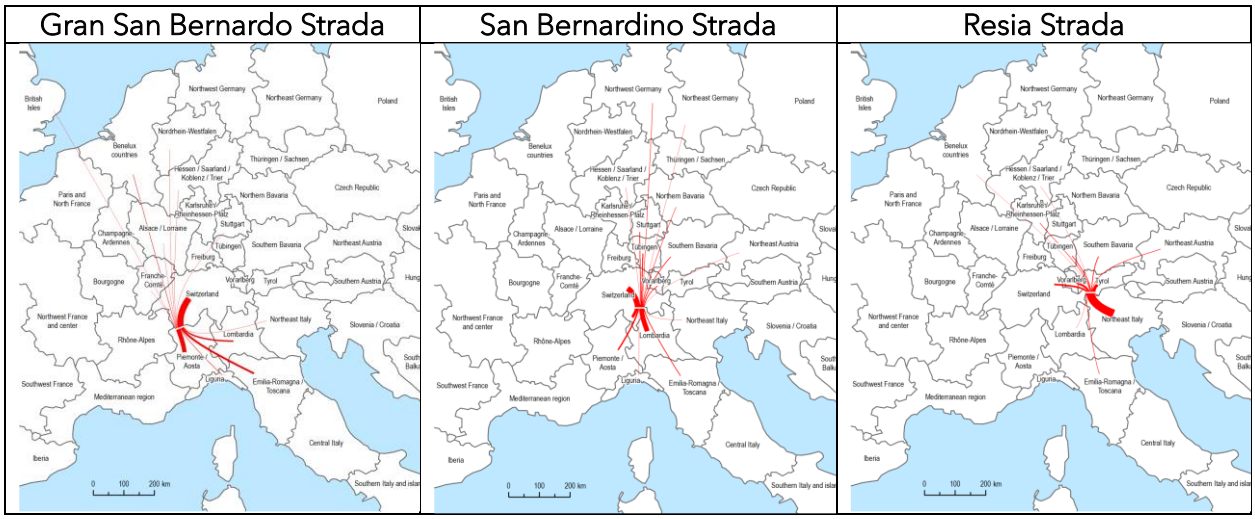


Figura 3-4: Principali O/D merci per G. S. Bernardo, S. Bernardino e Resia – CAFT 2019

3.2 Confronto tra dati osservati e dati stimati

Sulla base di quanto descritto nel paragrafo precedente, utilizzando i dati di traffico e le informazioni sulle principali zone O/D che interessano ciascun valico, il modello è stato calibrato ad una scala coerente con l'area di studio.

Di seguito viene illustrato il confronto tra i dati osservati e i dati stimati da modello per il traffico merci e passeggeri, stradale e ferroviario. Per il traffico merci (stradale e ferroviario) e per il traffico passeggeri stradale, viene mostrato anche il grado di correlazione attraverso l'indicatore R^2. Per il traffico passeggeri su ferrovia non è possibile fornire il grado di correlazione per mancanza di dati osservati sufficienti.

Tabella 3-2: Traffico merci stradale (veicoli/giorno): confronto traffico modellizzato-osservato

VALICO	MODELLIZZATO (veicoli/giorno)	OSSERVATO (veicoli/giorno)	Differenza %
Ventimiglia - A10	4.690	4.454	5%
Fréjus/Moncenisio	2.653	2.529	5%
Monte Bianco	1.947	1.746	12%
Gran San Bernardo	105	86	22%
Sempione	593	486	22%
San Bernardino	498	404	23%
Gottardo	2.237	1.770	26%
Resia	196	248	-21%
Brennero - A22	6.526	7.185	-9%
Brennero - Statale	125	129	-3%
Tarvisio	4.873	3.912	25%
TOTALE	*24.443*	*22.949*	*7%*

Pur considerando il fatto che il modello non è in grado di rappresentare esattamente la

ripartizione dei flussi[17], si evince nel complesso una discreta correlazione tra i dati osservati e quelli modellizzati (cfr. Figura 3-5, Figura 3-6, Figura 3-7): l'indice di correlazione, sia nel caso delle merci (su strada e ferrovia) che in quello dei passeggeri (su strada), risulta vicino al valore unitario, indicando una buona adattabilità del modello ai dati reali.

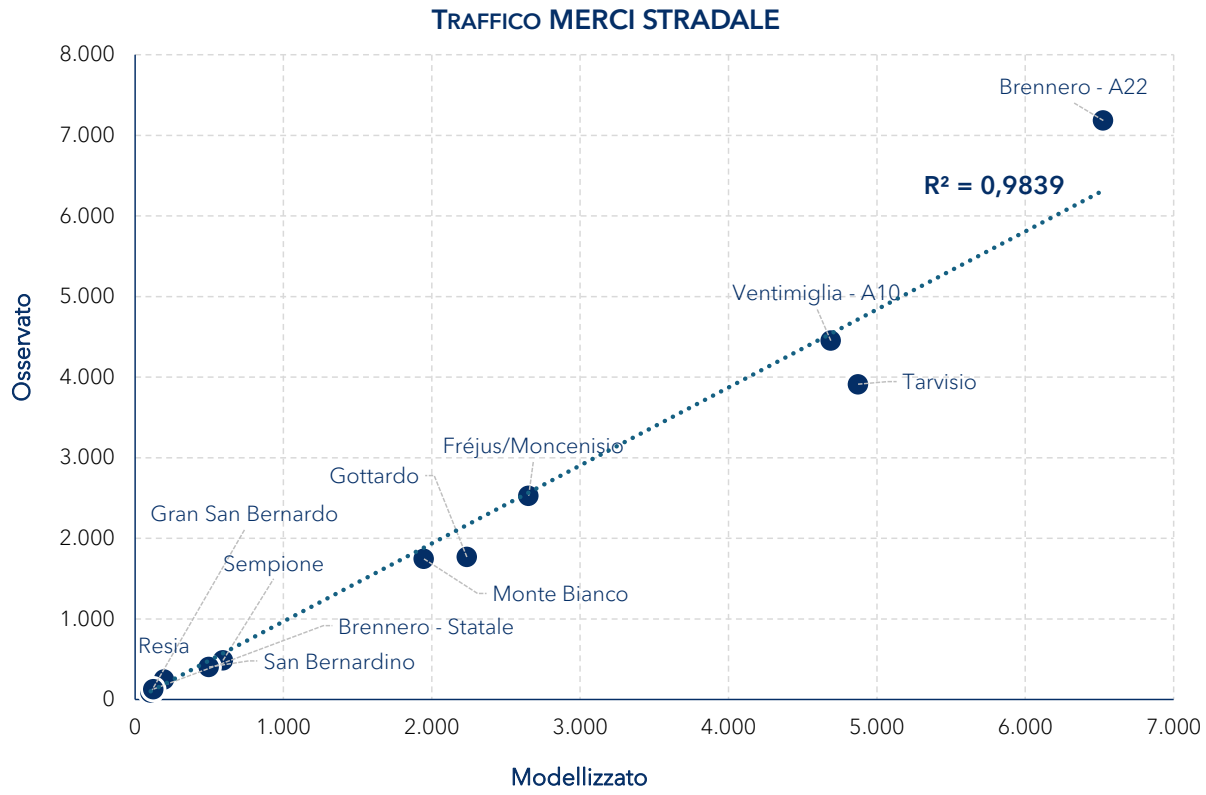


Figura 3-5: Correlazione traffico modellizzato-osservato

Tabella 3-3: Traffico merci ferroviario (tonn/giorno): confronto modellizzato-osservato

VALICO	MODELLIZZATO (tonn/giorno)	OSSERVATO (tonn/giorno)	Differenza %
Ventimiglia	2.414	2.272	6%
Fréjus/Moncenisio	7.919	6.406	24%
Sempione	21.803	23.294	-6%
Gottardo	53.604	49.688	8%
Brennero	37.410	35.324	6%
Tarvisio	30.650	26.936	14%
TOTALE	*153.799*	*143.920*	*7%*

[17] Per esempio, il modello non tiene pienamente conto delle limitazioni presenti in Svizzera.

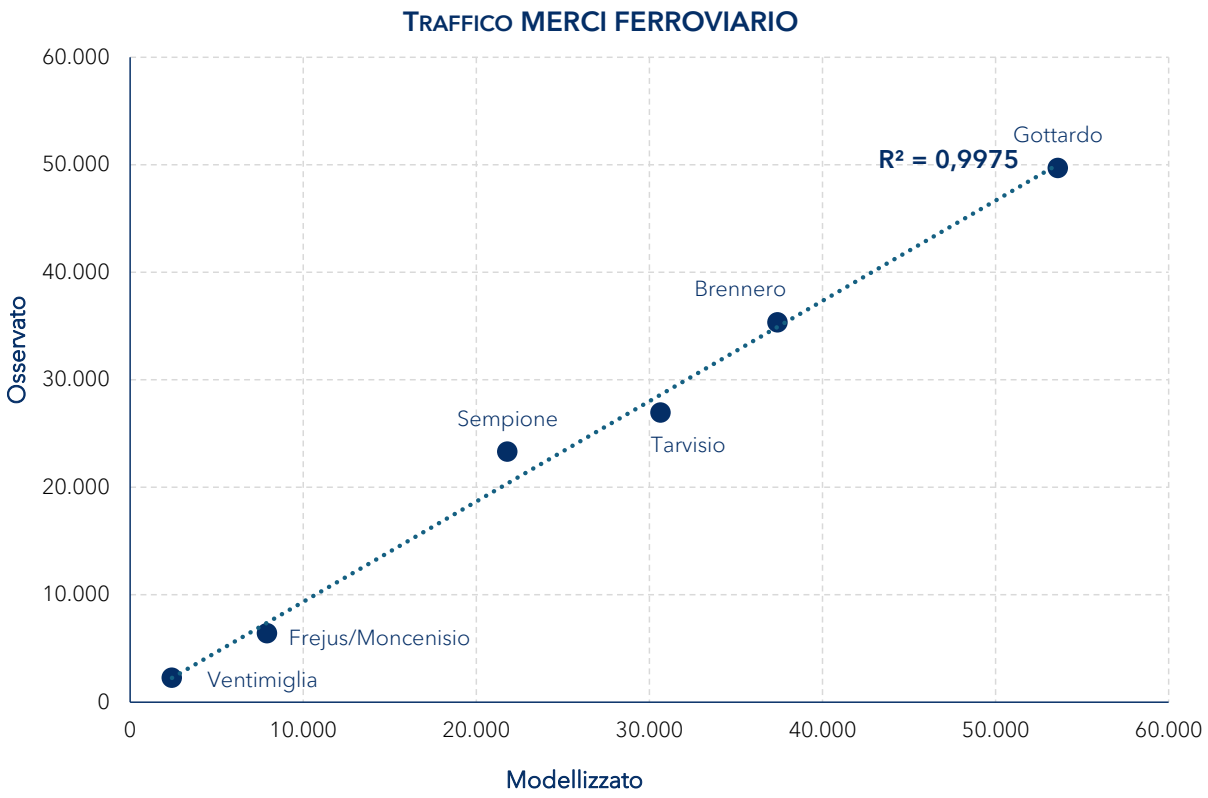


Figura 3-6: Correlazione traffico modellizzato-osservato

Tabella 3-4: Traffico passeggeri stradale (veicoli/giorno): confronto modellizzato-osservato

VALICO	MODELLIZZATO (veicoli/giorno)	OSSERVATO (veicoli/giorno)	Differenza %
Fréjus/Moncenisio	4.122	3.225	28%
Monte Bianco	4.138	3.799	9%
Gottardo	15.739	16.500	-5%
Brennero - A22	24.872	24.666	1%
Brennero - Statale	4.513	4.998	-10%
Tarvisio	10.614	11.660	-9%
TOTALE	*63.998*	*64.848*	*-1%*

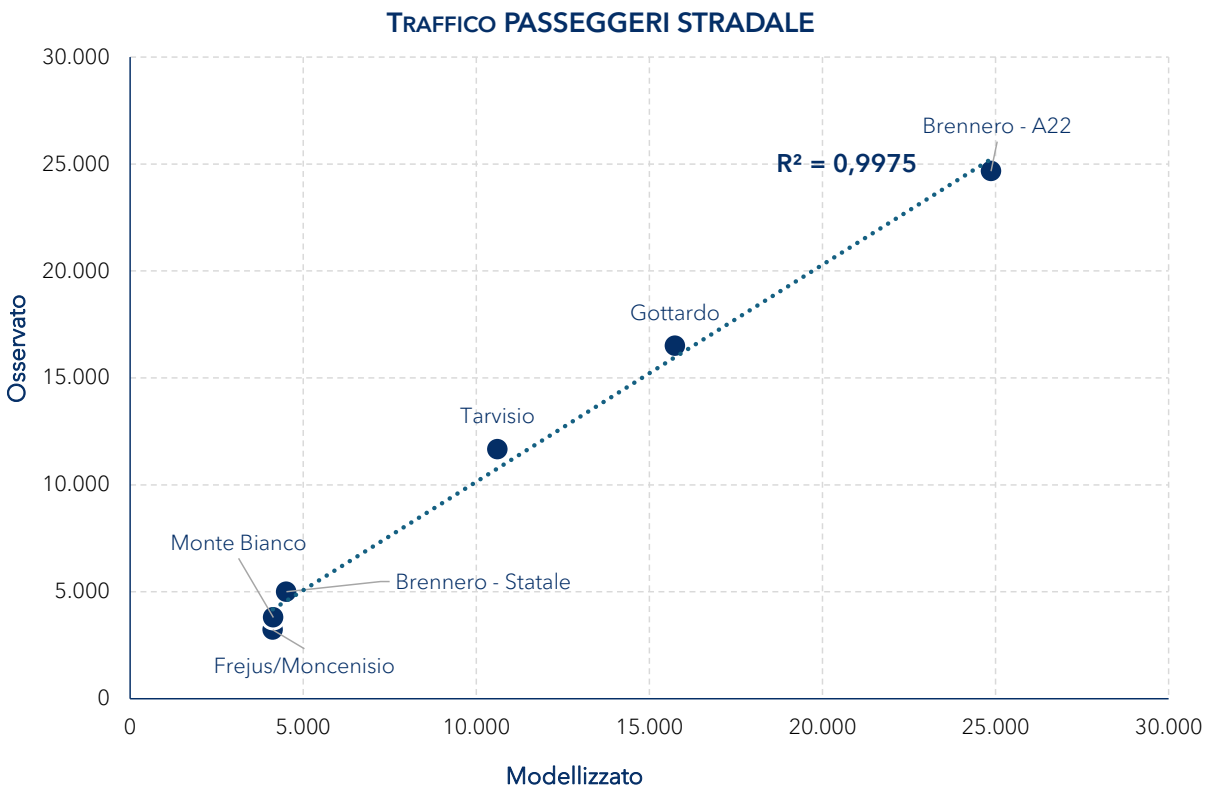


Figura 3-7: Correlazione traffico modellizzato-osservato

Per quanto riguarda il traffico passeggeri su ferrovia, non ci sono sufficienti dati osservati che consentano di analizzare la correlazione con i dati modellizzati. L'unico dato disponibile, in questo caso, è il monitoraggio dell'asse del Gottardo: circa 12.500 passeggeri osservati nel 2023 contro una stima di 13.300 passeggeri. La differenza modellizzato – osservato è dunque di appena il 6%.

4 SIMULAZIONE DI SCENARI PERTURBATIVI

Nell'ambito della valutazione della resilienza dei valichi alpini sono stati ipotizzati quattro scenari per simulare e studiare il comportamento del traffico in presenza di **riduzioni multiple, parziali o totali, della capacità delle infrastrutture**[18]:

- **due scenari al 2025** (SC25-1 e SC25-2), rappresentano lo stato con domanda di traffico e offerta di rete attuale in presenza di ipotetiche "perturbazioni"
- **due scenari al 2040** (SC40-1 e SC40-2), rappresentano lo stato con domanda di traffico e offerta di rete futura, al 2040, anno entro il quale è previsto il completamento della rete centrale estesa del TEN-T e, in particolare, l'ultimazione delle due gallerie di base ferroviarie (Fréjus e Brennero).

Nella tabella seguente è rappresentato un quadro sinottico dei quattro scenari simulati.

Tabella 4-1: Quadro sinottico degli scenari simulati al 2025 e al 2040

ANNO	COD.	DESCRIZIONE	CONFINE	VALICO	INFRASTRUTTURE INTERDETTE
2025	SC25-1	Interruzioni multiple 2 FR 1 CH 1AT		Fréjus/Moncenisio	Ferrovia storica
				Monte Bianco	Autostrada T1-A5
				Gottardo	Ferrovia
				Brennero	Autostrada A22/A12*
	SC25-2	Interruzioni multiple 1 FR 2 CH 1 AT 1 SI		Ventimiglia	Autostrada A10
				Sempione	Ferrovia
				Gottardo	Autostrada A2
				Brennero	Ferrovia
				Fernetti	Autostrada A3
2040	SC40-1	Interruzioni multiple *[SC25-1]* 2 FR 1 CH 1 AT		Fréjus/Moncenisio	Ferrovia storica
				Monte Bianco	Autostrada T1-A5 *(1 canna)*
				Gottardo	Ferrovia
				Brennero	Autostrada A22/A12**
	SC40-2	NLTL + BBT *off* 1 FR 1 AT		Fréjus/Moncenisio	Ferrovia NLTL
				Brennero	Ferrovia BBT

** Riduzione carreggiata (lavori Ponte Lueg); ** Riduzione carreggiata (lavori Ponte Europa)*

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i quattro scenari con le loro caratteristiche e i risultati delle simulazioni, in termini di variazione dei flussi. Nei capitoli successivi vengono analizzate le variazioni dei tempi e delle distanze percorse, da cui deriva il calcolo dei costi di trasporto (diretti ed esterni). Entrambi i gruppi di scenario (2025 e 2040) vengono confrontati con lo

[18] Uno studio a parte, commissionato dalla Camera di commercio di Bolzano a Uniontrasporti nell'ambito della terza edizione del Programma Infrastrutture del sistema camerale (F.p. 2023-2024) è stato dedicato al solo valico del Brennero con l'obiettivo di stimare gli impatti dei lavori di ammodernamento del Ponte Lueg (con contestuale riduzione della carreggiata) e la simulazione di uno scenario "*Worst Case Brenner*" che ipotizza la chiusura completa del valico autostradale.

scenario base di riferimento che considera un'offerta di rete e una domanda di trasporto rispettivamente al 2025 (SC25-0) e al 2040 (SC40-0).

Lo scopo è quello di evidenziare quali direttrici di traffico, sia stradale che ferroviario, si troverebbero ad affrontare situazioni critiche e, dunque, allertare le autorità competenti affinché siano preparate a pianificare possibili misure di gestione del traffico e delle infrastrutture stesse per alleviare i disagi causati ai territori che si vedono improvvisamente attraversati da flussi di traffico molto maggiori rispetto alla consuetudine.

Per una corretta interpretazione dei risultati di simulazione, è necessario considerare i seguenti vincoli modellistici:

- **Invarianza della domanda (ripartizione modale e assegnazione)**. Il modello opera a matrice di traffico costante. Di conseguenza, anche in scenari di emergenza severa, il volume totale dei passeggeri e delle merci trasportate rimane invariato rispetto allo scenario base, venendo riallocato tra le diverse modalità (strada/ferrovia) o itinerari. Nella realtà, interruzioni prolungate potrebbero causare una contrazione della domanda o una variazione delle matrici di origine/destinazione (ad esempio, nel caso delle merci, il cambio di fornitori o la riduzione degli scambi transfrontalieri)[19].
- **Scala del modello**. Lo strumento utilizzato è un modello strategico a scala europea, progettato per analizzare macro-fenomeni di flusso. Non è idoneo alla micro-simulazione del traffico, pertanto non permette di analizzare fenomeni puntuali come la formazione di code o le fluttuazioni della congestione nelle ore di punta.
- **Localizzazione delle interruzioni**. L'impatto sulla ridistribuzione dei flussi è strettamente dipendente dall'esatta ubicazione del disservizio. Dato che tutte le interruzioni sono ipotetiche, i risultati ottenuti risentono della scelta arbitraria dei punti di interruzione identificati sulla rete di trasporto in fase di definizione dello scenario.

CHIAVE DI LETTURA DEGLI OUTPUT

Per una corretta lettura delle elaborazioni presenti nei paragrafi successivi, è opportuno tenere presente che: nei ***flussogrammi*** *la colorazione in verde si riferisce a una riduzione del flusso di traffico (quindi una variazione "negativa" del traffico rispetto allo scenario di riferimento), mentre la colorazione in rosso rappresenta un aumento del traffico (quindi una variazione "positiva" rispetto allo scenario di riferimento); nelle* ***tabelle****, invece, la colorazione in azzurro evidenzia le interruzioni simulate nello scenario, mentre il testo in grassetto evidenzia i valichi con l'incremento di traffico più rilevante.*

Inoltre, figure e tabelle vengono distinte per tipologia di traffico (merci e passeggeri) e modo (strada e ferrovia), ma vanno lette contestualmente, dato che gli scenari simulano ***interruzioni multiple*** *che si verificano contemporaneamente* ***sia su strada che su ferrovia****.*

Nota*: per la conversione da autoveicoli a numero di passeggeri si utilizza un fattore di carico pari a 1,72 passeggeri/veicolo; per i veicoli pesanti, la conversione in tonnellate avviene tramite un coefficiente di riempimento di 14 tonnellate/veicolo.*

[19] Fenomeni che esulano dalle capacità di un modello di trasporto standard.

4.1 Scenari al 2025

I due scenari al 2025 fanno riferimento a interruzioni già pianificate a cui si sommano interruzioni multiple non previste e contemporanee su diverse direttrici. Si tratta, dunque, di scenari che simulano situazioni di emergenza ispirandosi, nel caso del primo scenario (SC25-1), a quanto realmente accaduto (frana della Maurienne, incidente ferroviario sul Gottardo) o pianificato (chiusure per manutenzione del Monte Bianco, lavori di ammodernamento del Ponte Lueg).

4.1.1 Scenario 2025-1

Nel primo scenario al 2025 (SC25-1) le interruzioni multiple ipotizzate sono le seguenti:

- **verso la Francia** la chiusura della linea ferroviaria storica del Fréjus/Moncenisio e del tunnel stradale del Monte Bianco
- **verso la Svizzera** l'interruzione del servizio ferroviario lungo l'asse del Gottardo
- **verso l'Austria** la riduzione di carreggiata dell'asse autostradale dovuta ai lavori di ammodernamento del Ponte Lueg.

Nelle figure seguenti si riportano i punti di interruzione considerati in questo scenario. In particolare, la Figura 4-3 mostra che l'interruzione lungo l'asse del Gottardo è posizionata in modo tale da impedire l'accesso ad entrambi i rami della ferrovia.



Figura 4-1: Punto di interruzione della linea storica del Fréjus (Scenario SC25-1)



Figura 4-2: Punto di interruzione Tunnel Monte Bianco (Scenario SC25-1)

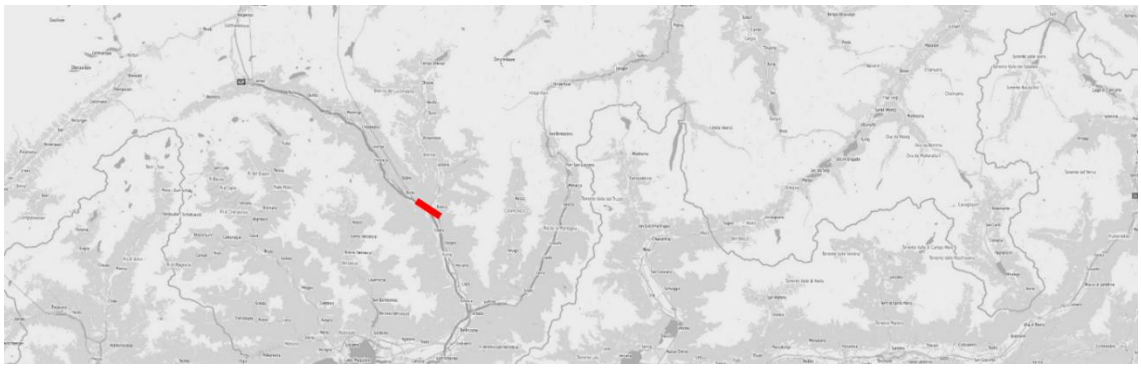


Figura 4-3: Punto di interruzione sulla Ferrovia del Gottardo (Scenario SC25-1)

Per quanto riguarda la riduzione di carreggiata lungo l'asse del Brennero (ammodernamento del Ponte Lueg), si è assunto che la capacità disponibile per i mezzi pesanti si riduca di due terzi e per i mezzi leggeri si riduca di un terzo. La velocità a deflusso libero per i mezzi pesanti è stata abbassata a 50km/h e per i mezzi leggeri a 80 km/h.

Flussi di traffico MERCI

Ipotizzando che si verifichino le interruzioni sopra descritte, il traffico merci sulle strade e sulle ferrovie dei principali valichi di frontiera varia rispetto allo scenario di riferimento (SC25-0) come mostrato nelle tabelle e nelle figure seguenti.

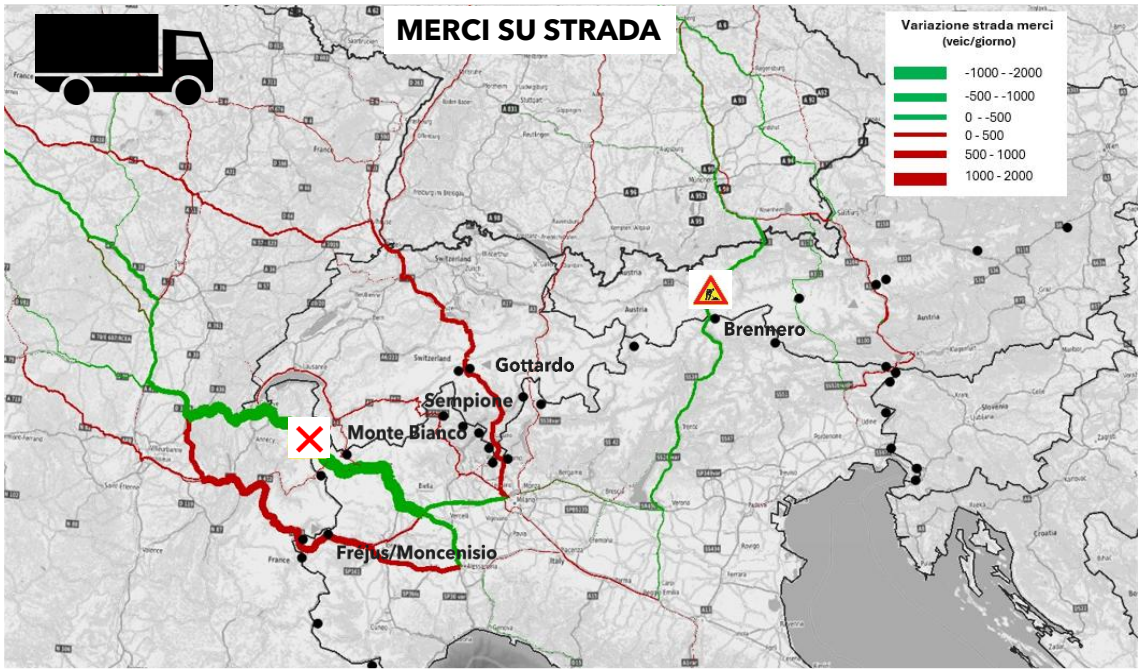


Figura 4-4: Flussogramma delle differenze tra SC25-0 e SC25-1, traffico merci su strada (output simulazione con modello TRUST)

Si evince un aumento considerevole del **traffico merci su strada** su diversi valichi del Nord Ovest per compensare le chiusure della linea ferroviaria del Moncenisio e del tunnel del Monte Bianco. I maggiori incrementi si registrano sulle direttrici autostradali del Fréjus (+41,5%, +1.100 veicoli/giorno) e del Gottardo (+54,2%, +1.212 veicoli/giorno). Percentualmente cresce molto anche il traffico al Sempione (+92,2%) e al Gran San Bernardo (+189,5%), ma i numeri di partenza, in questo caso, sono ridotti. Questi due valichi assorbono parzialmente le

quote di traffico inibite dall'utilizzo della linea ferroviaria del Gottardo. Nell'area Nord Ovest, si rileva lo scarso utilizzo della A10 e della SS1 (Ventimiglia) come via alternativa per i traffici da/verso la Francia. Per quanto riguarda gli effetti delle limitazioni sulla A22 del Brennero, dall'analisi modellistica emerge c'è una riduzione contenuta che viene assorbita in gran parte dal Tarvisio.

Tabella 4-2: Flussi di traffico merci su strada - Scenario SC25-1

CONFINE	VALICO	SC25-0 (veic/giorno)	SC25-1 (veic/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia A10	4.690	4.714	24	+0,5%
	Ventimiglia SS1	640	640	-	0%
	Fréjus A32/T4	2.653	3.753	1.100	**+41,5%**
	Monte Bianco A5/T1 ✕	1.947			*Chiusura tunnel*
IT - CH	**G. S. Bernardo SS27/T2**	105	304	199	**+189,5%**
	Sempione SS33	593	1.140	547	**+92,2%**
	Gottardo A2	2.237	3.449	1.212	**+54,2%**
	Gottardo Passo	18	18	-	0%
	San Bernardino A13	498	538	40	+8,0%
IT - AT	Resia SS40	196	201	5	+2,6%
	Brennero A22 ⚠	6.526	6.116	- 410	-6,3%
	Brennero SS12	125	125	-	0%
	Tarvisio A23	4.873	5.134	261	+5,4%
AT	*Felbertauern*	*205*	*208*	*3*	*+1,5%*
IT – SI	Fernetti RA13	386	386	0	0%
TOTALE		25.692	26.726	1.034	+4,0%

Nell'interpretare i risultati del modello, è necessario considerare che la deviazione dei flussi dall'asse transalpino francese a quello elvetico non è un processo lineare basato esclusivamente sulla percorrenza chilometrica.

PROCEDURA DOGANALE DI TRANSITO ATTRAVERSO LA SVIZZERA
Possibile collo di bottiglia finanziario

L'utilizzo del territorio elvetico come alternativa ai valichi diretti intra-UE (es. Italia-Francia) non costituisce un semplice cambio di rotta, ma il passaggio a un differente regime giuridico e doganale. Poiché la Svizzera non fa parte dell'Unione Doganale, le merci comunitarie che ne attraversano il territorio devono circolare in Regime di Transito Comune (documento T2) che implica:

- *Adempimenti documentali: ogni spedizione richiede l'emissione di una dichiarazione doganale di transito e la gestione dei flussi informativi tramite il sistema NCTS (New Computerised Transit System)*
- *Costi operativi: oltre ai diritti fissi di emissione (~30/50 €), la procedura richiede la gestione fisica della documentazione di scorta da parte del conducente.*

L'aspetto più critico è la costituzione della garanzia.

Per ogni operazione di transito, lo spedizioniere (obbligato principale) deve prestare una fideiussione a copertura dell'obbligazione tributaria (IVA e dazi) potenzialmente esigibile in caso di irregolarità che implica:

- *Esposizione finanziaria: in base alla normativa vigente (Regolamento R-14-01[20]), l'impegno medio stimato è di circa 10.000 € per unità di carico*
- *Vincolo di liquidità: tale somma rimane vincolata sul "plafond" dello spedizioniere dal momento della partenza fino alla notifica di "Arrivo a destinazione" e al conseguente scarico della bolletta nel sistema NCTS.*

⚠ Senza un accordo preventivo – o un meccanismo di cauzione collettiva – le implicazioni sugli **oneri amministrativi e finanziari** diventano il vero limite alla continuità dei flussi.

[20] https://www.bazg.admin.ch/it/regime-comune-transito-ptc

Il passaggio attraverso il territorio svizzero impone agli operatori l'assolvimento di formalità doganali obbligatorie (Regime di Transito Comune), che introducono oneri amministrativi e costi impliciti non trascurabili. Tali **barriere procedurali e finanziarie** suggeriscono che, in uno scenario reale, la propensione degli autotrasportatori a deviare verso i valichi svizzeri potrebbe essere inferiore a quella stimata, portando una quota significativa di traffico a privilegiare la permanenza all'interno del territorio UE (es. via Fréjus/Moncenisio), nonostante le potenziali congestioni.

Per quanto riguarda il **traffico merci su ferrovia**, l'interruzione contemporanea della linea ferroviaria del Fréjus e di quella del Gottardo rappresenta un forte shock per i traffici ferroviarie ed intermodali nelle direttrici est/ovest e nord/sud che solo in parte viene assorbito da un aumento dei flussi sui passaggi di Ventimiglia (+45,7%), Sempione (44,7%), Brennero (+24,6%) e Tarvisio (+13,2%). In termini assoluti, il valico del Sempione è quello che vede l'incremento maggiore (+9.747 tonnellate/giorno), seguito da quello del Brennero (+9.191 tonnellate/giorno).

Tabella 4-3: Flussi di traffico merci su ferrovia – Scenario SC25-1

CONFINE	VALICO	SC25-0 (tonn/giorno)	SC25-1 (tonn/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia	2.414	3.517	1.103	**+45,7%**
	Fréjus/Moncenisio ✕	7.919	*Chiusura linea storica*		
IT - CH	Sempione	21.803	31.549	9.746	**+44,7%**
	Gottardo ✕	53.640	*Chiusura linea Gottardo*		
IT - AT	Brennero	37.410	46.601	9.191	**+24,6%**
	Tarvisio	31.234	35.372	4.138	**+13,2%**
IT – SI	Villa Opicina	30.650	30.688	38	+0,1%
TOTALE		185.070	147.727	-37.343	-20,2%

Convertendo il numero di veicoli stradali in tonnellate è possibile confrontare le tonnellate che complessivamente attraversano giornalmente i valichi nei due modi, stradale e ferroviario. Dal confronto si osserva che il numero totale di tonnellate di merce che transita ai valichi nello scenario simulato è inferiore rispetto a quello dello scenario di riferimento (~522 mila tonn/giorno vs circa 545 mila tonn/giorno). Infatti, su strada si ha un incremento di circa 14.500 tonnellate/giorno mentre su ferrovia una contrazione di circa 37.400 tonnellate/giorno, con una differenza di circa 22.900 tonnellate.

Poiché l'assegnazione avviene a matrice costante (come evidenziato nell'introduzione del capitolo), questa diminuzione rivela che, nello scenario simulato, parte della merce percorre itinerari che non attraversano i valichi maggiori considerati nell'area di studio[21].

[21] Una componente di traffico di lunga percorrenza, seppur irrisoria, devia a nord delle Alpi. Ad esempio: aumentano leggermente i flussi di veicoli merci su strada che da Romania e Bulgaria si dirigono verso il Benelux seguendo itinerari attraverso Ungheria, Austria, Repubblica Ceca e Germania; una componente di traffico di attraversamento, sempre minoritaria, con origine nei Paesi Baltici e in

In merito alla criticità doganale evidenziata per gli attraversamenti in territorio elvetico, si può affermare che il trasporto merci su ferro opera in un regime di vulnerabilità ridotta rispetto a quanto avviene per l'autotrasporto[22].

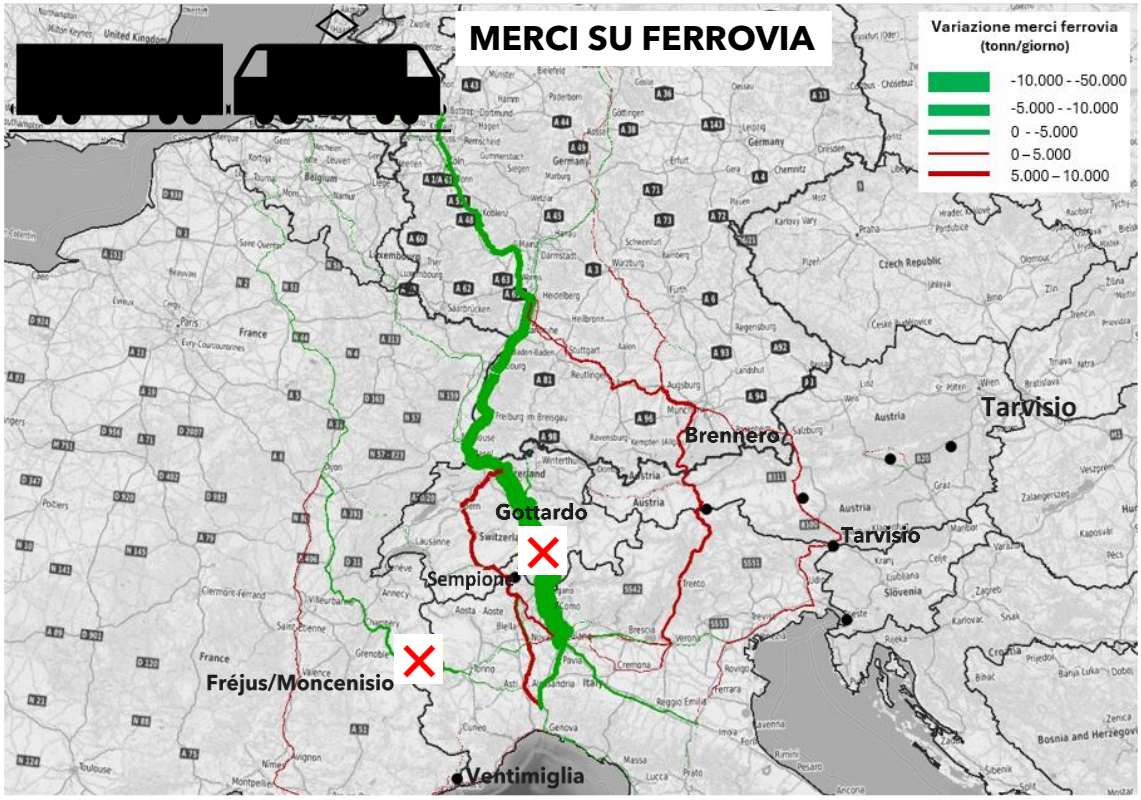


Figura 4-5: Flussogramma delle differenze tra SC25-1 e SC25-0, traffico merci su ferrovia (output simulazione con modello TRUST)

Flussi di traffico PASSEGGERI

Per quanto riguarda il **traffico passeggeri su strada**, con la stessa logica di rappresentazione utilizzata per il segmento merci, la Tabella 4-4 e la Figura 4-6 mostrano le differenze dei flussi di autoveicoli tra scenario simulato (SC25-1) e scenario di riferimento (SC25-0).

Polonia e destinazione il Sud della Francia e la Penisola Iberica, attraversa la Germania da est a ovest all'altezza di Berlino-Dortmund.

[22] L'autotrasporto subisce direttamente il frazionamento delle garanzie fideiussorie (che gravano sui singoli spedizionieri) e l'onere delle soste ai valichi. Il trasporto ferroviario, invece, beneficia di procedure di "Transito Semplificato" (utilizzo della lettera di vettura CIM come documento doganale) e di una gestione centralizzata delle garanzie da parte delle imprese ferroviarie, che annulla di fatto il rischio di saturazione finanziaria dei plafond durante i flussi emergenziali.

Tabella 4-4: Flussi di traffico passeggeri su strada – Scenario SC25-1

CONFINE	VALICO	SC25-0 (veic/giorno)	SC25-1 (veic/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia A10	40.169	40.253	84	+0,2%
	Ventimiglia SS1	11.151	11.162	11	+0,1%
	Fréjus A32/T4	4.122	5.299	1.177	**+28,6%**
	Monte Bianco A5/T1 ✕	4.138			*Chiusura tunnel*
IT - CH	**G. S. Bernardo SS27/T2**	585	1.931	1.346	**+230,1%**
	Sempione SS33	2.397	3.784	1.387	**+57,9%**
	Gottardo A2	15.744	21.791	6.047	**+38,4%**
	Gottardo Passo	366	366	-	-
	San Bernardino A13	7.575	8.528	953	**+12,6%**
IT - AT	Resia SS40	741	760	19	+2,6%
	Brennero A22 ⚠	24.806	18.359	- 6.447	-26,0%
	Brennero SS12	4.499	8.987	4.488	**+99,8%**
	Tarvisio A23	10.802	11.175	373	+3,5%
AT	*Felbertauern*	*4.790*	*5.816*	*1.026*	*+21,4%*
IT – SI	Fernetti RA13	3.724	3.732	8	+0,2%
TOTALE		135.609	141.943	6.334	+4,7%

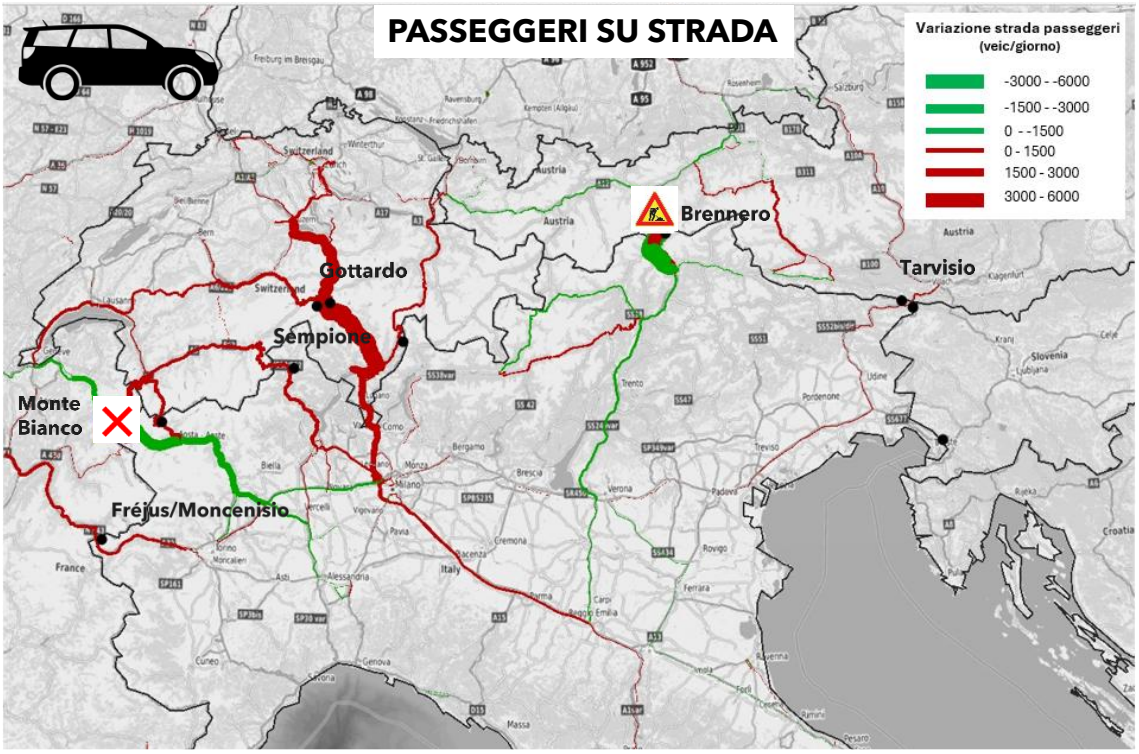


Figura 4-6: Flussogramma delle differenze tra SC25-1 e SC25-0, traffico passeggeri su strada (output simulazione con modello TRUST)

Analogamente si riportano i risultati relativi al **traffico passeggeri su ferrovia** (Tabella 4-5 e Figura 4-7) che mostrano le differenze dei flussi passeggeri tra scenario simulato (SC25-1) e scenario di riferimento (SC25-0).

Tabella 4-5: Flussi di traffico passeggeri su ferrovia – Scenario SC25-1

CONFINE	VALICO	SC25-0 (pax/giorno)	SC25-1 (pax/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia	2.370	2.370	-	-
	Fréjus/Moncenisio ✕	2.193		*Chiusura linea storica*	
IT - CH	Sempione	2.513	3.722	1.209	+48,1%
	Gottardo ✕	13.372		*Chiusura linea Gottardo*	
IT - AT	Brennero	3.018	3.221	203	+6,7%
	Tarvisio	2.510	2.494	- 16	-0,6%
IT – SI	Villa Opicina	336	325	- 11	-3,3%
TOTALE		26.312	12.132	-14.180	-54,2%

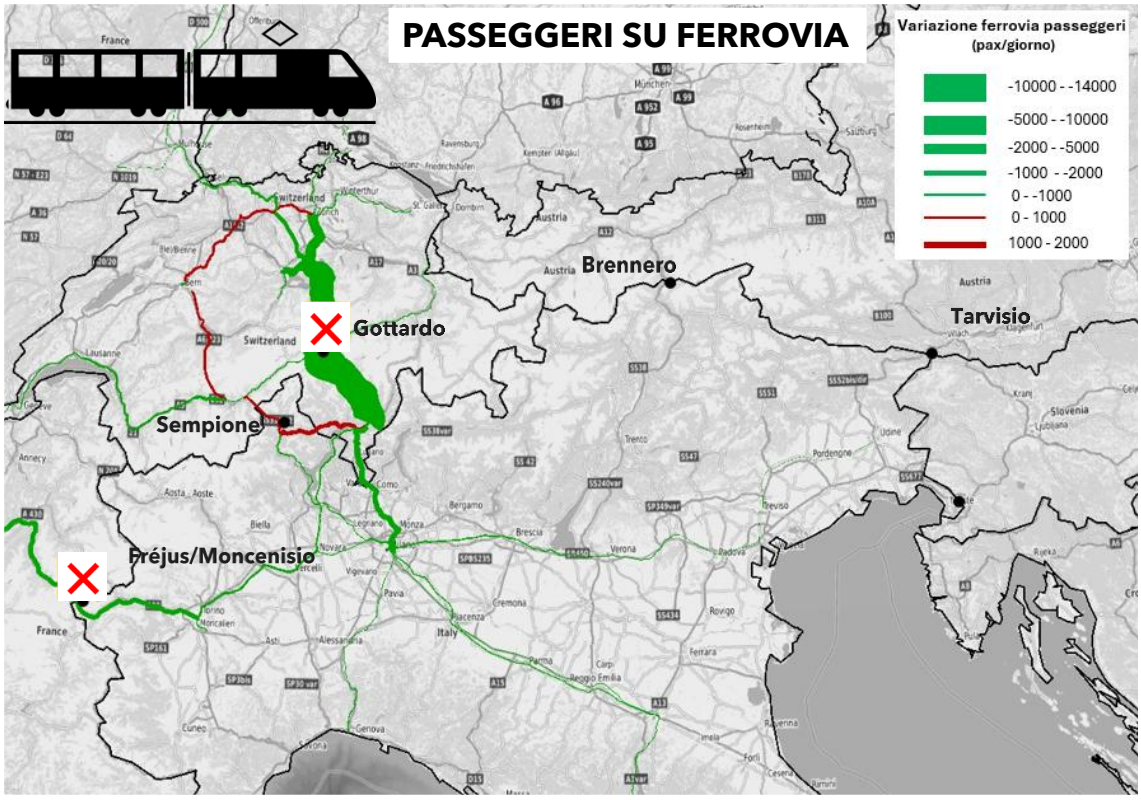


Figura 4-7: Flussogramma delle differenze tra SC25-1 e SC25-0, traffico passeggeri su ferrovia (output simulazione con modello TRUST)

Convertendo il numero di autoveicoli in numero di passeggeri è possibile osservare che, nello scenario simulato, i passeggeri su strada aumentano di circa 10.900 unità, mentre quelli su ferrovia diminuiscono di circa 14.200 unità. Nel bilancio dei due modi, strada e ferrovia, si rileva una differenza di circa 3.300 passeggeri. Come nel caso delle merci, questa differenza non significa una diminuzione della domanda di traffico passeggeri (dato che è fissa): quello che avviene è uno spostamento sul modo aereo di parte del traffico ferroviario di lunga percorrenza (il modello stima una diversione modale di circa 1.300 passeggeri, pari a circa il 9% dei passeggeri che abbandonano la modalità ferroviaria) e uno spostamento di parte del

traffico stradale (circa 2.000 passeggeri, pari a circa 1.200 veicoli/giorno) su "valichi minori"[23] (itinerari alternativi secondari rispetto ai valichi principali oggetto dell'analisi) o su percorsi esterni all'area di studio. Come osservato per il traffico ferroviario merci, l'interruzione della ferrovia del Fréjus e di quella del Gottardo provoca un aumento elevato dei flussi ferroviari passeggeri/giorno sul Sempione rispetto allo scenario di riferimento (un incremento del 48,1%). A questo proposito è bene sottolineare che la reale capacità di assorbimento del traffico deviato al Sempione dipende dai vincoli infrastrutturali e dai criteri di gerarchizzazione dei servizi. In scenari di saturazione critica del versante italiano, l'efficacia della resilienza del valico è subordinata a decisioni regolatorie e politiche al fine di garantire la continuità dei flussi merci e dei collegamenti internazionali a lunga percorrenza sui corridoi TEN-T.

VINCOLI DI CAPACITÀ FERROVIARIA DEL SEMPIONE
L'analisi del tunnel del Sempione evidenzia la necessità di verificare l'effettiva disponibilità di tracce orarie per l'assorbimento dei flussi deviati. La saturazione del versante italiano rappresenta il principale fattore limitante per l'incremento del traffico passeggeri e merci stimato dal modello.
Resilienza del Sempione: in scenari di indisponibilità del Fréjus e del Gottardo, la carenza di tracce residue sul versante italiano condiziona l'efficacia del valico quale itinerario di deviazione, nonostante la capacità teorica della galleria.

4.1.2 Scenario 2025-2

Nel secondo scenario al 2025 (SC25-2) le interruzioni multiple ipotizzate sono le seguenti:

- **verso la Francia** l'interruzione del valico autostradale di Ventimiglia
- **verso la Svizzera** l'interruzione della linea ferroviaria del Sempione e del tunnel autostradale del Gottardo
- **verso l'Austria** l'interruzione della linea ferroviaria del Brennero
- **verso la Slovenia** l'interruzione del valico di Fernetti.

Le figure seguenti mostrano i punti di interruzione considerati in questo scenario.



Figura 4-8: Punto di interruzione dell'Autostrada di Ventimiglia (Scenario SC25-2)

[23] Per esempio, si rilevano +250 auto/giorno sul Piccolo San Bernardo.



Figura 4-9: Punto di interruzione della linea ferroviaria del Sempione (Scenario SC25-2)

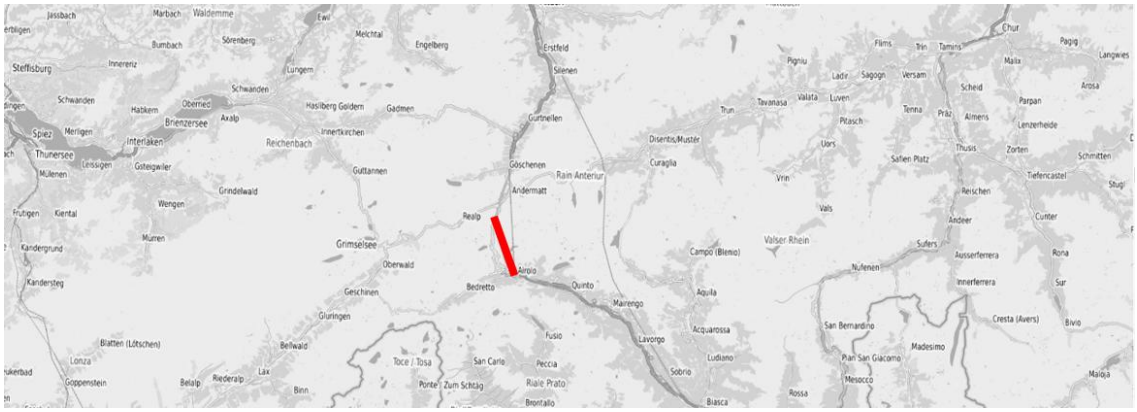


Figura 4-10: Interruzione del tunnel stradale del Gottardo (Scenario SC25-2)

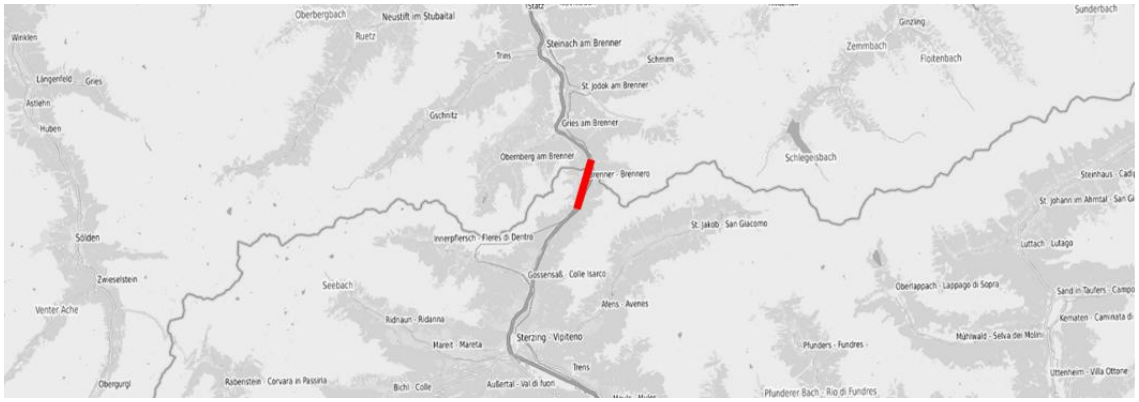


Figura 4-11: Interruzione della linea ferroviaria del Brennero (Scenario SC25-2)



Figura 4-12: Interruzione del valico stradale di Fernetti (Scenario SC25-2)

Le simulazioni vengono realizzate con la rete e la domanda dello scenario di riferimento al 2025, ma, in questo caso, non si tiene conto della riduzione di carreggiata sul Ponte Lueg.

Flussi di traffico MERCI

Ipotizzando che si verifichino le interruzioni multiple sopra descritte, il traffico merci sulle strade e sulle ferrovie dei principali valichi di frontiera varia rispetto allo scenario di riferimento (SC25-0) come mostrato nelle tabelle e nelle figure seguenti.

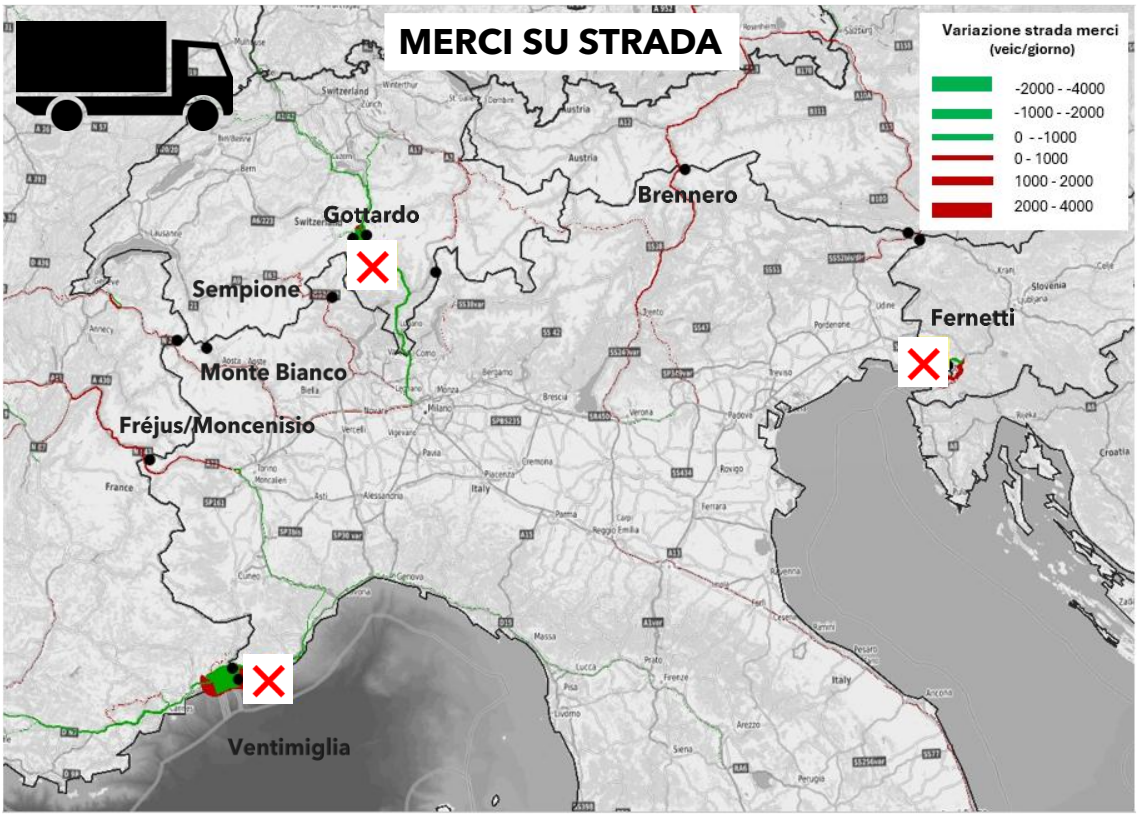


Figura 4-13: Flussogramma delle differenze tra SC25-0 e SC25-2, traffico merci su strada (output simulazione con modello TRUST)

L'assetto trasportistico delineato dallo scenario SC25-2 evidenzia una profonda vulnerabilità del sistema infrastrutturale transalpino, determinata dalla simultanea indisponibilità di nodi nevralgici sia stradali che ferroviari. La chiusura del tunnel autostradale del Gottardo e del valico di Ventimiglia (A10) impone una ridistribuzione forzata dei **flussi merci su gomma** che si concentra in modo critico sulla viabilità ordinaria. Il caso più emblematico è rappresentato dalla **SS1 Statale di Ventimiglia**, dove il volume di traffico pesante subisce un incremento del 664,7%, passando da 640 a quasi 4.900 veicoli giornalieri. Tale carico trasforma l'arteria in un flusso quasi ininterrotto di mezzi pesanti, saturando una geometria stradale caratterizzata da numerosi attraversamenti pedonali, immissioni laterali e centri abitati, che agiscono come colli di bottiglia insuperabili.

LIMITI STRUTTTURALI DELLA STATALE DI VENTIMIGLIA
La percorribilità della SS1 Aurelia è subordinata a due vincoli di saturazione: l'interferenza con il tessuto urbano consolidato, caratterizzato da attraversamenti pedonali e immissioni laterali frequenti; una geometria concepita per la mobilità locale e non per il transito internazionale di massa di mezzi pesanti.
⚠ **Resilienza di Ventimiglia**: l'incremento del +664,7% dei transiti pesanti agisce come un collo di bottiglia. La saturazione della carreggiata annulla ogni margine di manovra per i mezzi di soccorso e paralizza la vivibilità dei centri abitati attraversati.

In questo contesto di emergenza, anche l'analisi del **Passo del Gottardo**, come alternativa viabilistica da/verso la Svizzera, richiede una valutazione tecnica specifica. Sebbene il modello proietti una crescita esponenziale dei transiti sul passo (da 18 a 744 veicoli/giorno), tale soluzione va valutata con attenzione in quanto non risulta attualmente praticabile a causa delle restrizioni imposte dai gestori stradali svizzeri.

Tabella 4-6: Flussi di traffico merci su strada - Scenario SC25-2

CONFINE	VALICO	SC25-0 (veic/giorno)	SC25-2 (veic/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia A10 ✕	4.690			*Chiusura valico*
	Ventimiglia SS1	640	4.894	4.254	**+664,7%**
	Fréjus A32/T4	2.653	3.106	453	+17,1%
	Monte Bianco A5/T1	1.947	2.247	300	+15,4%
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	105	125	20	+19,0%
	Sempione SS33	593	1.063	470	**+79,3%**
	Gottardo A2 ✕	2.237			*Chiusura tunnel*
	Gottardo Passo	18	744	726	**+4.033,3%**
	San Bernardino A13	498	707	209	**+42,0%**
IT - AT	Resia SS40	196	204	8	+4,1%
	Brennero A22	6.526	7.114	588	+9,0%
	Brennero SS12	125	125	-	-
	Tarvisio A23	4.873	5.352	479	+9,8%
AT	*Felbertauern*	*205*	208	3	+1,5%
IT – SI	Fernetti RA13 ✕	386			*Chiusura valico*
TOTALE		25.692	25.889	197	+0,8%

LIMITI DI GEOMETRIA DEL PASSO DEL GOTTARDO

La percorribilità del Passo del Gottardo è subordinata a due vincoli determinanti: in primo luogo, la necessità di garantire l'apertura e la manutenzione invernale costante del tracciato; in secondo luogo, i limiti geometrici insiti nei tornanti e nelle pendenze del valico. Quest'ultimo fattore esclude l'impiego di autoarticolati di grandi dimensioni, la cui sagoma è incompatibile con il raggio di curvatura delle strade di montagna.

Resilienza del Gottardo: l'eventuale autorizzazione al transito, caldeggiata dalle associazioni di categoria come l'ASTAG[24], potrebbe riguardare esclusivamente una sottocategoria di mezzi pesanti con dimensioni compatibili con la geometria del passo, offrendo solo una parziale e condizionata valvola di sfogo, seppur rilevante in casi di emergenza.

Sul **fronte ferroviario**, l'impatto delle interruzioni sulle linee del Sempione e del Brennero costringe il sistema a una massiccia riorganizzazione dei flussi intermodali. La direttrice del Gottardo diventa l'asse portante per il traffico verso la Svizzera – e più in generale verso il centro nord Europa - assorbendo un incremento di oltre 33.000 tonnellate al giorno (+62,1%), un carico che compensa anche la chiusura della linea del Brennero, oltre che quella del Sempione, e che mette a dura prova la capacità residua della rete. Verso la Francia, si osserva un aumento significativo sul valico ferroviario del Fréjus/Moncenisio (da 7.919 a 12.173

[24] https://www.cdt.ch/news/ticino/i-camion-sul-passo-del-san-gottardo-occorre-valutare-gli-aspetti-di-sicurezza-327168

tonnellate giornaliere). Questo dato sottolinea come il tunnel ferroviario del Fréjus diventi una risorsa strategica per assorbire lo shift modale derivante dalla chiusura del Sempione e dalle limitazioni stradali a Ventimiglia. Verso l'Austria, la chiusura del Brennero sposta l'onere del trasporto ferroviario verso il valico di Tarvisio, che registra un aumento del 10,9% nelle merci trasportate. Nonostante questa parziale compensazione, il bilancio complessivo mostra un deficit di oltre 17.000 tonnellate/giorno rispetto allo scenario di riferimento. Tale ammanco indica una deviazione macroregionale dei flussi: l'impossibilità di attraversare l'arco alpino centrale spinge il traffico di lunga percorrenza verso itinerari a nord delle Alpi, collegando direttamente l'Europa sud-orientale al Benelux e alla Germania, con una conseguente perdita di centralità logistica dei valichi italiani.

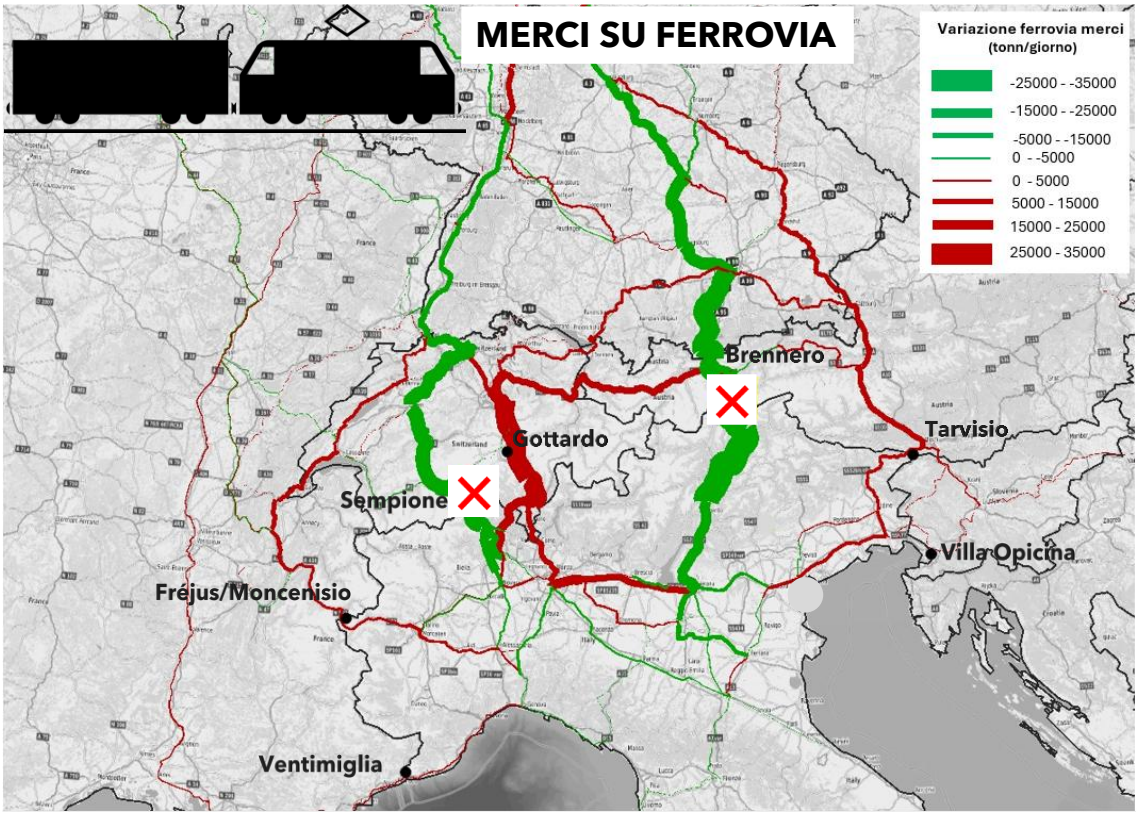


Figura 4-14: Flussogramma delle differenze tra SC25-0 e SC25-2, traffico merci su ferrovia (output simulazione con modello TRUST)

Tabella 4-7: Flussi di traffico merci su ferrovia - Scenario SC25-2

CONFINE	VALICO	SC25-0 (tonn/giorno)	SC25-2 (tonn/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia	2.414	2.764	350	+14,5%
	Fréjus/Moncenisio	7.919	12.173	4.254	**+53,7%**
IT - CH	Sempione ✕	21.803			*Chiusura linea*
	Gottardo	53.640	86.970	33.330	**+62,1%**
IT - AT	Brennero ✕	37.410			*Chiusura linea*
	Tarvisio	31.234	34.627	3.393	+10,9%
IT – SI	Villa Opicina	30.650	31.218	568	+1,9%
TOTALE		185.070	167.752	-17.318	-9,4%

Flussi di traffico PASSEGGERI

Il quadro della **mobilità su strada** nello scenario SC25-2 delinea una situazione particolarmente allarmante per i flussi di attraversamento del passo del Gottardo (+13.000 veicoli/giorno) e di Ventimiglia (+19.800). Se il Passo del Gottardo, tuttavia, si configura come una valvola di sfogo tecnicamente idonea ad accogliere i flussi leggeri, purché venga garantita la manutenzione costante e lo sgombero neve durante tutto l'anno, la **SS1 Statale di Ventimiglia** emerge come l'arteria più critica del sistema, su cui si registra un incremento del +177,3% (da 11.151 a oltre 30.900 veicoli giornalieri). Tale pressione richiede una gestione operativa d'emergenza volta a favorire il traffico in transito rispetto a quello locale per evitare la paralisi totale[25] e la saturazione di varchi minori come il tunnel del Tenda e il Colle della Maddalena.

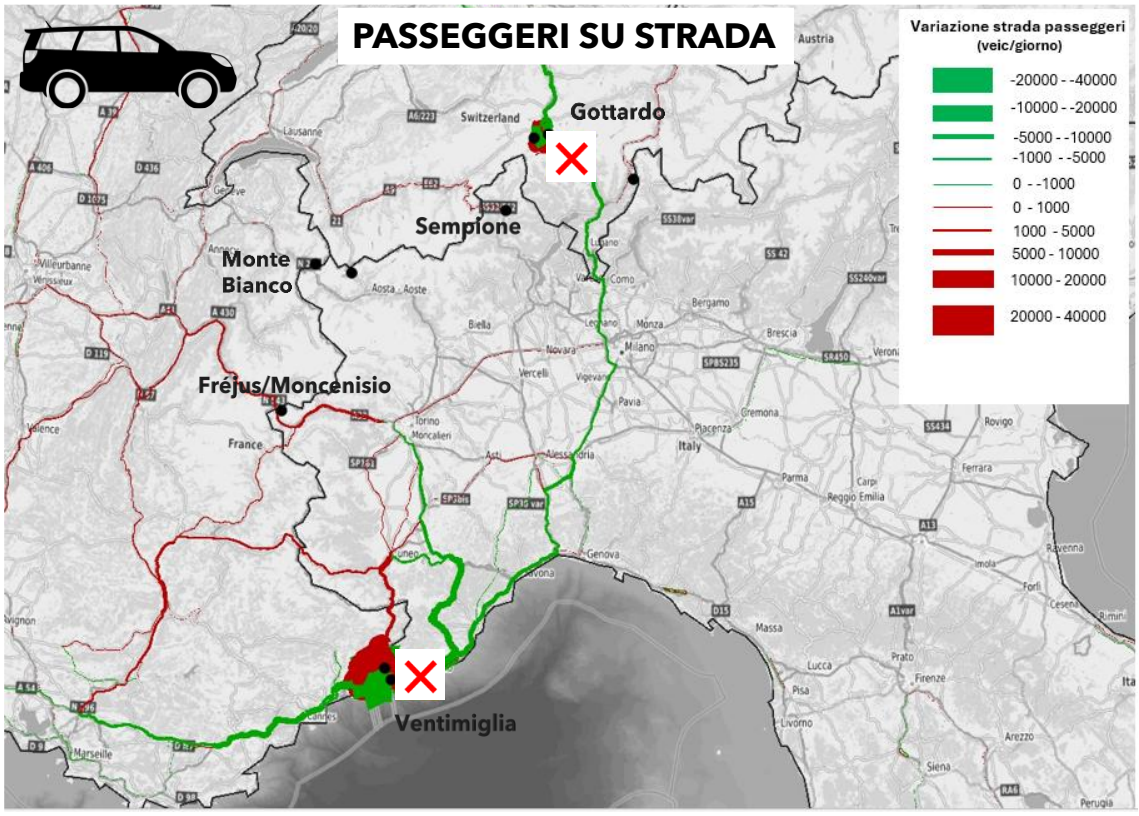


Figura 4-15: Flussogramma delle differenze tra SC25-0 e SC25-2, traffico passeggeri su strada (output simulazione con modello TRUST)

RILEVANZA DEI VALICHI "MINORI"
Dal flussogramma delle differenze dei passeggeri su strada (Figura 4-15) si evince che una parte del traffico passeggeri si sposta anche su valichi minori. Verso la Francia 4.680 passeggeri attraversano il Tunnel di Tenda, 2.970 il colle della Maddalena, 1.300 il Monginevro per un totale di circa 9.000 passeggeri/giorno. Al confine opposto, verso la Slovenia, si incrementa il traffico a Basovizza (+5.000 pax/giorno) e a Gorizia/Nova Gorica (+1.000 pax giorno).

[25] Per mitigare la pressione sui valichi terrestri, una soluzione tecnica di rilievo da valutare è rappresentata dal potenziamento delle autostrade del mare. Attualmente operative tra i porti italiani e quelli spagnoli, queste rotte marittime potrebbero vedere un incremento significativo nel ricorso all'utilizzo per i veicoli pesanti di lunga percorrenza. Qualora l'emergenza dovesse protrarsi, diventerebbe verosimile ipotizzare l'attivazione di servizi analoghi verso i porti francesi, come Nizza, Marsiglia e Tolone, sebbene la realizzabilità di tali ipotesi richieda verifiche tecniche e operative specifiche.

A differenza del comparto merci, per la mobilità delle persone si può ritenere che ci sia una maggiore elasticità e sensibilità alle condizioni di emergenza: l'impossibilità di assorbire l'intero volume di traffico su valichi alternativi determina non solo uno shift verso il vettore aereo, ma può anche comportare una rinuncia strutturale allo spostamento, specialmente per le componenti turistiche, o la scelta di percorsi interni ai Paesi confinanti (come le direttrici interne francesi per i flussi tra l'area di Marsiglia e la Germania).

Tabella 4-8: Flussi di traffico passeggeri su strada - Scenario SC25-2

CONFINE	VALICO	SC25-0 (veic/giorno)	SC25-2 (veic/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia A10 ✕	40.169			*Chiusura valico*
	Ventimiglia SS1	11.151	30.919	19.768	**+177,3%**
	Fréjus A32/T4	4.122	5.913	1.791	**+43,4%**
	Monte Bianco A5/T1	4.138	4.611	473	+11,4%
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	585	665	80	+13,7%
	Sempione SS33	2.397	3.147	750	**+31,3%**
	Gottardo A2 ✕	15.744			*Chiusura tunnel*
	Gottardo Passo	366	13.284	12.918	**+3.529,5%**
	San Bernardino A13	7.575	8.660	1.085	+14,3%
IT - AT	Resia SS40	741	806	65	+8,8%
	Brennero A22	24.806	27.965	3 159	+12,7%
	Brennero SS12	4.499	4.499	-	-
	Tarvisio A23	10.802	11.802	1 000	+9,3%
AT	*Felbertauern*	4.790	5.264	474	+9,9%
IT – SI	Fernetti RA13 ✕	3.724			*Chiusura valico*
TOTALE		135.609	117.535	-18.074	-13.3%

Il **sistema ferroviario**, pur subendo le interruzioni del Sempione e del Brennero, risponde con un reindirizzamento dei flussi verso direttrici alternative. L'asse del Gottardo diventa il cardine della mobilità verso la Svizzera, assorbendo un incremento del 21,3% (circa 2.850 passeggeri aggiuntivi al giorno). Verso la Francia, il valico del Fréjus/Moncenisio registra un aumento del 17,9%, confermando la sua funzione di bypass strategico per i flussi diretti a ovest. Tuttavia, l'incremento più significativo in termini percentuali si osserva al **valico di Tarvisio**, che cresce del 34,1%, consolidandosi come la principale alternativa ferroviaria per i collegamenti con l'Europa centrale a seguito del blocco dell'asse del Brennero.

Tabella 4-9: Flussi di traffico passeggeri su ferrovia - Scenario SC25-2

CONFINE	VALICO	SC25-0 (pax/giorno)	SC25-2 (pax/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia	2.370	2.765	395	+16,7%
	Fréjus/Moncenisio	2.193	2.585	392	+17,9%
IT - CH	Sempione ✕	2.513			*Chiusura linea*
	Gottardo	13.372	16.224	2.852	**+21,3%**
IT - AT	Brennero ✕	3.018			*Chiusura linea*
	Tarvisio	2.510	3.366	856	**+34,1%**
IT – SI	Villa Opicina	336	344	8	+2,4%
TOTALE		26.312	25.284	-1.028	-3,9%

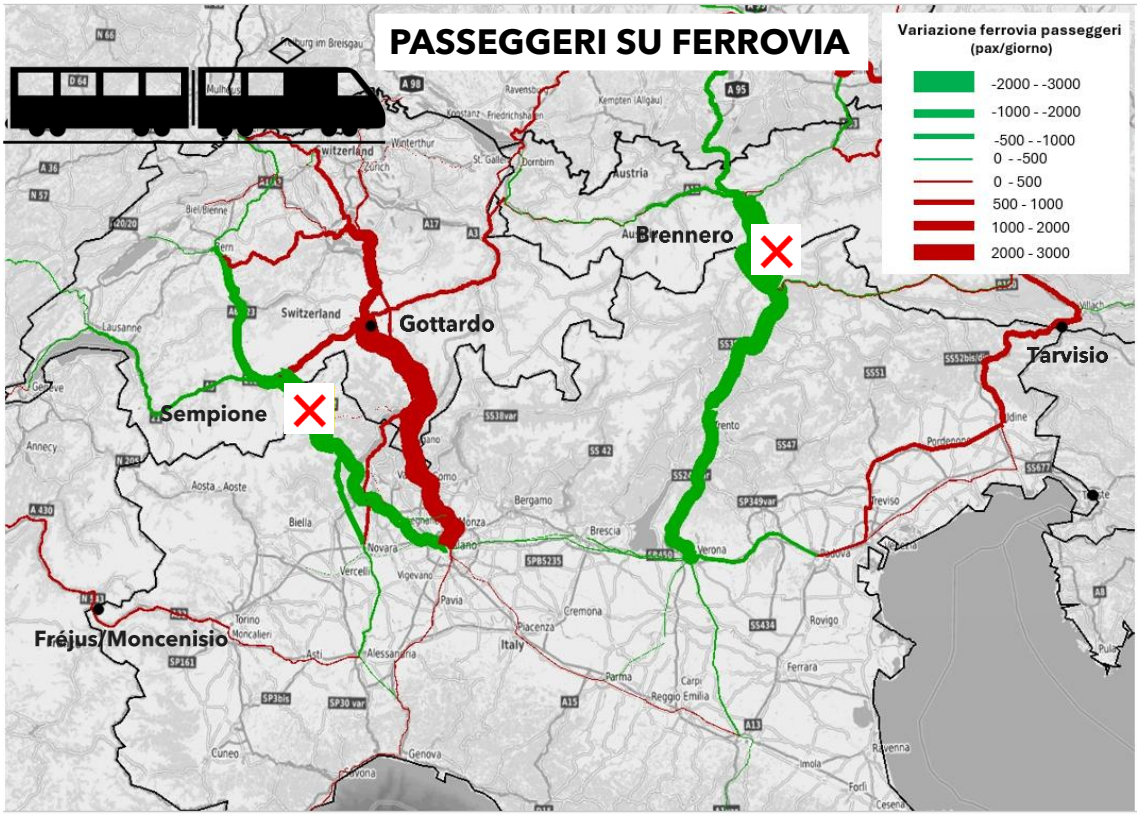


Figura 4-16: Flussogramma delle differenze tra SC25-0 e SC25-2, traffico passeggeri su ferrovia (output simulazione con modello TRUST)

Convertendo il numero di autoveicoli in numero di passeggeri è possibile osservare che, nello scenario simulato, i passeggeri su strada diminuiscono di circa 31.000 unità e quelli su ferrovia di circa 1.000 unità, con un bilancio, tra i due modi, di circa 32.000 passeggeri. Questa differenza evidenzia sia uno spostamento di parte del traffico ferroviario di lunga percorrenza sul modo aereo, sia come le alternative infrastrutturali presenti non riescano a compensare integralmente la perdita di capacità delle arterie primarie.

4.1.3 Sintesi scenari al 2025

L'analisi degli scenari emergenziali al 2025 evidenzia l'estrema fragilità del sistema dei valichi alpini italiani di fronte a interruzioni multiple e contemporanee. Nello scenario SC25-1, la chiusura degli assi ferroviari del Fréjus e del Gottardo provoca una deviazione critica dei flussi verso il **valico del Sempione e del Brennero**, saturando le infrastrutture residue e introducendo pesanti oneri amministrativi e finanziari legati alle procedure doganali svizzere. Lo scenario SC25-2 accentua ulteriormente tali criticità, mostrando come la saturazione della **viabilità ordinaria** (es. SS1 di Ventimiglia con incrementi di traffico pesante del 664,7%) possa condurre alla paralisi logistica locale e internazionale. In entrambi i casi, emerge una perdita netta di volumi trasportati attraverso i valichi principali, segnale di una **diversione dei flussi verso itinerari esterni all'arco alpino centrale** o verso il vettore aereo per i passeggeri.

In conclusione, la resilienza del sistema non può prescindere da una gestione coordinata delle capacità residue, dal potenziamento delle **autostrade del mare** e dalla semplificazione delle **garanzie doganali**, elementi indispensabili per garantire la continuità dei corridoi TEN-T in

situazioni di crisi.

Tabella 4-10: Scenari 2025 – quadro di sintesi delle restrizioni

CODICE SCENARIO	DESCRIZIONE	CONFINE	VALICO	INFRASTRUTTURE INTERDETTE
SC25-1	Interruzioni multiple 2 FR 1 CH 1AT		Fréjus/Moncenisio	Ferrovia storica
			Monte Bianco	Autostrada T1-A5
			Gottardo	Ferrovia
			Brennero	Autostrada A22/A12*
SC25-2	Interruzioni multiple 1 FR 2 CH 1 AT 1 SI		Ventimiglia	Autostrada A10
			Sempione	Ferrovia
			Gottardo	Autostrada A2
			Brennero	Ferrovia
			Fernetti	Autostrada A3

** Riduzione carreggiata (lavori Ponte Lueg)*

4.2 Scenari al 2040

Gli scenari relativi all'anno 2040 fanno riferimento ad un orizzonte temporale entro il quale è previsto l'adeguamento agli standard TEN-T della rete estesa, stradale e ferroviaria, e il completamento dei progetti transfrontalieri e lungo i Corridoi[26], in particolare, l'ultimazione delle due gallerie di base, Fréjus e Brennero. La domanda di trasporto è stata stimata attraverso una combinazione di modelli consolidati in ambito UE che simulano l'interazione tra trasporti, economia e ambiente, assicurando una solida base analitica per lo studio delle tendenze future e degli impatti delle politiche di settore.

Di seguito si riportano gli elementi più rilevanti per l'area di studio sia in termini di sviluppo dell'offerta di rete, sia in termini di proiezione della domanda di trasporto.

La rete al 2040

Nell'orizzonte 2040 sono contemplati tutti i principali interventi infrastrutturali previsti dalla programmazione nazionale e internazionale. Le tabelle seguenti riportano le opere di maggiore interesse per l'area di studio. Come ipotesi di lavoro, viene contemplato anche il raddoppio del tunnel del Monte Bianco, benché al momento tale intervento non sia inserito in alcun strumento di pianificazione: si assume che, come per il Gottardo[27], la seconda canna abbia solo una funzione di sicurezza e la capacità rimanga sostanzialmente invariata.

[26] Per una descrizione completa degli interventi previsti nei vari Paesi europei si veda il sito di TEN-Tec: https://webgate.ec.europa.eu/tentec-maps/web/public/screen/home

[27] https://galleriasangottardo.ch/il-secondo-tubo

Tabella 4-11: Principali interventi stradali completati al 2040

N°	INTERVENTO STRADALE	PAESE
1	Completamento Pedemontana Lombarda	IT
2	Completamento Ti.Bre.	IT
3	Completamento A33 Asti-Cuneo	IT
4	Autostrada A14: ampliamento quarta corsia tratta Ponte Rizzoli-Diramazione Ravenna	IT
5	Autostrada A22: potenziamento Bolzano sud-interconnessione con A1 Verona Nord	IT
6	Completamento Tangenziale Est di Torino	IT
7	Autostrada A13: ampliamento terza corsia tratta Bologna-Ferrara sud	IT
8	Nodo stradale di Milano: potenziamento strada provinciale Paullese	IT
9	Autostrada A4: ampliamento terza corsia tratta Quarto d'Altino-Villesse-Sistiana	IT
10	Potenziamento in sede del Sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna	IT
11	Gronda di Genova	IT
12	Nuovo tunnel del Colle di Tenda	IT/FR
13	Raddoppio Tunnel del Fréjus	IT/FR
14	*Raddoppio Tunnel del Monte Bianco*	IT/FR
15	Raddoppio Tunnel del Gottardo	CH

Tabella 4-12: Principali interventi ferroviari completati al 2040

N°	INTERVENTO FERROVIARIO	PAESE
1	AV/AC Brescia-Verona-Vicenza-Padova	IT
2	Ronchi dei Legionari - Aurisina	IT
3	Genova-Tortona (Terzo Valico)	IT
4	Ferrovia Genova-Ventimiglia: completamento raddoppio della linea costiera	IT
5	Ferrovia Milano- Pavia- Tortona	IT
6	Potenziamento e Velocizzazione del collegamento Venezia Mestre-Trieste	IT
7	Potenziamento Rho-Gallarate	IT
8	Potenziamento linea Adriatica tra Bologna e Rimini	IT
9	Potenziamento della linea Pontremolese (La Spezia-Parma)	IT
10	Nuova Linea Torino-Lione (NLTL)	IT/FR
11	Connessione al Gottardo: gronda nordest (quadruplicamento Chiasso-Monza)	IT/CH
12	Confine IT/SLO -Lubiana (potenziamento tra Trieste/Villa Opicina e Lubiana)	IT/SLO
13	Koper – Divača (accesso al Porto di Capodistria)	IT/AT
14	Trento-Bolzano-Innsbruck (BBT e relative tratte di accesso)	IT/AT
15	Gloggnitz – Muerzzuschlag (tunnel di base del Summering)	IT/AT
16	Kufstein-Rosenheim-Monaco (tratta di accesso Nord al Brennero)	AT/DE

La domanda al 2040

Le matrici calibrate all'anno base sono state espanse con dei tassi di crescita forniti dal modello ASTRA[28] che, a sua volta, è calibrato per ricostruire l'attività di trasporto, merci e passeggeri, dei modelli PRIMES e PRIMES-TREMOVE [29] sui quali si basano gli scenari di riferimento UE 2020, fino all'anno 2050, della Commissione Europea[30]. Tali modelli costituiscono gli elementi fondamentali del quadro di modellizzazione per le proiezioni di energia, trasporti ed emissioni di CO_2 e riflettono anche le iniziative "Fit for 55" proposte dalla CE il 14 luglio 2021 e le proposte della CE parte del pacchetto REPowerEU[31] adottate il 18 maggio 2022. Le proiezioni

[28] http://www.astra-model.eu/

[29] https://web.jrc.ec.europa.eu/policy-model-inventory/explore/models/model-primes/

[30] https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2020_en

[31] Reproberei (europa.eu)

del PIL per lo scenario di base al 2040 tengono conto dell'impatto della crisi COVID, basandosi sul "Ageing Report" del 2021[32]. I prezzi internazionali dei combustibili fossili sono stati aggiornati per riflettere l'andamento dei prezzi dell'energia, in linea con le ipotesi utilizzate per la valutazione alla base del pacchetto REPowerEU. A livello nazionale, le proiezioni tengono conto anche delle politiche dei piani nazionali per l'energia e il clima (NECP) presentati dagli Stati membri alla fine del 2019/inizio del 2020. Inoltre, lo scenario di base riflette le iniziative RefuelEU per l'aviazione[33] e FuelEU per il trasporto marittimo[34], il regolamento sulle infrastrutture per i combustibili alternativi, la revisione del regolamento che stabilisce gli standard di CO_2 per i veicoli leggeri[35], la revisione della direttiva ETS e la revisione della direttiva sulla tassazione dell'energia[36]. Di seguito sono forniti i principali indicatori di base a livello UE27.

Tabella 4-13: EU 27 PIL (1.000 Mln Euro 2015) e variazione percentuale (%) 2015-2030 e 2015-2050 nello scenario di riferimento – Fonte PRIMES-TREMOVE

GDP (1.000 Mln Euro 2015)	2015	2020	2030	2040	2050	2015-2030	2015-2050
PIL	12.213	12.272	14.814	16.898	19.466	+21,3%	+59,4%

Tabella 4-14 Prezzo dell'energia (EUR 2015/barile) e variazione percentuale (%) 2015-2030 e 2015-2050 nello scenario di riferimento – Fonte PRIMES-TREMOVE

Prezzo energia (EUR 2015/barile)	2015	2020	2030	2040	2050	2015-2030	2015-2050
Petrolio	47	36	83	88	106	+76%	+125%
Gas	39	18	61	61	64	+58%	+65%

Tabella 4-15: Prezzo dell'elettricità (EUR 2015/MWh) e variazione percentuale (%) 2015-2030 e 2015-2050 nello scenario di riferimento – Fonte PRIMES-TREMOVE

Prezzo elettricità (EUR 2015/MWh)	2015	2020	2030	2040	2050	2015-2030	2015-2050
Tasse incluse	2.073	2.337	2.670	2.566	2.597	+29%	+25%
Tasse escluse	1.616	1.839	2.117	2.027	2.055	+31%	+27%

Con riferimento all'area di studio, di seguito si riportano le crescite del PIL per l'Italia e per i paesi EU con cui gli scambi sono più rilevati.

Tabella 4-16: Crescite PIL 2025-2040, Eu Reference Scenario 2020 – Fonte Reference Scenario 2020, Summary report: Energy, transport and GHG emissions -E3Modelling

IT	AT	DE	ES	FR	PL	SI
+11%	+22%	+16%	+27%	+20%	+35%	+32%

I tassi di crescita totali risultanti sono riassunti in Tabella 4-17, mentre la Tabella 4-18 e la

[32]https://economy-finance.ec.europa.eu/publications/2021-ageing-report-economic-and-budgetary-projections-eu-member-states-2019-2070_en

[33] COM (2021) 561 final

[34] COM (2021) 562 final

[35] COM (2021) 556 final

[36] COM (2021) 563 final

Tabella 4-19 mostrano i tassi di crescita degli spostamenti tra l'Italia e una selezione di Paesi.

Tabella 4-17: Tassi di crescita totali degli spostamenti da e per l'Italia, 2025-2040

Tipologia traffico	STRADA	FERROVIA
Passeggeri	+47%	+53%
Merci	+35%	+37%

Tabella 4-18: Tassi di crescita degli spostamenti MERCI tra l'Italia e alcuni paesi EU, 2025-2040

Relazioni	STRADA	FERROVIA
IT-AT	+19%	+33%
IT-DE	+15%	+34%
IT-CH	+30%	+70%
IT-FR	+11%	+54%
IT-PL	+54%	+65%
IT-ES	+50%	+56%

Tabella 4-19: Tassi di crescita degli spostamenti PASSEGGERI tra l'Italia e alcuni paesi EU, 2025-2040

Relazioni	STRADA	FERROVIA
IT-AT	+27%	+30%
IT-DE	+23%	+26%
IT-CH	+16%	+24%
IT-FR	+44%	+78%
IT-SI	+38%	+72%

Nello scenario di riferimento, i tassi di crescita sono applicati distintamente per strada e ferrovia. Questo approccio permette di utilizzare le matrici al 2040 per calibrare le costanti modali, le quali catturano quegli aspetti intrinseci – non direttamente modellizzabili - che influenzano l'attrattività di un modo di trasporto coerentemente con le previsioni del modello PRIMES-TREMOVE sopramenzionato. Assegnando le matrici dello scenario di riferimento 2040 (SC40-0) si ottengono i flussi mostrati nelle tabelle seguenti.

Tabella 4-20: Flussi di traffico merci su strada - Scenario SC40-0

CONFINE	VALICO	SC25-0 (veic/giorno)	SC40-0 (veic/giorno)	Var. % 2025-2040
IT - FR	Ventimiglia A10	4.690	7.093	+51,2%
	Ventimiglia SS1	640	645	+0,8%
	Fréjus A32/T4	2.653	3.989	+50,4%
	Monte Bianco A5/T1	1.947	2.611	+34,1%
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	105	130	+23,8%
	Sempione SS33	593	737	+24,3%
	Gottardo A2	2.237	3.640	+62,7%
	Gottardo Passo	18	26	+44,4%
	San Bernardino A13	498	693	+39,2%
IT - AT	Resia SS40	196	360	+83,7%
	Brennero A22	6.526	7.199	+10,3%
	Brennero SS12	125	144	+15,2%
	Tarvisio A23	4.873	7.963	+63,4%
AT	*Felbertauern*	*205*	299	+45,9%
IT – SI	Fernetti RA13	386	759	+96,6%
TOTALE		25.692	36.288	+41,2%

Tabella 4-21: Flussi di traffico passeggeri su strada - Scenario SC40-0

CONFINE	VALICO	SC25-0 (veic/giorno)	SC40-0 (veic/giorno)	Var. % 2025-2040
IT - FR	Ventimiglia A10	40.169	67.281	+67,5%
	Ventimiglia SS1	11.151	14.928	+33,9%
	Fréjus A32/T4	4.122	7.572	+83,7%
	Monte Bianco A5/T1	4.138	7.583	+83,3%
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	585	1.013	+73,2%
	Sempione SS33	2.397	2.686	+12,1%
	Gottardo A2	15.744	21.964	+39,5%
	Gottardo Passo	366	402	+9,8%
	San Bernardino A13	7.575	9.481	+25,2%
IT - AT	Resia SS40	741	795	+7,3%
	Brennero A22	24.806	33.372	+34,5%
	Brennero SS12	4.499	4.724	+5,0%
	Tarvisio A23	10.802	14.742	+36,5%
AT	*Felbertauern*	4.790	6.224	+29,9%
IT – SI	Fernetti RA13	3.724	5.288	+42,0%
TOTALE		135.609	198.055	+46,0%

Tabella 4-22: Flussi di traffico merci su ferrovia - Scenario SC40-0

CONFINE	VALICO	SC25-0 (tonn/giorno)	SC40-0 (tonn/giorno)	Var. % 2025-2040
IT - FR	Ventimiglia	2.414	2.949	+22,2%
	Fréjus/Moncenisio	7.919	6.155	+226,2%
	NLTL	-	19.679	
IT - CH	Sempione	21.803	22.285	+2,2%
	Gottardo	53.640	70.995	+32,4%
IT - AT	Brennero linea storica	37.410	7.359	+97,7%
	BBT	-	66.230	
	Tarvisio	31.234	33.009	+5,7%
IT – SI	Villa Opicina	30.650	37.938	+23,8%
TOTALE		185.070	266.599	+44,1%

Tabella 4-23: Flussi di traffico passeggeri su ferrovia - Scenario SC40-0

CONFINE	VALICO	SC25-0 (pax/giorno)	SC40-0 (pax/giorno)	Var. % 2025-2040
IT - FR	Ventimiglia	2.370	6.166	+160,2%
	Fréjus/Moncenisio	2.193	4.668	+217,7%
	NLTL	-	2.299	
IT - CH	Sempione	2.513	2.629	+4,6%
	Gottardo	13.372	13.581	+1,6%
IT - AT	Brennero linea storica	3.018	6.693	+181,9%
	BBT	-	1.815	
	Tarvisio	2.510	3.324	+32,4%
IT – SI	Villa Opicina	336	481	+43,2%
TOTALE		26.312	41.656	+58,3%

4.2.1 Scenario SC40-1

Nel primo scenario al 2040 (SC40-1) le interruzioni multiple ipotizzate sono le seguenti:

- **verso la Francia** l'interruzione del servizio sulla linea ferroviaria storica del Fréjus/Moncenisio e la non operatività della seconda canna del tunnel stradale del Monte Bianco
- **verso la Svizzera** l'interruzione del servizio ferroviario lungo l'asse del Gottardo
- **verso l'Austria** la riduzione di capacità dell'asse autostradale del Brennero a causa dei lavori di manutenzione del Ponte Europa[37].

La non operatività della seconda canna del Monte Bianco implica il passaggio da senso unico a doppio senso di marcia nella canna rimanente, che viene simulata attraverso la riduzione della velocità lungo il tunnel, portandola da 70 km/h (nello scenario di riferimento 2040-0) a 60 km/h. Questa diminuzione limita la circolazione a causa di minori garanzie sulla sicurezza.

La riduzione di capacità lungo l'autostrada del Brennero è stata simulata assumendo che la capacità disponibile per i mezzi pesanti si riduca di due terzi e per i mezzi leggeri si riduca di un terzo. La velocità a deflusso libero per i pesanti è stata abbassata a 50km/h e per i leggeri a 80 km/h.

I punti di interruzione del Fréjus e del Gottardo sono collocati come mostrato in Figura 4-1 e Figura 4-3 nel paragrafo relativo allo scenario 2025-1 (§4.1.1).

Flussi di traffico MERCI

Simulando le interruzioni sopra descritte, di seguito viene mostrata la variazione del traffico merci, su strada e su ferrovia, rispetto allo scenario di riferimento (SC40-0).

Nel **comparto stradale**, la chiusura della ferrovia del Gottardo genera un massiccio spostamento di carico verso i valichi stradali svizzeri, con incrementi di traffico veicolare compresi tra il 56% e il 67% al Gran San Bernardo, al Sempione e allo stesso Gottardo[38]. Al contrario, l'asse del Brennero (A22) subisce una flessione dell'8,5% (pari a circa 609 veicoli pesanti in meno al giorno) a causa dei vincoli di capacità imposti. Complessivamente, nonostante le limitazioni puntuali, il traffico merci stradale totale registra un incremento del 5,7%, segno di una parziale deviazione modale dalla ferrovia alla gomma.

[37] Ricostruzione del ponte Europa, sul versante austriaco dell'autostrada del Brennero.

[38] Vedi box a pag. 29 "Procedura doganale di transito attraverso la Svizzera".

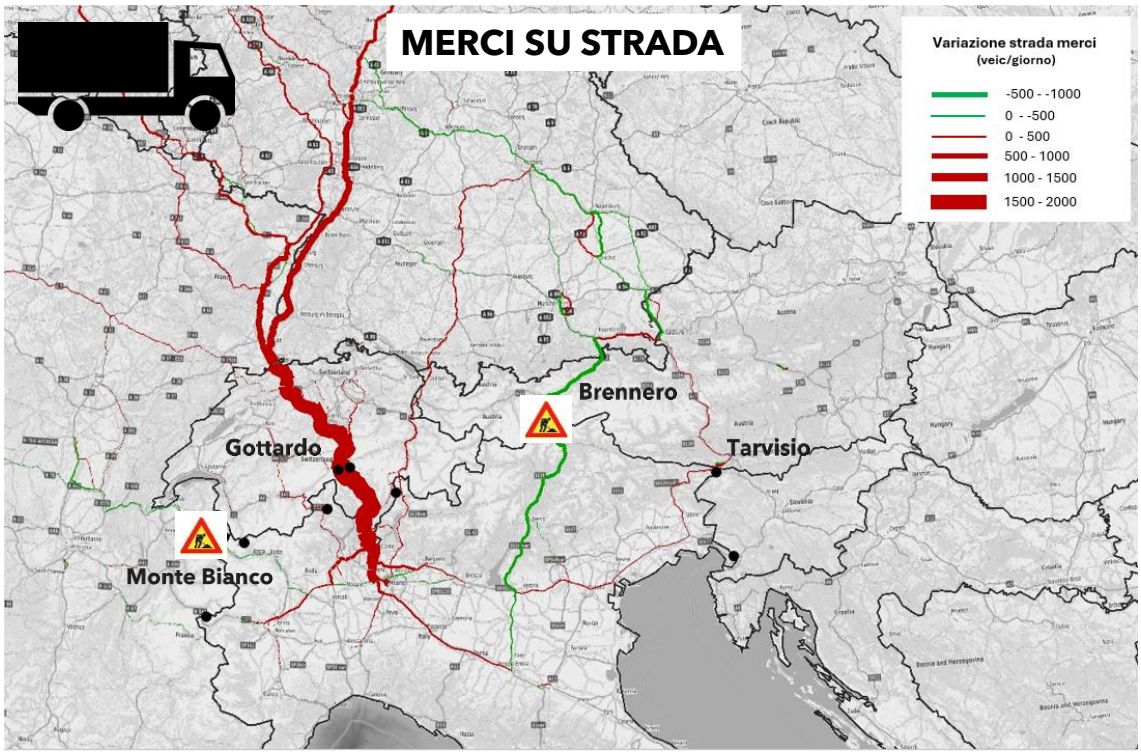


Figura 4-17: Flussogramma delle differenze tra SC40-0 e SC40-1, traffico merci su strada (output simulazione con modello TRUST)

Tabella 4-24: Flussi di traffico merci su strada - Scenario SC40-1

CONFINE	VALICO	SC40-0 (veic/giorno)	SC40-1 (veic/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia A10	7.093	7.068	- 25	-0,4%
	Ventimiglia SS1	645	645	-	-
	Fréjus A32/T4	3.989	3.979	-10	-0,3%
	Monte Bianco A5/T1	2.611	2.537	-74	-2,8%
IT - CH	**G. S. Bernardo SS27/T2**	130	216	86	**+66,2%**
	Sempione SS33	737	1.186	449	**+60,9%**
	Gottardo A2	3.640	5.682	2.042	**+56,1%**
	Gottardo Passo	26	26	-	-
	San Bernardino A13	693	763	70	+10,1%
IT - AT	Resia SS40	360	377	17	+4,7%
	Brennero A22	7.199	6.590	-609	-8,5%
	Brennero SS12	144	144	-	-
	Tarvisio A23	7.963	8.094	131	+1,6%
AT	*Felbertauern*	299	299	-	-
IT – SI	Fernetti RA13	759	760	1	0,1%
TOTALE		36.288	38.366	2.078	+5,7%

Per quanto riguarda il **trasporto** merci **su ferrovia**, il blocco simultaneo delle linee del Fréjus e del Gottardo impone una redistribuzione dei volumi sulle direttrici rimaste operative. Si osserva una crescita significativa dei flussi verso Ventimiglia (+31,3%) e verso il Sempione (+48,4%), ma l'impatto più rilevante si registra sul corridoio del Brennero. Qui, sia la linea storica (+26,5%) che la nuova Galleria di Base (BBT), con un incremento del 43,1% (pari a oltre 28.500 tonnellate giornaliere aggiuntive), tentano di assorbire la domanda nord-sud deviata

dai valichi chiusi, in particolare dall'asse del Gottardo. Tuttavia, l'**efficienza complessiva del sistema ferroviario** risulta **compromessa**, portando a una contrazione del traffico merci totale su ferro del 12%: l'interruzione delle grandi direttrici ferroviarie genera un significativo travaso di flussi verso la gomma e verso itinerari ferroviari alternativi.

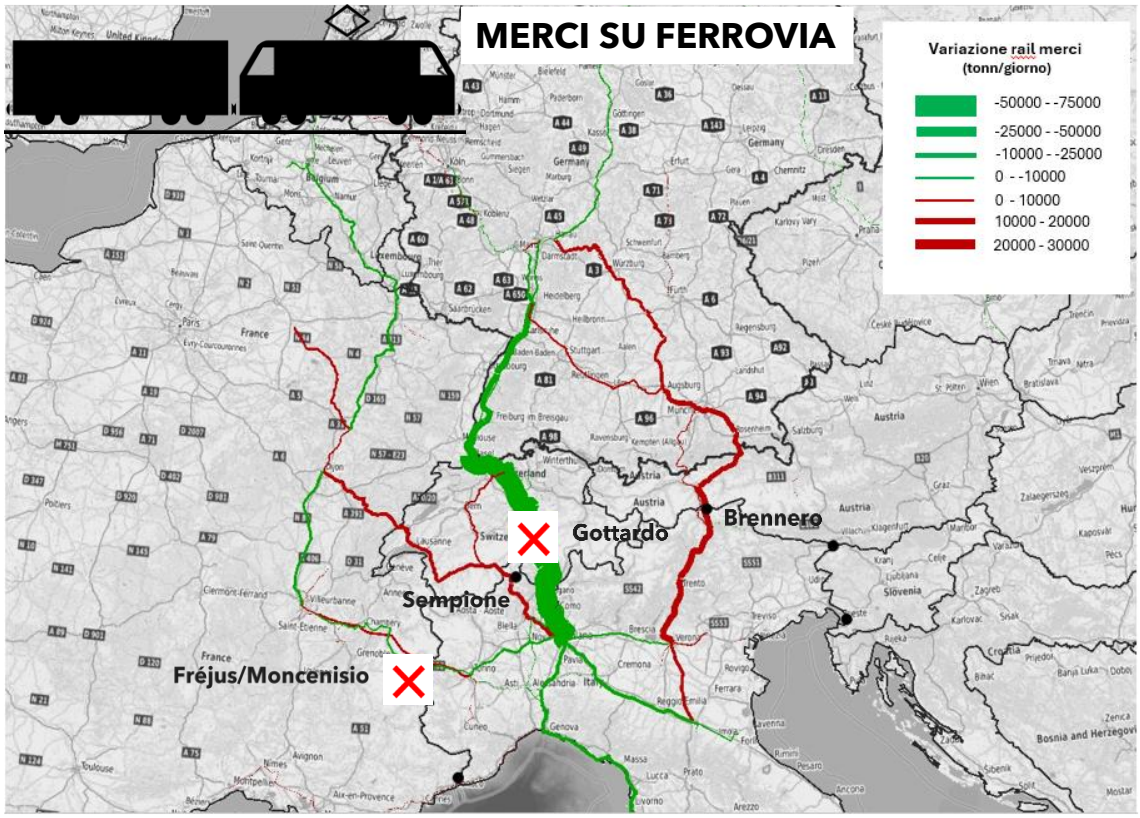


Figura 4-18: Flussogramma delle differenze tra SC40-0 e SC40-1, traffico merci su ferrovia (output simulazione con modello TRUST)

Tabella 4-25: Flussi di traffico merci su ferrovia – Scenario SC40-1

CONFINE	VALICO	SC40-0 (tonn/giorno)	SC40-1 (tonn/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	**Ventimiglia**	2.949	3.871	922	**+31,3%**
	Fréjus/Moncenisio ✕	6.155	*Chiusura linea storica*		
	NLTL	19.679	21.749	2.070	+10,5%
IT - CH	**Sempione**	22.285	33.082	10.797	**+48,4%**
	Gottardo ✕	70.995	*Chiusura linea Gottardo*		
IT - AT	**Brennero linea storica**	7.359	9.306	1.947	**+26,5%**
	BBT	66.230	94.757	28.527	**+43,1%**
	Tarvisio	33.009	33.901	892	+2,7%
IT – SI	Villa Opicina	37.938	37.809	- 129	- 0,3%
TOTALE		266.599	234.475	-32.124	- 12,0%

Flussi di traffico PASSEGGERI

Il settore passeggeri mostra dinamiche altrettanto complesse, con una marcata deviazione verso itinerari stradali secondari e assi ferroviari alternativi.

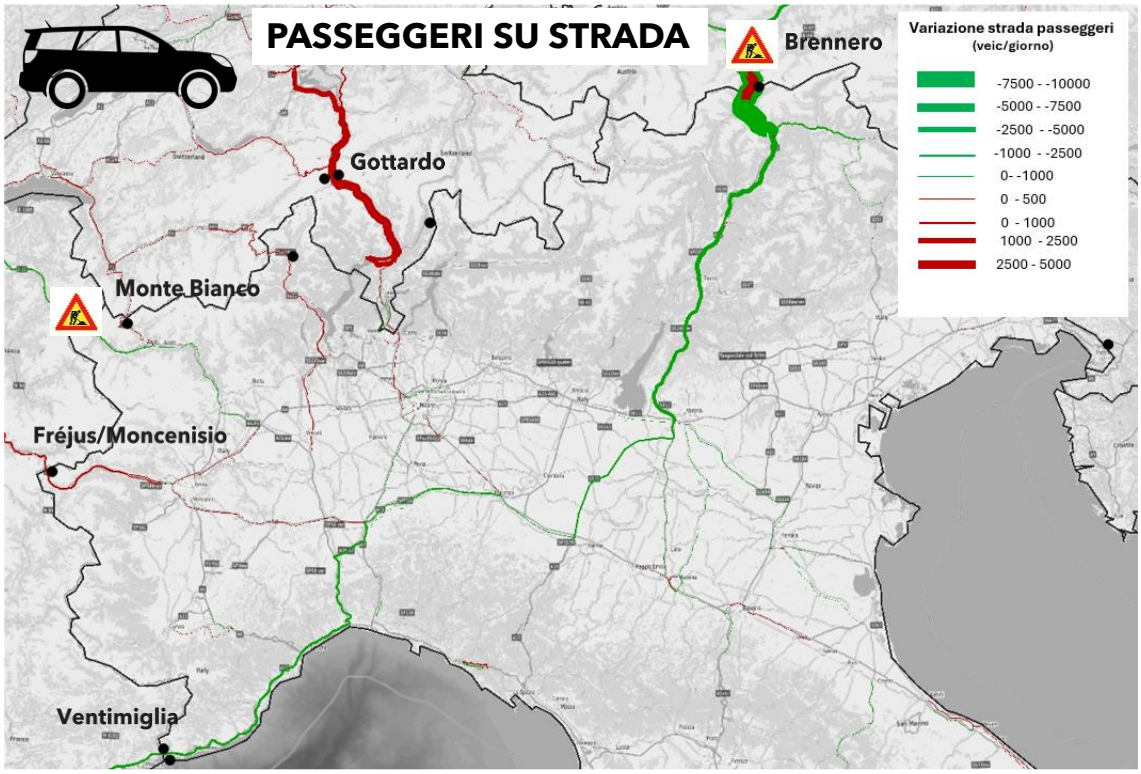


Figura 4-19: Flussogramma delle differenze tra SC40-0 e SC40-1, traffico passeggeri su strada (output simulazione con modello TRUST)

Tabella 4-26: Flussi di traffico passeggeri su strada - Scenario SC40-1

CONFINE	VALICO	SC40-0 (veic/giorno)	SC40-1 (veic/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia A10	67.281	66.503	- 778	-1,2%
	Ventimiglia SS1	14.928	14.880	- 48	-0,3%
	Fréjus A32/T4	7.572	8.382	810	+10,7%
	Monte Bianco A5/T1	7.583	6.973	- 610	-8,0%
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	1.013	1.316	303	**+29,9%**
	Sempione SS33	2.686	3.066	380	**+14,1%**
	Gottardo A2	21.964	26.008	4.044	**+18,4%**
	Gottardo Passo	402	402	-	-
	San Bernardino A13	9.481	9.539	58	+0,6%
IT - AT	Resia SS40	795	755	- 40	-5,0%
	Brennero A22	33.372	23.959	- 9.413	-28,2%
	Brennero SS12	4.724	9.295	4.571	**+96,8%**
	Tarvisio A23	14.742	15.222	480	+3,3%
AT	*Felbertauern*	6.224	7.438	1.214	+19,5%
IT – SI	Fernetti RA13	5.288	5.294	6	+0,1%
TOTALE		198.055	199.032	977	+0,5%

In **ambito stradale**, di particolare rilievo è il comportamento registrato lungo l'asse del Brennero: a fronte di una contrazione del 28,2% sull'A22, si osserva un incremento quasi raddoppiato (+96,8%) sulla **Statale del Brennero (SS12)**, la quale, restando interdetta ai mezzi pesanti eccetto il traffico locale, diventa la valvola di sfogo per la mobilità leggera. Sul fronte svizzero, spicca l'incremento in termini assoluti al valico del Gottardo (oltre 4.000 veicoli giornalieri aggiuntivi), che assorbe una quota importante della domanda ferroviaria inibita.

In **ambito ferroviario**, si rileva un incremento importante sulla **linea del Sempione** (+155%) e su entrambe le **linee del Brennero** (BBT +174% e linea storica +90%), mantenendo comunque livelli di carico che si possono ritenere coerenti con la capacità residua.

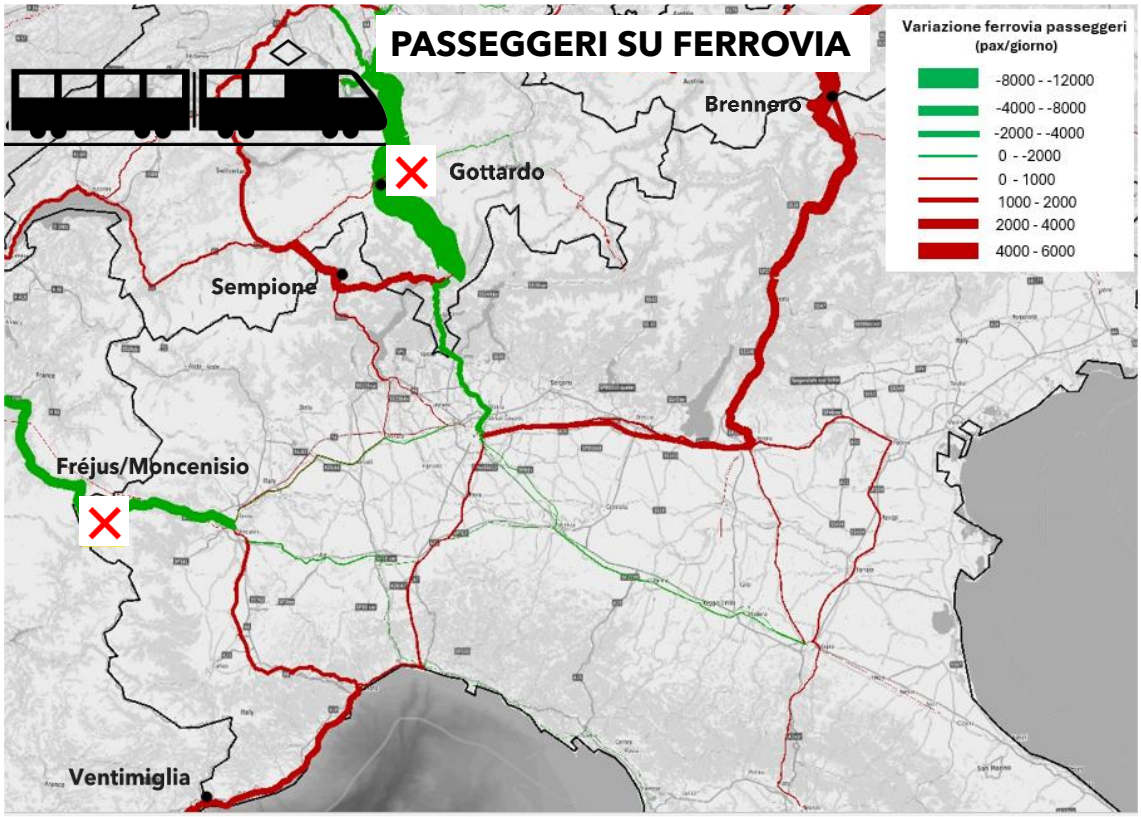


Figura 4-20: Flussogramma delle differenze tra SC40-0 e SC40-1, traffico passeggeri su ferrovia (output simulazione con modello TRUST)

Per quanto riguarda la linea del Fréjus, è opportuno evidenziare che la chiusura della linea storica non implica un automatico trasferimento di passeggeri sulla nuova linea ad alta velocità (NLTL), la cui crescita si attesta solo al 12,5%. Questo fenomeno è dovuto alla differenziazione dei segmenti di domanda: l'utenza che abitualmente utilizza la linea convenzionale tende a preferire itinerari storici alternativi piuttosto che migrare verso i servizi ad alta velocità, che rispondono a necessità di viaggio differenti.

Tabella 4-27: Flussi di traffico passeggeri su ferrovia – Scenario SC40-1

CONFINE	VALICO	SC40-0 (pax/giorno)	SC40-1 (pax/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia	6.166	9.004	2.838	**+46,0%**
	Fréjus/Moncenisio ✕	4.668		*Chiusura linea storica*	
	NLTL	2.299	2.586	287	+12,5%
IT - CH	Sempione	2.629	6.699	4.070	**+154,8%**
	Gottardo ✕	13.581		*Chiusura linea Gottardo*	
IT - AT	Brennero linea storica	6.693	12.747	6.054	**+90,5%**
	BBT	1.815	4.980	3.165	**+174,4%**
	Tarvisio	3.324	3.576	252	+7,6%
IT – SI	Villa Opicina	481	456	- 25	-5,2%
TOTALE		41.656	40.048	-1.608	- 3,9%

4.2.2 Scenario SC40-2

Lo scenario SC40-2 analizza l'impatto derivante dal ritardo nella realizzazione delle grandi opere ferroviarie transalpine. Si ipotizza che l'**operatività delle due gallerie di base del Fréjus e del Brennero (BBT)**, che consentirebbero la piena operatività delle linee ad alta velocità nei collegamenti Italia-Francia, nel quadrante ovest dell'arco alpino, e Italia-Austria-Germania, nel quadrante est, **non avvenga nei tempi previsti da cronoprogramma**.

Nelle figure seguenti si riportano i punti di interruzione considerati per simulare la non operatività delle due gallerie di base. Sono invece assunte in funzione le linee storiche convenzionali.



Figura 4-21: Punto di interruzione della nuova galleria del Fréjus (Scenario SC40-2)



Figura 4-22: Punto di interruzione della nuova galleria del Brennero (Scenario SC40-2)

Flussi di traffico MERCI

La mancata attivazione delle due gallerie di base provoca lo spostamento di circa 28.500 tonnellate al giorno dalla ferrovia alla strada, equivalenti a quasi 10 milioni di tonnellate annue. Questo fenomeno si traduce in un **incremento del traffico pesante su quasi tutti i principali valichi stradali**. L'aumento più rilevante si registra al Brennero, dove, rispetto allo scenario di riferimento, transitano giornalmente circa 1.500 mezzi pesanti in più (+20%), e al Fréjus (+7%), a dimostrazione di come la domanda merci cerchi sbocchi autostradali laddove l'offerta ferroviaria rimane tecnologicamente meno efficiente. Complessivamente, il traffico merci su gomma nei valichi principali considerati aumenta del 5,6%, mentre quello ferroviario subisce una contrazione dell'11,6%.

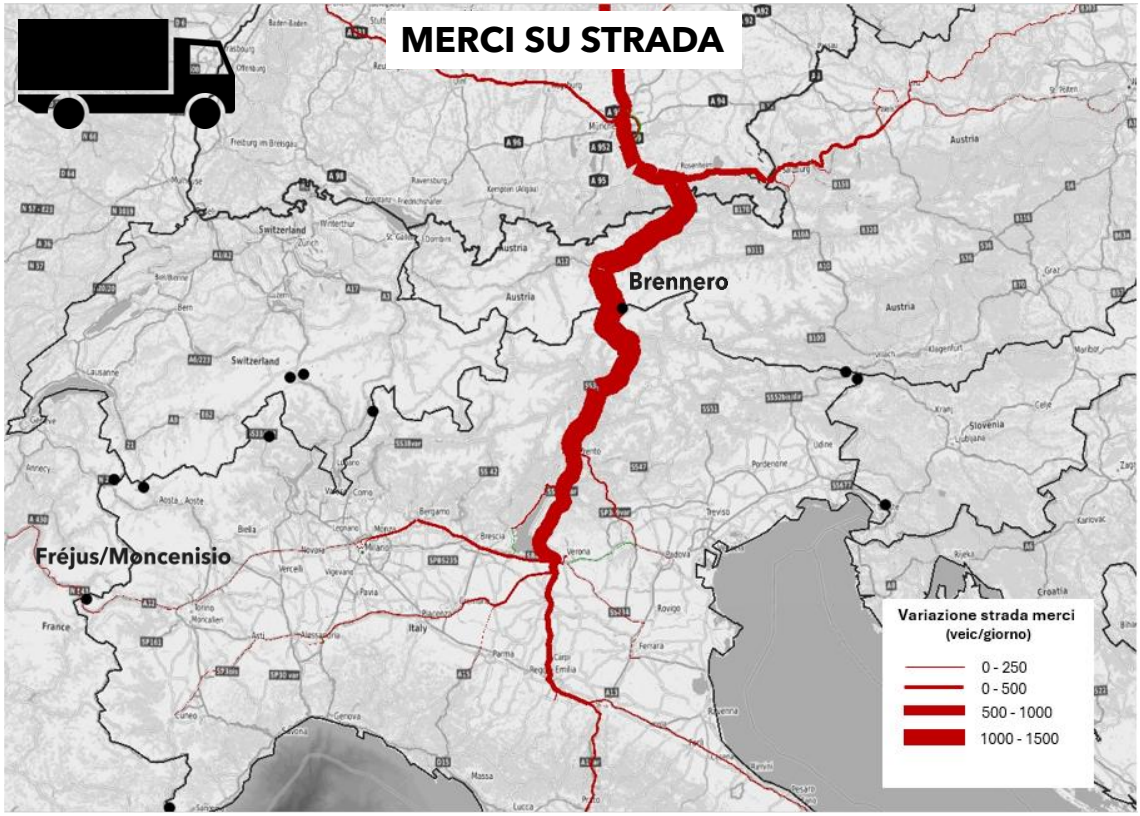


Figura 4-23: Flussogramma delle differenze tra SC40-0 e SC40-2, traffico merci su strada (output simulazione con modello TRUST)

Tabella 4-28: Flussi di traffico merci su strada - Scenario SC40-2

CONFINE	VALICO	SC40-0 (veic/giorno)	SC40-2 (veic/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia A10	7.093	7.093	-	-
	Ventimiglia SS1	645	645	-	-
	Fréjus A32/T4	3.989	4.276	287	**+7,2%**
	Monte Bianco A5/T1	2.611	2.631	20	+0,8%
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	130	139	9	+6,9%
	Sempione SS33	737	737	-	-
	Gottardo A2	3.640	3.721	81	+2,2%
	Gottardo Passo	26	34	8	+30,8%
	San Bernardino A13	693	694	1	+0,1%
IT - AT	Resia SS40	360	360	-	-
	Brennero A22	7.199	8.647	1.448	**+20,1%**
	Brennero SS12	144	144	-	-
	Tarvisio A23	7.963	8.054	91	+1,1%
AT	*Felbertauern*	299	299	-	-
IT – SI	Fernetti RA13	759	849	90	+11,9%
TOTALE		36.288	38.323	2.035	+5,6%

Lato ferrovia, si riscontra l'aumento notevole del traffico sulla **linea storica del Brennero** (+412%). Tale incremento risulta percentualmente molto elevato perché nello scenario di riferimento al 2040 il traffico su questa linea è molto basso (venendo assorbito quasi del tutto dalla nuova linea), ma il valore assoluto del traffico è molto simile a quello dello scenario di riferimento al 2025.

Tabella 4-29: Flussi di traffico merci su ferrovia – Scenario SC40-2

CONFINE	VALICO	SC40-0 (tonn/giorno)	SC40-1 (tonn/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia	2.949	2.070	- 879	-29,8%
	Fréjus/Moncenisio	6.155	14.159	8.004	**+130,0%**
	NLTL ✕	19.679	*Galleria di base non operativa*		
IT - CH	Sempione	22.285	24.348	2.063	+9,3%
	Gottardo	70.995	83.842	12.847	+18,1%
IT - AT	**Brennero linea storica**	7.359	37.687	30.328	**+412,1%**
	BBT ✕	66.230	*Galleria di base non operativa*		
	Tarvisio	33.009	35.508	2.499	+7,6%
IT – SI	Villa Opicina	37.938	37.932	- 6	-0,02%
TOTALE		266.599	235.546	-31.053	-11,6%

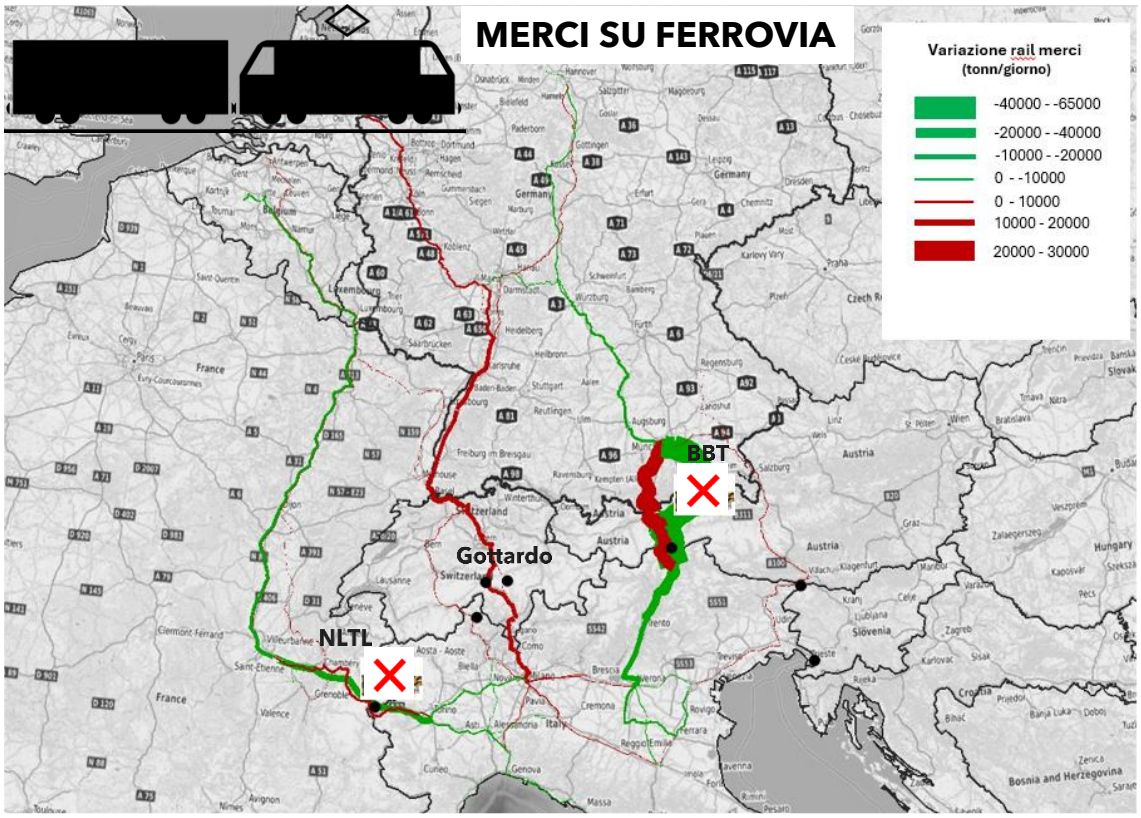


Figura 4-24: Flussogramma delle differenze tra SC40-0 e SC40-2, traffico merci su ferrovia (output simulazione con modello TRUST)

Flussi di traffico PASSEGGERI

Anche il settore passeggeri risente del deficit infrastrutturale ferroviario, sebbene con dinamiche meno drastiche rispetto alle merci. La mancata disponibilità dell'alta velocità transfrontaliera porta a un trasferimento di circa 370 passeggeri al giorno dal treno verso l'auto e, analizzando le matrici modali, si osserva che circa un centinaio di passeggeri al giorno si spostano sulla modalità aerea. Lo **shift modale verso l'auto è** quindi **contenuto**, ma è opportuno evidenziare che il modello contiene delle costanti modali calibrate su una domanda

di riferimento al 2040 che prevede una consistente crescita del traffico passeggeri su ferrovia sottintendendo quindi una grande propensione dei passeggeri a spostarsi col modo treno.

Tabella 4-30: Flussi di traffico passeggeri su strada - Scenario SC40-2

CONFINE	VALICO	SC40-0 (veic/giorno)	SC40-2 (veic/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	Ventimiglia A10	67.281	67.278	-3	-0,004%
	Ventimiglia SS1	14.928	14.922	-6	-0,04%
	Fréjus A32/T4	7.572	7.677	105	**+1,4%**
	Monte Bianco A5/T1	7.583	7.703	120	**+1,6%**
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	1.013	1.012	- 1	-0,1%
	Sempione SS33	2.686	2.681	- 5	-0,2%
	Gottardo A2	21.964	21.956	- 8	-0,04%
	Gottardo Passo	402	402	-	-
	San Bernardino A13	9.481	9.473	- 8	-0,1%
IT - AT	Resia SS40	795	796	1	+0,1%
	Brennero A22	33.372	33.370	- 2	-0,01%
	Brennero SS12	4.724	4.724	-	-
	Tarvisio A23	14.742	14.771	29	+0,2%
AT	*Felbertauern*	6.224	6.222	-2	-0,03%
IT – SI	Fernetti RA13	5.288	5.284	-4	-0,1%
TOTALE		198.055	198.271	216	+0,1%

Tabella 4-31: Flussi di traffico passeggeri su ferrovia – Scenario SC40-2

CONFINE	VALICO	SC40-0 (pax/giorno)	SC40-1 (pax/giorno)	Variaz. assoluta	Variaz. %
IT - FR	**Ventimiglia**	6.166	6.656	490	**+7,9%**
	Fréjus/Moncenisio	4.668	5.156	488	**+10,5%**
	NLTL ✕	2.299	*Galleria di base non operativa*		
IT - CH	**Sempione**	2.629	3.284	655	**+24,9%**
	Gottardo	13.581	14.773	1.192	**+8,8%**
IT - AT	**Brennero linea storica**	6.693	7.203	510	**+7,6%**
	BBT ✕	1.815	*Galleria di base non operativa*		
	Tarvisio	3.324	3.291	-33	-1,0%
IT – SI	Villa Opicina	481	480	- 1	-0,2%
TOTALE		41.656	40.843	-813	-2,0%

Chi viaggia tende a rimanere sulla modalità ferro scegliendo percorsi alternativi o accettando i tempi di percorrenza delle linee storiche, anziché passare massicciamente all'auto privata. Verosimilmente, nella realtà, una quota maggiore di passeggeri, che nel riferimento utilizza l'alta velocità, potrebbe passare alla modalità aerea.



Figura 4-25: Flussogramma delle differenze tra SC40-0 e SC40-2, traffico passeggeri su strada (output simulazione con modello TRUST)

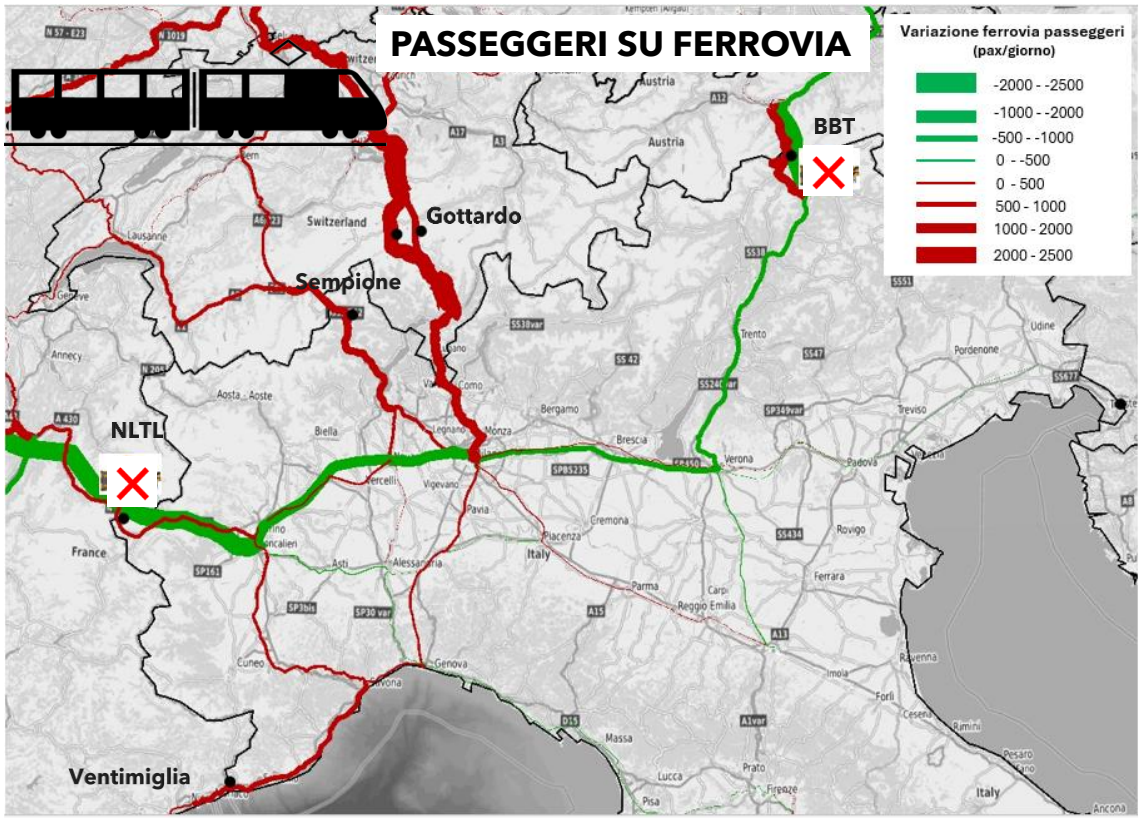


Figura 4-26: Flussogramma delle differenze tra SC40-0 e SC40-2, traffico passeggeri su ferrovia (output simulazione con modello TRUST)

4.2.3 Sintesi scenari al 2040

Nello Scenario SC40-1, il sistema dei trasporti vive una condizione di stress reattivo. La chiusura simultanea di assi fondamentali costringe il traffico a cercare itinerari alternativi non sempre

pronti a gestire tali carichi. La resilienza è garantita dal **corridoio del Sempione e** dalla **Galleria di Base del Brennero**, che però lavorano in condizioni di quasi saturazione. La deviazione del traffico leggero sulla **statale SS12 del Brennero** rappresenta la criticità maggiore per la viabilità locale.

Nello Scenario SC40-2, la criticità è di tipo strutturale-prestazionale. Non ci sono blocchi, ma il sistema ferroviario non riesce a fare il "salto di qualità" previsto per il 2040. Questo impedisce il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità: invece di togliere camion dalle strade, il ritardo delle gallerie di base (BBT e NLTL) ne aggiunge circa 1.500 al giorno solo sull'asse autostradale del Brennero.

Si può quindi concludere che, mentre lo scenario SC40-1 evidenzia la **necessità di piani di emergenza coordinati tra i paesi alpini**, lo scenario SC40-2 sottolinea che il **rispetto del cronoprogramma** delle opere TEN-T è fondamentale per evitare una saturazione irreversibile della rete stradale transalpina entro il 2040.

Tabella 4-32: Scenari 2040 – quadro di sintesi delle restrizioni

CODICE SCENARIO	DESCRIZIONE	CONFINE	VALICO	INFRASTRUTTURE INTERDETTE
SC40-1	Interruzioni multiple 2 FR 1 CH 1 AT		Fréjus/Moncenisio	Ferrovia storica
			Monte Bianco	Autostrada T1-A5 *(1 canna)*
			Gottardo	Ferrovia
			Brennero	Autostrada A22/A12*
SC40-2	NLTL + BBT *off* 1 FR 1 AT		Fréjus/Moncenisio	Ferrovia NLTL
			Brennero	Ferrovia BBT

** Riduzione carreggiata (lavori Ponte Europa)*

5 ANALISI DELLE PRESTAZIONI DELLA RETE STRADALE

In questo capitolo viene analizzato il livello di servizio della rete stradale, inteso come rapporto tra flusso e capacità della rete (F/C)[39], nei quattro scenari analizzati nel capitolo precedente (due scenari al 2025 e due scenari al 2040) a confronto con i rispettivi scenari di riferimento. L'analisi del rapporto F/C è utile a evidenziare come, in alcuni punti della rete, l'impossibilità di assorbire la domanda sulla rete stradale porti a un degrado del Livello di Servizio (LOS). Tale fenomeno innesca un inevitabile aumento dei costi esterni che vengono illustrati nel dettaglio nel capitolo successivo. La "domanda rigida" utilizzata nel modello agisce come uno stress-test: poiché la domanda non può "scomparire", l'effetto della congestione stradale è mostrato nella sua massima estensione.

L'occupazione sulla rete stradale è calcolata in termini di **veicoli equivalenti**[40] basandosi su un coefficiente di conversione che equipara un mezzo pesante a due mezzi leggeri, in conformità con i parametri del modello TRUST e i principali standard europei per le analisi a scala macroscopica. Tale valore è applicato direttamente al segmento di domanda e, data la natura del modello, focalizzato sulle medie e lunghe distanze (principalmente autostrade e viabilità statale), viene mantenuto costante indipendentemente dalla specifica tipologia di infrastruttura. Secondo la classificazione dell'Highway Capacity Manual (Tabella 5-1), è possibile valutare il livello di servizio nei diversi scenari simulati.

Tabella 5-1: Classificazione delle strade in base al rapporto Flusso/Capacità

CLASSE	RAPPORTO Flusso/Capacità	DESCRIZIONE[41]
A	<0,35	Circolazione libera, massimo comfort, flusso stabile
B	0,35 - 0,50	Circolazione libera, modesta riduzione della velocità, comfort accettabile, flusso stabile
C	0,50 - 0,75	Primi vincoli alla circolazione, riduzione velocità, si riduce il comfort, flusso stabile
D	0,75 – 0,90	Vincoli alla circolazione, basso comfort, flusso che può iniziare ad essere instabile
E	0,90 - 1	Flusso al limite della capacità, flusso instabile
F	>1	Flusso forzato

Diversamente da quanto avviene sul sistema stradale, il regime di circolazione sulla rete ferroviaria è vincolato dal segnalamento e dalla programmazione delle tracce orarie, per

[39] Per la rete stradale è possibile determinare il Livello di Servizio (LOS), in conformità ai criteri metodologici dell'HCM (Highway Capacity Manual) recepiti dalla normativa tecnica nazionale (D.M. 05/11/2001), basati sull'analisi del deflusso veicolare e del rapporto Flusso/Capacità.

[40] Il veicolo equivalente è un'unità di misura convenzionale utilizzata per omogeneizzare i flussi di traffico composti da diverse categorie di mezzi: esprime l'ingombro spaziale e l'impatto sulla capacità stradale di un veicolo pesante rispetto a un'autovettura standard.

[41] https://moodle2.units.it/pluginfile.php/101161/mod_resource/content/1/PIV_2016-2017_L03_TrafficoCapacita.pdf

questo motivo il livello di servizio, così come definito, può essere analizzato solo per la rete stradale. Tuttavia, per un quadro complessivo della dinamica della domanda nei diversi scenari, nei paragrafi successivi si riporta anche un confronto tra i livelli di saturazione della rete stradale e le variazioni dei flussi giornalieri (passeggeri e merci) sulla rete ferroviaria al fine di evidenziare sia le criticità sulla rete stradale (dove il LOS è superiore a 1) sia quelle sulla rete ferroviaria (dove gli incrementi percentuali dei flussi sono importanti).

5.1 Scenari al 2025

Nello **scenario SC25-1** (Tabella 5-2) è evidente il netto **deterioramento del livello di servizio per le direttrici autostradali del Gottardo e del Brennero**, che transitano dalla Classe C (nello scenario di riferimento) alla Classe E, quindi da "flusso stabile" a "flusso al limite della capacità". Sebbene la statale del Brennero non mostri criticità dirette nelle simulazioni medie effettuate con il modello, l'incremento del traffico passeggeri - calcolato su base media giornaliera - potrebbe innescare fenomeni di congestione severa qualora i flussi si concentrassero nei periodi di punta.

Tabella 5-2: Rapporto Flusso/Capacità (F/C) – scenario SC25-1

CONFINE	VALICO	SC25-0 Veic. Eq.	SC25-1 Veic. Eq.	SC25-0 F/C	SC25-1 F/C
IT - FR	Ventimiglia A10	49.549	49.680	0,57	0,58
	Ventimiglia SS1	12.432	12.443	0,38	0,38
	Fréjus A32/T4	9.428	12.806	0,39	0,53
	Monte Bianco A5/T1 ✕	8.031	-	0,33	-
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	794	2.539	0,06	0,18
	Sempione SS33	3.583	6.064	0,12	0,21
	Gottardo A2	20.217	28.690	0,70	1,00
	Gottardo Passo	402	402	0,03	0,03
	San Bernardino A13	8.570	9.605	0,36	0,40
IT - AT	Resia SS40	1.133	1.161	0,08	0,08
	Brennero A22 ⚠	37.857	30.591	0,66	0,98
	Brennero SS12	4.749	9.237	0,19	0,37
	Tarvisio A23	20.549	21.442	0,26	0,27
AT	*Felbertauern*	5.200	6.232	0,14	0,16
IT – SI	Fernetti RA13	4.496	4.504	0,06	0,06

Nello **scenario SC25-2** (Tabella 5-3), a conferma di quanto già illustrato nel paragrafo 4.1.2, risulta lampante la saturazione sulla **statale di Ventimiglia (SS1)** con un valore del rapporto Flusso/Capacità pari a 1,14 che indica un concreto rischio di paralisi a causa dell'interruzione sulla A10. Oltre a questo, il punto di attenzione si conferma anche il **Passo del Gottardo**, con un indice pari a 1,03.

Tabella 5-3: Rapporto Flusso/Capacità (F/C) – scenario SC25-2

CONFINE	VALICO	SC25-0 Veic. Eq.	SC25-2 Veic. Eq.	SC25-0 F/C	SC25-2 F/C
IT - FR	Ventimiglia A10 ✕	49.549	-	0,57	-
	Ventimiglia SS1	12.432	40.708	0,38	**1,14**
	Fréjus A32/T4	9.428	12.125	0,39	0,51
	Monte Bianco A5/T1	8.031	9.105	0,33	0,38
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	794	916	0,06	0,06
	Sempione SS33	3.583	5.273	0,12	0,17
	Gottardo A2 ✕	20.217	-	0,70	-
	Gottardo Passo	402	14.771	0,03	**1,03**
	San Bernardino A13	8.570	10.074	0,36	0,42
IT - AT	Resia SS40	1.133	1.213	0,08	0,09
	Brennero A22	37.857	42.192	0,66	**0,73**
	Brennero SS12	4.749	4.749	0,19	0,19
	Tarvisio A23	20.549	22.506	0,26	0,29
AT	*Felbertauern*	5.200	5.680	0,14	0,15
IT – SI	Fernetti RA13 ✕	4.496	-	0,06	-

Nella tabella seguente (Tabella 5-4) si riassume il confronto tra i livelli di saturazione della rete stradale (in termini di veicoli equivalenti) e le variazioni di passeggeri/giorno e tonnellate/giorno sulla rete ferroviaria evidenziando le criticità sulla rete stradale (dove l'indice di saturazione è superiore a 1) e ferroviaria (dove le variazioni sono importanti).

Le principali emergenze derivanti dalle simulazioni al 2025 si possono riassumere come segue:

- **ITALIA-FRANCIA**: nel primo scenario l'alert è sulla **linea ferroviaria di Ventimiglia** (a causa della chiusura della linea convenzionale del Fréjus); nel secondo scenario l'emergenza è sulla **statale di Ventimiglia** (a causa della chiusura sulla A10), ma anche al **tunnel ferroviario del Fréjus** (a causa della chiusura del Sempione e dalle limitazioni stradali a Ventimiglia)
- **ITALIA-SVIZZERA**: nel primo scenario, l'interruzione contemporanea della linea ferroviaria del Fréjus e di quella del Gottardo provoca incrementi importanti sulla **linea del Sempione**, ma preoccupano anche i livelli di saturazione del tunnel autostradale del Gottardo; nel secondo scenario, la chiusura delle linee del Sempione e del Brennero e del tunnel stradale del Gottardo incidono particolarmente sulla **linea ferroviaria del Gottardo** (traffico merci) e sul **Passo del Gottardo**
- **ITALIA-AUSTRIA**: in questo caso particolarmente rilevante è la situazione che si crea nel primo scenario, con la chiusura delle due linee ferroviarie (Fréjus e Gottardo), rispettivamente sul fronte francese e svizzero, portando a incrementi rilevanti del **traffico merci** sulla **linea storica del Brennero**
- **ITALIA-SLOVENIA**: non si rilevano criticità evidenti causate dalle restrizioni simulate.

A parte la statale di Ventimiglia e il Passo del Gottardo, le situazioni più critiche si rilevano, quindi, nel comparto ferroviario.

Tabella 5-4: Sintesi criticità stradali e ferroviarie 2025 – Confronto SC25-1 e SC25-2 rispetto allo scenario SC25-0

			SC25-1			SC25-2		
			STRADA	FERROVIA		STRADA	FERROVIA	
			Pax - Merci	Pax	Merci	Pax - Merci	Pax	Merci
Confine	Valico	TIPO	F/C	Var. %	Var. %	F/C	Var. %	Var. %
IT - FR	Ventimiglia A10	strada	0,58			Chiusura A10		
	Ventimiglia SS1	strada	0,38			1,14		
	Ventimiglia linea	*ferrovia*		-	+46%		+17%	+15%
	Fréjus A32/T4	strada	0,53			0,51		
	Fréjus/Moncenisio linea storica	*ferrovia*		*Chiusura linea storica Frejus*			+18%	+54%
	Monte Bianco A5/T1	strada	*Chiusura TMB*			0,38		
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	strada	0,18			0,06		
	Sempione SS33	strada	0,21			0,17		
	Sempione linea	*ferrovia*		+48%	+45%		*Chiusura linea Sempione*	
	Gottardo A2	strada	1,0			*Chiusura Gottardo A2*		
	Gottardo linea	*ferrovia*		*Chiusura linea Gottardo*			+21%	+62%
	Gottardo passo	strada	0,03			1,03		
	San Bernardino A13	strada	0,4			0,42		
IT - AT	Resia SS40	strada	0,08			0,09		
	Brennero A22	strada	0,98 *(limit. A22)*			0,73		
	Brennero SS12	strada	0,37			0,19		
	Brennero linea	*ferrovia*		+7%	+25%		*Chiusura linea Brennero*	
	Tarvisio A23	strada	0,27			0,29		
	Tarvisio linea	*ferrovia*		-1%	+13%		+34%	+11%
AT	*Felbertauern*	strada	0,16			0,15		
IT - SI	Fernetti RA13	strada	0,06			*Chiusura Fernetti A3*		
	Villa Opicina	*ferrovia*		-3%	+0,1%		+2%	+2%

5.2 Scenari al 2040

Già nello scenario di riferimento, senza considerare eventuali interruzioni, la crescita della domanda stradale prevista comporta un maggior utilizzo delle strade che, in alcuni casi, arrivano ad un livello di servizio D (Gottardo, Ventimiglia A10 e Brennero A22).

Tabella 5-5: Confronto Flusso/Capacità (F/C) – scenario riferimento 2025 e 2040

CONFINE	VALICO	SC25-0 F/C	SC40-0 F/C
IT - FR	**Ventimiglia A10**	0,63	**0,81**
	Ventimiglia SS1	0,43	0,45
	Fréjus A32/T4	0,39	0,65
	Monte Bianco A5/T1	0,33	0,53
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	0,06	0,09
	Sempione SS33	0,12	0,14
	Gottardo A2	0,70	**0,80**
	Gottardo Passo	0,03	0,03
	San Bernardino A13	0,36	0,45
IT - AT	Resia SS40	0,08	0,11
	Brennero A22	0,66	**0,83**
	Brennero SS12	0,19	0,20
	Tarvisio A23	0,26	0,39
AT	*Felbertauern*	0,14	0,18
IT – SI	Fernetti RA13	0,06	0,10

Nello scenario SC40-1, a causa dele restrizioni al tunnel del Monte Bianco e all'asse autostradale del Brennero, peggiora ulteriormente il livello di servizio su Gottardo e Brennero che passano alla classe E, con Ventimiglia che permane nel livello di servizio D.

Tabella 5-6: Rapporto Flusso/Capacità (F/C) – scenario SC40-1

CONFINE	VALICO	SC40-0 Veic. Eq.	SC40-1 Veic. Eq.	SC40-0 F/C	SC40-1 F/C
IT - FR	**Ventimiglia A10**	81.467	80.640	0,81	**0,80**
	Ventimiglia SS1	16.218	16.170	0,50	0,50
	Fréjus A32/T4	15.551	16.340	0,65	0,68
	Monte Bianco A5/T1	12.805	12.047	0,53	0,50
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	1.273	1.749	0,09	0,12
	Sempione SS33	4.160	5.438	0,14	0,19
	Gottardo A2	29.245	37.373	**0,80**	**1,00**
	Gottardo Passo	454	454	0,04	0,04
	San Bernardino A13	10.867	11.066	0,45	0,46
IT - AT	Resia SS40	1.514	1.509	0,11	0,10
	Brennero A22	47.769	37.138	**0,83**	**0,97**
	Brennero SS12	5.012	9.582	0,20	0,38
	Tarvisio A23	30.668	31.410	0,39	0,40
AT	*Felbertauern*	6.822	8.036	0,18	0,21
IT – SI	Fernetti RA13	6.806	6.993	0,10	0,10

Nello scenario SC40-2, pur in presenza di lievi peggioramenti, i livelli di servizio rimangono

nella stessa categoria dello scenario di riferimento al 2040, suggerendo che le variazioni maggiori di volume vengono gestite tramite lo shift modale verso la ferrovia.

Tabella 5-7: Rapporto Flusso/Capacità (F/C) – scenario SC40-2

CONFINE	VALICO	SC40-0 Veic. Eq.	SC40-2 Veic. Eq.	SC40-0 F/C	SC40-2 F/C
IT - FR	**Ventimiglia A10**	81.467	81.463	**0,81**	**0,81**
	Ventimiglia SS1	16.218	16.212	0,50	0,50
	Fréjus A32/T4	15.551	16.230	0,65	0,68
	Monte Bianco A5/T1	12.805	12.966	0,53	0,54
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	1.273	1.290	0,09	0,09
	Sempione SS33	4.160	4.154	0,14	0,14
	Gottardo A2	29.245	29.689	**0,80**	**0,82**
	Gottardo Passo	454	470	0,04	0,04
	San Bernardino A13	10.867	10.862	0,45	0,45
IT - AT	Resia SS40	1.514	1.515	0,11	0,11
	Brennero A22	47.769	50.665	**0,83**	**0,88**
	Brennero SS12	5.012	5.012	0,20	0,20
	Tarvisio A23	30.668	31.116	0,39	0,40
AT	*Felbertauern*	6.822	6.821	0,18	0,18
IT – SI	Fernetti RA13	6.806	6.983	0,10	0,10

Il confronto integrato nella tabella seguente evidenzia l'impatto delle infrastrutture di nuova generazione. Le principali emergenze in questo caso si possono riassumere come segue:

- **ITALIA-FRANCIA**: nel primo scenario l'alert è sulla **linea ferroviaria di Ventimiglia** (a causa della chiusura della linea convenzionale del Fréjus) e sul rischio di saturazione della **A10**; nel secondo scenario l'emergenza è ancora sull'A10, ma soprattutto sulla **linea storica del Fréjus** (che vede un incremento dei mezzi pesanti del +130%)
- **ITALIA-SVIZZERA**: nel primo scenario, incrementi importanti si rilevano sulla **linea del Sempione** e al tunnel autostradale del Gottardo; nel secondo scenario, la mancata apertura delle due gallerie di base incide su entrambe le linee ferroviarie (Sempione e Gottardo), seppur in misura contenuta
- **ITALIA-AUSTRIA**: nel primo scenario aumenta in maniera significativa il traffico passeggeri su entrambe le **linee del Brennero** e, allo stesso tempo, le limitazioni sulla A22 ne compromettono il livello di servizio (al limite della saturazione); nel secondo scenario, la mancata operatività del BBT, fa "esplodere" il traffico merci sulla linea storica del Brennero
- **ITALIA-SLOVENIA**: non si rilevano criticità evidenti causate dalle restrizioni simulate.

Anche negli scenari al 2040, predominano le criticità sugli assi ferroviari, ma con situazioni al limite della capacità anche su alcune arterie autostradali, in corrispondenza di Ventimiglia, Gottardo e Brennero.

Tabella 5-8: Sintesi criticità stradali e ferroviarie 2040 – Confronto SC40-1 e SC40-2 rispetto allo scenario SC40-0

			SC40-1			SC40-2		
			STRADA	FERROVIA		STRADA	FERROVIA	
			Pax - Merci	Pax	Merci	Pax - Merci	Pax	Merci
Confine	Valico	TIPO	F/C	Var. %	Var. %	F/C	Var. %	Var. %
IT - FR	Ventimiglia A10	strada	0,80			0,81		
	Ventimiglia SS1	strada	0,50			0,50		
	Ventimiglia linea	*ferrovia*		+46%	+31%		+8%	-30%
	Fréjus A32/T4	strada	0,68			0,68		
	Fréjus/Moncenisio linea storica	*ferrovia*		*Chiusura linea storica Frejus*			+10%	+130%
	NLTL	*ferrovia*		+12%	+11%		*Galleria di base non attiva*	
	Monte Bianco (doppia canna)	strada	0,50 *(1 canna)*			0,54		
IT - CH	G. S. Bernardo SS27/T2	strada	0,12			0,09		
	Sempione SS33	strada	0,19			0,14		
	Sempione linea	*ferrovia*		+155%	+48%		+25%	+9%
	Gottardo A2	strada	1,0			0,82		
	Gottardo linea	*ferrovia*		*Chiusura linea Gottardo*			+9%	+18%
	Gottardo passo	strada	0,04			0,04		
	San Bernardino A13	strada	0,46			0,45		
IT - AT	Resia SS40	strada	0,10			0,11		
	Brennero A22	strada	0,97 *(limit. A22)*			0,88		
	Brennero SS12	strada	0,38			0,20		
	Brennero linea storica	*ferrovia*		+90%	+26%		+8%	+412%
	BBT	*ferrovia*		+174%	+43%		*Galleria di base non attiva*	
	Tarvisio A23	strada	0,40			0,40		
	Tarvisio linea	*ferrovia*		+8%	+3%		-1%	+8%
AT	*Felbertauern*	strada	0,21			0,18		
IT - SI	Fernetti RA13	strada	0,10			0,1		
	Villa Opicina	*ferrovia*		-5%	-0,3%		-0,2%	-0,02%

6 VALUTAZIONE DI EFFETTI DIRETTI ED ESTERNALITÀ

Come descritto nel Capitolo 4, il modello utilizzato per le presenti analisi adotta un approccio multimodale a domanda totale rigida. Questo implica che, sebbene il sistema consideri le diverse opzioni di trasporto disponibili per ogni direttrice, il volume complessivo degli spostamenti rimane costante, simulando uno scenario in cui la necessità di mobilità e scambio merci non flette a seguito di eventi perturbatori.

All'interno di questo quadro, la valutazione degli impatti socioeconomici e delle esternalità viene focalizzata esclusivamente sulla **modalità di trasporto stradale**. Tale scelta, in coerenza con quanto evidenziato anche nel capitolo precedente, è motivata da un approccio cautelativo che tiene conto del fatto che la rete ferroviaria alpina, essendo regolata da piani di capacità predefiniti, presenta esternalità marginali residue e una stabilità di costi esterni che non influenzerebbe significativamente il differenziale dell'analisi di resilienza. Al contrario, la rete stradale manifesta una sensibilità elevata alle variazioni di percorso (distanze) e di deflusso (congestione), rappresentando il **principale driver di variazione dei costi sociali e ambientali negli scenari di crisi**.

Pertanto, l'analisi sviluppata in questo capitolo si concentra sulla **quantificazione dei sovraccosti generati dalla deviazione dei flussi veicolari**: in altre parole, il danno provocato alla società - in termini di salute, ambiente e operatività logistica - dal traffico che non può spostarsi sulla modalità treno durante una chiusura stradale.

Per la **monetizzazione degli impatti diretti** (costi operativi di viaggio legati alle distanze percorse e ai tempi di percorrenza) **ed esterni** (effetti sull'ambiente, in termini di CO_2 e altri inquinanti, e sulla società, in termini di rumore e incidentalità), vengono adottati dei coefficienti in coerenza con le **linee guida europee e nazionali**, differenziati tra merci e passeggeri.

Coerentemente con un approccio standardizzato, che si avvale di una modellistica di riferimento a livello europeo, i parametri di costo sono applicati su base aggregata, prescindendo da coefficienti correttivi legati alle specificità orografiche alpine (come l'acclività del tracciato). Questo approccio consente di non alterare la coerenza dei risultati complessivi nel confronto tra i diversi scenari. Si evidenzia, pertanto, che gli impatti calcolati rappresentano una stima conservativa: l'omissione di coefficienti correttivi specifici per percorsi di montagna suggerisce che gli impatti reali siano verosimilmente superiori a quelli stimati.

6.1 Variazione dei veicoli-km e dei veicoli-ora

Il confronto tra le variazioni dei veicoli-km e dei veicoli-ora, nello scenario simulato rispetto allo scenario di riferimento, fornisce un'indicazione della resilienza delle reti. Infatti, si può considerare che:

- se i veicoli-km e i veicoli-ora crescono o decrescono della stessa percentuale significa che il traffico non subisce eccessive penalizzazioni in termini di tempo, e quindi costo, a causa delle interruzioni ipotizzate (questo perché l'aumento dei veicoli-ora dipende

esclusivamente dal fatto che lungo quella direttrice passano più veicoli);

- se i veicoli-ora crescono molto di più dei veicoli-km o decrescono molto meno, significa che la rete lungo quella direttrice è nel complesso in sofferenza (in questo caso, infatti, l'aumento dei veicoli-ora non è semplicemente proporzionale all'aumento dei veicoli-km, ma cresce anche perché i veicoli viaggiano a una velocità minore);
- se i veicoli-km decrescono, ma i veicoli-ora aumentano significa che c'è una situazione particolarmente critica che richiede attenzione in modo prioritario.

6.1.1 Analisi per direttrice

Per valutare la resilienza del complesso delle reti dei valichi, sono state considerate sei direttrici di traffico principali - Tabella 6-1. Sono quindi state calcolate le **variazioni dei veicoli-km e dei veicoli-ora**[42] dei mezzi che transitano per i valichi di riferimento per poter evidenziare quali direzioni sono particolarmente sotto pressione a causa della capacità insufficiente o della mancanza di alternative.

Tabella 6-1: Direttrici di traffico principali

DIRETTRICE DI TRAFFICO	PAESI ATTRAVERSATI PRINCIPALI	VALICHI PRINCIPALI DI RIFERIMENTO
Sud Ovest	Sud della Francia / Spagna	Ventimiglia
Ovest-Nord Ovest	Francia / Svizzera / Belgio	Fréjus / Monte Bianco / Gran San Bernardo
Nord-Nord Ovest	Svizzera / Belgio / Olanda / Germania Nord Ovest	Sempione / Gottardo / San Bernardino
Nord	Germania / Scandinavia / Austria Occidentale	Brennero
Nord-Nord Est	Austria Orientale / Slovacchia / Cechia / Polonia/ Repubbliche Baltiche	Tarvisio
Est	Slovenia / Croazia / Ungheria / Balcani	Fernetti/Villa Opicina

Osservando le variazioni calcolate nello **scenario SC25-1** (Tabella 6-2), si può affermare che:

- in direzione **Ovest-Nord Ovest**, i veicoli-ora diminuiscono leggermente meno dei veicoli-km, quindi, questa direttrice è **sufficientemente resiliente** da gestire le chiusure senza un drastico peggioramento delle condizioni di viaggio
- in direzione **Nord-Nord Ovest**, i veicoli-ora aumentano più dei veicoli-km, quindi, si verifica una **situazione di congestione**, confermata anche dal rapporto flusso/capacità lungo il valico del San Gottardo (cfr. §5.1)
- in direzione **Nord**, i veicoli-ora diminuiscono meno dei veicoli-km, pertanto anche questa direttrice appare sufficientemente resiliente e quindi in grado di gestire la riduzione di capacità senza particolari problemi.

[42] Il calcolo è stato effettuato in termini di veicoli equivalenti (1 mezzo pesante= 2mezzi leggeri).

Tabella 6-2: Variazione veicoli-km e veicoli-ora per direttrice nello scenario SC25-1

DIRETTRICE	Veicoli-km	Veicoli-ora
Sud Ovest	+1,1%	+1,3%
Ovest-Nord Ovest	-16,8%	-14,2%
Nord-Nord Ovest	+32,3%	+37,3%
Nord	-7,7%	-1,1%
Nord-Nord Est	+5,6%	+5,5%
Est	+2,4%	+2,2%

Nello **scenario SC25-2** (Tabella 6-3):

- in direzione **Sud Ovest**, nonostante una diminuzione di quasi il 15% dei veicoli-km dovuta alla deviazione dei percorsi, si registra un aumento di circa il 3% dei veicoli-ora, a indicare un **significativo livello di congestione**, confermato anche dal rapporto flusso/capacità (cfr. §5.1); lo scarso livello di resilienza è causato dalla mancanza di alternative e dalla necessità di interventi infrastrutturali o di un importante intervento di gestione del traffico in caso di emergenza
- in direzione **Nord-Nord Ovest**, i veicoli-ora diminuiscono meno dei veicoli-km, a indicare un **elevato livello di congestione** (in questa direttrice, in caso di chiusure, è necessario trovare un accordo tra i Paesi per consentire percorsi alternativi durante i periodi di emergenza anche lungo itinerari normalmente vietati ai mezzi pesanti).

Tabella 6-3: Variazione veicoli-km e veicoli-ora per direttrice nello scenario SC25-2

DIRETTRICE	Veicoli-km	Veicoli-ora
Sud Ovest	-14,8%	+2,6%
Ovest-Nord Ovest	+24,0%	+20,5%
Nord-Nord Ovest	-10,7%	-1,0%
Nord	+12,2%	+12,7%
Nord-Nord Est	+6,1%	+6,0%
Est	+2,5%	+3,5%

Nello **scenario SC40-1**, con l'ipotesi di chiusura della ferrovia del Gottardo e della linea storica del Fréjus, nonostante non si verifichino contemporaneamente chiusure stradali significative e i tunnel del Fréjus e del Brennero siano aperti, le condizioni di percorrenza lungo le direttrici Nord-Nord Ovest e Nord peggiorano a causa dell'elevata domanda di merci stimata al 2040.

Tabella 6-4: Variazione veicoli-km e veicoli-ora per direttrice nello scenario SC40-1

DIRETTRICE	Veicoli-km	Veicoli-ora
Sud Ovest	-2,3%	-1,1%
Ovest-Nord Ovest	-1,2%	-1,8%
Nord-Nord Ovest	+16,3%	+24,7%
Nord	-7,4%	+0,2%
Nord-Nord Est	+2,1%	+1,1%
Est	-0,9%	-2,4%

È da notare che già nello scenario di riferimento 2040 (cfr. §5.1), senza alcuna restrizione, le condizioni di circolazione lungo questi due assi portanti (Gottardo e Brennero) iniziano a presentare criticità.

Infine, nello **scenario SC40-2**, in cui si assume che le gallerie del Brennero e del Frejus non siano attivate nei tempi previsti, si ha un incremento di circa l'8% dei veicoli-km lungo l'asse del Brennero, a causa dello shift modale della merce che non verrebbe trasportata lungo la linea storica, con conseguente peggioramento delle condizioni di circolazione stradale (già difficili nello scenario di riferimento con il livello di domanda stimato per il 2040). Meno problematica, invece, risulta l'eventuale mancata realizzazione della galleria del Fréjus.

Tabella 6-5: Variazione veicoli-km e veicoli-ora per direttrice nello scenario SC40-2

DIRETTRICE	Veicoli-km	Veicoli-ora
Sud Ovest	+0,03%	+0,7%
Ovest-Nord Ovest	+3,1%	+1,1%
Nord-Nord Ovest	-0,1%	+1,3%
Nord	+8,1%	+9,3%
Nord-Nord Est	+0,3%	+0,4%
Est	-0,1%	+0,1%

6.2 Monetizzazione degli impatti

6.2.1 Costi diretti

Le criticità registrate nei diversi scenari derivano dalla combinazione di diversi fattori penalizzanti per la fluidità del traffico lungo i principali corridoi alpini. Tali dinamiche si riflettono in un **aumento generalizzato dei costi operativi di viaggio** evidenziando le tratte più sollecitate e le variazioni più significative per le direttrici coinvolte. Tali incrementi sono calcolati sulla base della variazione dell'incremento delle percorrenze e delle ore totali di viaggio su strada.

Di seguito si riportano gli **incrementi annuali stimati** per scenario e segmento di domanda.

Tabella 6-6: Incrementi annuali veicoli-ora e veicoli-km per scenario e segmento di domanda

SCENARIO	VEICOLI-KM (Mln)		VEICOLI-ORA (Mln)	
	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti
SC25-1	+586,1	+326,1	+17,9	+8,3
SC25-2	-698,5	+346,3	+21,3	+8,8
SC40-1	+22,6	+112,3	+24,0	+2,3
SC40-2	-13,8	+456,0	+3,1	+8,2

Applicando i parametri della tabella sottostante (Tabella 6-7), si ottengono gli incrementi di costo come riportato nella Tabella 6-8.

Tabella 6-7: Parametri utilizzati per il calcolo del costo

PARAMETRO	MEZZI LEGGERI	MEZZI PESANTI
Valore del tempo	12 €/h	40 €/h
Costo chilometrico	0,36 €/km	1,5 €/km

Sebbene gli scenari SC25-2 e SC40-2 mostrino una contrazione dei chilometri totali percorsi dai mezzi leggeri, l'impatto sulla fluidità è talmente negativo che il tempo speso nel traffico per chi resta è comunque superiore allo scenario di riferimento, dimostrando un peggioramento netto dell'efficienza trasportistica. In particolare, nello scenario SC25-2, l'ipotesi di chiusura del valico di Ventimiglia sulla A10, come è stato evidenziato nei capitoli precedenti, provoca un incremento esponenziale del traffico pesante sulla statale di Ventimiglia (SS1 Aurelia), portandola alla saturazione e costringendo i mezzi leggeri a intraprendere percorsi alternativi. I dati evidenziano una rete prossima al collasso, dove l'incremento del traffico pesante satura l'infrastruttura al punto da impedire fisicamente il transito di una quota rilevante di veicoli leggeri, penalizzando pesantemente la mobilità privata.

Tabella 6-8: Incrementi di costo annuali per scenario e segmento di domanda

SCENARIO	VEICOLI-KM (Mln €/anno)		VEICOLI-ORA (Mln €/anno)	
	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti
SC25-1	+211,0	+489,1	+214,6	+332,2
SC25-2	-251,5	+514,9	+255,6	+351,7
SC40-1	+8,1	+168,5	+287,6	+91,7
SC40-2	-5,0	**+684,1**	+36,6	**+326,5**

La monetizzazione degli impatti conferma, quindi, la saturazione critica dei corridoi, che può essere riassunta come segue.

Negli **scenari al 2025** i costi aggiuntivi per il sistema del trasporto stradale di merci, dovuti a tempi aumentati e percorrenze allungate, derivanti dalle interruzioni ipotizzate, sono dello stesso ordine di grandezza. Nello scenario SC25-2, si osserva come la riduzione "forzata" delle percorrenze dei mezzi leggeri generi un risparmio puramente teorico sui costi chilometrici (- 251,5 Mln €/anno), che viene però assorbito dall'incremento dei costi temporali (+255,6 Mln €/anno). Non è quindi un risparmio, ma un "costo d'opportunità" o una perdita di benessere per gli utenti che rinunciano allo spostamento o sono costretti a percorsi inefficienti.

Negli **scenari al 2040** le simulazioni mostrano che, in uno scenario in cui la domanda di trasporto è già molto cresciuta rispetto all'anno base, la mancata apertura nei tempi previsti della galleria di base del Brennero e della Nuova Linea Torino-Lione (SC40-2) comporta un incremento di costi per i mezzi pesanti più alto di tutti gli altri scenari (oltre un miliardo di euro all'anno tra percorrenze e tempi). Considerato che l'UE prevede per il 2040 forti crescite del trasporto ferroviario, senza il supporto di un'offerta ferroviaria adeguata, l'insostenibilità del sistema stradale è lampante. Il confronto diretto è con lo scenario SC40-1 dove non ci sono rilevanti interruzioni stradali e il traffico delle linee ferroviarie storiche non operative può venire assorbito dalle nuove linee ad alta capacità.

Dato che il risultato complessivo deriva da una sovrapposizione di effetti:

- cambio di percorso per alcuni itinerari (con conseguente aumento di veicoli-km e dei veicoli-ora)
- aumento dei tempi di percorrenza per i mezzi che non cambiano percorso (aumento veicoli-ora) per effetto di riduzioni di capacità
- aumento di percorrenze e tempi per effetto del cambio modale dalla ferrovia alla strada

si può stimare che l'impatto complessivo sia compreso tra la variazione di costo basata sul puro aumento di percorrenze aggiuntive e la somma delle due variazioni di costo (veicoli-ora e veicoli-km), come illustrato nella tabella seguente.

Tabella 6-9: Range delle variazioni dei costi diretti annuali in Milioni di Euro

SCENARIO	VARIAZIONE COSTO MINIMA (Mln €/anno)		VARIAZIONE COSTO MASSIMA (Mln €/anno)	
	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti
SC25-1	+211	+489,1	+425,6	+821,3
SC25-2	-251,5	+514,9	+4,1	+866,6
SC40-1	+8,1	+168,5	+295,7	+260,2
SC40-2	-5	**+684,1**	+31,6	**+1.010,6**

6.2.2 Costi esterni

La valutazione delle esternalità viene sviluppata in termini di **impatto sull'ambiente** (emissioni di CO_2 e altri inquinanti) **e impatto sulla società** (inquinamento acustico e rischio di incidentalità).

Valutazione dell'impatto ambientale

Per quanto riguarda l'impatto ambientale, la distinzione tra la CO_2 (anidride carbonica) e gli "altri inquinanti" è importante dato che hanno effetti e scale d'impatto diversi: la CO_2 è responsabile del riscaldamento globale (effetto climalterante), mentre gli altri inquinanti (che comprendono CO, NOx, PM, VOC) colpiscono la salute umana e la qualità dell'aria a livello locale.

Tabella 6-10: Tipologie di emissioni e inquinanti

SIGLA	NOME ESTESO	TIPO IMPATTO	EFFETTI
CO_2	Anidride Carbonica	**Globale** (Climalterante)	È il principale responsabile dell'effetto serra e del surriscaldamento del pianeta
CO	Monossido di Carbonio	**Locale** (Tossico)	Gas invisibile e inodore; riduce la capacità del sangue di trasportare ossigeno
NOx	Ossidi di Azoto	**Locale** (Sanitario)	Irritanti per le vie respiratorie; determinanti nella formazione di smog e piogge acide
PM	Materia Particolata	**Locale** (Sanitario)	Polveri sottili (PM_{10}, $PM_{2,5}$) che penetrano nei polmoni, causando malattie cardiovascolari
VOC	Composti Organici Volatili	**Locale** (Ambientale)	Idrocarburi che, reagendo con il sole, creano l'ozono "cattivo" a livello del suolo

Le emissioni di CO_2 e degli inquinanti sono calcolate applicando i coefficienti medi per veicolo-km dell'EU Reference Scenario 2020. Tale rapporto fornisce fattori di emissioni e consumi per Paese fino all'anno 2050 tenendo conto dello sviluppo tecnologico, della legislazione e del rinnovo della flotta.

L'analisi dell'**impatto della CO_2** è stata condotta in termini sia quantitativi (massa di emissioni) che monetari (impatto socioeconomico). Infatti, il dato sulle tonnellate di CO_2 evidenzia lo stress fisico (energetico) del sistema durante la crisi, mentre la valutazione monetaria quantifica la sostenibilità economica di tale stress e permette di pesare tale impatto all'interno del calcolo complessivo della resilienza, facilitando il confronto con i costi diretti illustrati nel paragrafo precedente. Di seguito si riportano le variazioni monetarie e quantitative di CO_2 rispetto allo scenario di riferimento (SC25-0 e SC40-0), in valore assoluto, per scenario e per direttrice.

Tabella 6-11: Variazioni monetarie e quantitative di CO_2 per scenario (v.a)

SCENARIO	Milioni €/anno *(variazione assoluta rispetto a SCX-0)*		Milioni tonn/anno *(variazione assoluta rispetto a SCX-0)*	
	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti
SC25-1	+35,6	+50,0	+0,2	+0,2
SC25-2	-26,4	+52,7	-0,1	+0,3
SC40-1	+2,7	+54,8	+0,004	+0,1
SC40-2	-1,7	+222,6	-0,003	+0,3

Tabella 6-12: Variazioni monetarie e quantitative di CO_2 per direttrice (v.a) – Scenari al 2025

DIRETTRICE	Valore SC25-0		Var. assoluta SC25-1		Var. assoluta SC25-2	
	Mln €/anno	Mln tonn/anno	Mln €/anno	Mln tonn/anno	Mln €/anno	Mln tonn/anno
Sud Ovest	548,7	2,7	+8,8	+0,04	-69,2	-0,3
Ovest-Nord Ovest	228,9	1,1	-36,5	-0,2	+50,4	+0,2
Nord-Nord Ovest	285,8	1,4	+106,8	+0,5	-37,1	-0,2
Nord	443,4	2,1	-16,5	-0,1	+54,2	+0,3
Nord-Nord Est	298,8	1,4	+16,8	+0,1	+17,4	+0,1
Est	252,3	1,2	+6,1	+0,03	+10,5	+0,1
TOTALE	**2.057,9**	**10,0**	**+85,6**	**+0,4**	**+ 26,2**	**+0,1**

Tabella 6-13: Variazioni monetarie e quantitative di CO_2 per direttrice (v.a) – Scenari al 2040

DIRETTRICE	Valore SC40-0		Var. assoluta SC40-1		Var. assoluta SC40-2	
	Mln €/anno	Mln tonn/anno	Mln €/anno	Mln tonn/anno	Mln €/anno	Mln tonn/anno
Sud Ovest	2.427,7	3,7	-53,5	-0,1	+1,1	+0,002
Ovest-Nord Ovest	882,6	1,3	-15,6	-0,02	+31,0	+0,05
Nord-Nord Ovest	1.128,9	1,7	+259,9	+0,4	+0,2	+0,0003
Nord	1.637,8	2,5	-141,4	-0,2	+186,3	+0,3
Nord-Nord Est	1.270,7	1,9	+18,2	+0,03	+3,2	+0,005
Est	920,7	1,4	-10,1	-0,02	-0,9	-0,001
TOTALE	**8.268,4**	**12,6**	**+57,6**	**+0,1**	**+220,9**	**+0,3**

L'aumento dei costi totali dimostra che, senza interventi, la gestione delle emissioni diventerà

un peso economico rilevante per il sistema dei trasporti. È evidente come lo scenario SC40-2 metta particolarmente in crisi il trasporto di mezzi pesanti e come le direttrici Nord (Brennero) e Nord-Nord-Ovest (Sempione / Gottardo / San Bernardino) rappresentino i target primari per interventi di efficientamento.

Per quanto riguarda l'**impatto degli "altri inquinanti"** (CO, NOx, PM, VOC), le tabelle seguenti riportano le variazioni calcolate per scenario e direttrice di traffico rispetto al relativo scenario di riferimento (SC25-0 e SC40-0)

Tabella 6-14: Variazione dell'impatto di "altri inquinanti" per scenario (v.a.)

SCENARIO	Milioni €/anno *(variazione assoluta rispetto a SCX-0)*	
	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti
SC25-1	+2,5	**+21,0**
SC25-2	-1,9	**+22,1**
SC40-1	+0,1	+7,2
SC40-2	-0,04	**+29,4**

Tabella 6-15: Variazione dell'impatto di "altri inquinanti" per direttrice (v.a.) – Scenari al 2025

DIRETTRICE	Valore SC25-0	Var. assoluta SC25-1	Var. assoluta SC25-2
	Mln €/anno	Mln €/anno	Mln €/anno
Sud Ovest	132,8	+3,5	-10,6
Ovest-Nord Ovest	76,7	-11,4	+15,0
Nord-Nord Ovest	58,4	**+29,9**	-11,2
Nord	133,8	-6,0	**+16,4**
Nord-Nord Est	98,3	+5,6	+5,3
Est	86,3	+2,1	+5,3
TOTALE	**586,4**	**+23,5**	**+ 20,2**

Tabella 6-16: Variazione dell'impatto di "altri inquinanti" per direttrice (v.a.) – Scenari al 2040

DIRETTRICE	Valore SC40-0	Var. assoluta SC40-1	Var. assoluta SC40-2
	Mln €/anno	Mln €/anno	Mln €/anno
Sud Ovest	179,0	-3,5	+0,2
Ovest-Nord Ovest	91,7	-2,3	+3,7
Nord-Nord Ovest	71,0	**+29,7**	+0,2
Nord	151,3	-16,0	**+25,0**
Nord-Nord Est	135,0	+0,8	+ 0,3
Est	96,0	-1,3	-0,1
TOTALE	**723,9**	**+7,3**	**+29,3**

I dati evidenziano ulteriormente la criticità del traffico dei mezzi pesanti, che rappresenta quasi la totalità degli incrementi di spesa ambientale, in particolare nella direzione Nord-Nord Ovest che corrisponde alla direttrice dei valichi svizzeri (Sempione / Gottardo / San Bernardino).

Valutazione dell'impatto sociale

Spostando il focus sulla monetizzazione dell'impatto sociale, definito come la somma dei costi derivanti dall'inquinamento acustico (rumore) e dal rischio di incidentalità, di seguito si riportano le variazioni dei costi calcolati per scenario e per direttrice rispetto allo scenario di riferimento.

Tabella 6-17: Variazione dell'impatto sociale per scenario (v.a. Mln €/anno)

SCENARIO	RUMORE *(variazione assoluta rispetto a SCX-0)*		INCIDENTALITÀ *(variazione assoluta rispetto a SCX-0)*	
	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti	Mezzi leggeri	Mezzi pesanti
SC25-1	+2,4	+18,5	+1,2	**+34,4**
SC25-2	-1,8	+19,4	-0,9	**+36,2**
SC40-1	+0,1	+6,4	+0,03	+11,8
SC40-2	-0,04	+25,8	-0,02	**+48,1**

Tabella 6-18: Variazione dell'impatto sociale per direttrice (v.a. Mln €/anno) – Scenari al 2025

DIRETTRICE	Valore SC25-0		Var. assoluta SC25-1		Var. assoluta SC25-2	
	Rumore	Incidentalità	Rumore	Incidentalità	Rumore	Incidentalità
Sud Ovest	118,3	194,3	+3,1	+5,6	-9,6	-13,0
Ovest-Nord Ovest	67,8	121,0	-10,1	-17,8	+13,3	+23,1
Nord-Nord Ovest	52,4	81,2	**+26,5**	**+45,3**	-10,0	-17,4
Nord	118,5	206,7	-5,3	-9,7	+14,5	+25,3
Nord-Nord Est	86,9	154,6	+5,0	+8,9	+4,7	+8,3
Est	76,2	136,7	+1,8	+3,3	+4,7	+9,0
TOTALE	**520,0**	**894,6**	**+20,9**	**+35,6**	**+17,6**	**+35,3**

Tabella 6-19: Variazione dell'impatto sociale per direttrice (v.a. Mln €/anno) – Scenari al 2040

DIRETTRICE	Valore SC40-0		Var. assoluta SC40-1		Var. assoluta SC40-2	
	Rumore	Incidentalità	Rumore	Incidentalità	Rumore	Incidentalità
Sud Ovest	159,6	259,6	-3,2	-4,95	+0,1	+0,3
Ovest-Nord Ovest	81,0	144,3	-2,1	-3,9	+3,3	+6,0
Nord-Nord Ovest	63,6	97,7	**+26,2**	**+47,5**	+0,2	+0,3
Nord	134,1	232,4	-14,1	-25,6	+22,01	+41,1
Nord-Nord Est	119,2	213,4	+0,8	+1,0	+0,3	+0,4
Est	84,8	151,1	-1,2	-2,21	-0,1	-0,1
TOTALE	**642,3**	**1.098,6**	**+6,4**	**+11,9**	**+25,8**	**+48,1**

Il rischio di incidenti rappresenta la voce di costo sociale più elevata e critica ed è quasi interamente imputabile ai mezzi pesanti. L'analisi sull'impatto sociale mette ancora in luce l'emergenza sulla direttrice Nord-Nord Ovest, anche in termini di sicurezza e rumore, e nello scenario SC40-2, dove si rileva un incremento importante dei costi di incidentalità dei mezzi pesanti.

6.3 Quadro riassuntivo

L'analisi comparativa degli scenari evidenzia come le perturbazioni alla rete di trasporto alpina, misurate a partire dalle variazioni dei veicoli-km e dei veicoli-ora, generino costi sistemici significativi, derivanti dalla somma di impatti diretti (operativi) ed esternalità (ambientali e sociali).

Tabella 6-20: Quadro sinottico dei costi totali (Mln €/anno) - PASSEGGERI

Scenario	Operativi (Tempo + Distanza)	Ambientali (CO_2 + Inquinanti)	Sociali (Incidenti + Rumore)	TOTALE
SC25-0	11.151	852	81	12.083
SC25-1	11.704	890	85	12.678
SC25-2	11.155	823	78	12.056
SC40-0	15.138	3.421	107	18.666
SC40-1	15.434	3.424	107	18.965
SC40-2	15.170	3.419	107	18.696

Tabella 6-21: Quadro sinottico dei costi totali (Mln €/anno) - MERCI

Scenario	Operativi (Tempo + Distanza)	Ambientali (CO_2 + Inquinanti)	Sociali (Incidenti + Rumore)	TOTALE
SC25-0	18.232	1.793	1.334	21.359
SC25-1	19.054	1.864	1.386	22.304
SC25-2	19.099	1.867	1.389	22.355
SC40-0	22.896	5.571	1.634	30.101
SC40-1	23.157	5.633	1.652	30.442
SC40-2	23.907	5.823	1.708	31.438

Osservando le differenze tra scenari simulati e scenario di riferimento, si evince come, in tutti gli scenari, il **trasporto merci stradale** sia il principale driver di costo, assorbendo la quasi totalità degli incrementi. Nello scenario SC40-2, il solo incremento dei costi operativi per i mezzi pesanti supera il miliardo di euro annui a causa del mancato shift modale verso la ferrovia. È opportuno notare, infatti, che mentre l'innovazione tecnologica della flotta (EU Reference Scenario 2020) mitiga l'impatto unitario nel 2040, l'aumento volumetrico della domanda rischia di annullare i benefici tecnologici se i flussi non vengono gestiti (effetto "rimbalzo").

Tabella 6-22: Quadro sinottico delle variazioni dei costi (v.a. Mln €/anno) - PASSEGGERI

TIPOLOGIA COSTI	SC25-1	SC25-2	SC40-1	SC40-2
Operativi (Tempo + Distanza)	+553	+4	+296	+32
Ambientali (CO_2 + Inquinanti)	+38	-28	+3	-2
Sociali (Incidenti + Rumore)	+4	-3	+0,1	-0,1
TOTALE	**+595**	**-27**	**+299**	**+30**

Tabella 6-23: Quadro sinottico delle variazioni dei costi (v.a. Mln €/anno) - MERCI

TIPOLOGIA COSTI	SC25-1	SC25-2	SC40-1	SC40-2
Operativi (Tempo + Distanza)	+821	+867	+260	+1.011
Ambientali (CO_2 + Inquinanti)	+71	+75	+62	+252
Sociali (Incidenti + Rumore)	+53	+56	+18	+74
TOTALE	**+945**	**+997**	**+340**	**+1.336**

Tabella 6-24: Quadro sinottico delle variazioni dei costi (v.a. Mln €/anno) - TOTALE

TIPOLOGIA COSTI	SC25-1	SC25-2	SC40-1	SC40-2
Operativi (Tempo + Distanza)	+1.374	+871	+556	+1.043
Ambientali (CO_2 + Inquinanti)	+109	+46	+65	+250
Sociali (Incidenti + Rumore)	+57	+53	+18	+74
TOTALE	**+1.540**	**+970**	**+639**	**+1.366**

La seguente tabella di sintesi mette a confronto i costi operativi rispetto ai costi esterni totali per la collettività (sociali e ambientali). Da questo quadro, emerge con ancora più evidenza come nel 2040 (SC40-2) il peso delle esternalità triplichi rispetto al 2025, indicando un deterioramento della sostenibilità, non solo logistica.

Tabella 6-25: Rapporto tra variazione costi diretti e variazione costi esterni (v.a. Mln €/anno)

SCENARIO	Variazione Costi Diretti	Variazione Esternalità Totali	Rapporto
SC25-1	+1.374	+166	8:1
SC25-2	+871	+99	9:1
SC40-1	+556	+83	7:1
SC40-2	+1.043	+324	3:1

Anche dall'analisi delle variazioni degli impatti per direttrice emerge come negli **scenari al 2040** l'insostenibilità del sistema stradale diventa palese qualora non vengano attivate le nuove linee ferroviarie ad alta capacità. Nello scenario SC40-2, l'assenza del supporto ferroviario adeguato (BBT e NLTL) genera conseguenze particolarmente critiche sulla **direttrice Nord (Brennero)**, dove i veicoli-km crescono dell'8,1% (cfr. §6.1.1) con un conseguente peggioramento delle condizioni di circolazione già difficili nello scenario base. A questo aggravio operativo si aggiunge una crescita esponenziale dei costi esterni: il rischio di incidentalità e le emissioni climalteranti gravano quasi esclusivamente sul segmento merci, rendendo la gestione delle emissioni un peso economico rilevante per l'intero sistema.

A rafforzamento di quanto finora osservato, di seguito si riporta una ulteriore lettura delle analisi svolte attraverso il calcolo di un **Indice di Resilienza** che sintetizza le variazioni di costo

per scenario e per direttrice. Tale indice è ottenuto come rapporto tra i costi totali (operativi, ambientali e sociali) dello scenario di riferimento e quello di crisi ed è quindi utile a misurare il livello di "fragilità" delle principali direttrici del sistema alpino.

Tabella 6-26: Indice di Resilienza - PASSEGGERI

DIRETTRICE	SC25-1	SC25-2	SC40-1	SC40-2
Sud Ovest	1,00	1,14	1,02	1,00
Ovest-Nord Ovest	1,23	0,76	0,99	0,99
Nord-Nord Ovest	0,80	1,03	0,93	1,00
Nord	1,02	0,89	1,00	1,01
Nord-Nord Est	0,95	0,93	0,95	1,00
Est	0,98	1,04	1,00	1,00

Tabella 6-27: Indice di Resilienza - MERCI

DIRETTRICE	SC25-1	SC25-2	SC40-1	SC40-2
Sud Ovest	0,97	1,04	1,02	1,00
Ovest-Nord Ovest	1,17	0,85	1,03	0,97
Nord-Nord Ovest	0,63	1,26	0,66	1,00
Nord	1,04	0,89	1,12	0,85
Nord-Nord Est	0,95	0,95	1,00	1,00
Est	0,98	0,94	1,02	1,00

Tabella 6-28: Indice di Resilienza - TOTALE

DIRETTRICE	SC25-1	SC25-2	SC40-1	SC40-2
Sud Ovest	0,98	1,09	1,02	1,00
Ovest-Nord Ovest	1,18	0,83	1,02	0,97
Nord-Nord Ovest	0,72	1,12	0,80	1,00
Nord	1,03	0,89	1,08	0,89
Nord-Nord Est	0,95	0,95	0,99	1,00
Est	0,98	0,96	1,02	1,00

Dall'esame di questi dati si evince come l'emergenza non sia diffusa, ma localizzata e profonda.

Gli indici di resilienza evidenziano criticità importanti, soprattutto per il traffico merci (con riduzioni dell'indice fino a 0,63 nel 2025 e 0,66 nel 2040 sulla direttrice Nord- Nord Ovest), dimostrando come il sistema dei valichi alpini necessiti di interventi che vadano oltre la semplice manutenzione ordinaria. Sulla direttrice che interessa i valichi svizzeri del Sempione,

del Gottardo e del San Bernardino, la volatilità degli indici esprime come il sistema alpino particolarmente fragile e poco resiliente: il sovraccarico di una direttrice genera onde d'urto di costo imprevedibili su tutto l'arco alpino.

La direttrice che interessa le interconnessioni con la Francia sembra essere più resiliente con indici che si mantengono prossimi all'unità, anche negli scenari "perturbati", ad eccezione della direttrice Ovest-Nord Ovest (Fréjus/Monte Bianco/Gran San Bernardo) che risente molto delle chiusure previste nello Scenario SC25-2 (A10 Ventimiglia, linea ferroviaria del Sempione e tunnel autostradale del Gottardo), sia per il traffico commerciale, ma soprattutto per quello passeggeri.

In conclusione, i dati suggeriscono che l'emergenza non è nel "se" si transita, ma nel "prezzo" che la società paga per transitare. Un sistema che aumenta significativamente i costi in caso di intoppo (fino al 60%) è un sistema fragile, non resiliente. Il danno provocato alla società in termini di salute, ambiente e operatività logistica – quantificato attraverso parametri standardizzati ma conservativi – sottolinea l'**urgenza di una gestione coordinata dei valichi**, poiché l'attuale rete stradale non è in grado di fungere da backup resiliente senza generare costi sociali e ambientali fuori controllo.

7 CONCLUSIONI

Il presente studio ha analizzato gli impatti socioeconomici derivanti da scenari di crisi infrastrutturale lungo l'arco alpino. Il modello di traffico adottato è di tipo multimodale a domanda totale rigida: si assume che il volume complessivo degli spostamenti rimanga costante tra lo scenario di riferimento e gli scenari di crisi, simulando una condizione di "stress-test" in cui la necessità di mobilità non flette a seguito dei disservizi.

L'analisi confronta una situazione di riferimento con **scenari di interruzioni multiple simultanee**, considerati i punti di massima vulnerabilità del sistema:

- 2 scenari al 2025 (SC25-1 e SC25-2): focalizzati sul blocco dei valichi primari (Monte Bianco, Fréjus, Gottardo, Brennero).
- 2 scenari al 2040 (SC40-1 e SC40-2): il primo che replica i blocchi del 2025, ma a fronte di una migliore offerta infrastrutturale, e il secondo che di focalizza sull'impatto delle grandi opere che dovranno essere completate in quell'orizzonte temporale (gallerie di base ferroviarie del Brennero e del Fréjus).

Lo studio evidenzia come il sistema dei valichi alpini non sia solo un'infrastruttura di trasporto, ma il vero motore del mercato unico europeo. Tuttavia, i risultati del modello, incrociati con le attuali dinamiche geopolitiche e operative, delineano un quadro di "fragilità strutturale" che richiede un cambio di paradigma immediato.

7.1 Comparazione degli scenari simulati

Il confronto tra gli scenari simulati evidenzia una scarsa ridondanza, trasformando ogni interruzione multipla in uno shock economico importante. Il sistema, infatti, non soffre per "singoli eventi gestibili", ma per la concomitanza di interruzioni. La severità delle criticità evidenzia che oggi l'Italia non ha margini di manovra: qualsiasi accavallamento di lavori o eventi naturali di instabilità sui valichi principali genera un impatto economico immediato e destabilizzante.

Il **primo scenario (SC25-1),** in cui è stato simulato quanto realmente accaduto (frana della Maurienne, incidente ferroviario sul Gottardo) o pianificato (chiusure per manutenzione del Monte Bianco, lavori di ammodernamento del Ponte Lueg), rappresenta la **condizione più impattante a livello economico, con un aggravio di costi che supera 1,5 miliardi di euro/anno** di cui quasi il 90% riconducibile ai costi operativi (aumento dei tempi e delle distanze percorse).

In un ipotetico scenario al 2040 in cui tutte le opere previste vengano ultimate, la **resilienza dipende dall'operatività delle due gallerie di base ferroviarie, BBT e NLTL**. Infatti, nello scenario SC40-1 si osserva una migliore gestione delle stesse criticità ipotizzate nel 2025 (SC25-1) – con una riduzione dell'impatto del 58% - che conferma come uno sviluppo infrastrutturale corretto riesca non solo ad assorbire un considerevole aumento della domanda, ma anche possibili perturbazioni in alcune aree.

Il ritardo nella messa in esercizio di queste opere (SC40-2) potrebbe invece portare ad un **aumento di costi per il sistema economico nazionale quantificabili in circa 1,4 miliardi di euro/anno** (concentrati soprattutto sull'asse del Brennero e con una componente ambientale rilevante). L'emergenza evidenziata con le simulazioni riguarda soprattutto il **comparto merci** che penalizza direttamente la competitività delle esportazioni italiane.

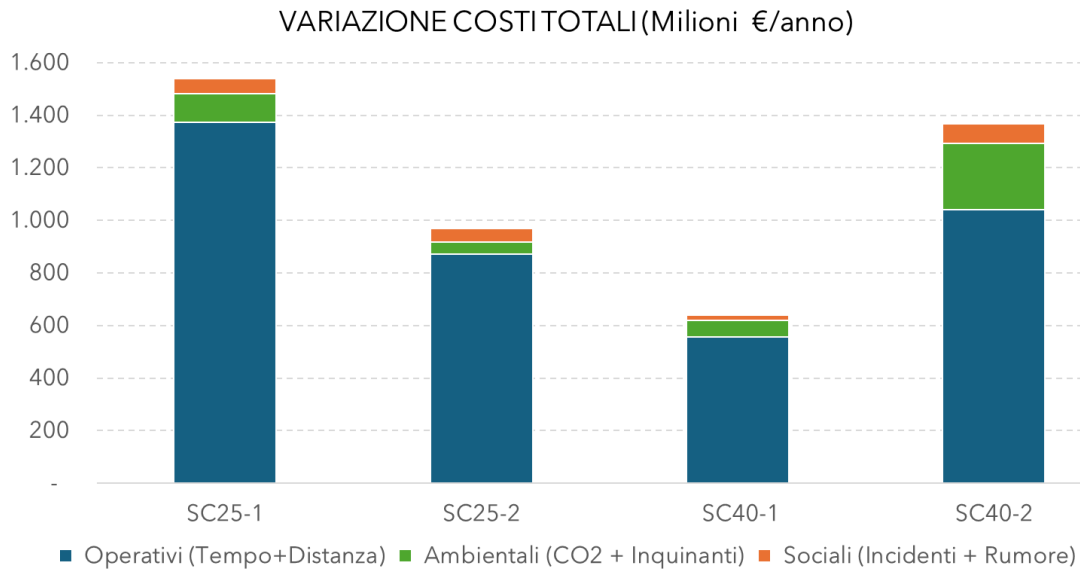


Figura 7-1: Variazioni dei costi totali (passeggeri e merci) – confronto tra scenari

L'analisi dei costi totali per scenario evidenzia come lo **scenario SC40-2**, dove le due gallerie di base ferroviarie (BBT e NLTL) non sono operative, ma la domanda di trasporto stimata è molto cresciuta rispetto all'anno base, rappresenti un reale "rischio di paralisi" dato che la rete stradale non ha la capacità fisica per fare da backup alla ferrovia senza collassare economicamente e socialmente. In questo scenario, inoltre, si nota un peggioramento significativo della componente di impatto ambientale rispetto agli altri scenari simulati, dovuta alla carenza di alternative modali sostenibili.

L'analisi comparativa per direttrice evidenzia poi come l'emergenza non sia distribuita uniformemente, ma si concentri sui corridoi di collegamento con il cuore industriale europeo. Per un confronto immediato tra lo scenario di riferimento e lo scenario simulato, viene calcolato un **Indice di Resilienza**, utile a misurare il livello di "fragilità" delle principali direttrici del sistema alpino. Attraverso tale indice, espresso come rapporto tra i costi totali (operativi, ambientali e sociali) dello scenario di riferimento e quello di crisi, è possibile concludere su due aspetti chiave:

- **Vulnerabilità della direttrice Nord/Nord Ovest**: registra l'indice di resilienza più basso (0,72 nel 2025 e 0,80 nel 2040), che riflette la saturazione fisica dell'asse del Gottardo e del Brennero.
- **Instabilità del quadrante Ovest**: gli indici variabili sulla direttrice Francia/Svizzera (da 1,18 a 0,83 nel 2025) dimostrano fenomeni di deviazione forzata del traffico che portano alla saturazione dei valichi residui.

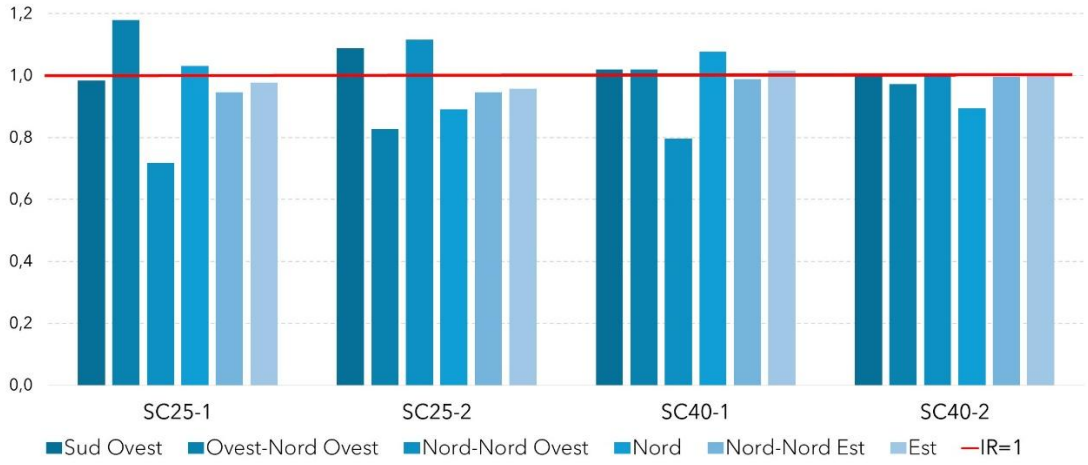


Figura 7-2: Indice di resilienza per direttrice – confronto tra scenari

7.2 Riflessioni conclusive

L'analisi evidenzia l'estrema vulnerabilità del sistema dei valichi: la mancanza di pochi elementi chiave è sufficiente a mandare in crisi l'intero mosaico infrastrutturale. Con l'aumento dei fenomeni meteorologici estremi e un calendario fitto di cantieri complessi, l'interruzione prolungata delle infrastrutture non è più un'eventualità statistica, ma una certezza temporale.

Nonostante le simulazioni si basino su valutazioni cautelative, i risultati indicano che il restringimento di soli due grandi corridoi porta rapidamente alla saturazione dei restanti, causando il blocco dei flussi sulle arterie interessate.

Le principali criticità rilevate includono:

- **Barriere burocratico-finanziarie**. In caso di dirottamento dei flussi verso la Svizzera, il limite principale non è il volume di traffico, ma la procedura di transito. L'imposizione di cauzioni fino a 10.000 € per mezzo rappresenta un "collo di bottiglia" finanziario insostenibile per molte imprese logistiche e operatori doganali.
- **Limiti dell'infrastruttura ferroviaria**. Le linee storiche presentano sagome limitate e un orario già saturato dal traffico passeggeri. Senza interventi mirati, la rete non è tecnicamente in grado di assorbire i carichi merci deviati.
- **Limiti della rete stradale**. I passi alpini (come quello del Gottardo) e le arterie secondarie (come la Statale di Ventimiglia SS1 o la Statale del Brennero SS12) raggiungono rapidamente il limite di servizio, necessitando di manutenzioni d'urgenza e protocolli stagionali (neve, vento, frane); inoltre, in alcuni casi, la deviazione è preclusa ai trasporti eccezionali, ai mezzi fuori sagoma e ad alcune classi ADR, restringendo drasticamente le opzioni operative.

Gli eventuali slittamenti nell'apertura delle nuove gallerie di base ferroviarie (BBT e NLTL) comporterebbero un massiccio trasferimento modale verso la gomma. Questo scenario determinerebbe un aumento dei costi operativi e un incremento sensibile delle emissioni

climalteranti, in controtendenza con gli obiettivi di sostenibilità europei.

L'analisi, quindi, sottolinea l'urgenza di un **Piano d'Azione** coordinato che traduca le criticità rilevate in procedure operative immediate. Gli interventi prioritari devono includere:

- Prequalifica delle deviazioni stradali e ferroviarie
- Semplificazione delle procedure doganali e degli oneri finanziari
- Coordinamento transfrontaliero per la gestione delle emergenze.

L'obiettivo dello studio non è alimentare allarmismi, ma assicurare la continuità del flusso vitale di merci e persone attraverso l'arco alpino, rendendo il sistema resiliente agli imprevisti.

7.3 Raccomandazioni e Prossimi step

Il sistema dei valichi è oggi caratterizzato da un'elevata incertezza logistica. Affinché il presente studio costituisca la base analitica per una gestione coordinata dell'"emergenza valichi", il gruppo di lavoro identifica una serie di passaggi cruciali da intraprendere. L'obiettivo è trasformare le simulazioni in un protocollo operativo resiliente, articolato in punti chiave che vengono di seguito sintetizzati.

1. **Definizione del framework procedurale**

Per garantire l'efficacia del Piano d'Azione, è prioritario stabilire un perimetro normativo e decisionale chiaro:

- formalizzazione di ruoli e soglie di attivazione: definizione dei centri decisionali e dei protocolli di intervento basati su indicatori oggettivi (KPI di saturazione, tempi di attesa ai portali, chiusure programmate o eventi catastrofali)
- validazione delle reti di riserva: verifica preventiva e costante della capacità reale degli itinerari alternativi. Ciò include il monitoraggio delle sagome ferroviarie, la portanza delle infrastrutture stradali secondarie e la pre-negoziazione di deroghe temporanee ai limiti doganali o ai divieti di circolazione.
- istituzione di un cruscotto informativo unico: creazione di una piattaforma digitale transfrontaliera che aggreghi i dati in tempo reale, permettendo una visione olistica dei flussi e una risposta rapida alle criticità.

2. **Raccomandazioni strategiche e mitigazione dell'impatto**

Il gruppo di lavoro sottolinea come la resilienza del sistema non dipenda solo dalla gestione dell'emergenza, ma da interventi strutturali e tecnologici di lungo periodo:

- Rispetto dei cronoprogrammi delle Grandi Opere: il completamento delle nuove infrastrutture (es. BBT - Tunnel di Base del Brennero e NLTL - Nuova Linea Torino-Lione) è fondamentale. Tali opere agiscono come un "cuscinetto di resilienza", riducendo drasticamente la magnitudo dell'impatto economico a parità di interruzione simulata.

- Digitalizzazione e gestione intelligente dei flussi: implementazione di sistemi di prenotazione dei transiti (Slot Management) per ottimizzare la capacità residua. Tale misura è volta a mitigare l'incremento dei costi operativi, agendo su due variabili chiave:
  - *Valore del tempo* - Riduzione dei tempi di fermo e delle attese improduttive
  - *Costi operativi del veicolo* - Ottimizzazione dei consumi e della manutenzione attraverso flussi più fluidi.
- Governance transfrontaliera integrata: superamento della gestione frammentata su base nazionale a favore di una regia europea coordinata. È necessario evitare che decisioni unilaterali su un singolo valico (es. il Brennero o lo stesso tunnel del Monte Bianco) generino esternalità negative e paralisi sistemiche sull'intera economia nazionale.

La questione dei valichi è una sfida alla competitività dell'intera Unione Europea, è dunque imperativo che alle soluzioni tecniche e modellistiche qui presentate segua una **forte iniziativa politica per una governance europea dei transiti** che eviti l'isolamento logistico dell'Italia, snodo imprescindibile per l'integrità dei flussi commerciali continentali. La resilienza si ottiene costruendo una ridondanza infrastrutturale e una governance coordinata dei flussi che per l'Italia significa acquisire affidabilità nei collegamenti transalpini e competitività globale.

8 BIBLIOGRAFIA

- ASFINAG. (s.d.). *Traffic counts and statistics*. https://www.asfinag.at
- Commissione Europea. (2020). *EU reference scenario 2020: Energy, transport and GHG emissions*. Publications Office of the European Union.
- Commissione Europea. (2021). *The 2021 ageing report: Economic and budgetary projections for the EU member states (2019–2070)*. Publications Office of the European Union.
- Commissione Europea. (s.d.). *TEN-Tec interactive maps*. https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec
- Confédération suisse, Office fédéral des transports. (2019). *Observation et analyse des flux de transports de marchandises transalpins (Enquête CAFT 2019)*.
- Confédération suisse, Office fédéral des transports. (2023). *Observation et analyse des flux de transports de marchandises transalpins*.
- E3Modelling. (s.d.). *PRIMES and PRIMES-TREMOVE models*. https://e3modelling.com
- European Commission & Swiss Confederation, Federal Office of Transport. (2019). *Transalpine freight traffic flows: Summary report on CAFT surveys*.
- ETISplus Consortium. (s.d.). *ETISplus – European transport policy information system*.
- Highway Capacity Manual Committee. (s.d.). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board.
- iMONITRAF!. (2023). *Annual report*. INFRAS, Climonomics, Eurac Research.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2001). *Decreto ministeriale 5 novembre 2001 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*.
- Osservatorio Transalpino. (2023). *Dati sul traffico merci e passeggeri transalpino*.
- SITAF S.p.A. (s.d.). *Dati di traffico del traforo del Fréjus*. https://www.sitaf.it
- Tunnel du Mont-Blanc GEIE. (s.d.). *Statistiques du trafic*. https://www.tunnelmb.net
- TRT Trasporti e Territorio. (s.d.). *TRUST – Transport European Simulation Tool*.
- Ufficio federale dello sviluppo territoriale. (s.d.). *Mobilità e traffico in Svizzera*. https://www.are.admin.ch



UNIONTRASPORTI