



Previsioni del traffico delle merci al Brennero

Freight traffic forecasts at the Brenner pass

Raffaele MAURO^(*)
Selene CATTANI^(*)

Sommario - In questo articolo si descrivono alcune analisi per la stima dell'evoluzione temporale della domanda di traffico delle merci al Brennero. Queste analisi sono condotte con l'ausilio di curve logistiche tarate e validate con il trattamento di serie storiche di diverse variabili macroeconomiche.

Viene rappresentata poi la ripartizione modale tra strada e ferrovia del traffico delle merci previsto al medio periodo conseguente alla assunzione di più scenari, relativi a possibili indirizzi di politica dei trasporti e di provvedimenti di esercizio. I risultati ottenuti possono rivestire diretto interesse per la gestione e la pianificazione del sistema autostradale e ferroviario del corridoio del Brennero.

1. Introduzione

La previsione dei traffici delle merci al Brennero riveste da tempo fondamentale importanza per la pianificazione e la gestione delle grandi infrastrutture stradali e ferroviarie strategiche nella connessione tra l'Italia ed il Nord Europa.

Negli studi preliminari per la costruzione della galleria di base del Brennero sono state già effettuate in tempi diversi analisi previsionali della domanda di traffico per l'omologo corridoio alpino [1], [2]. Va notato che il problema della previsione della domanda di merci al Brennero è stata oggetto di interesse non solo da parte della Società di Progetto del Tunnel di Base del Brennero (BBT SE), ma anche da parte di altri soggetti che a titolo diverso hanno ruolo nella programmazione territoriale transfrontaliera [3], [4] e [5].

Recentemente, si è avvertito il bisogno da parte di RFI e della Direzione Generale per la Mobilità e i Trasporti della Commissione Europea [6] di riattualizzare le previsioni [1], [2] commissionate da BBT SE, sia alla luce della crisi economica sviluppatasi a partire dal 2008, sia, tra l'altro, per meglio valutare gli effetti della presenza della Galleria del Brennero sul sistema della mobilità sul quale

Summary - This article describes some analyses for the estimation of time evolution of freight traffic demand at the Brenner Pass. These analyses are conducted using logistic curves calibrated and validated with the processing of historical series of different macroeconomic variables.

The modal split between road and rail freight traffic forecasted in the medium term as a result of the assumption of multiple scenarios, regarding possible transport policies and operational measures guidelines is then represented. The results obtained may be of direct interest for the management and planning of the Brenner corridor railway and motorway system.

1. Introduction

The freight traffic forecast at the Brenner Pass has long been critical to the planning and management of large strategic road and rail infrastructures in the connection between Italy and Northern Europe.

In preliminary studies for the construction of the Brenner base tunnel forecasting analyses of traffic demand for the homologous Alpine corridor have already been carried out at different times [1], [2]. It should be noted that the problem of freight demand forecasting at the Brenner pass has been the subject of interest not only from the Brenner Base Tunnel project Company (BBT SE), but also by other parties that for different purposes have a role in the cross-border territorial planning [3], [4] and [5].

Recently, RFI and the Directorate-General for Mobility and Transport of the European Commission [6] felt the need to update the forecasts again [1], [2] commissioned by BBT SE, both in the light of the economic crisis that has developed since 2008, and, among other things, to better assess the effects of the presence of the Brenner Tunnel on the mobility system on which it impinges; in particular, on local, interprovincial and interregional transport.

^(*) DICAM, Università degli Studi di Trento.

^(*) DICAM, University of Trento.

essa incide; in particolare, su quello del trasporto locale, interprovinciale e interregionale.

Come è noto, la Teoria dei Sistemi di Trasporto fornisce gli strumenti per effettuare stime della domanda del traffico merci a mezzo di diverse procedure, alcune delle quali possono oggi riguardarsi come consolidate. Esse sono infatti conformi alla catena modellistica per la pianificazione dei trasporti comunemente conosciuta come a “quattro stadi” (generazione dei viaggi; distribuzione; ripartizione modale; assegnazione) [7].

Più recentemente sono stati introdotti modelli per la previsione della domanda delle merci che ricorrono alla teoria delle interdipendenze settoriali (modelli economici di Input-Output, o di LEONTIEV [8]) e denominati modelli MRIO (Multi Regional Input Output Models) [9].

I modelli MRIO non risultano particolarmente complessi nella loro genesi ed articolazione concettuale. Questi modelli sono però di ardua implementazione per la difficoltà di reperimento sistematico delle informazioni che ne costituiscono gli ingressi.

In questa direzione, a cura degli autori della presente nota, è attualmente in corso presso il DICAM dell'Università degli Studi di Trento un'attività di studio volta alla individuazione ed alla implementazione di un modello MRIO per le merci al Brennero.

Essa è stata preceduta da analisi speditive di tipo statistico descrittive ed inferenziali. Alcune di esse vengono riferite nel seguito di questo lavoro. Si tratta della individuazione e taratura di relazioni asintotiche temporali che ricorrono a regressioni logistiche per la descrizione dell'evoluzione temporale della domanda di traffico delle merci.

Questo approccio appartiene all'insieme di metodi di analisi dei dati a fini previsionali in base ai quali “data speak for themselves” [10].

Infine, va ricordato che il tema della domanda di traffico delle merci sull'arco alpino, in particolare al Brennero, è stato recentemente oggetto di accurati ed interessanti studi relativi sia ad aspetti di tipo pianificatorio [11], sia più marcatamente scientifici [12], [13], dove l'evoluzione dello scambio modale nel trasporto delle merci è affrontata con strumenti di teoria dei sistemi dinamici non lineari (Teoria del Caos).

2. I dati

I dati del traffico merci al Brennero qui utilizzati sono quelli tratti dai bollettini Alpinfo [14]; quelli macroeconomici sono relativi all'Italia e sono ottenuti dall'Archivio Serie Storiche ISTAT [15]. Le informazioni sono quelle ad oggi disponibili a partire dal 1990.

Le serie storiche Alpinfo sono distinte per modalità di trasporto: tonnelloaggio trasportato su strada; su ferrovia; complessivamente (strada + ferrovia). Per i dettagli cfr. [16].

As is known, the Theory of Transport Systems provides the tools to make estimates of the demand of freight traffic by means of various procedures, some of which can today be regarded as consolidated. They are in accordance with the transport planning modelling chain commonly known as “four stages” (generation of travel; distribution; modal split; assignment) [7].

More recently commodity demand forecast models were introduced using the theory of sectorial interdependence (Input-Output economic models, or LEONTIEV [8]) and named MRIO models (Multi Regional Input Output Models) [9].

MRIO models are not very complex in their creation and conceptual articulation. These models are, however, difficult to implement because of the difficulty of systematic finding of information that constitutes the inputs.

In this direction, by the authors of this note, a study is currently underway at DICAM at the University of Trento aimed at identifying and implementing an MRIO model for goods at the Brenner Pass.

It was preceded by descriptive and inferential statistical field analyses. Some of them are referred to later in this work. It concerns the identification and calibration of asymptotic temporal relationships using logistic regressions to describe the time evolution of goods traffic demand.

This approach belongs to the set of data analysis methods for forecasting on the basis of which “data speak for themselves” [10].

Finally, it should be noted that the subject of freight traffic demand in the Alps, in particular at the Brenner pass, has recently undergone thorough and interesting studies on both the planning type aspects [11], and more markedly the scientific ones [12], [13], where the evolution of modal exchange in freight transport is dealt with by means of nonlinear dynamical systems theory tools (Chaos Theory).

2. Data

Brenner freight traffic data used here are those taken from Alpinfo bulletins [14]; macroeconomic ones are related to Italy and are obtained from the ISTAT Historical Series Archive [15]. The information is that available to date since 1990.

Alpinfo historical series are distinguished by transport mode: tonnage transported by road; by rail; altogether (road + railway). For details see [16].

Macroeconomic indicators considered include: Nominal GDP; GDP in chained values; Nominal GDP per capita; GDP per capita in chained values; Volume of imports; Volume of exports; Import/export volume ratio; Industrial production; Industrial production index; Vehicle fleet; Resident population; Bank deposits.

Gli indicatori macroeconomici considerati risultano: Pil nominale; Pil a valori concatenati; Pil nominale pro-capite; Pil a valori concatenati pro-capite; Volume dell'import; Volume dell'export; Rapporto volume import/export; Produzione industriale; Indice di produzione industriale; Parco veicolare; Popolazione residente; Depositi bancari.

3. Analisi preliminari

Si sono considerate le coppie di determinazioni ($x_i; y_i$) degli indicatori macroeconomici (X) e dai traffici delle merci (Y) per lo stesso anno "i".

La caratterizzazione delle relazioni in media intercorrenti tra i dati studiati in coppia è stata conseguita calcolando l'indice di Pearson per valutare eventuali connessioni lineari. È stato poi quantificato l'indice di Spearman (analisi dei ranghi) per testare l'esistenza tra le coppie di dati di più generali legami statistici.

Entrambi gli indici sono stati poi sottoposti a test di significatività (Tabella 1 – il valore del $t_{critico}$ dipende dalla dimensione dei campioni e risulta quindi, per essere questi ultimi tutti di eguale numerosità, sempre pari allo stesso valore numerico). Il dettaglio di queste analisi è contenuto in [16].

3. Preliminary analyses

The determinations pairs ($x_i; y_i$) of macroeconomic indicators (X) and freight traffic (Y) for the same year "i" were considered.

The characterisation of relations on average between the data studied in pairs was achieved by calculating the Pearson index to evaluate any linear connections. The Spearman index (rank analysis) was then calculated to test the existence between data pairs of more general statistical links.

Both indexes were then tested for significance (Table 1 – the value of $t_{critical}$ depends on the size of the samples and is therefore always equal to the numerical value, in order for the latter to be of equal numbers). The detail of these analyses can be found in [16].

Table 1 shows, inter alia, that in three cases the results are not in agreement with those that can be expected from the economic meaning of the variables considered.

In fact, from Table 1, freight traffic is not significantly connected to the Import/Export ratio, or to Industrial Production or Index of industrial production.

Tabella 1 – Table 1

Caratterizzazione quantitativa delle relazioni tra grandezze macro-economiche e tonnellaggio merci al Brennero complessive nel periodo 1990÷2014

Quantitative characterisation of relations between overall macro-economic and freight tonnage quantities at the Brenner pass during the period 1990-2014

Indicatori macroeconomici Macroeconomic indicators	Pearson - Pearson			Spearman		
	Valore Value	p-value t Student p-value t Student	t critico t critical	Valore Value	p-value t Student p-value t Student	t critico t critical
PIL nominale Nominal GDP	0.9676	18.3837	2.07	0.9454	13.9118	2.07
PIL a valori concatenati GDP in chained values	0.9602	16.4807	2.07	0.9131	10.7376	2.07
PIL nominale pro-capite GDP in chained values	0.9734	20.3839	2.07	0.9523	14.9714	2.07
PIL a valori concatenati pro-capite GDP per capita in chained values	0.8670	8.3460	2.07	0.8061	6.5316	2.07
Import	0.9574	15.8959	2.07	0.9485	14.3568	2.07
Export	0.9348	12.6210	2.07	0.9246	11.6415	2.07
Rapporto Import/Export Import/Export Ratio	0.3176	1.6063	2.07	0.3210	1.6257	2.07
Produzione Industriale Industrial Production	0.1726	0.8406	2.07	0.1741	0.8481	2.07
Indice di Produzione Industriale Industrial Production	0.1726	0.8406	2.07	0.1741	0.8481	2.07
Parco veicolare Vehicle fleet	0.9357	12.7213	2.07	0.9030	10.0832	2.07
Popolazione residente Resident population	0.7099	4.8334	2.07	0.8984	9.8127	2.07
Depositi bancari Bank deposits	0.8116	6.6617	2.07	0.8769	8.7484	2.07

Dalla Tabella 1, si può constatare, tra l'altro, che in tre casi si ottengono risultati non in accordo con quelli che possono attendersi dal significato economico delle variabili considerate.

Infatti, dalla Tabella 1, il traffico merci non risulta significativamente connesso al rapporto Import/Export, o alla Produzione industriale o all'Indice di produzione industriale.

Con opportune trasformazioni dei dati - ad esempio logaritmiche - è possibile ottenere in alcuni casi relazioni in media statisticamente significative (ovvero sostanzialmente in accordo) con quanto suggerito dalla natura economica delle coppie di variabili considerate.

Con questo approccio è stato possibile anche differenziare le informazioni relative al periodo di crisi (2008-2014) da quelle del periodo pre-crisi (1990-2007).

Come mostrato ancora in [16], è stato possibile poi cogliere l'effetto della crisi e definirne quantitativamente gli esiti utilizzando nella costruzione di modelli di regressione variabili dicotomiche con le quali discriminare i dati precedenti alla crisi da quelli della crisi.

Le analisi preliminari riferite in [16] hanno anche riguardato la ricerca di connessioni in media tra i dati del traffico merci al Brennero e gli indicatori macroeconomici della Tabella 1, utilizzando serie di indici riportati ad opportune basi. Così operando, è stato possibile tra l'altro individuare, dopo aver estratto il trend a mezzo delle serie delle differenze prime degli insiemi di dati, relazioni del tipo

$$DIT_t = 2,740985 + 0,959673 \cdot DIP_t + a_t \quad (1)$$

dove DIT_t è la differenza prima dell'indice IT dei tonnellaggi delle merci trasportate all'anno t ($DIT_t = IT_t - IT_{t-1}$); DIP_t è la differenza prima dell'indice IP della produzione industriale all'anno t ($DIP_t = IP_t - IP_{t-1}$).

Dalla relazione (1) segue che:

$$IT_t = IT_{t-1} + 2,740985 + 0,959673 \cdot (IP_t - IP_{t-1}) + a_t \quad (2)$$

Equazioni del tipo della (2) non sarebbero state altrimenti deducibili se non si fosse ricorso, in sostituzione delle variabili originali, alla differenza dei rispettivi indici.

Accanto alle analisi correlative appena sopra sintetizzate, si è proceduto anche ad un'analisi in componenti principali per definire specifiche variabili con le quali spiegare in modo coerente i legami statistici intercorrenti tra le merci trasportate e gli indicatori macroeconomici considerati come variabili esplicative (cfr. Tabella 1).

Considerando i risultati dell'analisi di connessione sintetizzati nella Tabella 1, si sono selezionati dei dodici indicatori macroeconomici di partenza, quelli in relazione ai quali gli indici di Pearson e di Spearman sono risultati statisticamente significativi. Essi sono sette: PIL nominale, PIL a valori concatenati, Volume dell'Import, Vo-

With appropriate data transformations - such as logarithmic functions - significant relationships on average statistically significant can be obtained (which is basically in agreement) with what is suggested by the economic nature of the pairs of variables considered.

With this the information relating to the recession period (2008-2014) could be differentiated from that of the pre-crisis period (1990-2007).

As shown again in [16], it was possible to understand the effect of the crisis and quantitatively define the outcome thereof using dichotomous variables in creating regression models with which to discriminate data pre-crisis from those of the crisis.

Preliminary analyses reported in [16] also regarded the search for connections on average between the data of freight traffic at the Brenner pass and the macroeconomic indicators in Table 1, using indices series carried back to appropriate bases. Doing so, it was possible inter alia to identify, after extracting the trend through the first series of raw differences of data sets, relationships like

$$DIT_t = 2,740985 + 0,959673 \cdot DIP_t + a_t \quad (1)$$

where DIT_t is the difference before index IT of tonnage of goods transported per year t ($DIT_t = IT_t - IT_{t-1}$); DIP_t is the difference before the IP index of industrial production per year t ($DIP_t = IP_t - IP_{t-1}$).

From the relation (1) it follows that:

$$IT_t = IT_{t-1} + 2,740985 + 0,959673 \cdot (IP_t - IP_{t-1}) + a_t \quad (2)$$

Equations like (2) would not otherwise have been inferable if one did not resort to the difference of their respective indices, in place of the original variables.

Besides the correlative analyses summarised above, an analysis on principal components was carried out to define variable specifications with which to explain statistical links coherently between transported freight and the macroeconomic indicators considered as explanatory variables (see Table 1).

Considering the results of the relationship analysis summarised in Table 1, out of the twelve initial macroeconomic indicators, those in relation to which the indices of Pearson and Spearman were statistically significant were selected. They are seven: Nominal GDP, GDP in chained values, Import volume, Export volume, Consistency of the Vehicle Fleet, Resident Population and Bank Deposits.

Having normalised the data and identified the directions of maximum dispersion in a 7-dimensional space (main components), the projection of the sampling points in the space identified by the first two directions was carried out. It was observed that only one main component is already sufficient to explain more than 90% of the total variance (90.58% for the whole analysis period 1990-2014).

lume dell'Export, Consistenza del Parco Veicolare, Popolazione Residente e Depositi Bancari.

Dopo aver normalizzato i dati e individuate le direzioni di massima dispersione in uno spazio 7-dimensionale (componenti principali), si è proceduto alla proiezione dei punti campionari nello spazio individuato dalle prime due direzioni. È stato possibile constatare che una sola componente principale è già sufficiente a spiegare più del 90% della varianza totale (90,58% per l'intero periodo di analisi 1990-2014).

Per gli scopi di questo studio è quindi già sufficiente considerare una sola componente principale per rappresentare realisticamente tutte le informazioni fornite dai sette indicatori macroeconomici considerati.

La Tabella 2 (da EViews 9) sintetizza i risultati dell'analisi in componenti principali qui richiamata.

All'interno della voce "Eigenvectors loadings" della Tabella 2, dalla colonna relativa alla prima componente principale (PC 1), si può notare come tutte le variabili macroeconomiche prese in considerazione abbiano peso di fatto equivalente nello spiegare la varianza totale.

A partire dai risultati dell'analisi in componenti principali effettuata, si è infine definita una variabile latente ricorrendo ai fattori della prima componente principale. Si è posto quindi:

$$VL_i = \sum_{v=1}^n \sum_{v=1}^7 PC \ 1_v \cdot v_i \quad (3)$$

dove i indica l'anno di riferimento e v la grandezza macroeconomica (tra le sette selezionate).

A partire dalla (3) si ottengono le determinazioni della variabile latente in funzione dell'anno ($n = 1990, 1991, \dots, 2014$). Esse sono ben interpretate ai minimi quadrati da una relazione quadratica del tipo

$$VL = -0.002871 \cdot n^2 + 11.83248 \cdot n - 12183.35 \quad (4)$$

I parametri della predetta relazione sono risultati statisticamente significativi ed i residui conformi ad un "white noise". Tra l'altro, l'indice di accostamento tra le determinazioni fornite dalla (3) e la relazione interpolante è risultato pari a 0,984.

Nella Fig. 1 sono riportati i valori del tonnellaggio delle merci rilevati e quelli interpolati dalla relazione ai minimi quadrati in funzione della variabile latente.

Dalla Fig. 1 si può osservare il buon accostamento tra misure e previsioni dal modello, così come tra l'altro segnalato dalla significatività dei parametri della relazione interpolante

$$Tonn_complessivo = 3,092578 \cdot VL + 35,176 \quad (\rho^2 = 0,89) \quad (5)$$

e dall'andamento dei residui, che, per motivi di sintesi, si omette.

Le relazioni ottenute a partire dalle indicazioni fornite dalle analisi esplorative (cfr. ad esempio (2) e (5)),

For the purposes of this study it is therefore already sufficient to consider just one main component to realistically represent all the information provided by the seven macroeconomic indicators considered.

Table 2 summarises the results of (from EViews 9) principal component analysis referred to here.

Within the entry "Eigenvectors loadings" in Table 2, from the column relating to the first principal component (PC 1), we can see how all the macroeconomic variables considered in fact have an equivalent influence in explaining the total variance.

Starting from the results of the principal components analysis performed, a latent variable was finally defined using the factors of the first main component. It was therefore assumed:

$$VL_i = \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^7 PC \ 1_v \cdot v_i \quad (3)$$

where i is the reference year and the macroeconomic magnitude (among seven selected).

Starting from (3) determinations of the latent variable depending on the year are obtained ($n = 1990, 1991, \dots, 2014$). They are well interpreted in least squares by a quadratic relation of the type

$$VL = -0.002871 \cdot n^2 + 11.83248 \cdot n - 12183.35 \quad (4)$$

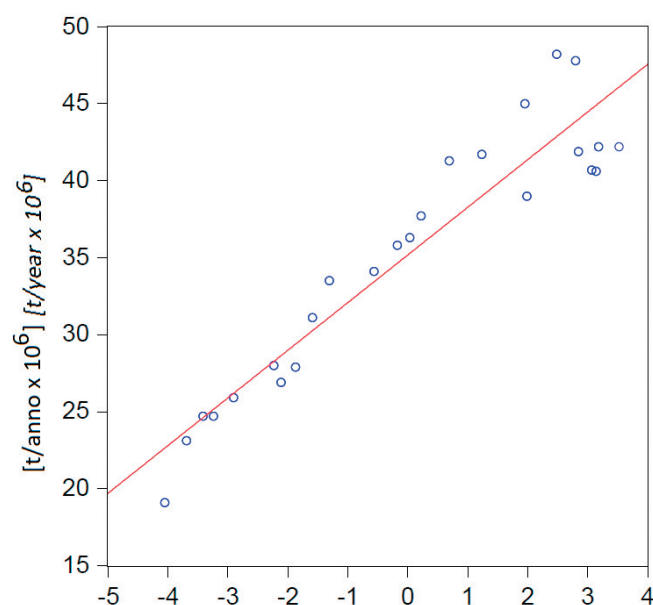


Fig. 1 - Tonnellaggio delle merci complessivamente in transito al Brennero [milioni t/anno] in funzione della variabile latente.

Fig. 1 - Tonnage of goods altogether in transit at the Brenner pass [million t/year] depending on the latent variable.

Tabella 2 – Table 2

Risultati analisi in componenti principali nel periodo 1990÷2014

Analysis results in main components in the period 1990 ÷ 2014

Analisi delle componenti principali - <i>Main Components Analysis</i>					
Dati: 17/05/17 - Ora: 16:43 - Data: 05/18/17 – Time: 16:43					
Campione: 1 25 - <i>Sample: 1 25</i>					
Osservazioni incluse: 25 - <i>Included overviews: 25</i>					
Calcolato utilizzando: correlazioni ordinarie - <i>Computed using: ordinary correlations</i>					
Estrazione di 7 di 7 componenti possibili – <i>7 drawings of 7 possible components</i>					
Autovalori: (somma = 7, media = 1) - <i>Eigenvalues: (Sum = 7, Average = 1)</i>					
Numero <i>Number</i>	Valore <i>Value</i>	Differenza <i>Difference</i>	Proporzione <i>Ratio</i>	Valore cumulativo <i>Cumulative Value</i>	Proporzione cumulativa <i>Cumulative ratio</i>
1	6.340729	5.771787	0.9058	6.340729	0.9058
2	0.568941	0.525520	0.0813	6.909670	0.9871
3	0.043421	0.019383	0.0062	6.953091	0.9933
4	0.024039	0.009930	0.0034	6.977130	0.9967
5	0.014109	0.006930	0.0020	6.991239	0.9987
6	0.007179	0.005598	0.0010	6.998419	0.9988
7	0.001581	-	0.0002	7.000000	1.0000

Vettori (caricamenti) – <i>Vectors of records (loadings)</i>							
Variable <i>Variable</i>	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Depositi bancari <i>Bank deposits</i>	0.377444	0.386592	0.102608	-0.596347	-0.265309	0.466450	0.232294
Esportazioni MI <i>Exports MI</i>	0.391153	-0.051103	-0.767412	-0.184412	0.311645	-0.274239	0.221648
Importazioni MI <i>Imports MI</i>	0.392314	-0.131091	-0.290645	0.377495	-0.705160	0.091249	-0.310403
Parco veicolare <i>Vehicle fleet</i>	0.394370	0.009173	0.461310	-0.055227	-0.200192	-0.730019	0.235640
Pil nominale MI <i>Rated GDP MI</i>	0.392425	-0.174453	0.198904	-0.273608	0.357367	0.013802	-0.757128
Pil valori conca <i>GDP values conca</i>	0.344834	-0.650491	0.230366	0.211320	0.198888	0.386690	0.413691
Popolazione <i>Population</i>	0.349556	0.614079	0.103136	0.587615	0.357621	0.127450	0.025551

Correlazioni ordinarie – <i>Ordinary correlations</i>							
Depositi bancari <i>Bank deposits</i>	Miglia <i>Miles</i>	Esportazioni <i>Exports</i>	Importazioni <i>Imports</i>	Parco veicolare Pil <i>Vehicle fleet GDP</i>	Nominale Pil <i>Rated GPD</i>	Valori conca <i>Values conca</i>	Popolazione <i>Population</i>
Depositi bancari <i>Bank deposits</i>	1.000000						
Esportazioni MI <i>Exports MI</i>	0.922115	1.000000					
Importazioni MI <i>Imports MI</i>	0.906203	0.981449	1.000000				
Parco veicolare <i>Vehicle fleet</i>	0.947089	0.963361	0.975408	1.000000			
Pil nominale MI <i>Rated GDP MI</i>	0.904047	0.974228	0.981023	0.983370	1.000000		
Pil valori conca <i>GDP values conca</i>	0.680905	0.865814	0.903391	0.860794	0.923747	1.000000	
Popolazione <i>Population</i>	0.962781	0.844403	0.824284	0.876920	0.807650	0.542430	1.000000

mentre ben descrivono l'evoluzione nel tempo fino all'attualità del tonnellaggio delle merci (cfr. ad esempio Fig. 1), non risultano di fatto pienamente utili a fini previsionali. Ricorrendo ad esse, infatti, non si tenderebbe a valori di soglia come invece è realistico attendersi dal significato economico della domanda delle merci e delle altre variabili macroeconomiche ad essa connesse scelte come esplicative del fenomeno. Il significato di tutte queste ultime rende poco realistica una loro crescita indefinita, anche nelle ipotesi più favorevoli di congiunture economiche e socio-politiche, come invece in genere previsto dai modelli di tipo (2) e (5).

Queste ultime considerazioni giustificano dunque la selezione a fini previsionali di modelli matematici del tipo logistico o di Gompertz che tendano asintoticamente a valori di soglia al progredire dell'orizzonte temporale.

4. Previsioni del traffico delle merci al Brennero da curve logistiche al breve-medio periodo

Le previsioni a medio termine, come già accennato nell'introduzione, vengono in questo lavoro effettuate avvalendosi di curve logistiche individuate a partire da diverse serie di dati. Come è noto, se si indica con T una variabile statistica (V.S.), la curva logistica ha equazione:

$$T(t) = \frac{T^*}{1 + Ae^{-Bt}} \quad (6)$$

dove $T(t)$ e T^* rappresentano il valore delle V.S. rispettivamente al tempo t e $t \rightarrow \infty$; A e B sono delle costanti da determinare con la serie storica dei dati.

Le serie storiche dei dati utilizzati per la taratura della (6) sono quelle relative:

- alla consistenza del parco veicolare italiano: T^* è stato stimato in $55,25 \times 10^6$ veicoli, tenendo conto dell'evoluzione demografica italiana e di quella dell'indice di motorizzazione [16];
- alla variabile latente (3) (sintesi di dati macroeconomici): T^* è posto pari a 5, in base anche a valutazioni meta-economiche relative agli andamenti presumibili degli scenari evolutivi geopolitici [16];
- al tonnellaggio in transito su strada, su ferrovia e totale: $T^*_{\text{strada}} = 38,2$ mio T, $T^*_{\text{ferrovia}} = 18$ mio T, pari agli attuali limiti capacitivi delle rispettive infrastrutture [16], $T^*_{\text{complessivi}} = 56,2$ mio T.

Una volta determinati per ciascuno dei casi a); b); c) i valori A e B e constatata la significatività statistica, è stato possibile valutare, mediante la (6), il valore di $T(t)$, T_i , in un determinato anno i , ($i = 0, 1, 2, \dots$). Nei casi qui in esame $i = 0$ per l'anno 1985 per i dati a); $i = 0$ per l'anno 1990 per i dati b) e c).

Detto quindi T_{rif} il valore della V.S. T (consistenza del parco veicolare italiano o variabile latente) stimato da curva logistica per l'ultimo anno per il quale sono dispo-

The parameters of the above relation are statistically significant and the remainder conform to a "white noise". Among other things, the approach index between determinations given by (3) and the interpolating relation amounted to 0.984.

Fig. 1 shows the values of the tonnage of goods found and those interpolated from the least squares relation depending on the latent variable.

In Fig. 1 we can observe the good combination of measures and forecasts from the model, as among other things indicated by the significance of the interpolating relation

$$Tonn_complessivo = 3,092578 \cdot VL + 35,176 \quad (p^2 = 0,89) \quad (5)$$

and the trend of residuals, which, for reasons of synthesis, are omitted.

The relations obtained from the information provided by exploratory analyses (see for example, (2) and (5)), while they describe well the evolution in time to the current tonnage of goods (see for example, Fig. 1), are not in fact quite useful for forecasting purposes. Resorting to them, in fact, would not tend to threshold values as it is realistic to expect from the economic meaning of freight demand and other related macroeconomic variables chosen as explanation of the phenomenon.

The meaning of all these makes their indefinite growth scarcely realistic, even under the most favourable assumption of economic and socio-political circumstances, as is generally expected from type (2) and (5) models.

The latter considerations therefore justify the selection of logistic type mathematical models for forecasting purposes or Gompertz that tend asymptotically to threshold values as the time horizon progresses.

4. Brenner freight traffic forecasts from logistic curves in the short-medium term

Medium-term forecasts, as mentioned in the introduction, are carried out in this work using logistic curves identified from different sets of data. As known, if a statistic variable is indicated with T (S.V.), the logistic curve equation is:

$$T(t) = \frac{T^*}{1 + Ae^{-Bt}} \quad (6)$$

where $T(t)$ and T^ represent the S.V. value respectively at time t and $t \rightarrow \infty$; A and B are constants to be determined with historical series data.*

The historical series of the data used for the calibration of (6) are those relating to:

- *the consistency of the Italian fleet: T^* was estimated at 55.25×10^6 vehicles, taking account Italian demographic and motorisation index changes [16];*
- *the latent variable (3) (summary of macroeconomic data): T^* is equal to 5, also according to meta-economic*

nibili i dati storici, il valore di T all' i -esimo anno (in avanti o all'indietro) può scriversi

$$T_i = \varphi_i \cdot T_{\text{rif}} \quad (7)$$

Con la (7) si ricavano quindi per la logistica i coefficienti di crescita φ_i .

Questi coefficienti di crescita, possono essere poi utilizzati per determinare l'andamento nel tempo delle merci trasportate al Brennero (su strada, su ferrovia e complessive) in tutti gli anni considerati.

Per le logistiche relative al caso c), non è stato necessario ricorrere, evidentemente, alla stima dei coefficienti di crescita φ_i .

Nel tarare con il procedimento appena sintetizzato le curve logistiche, si sono trattati sia i dati disponibili nel loro complesso (comprensivi cioè anche di tutte le determinazioni relative al periodo della crisi – anni 2008÷2014), sia regolarizzando i dati predetti, ovvero sostituendo alla determinazione relativa al 2009 (anno che più di ogni altro si discostava dall'andamento della serie storica), la media delle determinazioni relative agli anni 2008 e 2010.

I modelli così ottenuti sono risultati di fatto non significativamente distinguibili.

Per analizzare ulteriormente l'interpretazione dei dati del traffico merci al Brennero con curve logistiche, i modelli che si ottengono specificando la (6) sono stati ulteriormente completati aggiungendo opportunamente alla (6), in forma auto-regressiva, dei residui, così da ottenere una relazione del tipo:

$$T(t) = \frac{T^*}{1+A_1 e^{-B_1 t}} + C \cdot \varepsilon_{t-1} + D \cdot \varepsilon_{t-2} \quad (8)$$

dove ε_{t-1} è la differenza al tempo $t-1$ tra i valori misurati e quelli stimati dai modelli che derivano dalla (6); ε_{t-2} è l'omologa differenza relativa al tempo $t-2$.

Nella taratura del modello (8) l'importanza di quest'ultima differenza è risultata di fatto irrilevante, come segnalato dai test sulla significatività del coefficiente D risultando invece ancora C significativo.

La (8) è stata così riformulata eliminando il termine ε_{t-2} ed i coefficienti A e B sono stati così ricalcolati.

Anche in questo caso le previsioni in base ai modelli così ottenuti (relativamente alle ipotesi a), b) e c)) non risultano significativamente distinguibili da quelle ricavate particolareggiando la (6). I risultati appaiono praticamente sovrapponibili, pertanto l'aggravio computazionale non risulta giustificabile.

In definitiva, nel seguito di questo lavoro si farà riferimento alle previsioni ottenute specificando la relazione (6) e utilizzando tra i dati rilevati anche tutti quelli relativi alla crisi.

Ciò premesso, per le relazioni ottenute, sono stati

evaluations relating to presumable evolutionary geopolitical scenarios trends [16];

- tonnage in transit by road, by rail and total T^*_{road} : 38.2 mio T , $T^*_{\text{rail}} = 18$ mio T , equal to the current capacity limits of the respective infrastructures [16], $T^*_{\text{total}} = 56.2$ mio T .

Once values A and B are determined for each of the cases a); b); c) and having ascertained the statistical significance, it was possible to evaluate, through (6), the value of $T(t)$, T_i in a given year i , ($i = 0, 1, 2, \dots$). In the cases under study $i = 0$ for the year 1985 for the data); $i = 0$ for the year 1990 for the data b) and c).

Therefore said T_{rif} the value of the S.V. T (consistency of the Italian fleet or latent variable) estimated by logistic curve for the last year for which historical data are available, the value of T to the i -eth year (forward or backward) can be written

$$T_i = \varphi_i \cdot T_{\text{rif}} \quad (7)$$

With (7) the growth coefficients φ_i are then derived.

These growth coefficients can then be used to determine trends of goods transported at the Brenner pass over time (by road, rail and total) in all years under review.

For logistics related to case c), there was obviously no need to resort to the estimation of the growth coefficients φ_i .

When calibrating the logistic curves in the procedure just summarised, both the data available were processed in their entirety (including namely all determinations relating to the period of the crisis – years 2008 to 2014) and regularising the data above, or replacing the determination concerning 2009 (a year that more than any other deviated from the trend of the historical series), the average of the determinations for the years 2008 and 2010.

The patterns thus obtained were in fact not significantly distinguishable.

To further analyse data interpretation of freight traffic at the Brenner pass with logistic curves, models that can be obtained by specifying the (6) were further supplemented by adding appropriately to (6), in the form of auto-regressive residue, in order to obtain the type of relationship:

$$T(t) = \frac{T^*}{1+A_1 e^{-B_1 t}} + C \cdot \varepsilon_{t-1} + D \cdot \varepsilon_{t-2} \quad (8)$$

where ε_{t-1} is the difference at time $t-1$ between the values measured and those estimated from the models that derive from (6); ε_{t-2} is the homologous difference relating to time $t-2$.

In the calibration of the model (8) the importance of the latter difference was in fact irrelevant, as reported by tests on the significance of coefficient D , C still resulting significant.

(8) was so reformulated by deleting the term ε_{t-2} and coefficients A and B were thus recalculated.

Tabella 3 – Table 3

Determinazione indici di conformità per le previsioni da logistica
Determination of compliance indices for forecasts from logistics

		I ₁	I ₂	I ₃
Logistica su parco veicolare Logistics on fleet	Ferrovia Railroad	0,1102	0,1378	3,3673
	Strada Road	0,1394	0,1730	1,6657
	Complessivi Total	0,1050	0,1281	4,3740
Logistica su variabile latente Logistics on latent variable	Ferrovia Railroad	0,4582	0,5226	8,9888
	Strada Road	0,5037	0,5578	3,7806
	Complessivi Total	0,4654	0,5186	12,4640
Logistica su tonnellaggio merci Logistics on freight tonnage	Ferrovia Railroad	0,0912	0,1102	2,7873
	Strada Road	0,0935	0,1092	1,1152
	Complessivi Total	0,0683	0,0879	3,1209

quindi calcolati gli indici di conformità per valutare l'adattamento tra i modelli e i dati trattati.

Gli indici di conformità scelti risultano: I₁ indice lineare relativo, I₂ indice quadratico relativo, I₃ errore standard della stima:

$$I_1 = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{\sum \hat{y}_i}$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}}{\frac{\sum \hat{y}_i}{n}}$$

$$I_3 = \sqrt{\frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

In base ai valori degli indici di conformità (Tabella 3), la logistica ottenuta a partire dai dati del tonnellaggio delle merci in transito al Brennero (caso c) dell'elenco precedente) è quella che meglio interpreta le serie storiche dei dati disponibili.

In Tabella 4 sono riportati i valori dei coefficienti A e B per le curve logistiche.

In Fig. 2 sono riportati gli andamenti del traffico delle merci per modi di trasporto ottenuti tarando come logistica quella relativa al caso c).

Agli orizzonti temporali del 2020, e 2027 (rappresentativi rispettivamente del breve e medio termine) si ottengono quindi le previsioni della seguente Tabella 5.

Also in this case the forecasts based on the obtained models (pertaining to hypothesis a) b) c)) are not significantly distinguishable from those obtained by itemising (6). The results are virtually overlapping, therefore the computational burden is not justifiable.

Ultimately, later in this work reference will be made to the forecasts obtained by specifying relationship (6) and using among the data collected also all those related to the crisis.

Now therefore, the conformity indices for evaluating the adaptation between the models and the data processed were then calculated for the relationships obtained.

The conformity indices chosen are: I₁, relative linear index, I₂ relative quadratic index, I₃ standard error of estimate:

$$I_1 = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{\sum \hat{y}_i}$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}}{\frac{\sum \hat{y}_i}{n}}$$

$$I_3 = \sqrt{\frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Based on the values of the conformity indices (Table 3), the logistics obtained from the tonnage of goods in transit at the Brenner pass (case c) in the list above) is the one that best represents the historical series of available data.

Table 4 shows the values of coefficients A and B for logistic curves.

Tabella 4 – Table 4

Coefficienti A e B per le curve logistiche
Coefficients A and B for logistic curves

		A	B
Logistica su parco veicolare Logistics on fleet		1,030	0,077
Logistica su variabile latente Logistics on latent variable		7,084	0,162
Logistica su tonnellaggio merci Logistics on freight tonnage	Ferrovia Railroad	1,697	0,068
	Strada Road	1,375	0,088
	Complessivi Total	2,480	0,096

Per come ricavate, relativamente all'orizzonte di previsione, le logistiche presuppongono la permanenza nel tempo delle relazioni prevalenti (anni pre-crisi) tra i fattori territoriali ed economici che generano la domanda del traffico merci e, altresì, il mantenimento dell'assetto attuale dell'offerta infrastrutturale (autostrada e ferrovia).

Le previsioni riportate in Tabella 5 risultano, in ordine di grandezza, in linea con quelle effettuate da LTF (Lyon Turin Ferroviare) in [17] relativamente al Brennero, e, come trend, conformi anche a quelle relative al collegamento Italia-Francia e ai valichi del Lötschberg e del San Gottardo (relazione Italia-Svizzera). Per queste previsioni si rimanda a [17] e [18].

Queste circostanze andrebbero comunque ulteriormente corroborate riferendosi agli specifici contesti economici e territoriali di incidenza del traffico delle merci relativi ai succitati valichi.

5. Ipotesi di previsione del traffico delle merci al Brennero da curve logistiche al lungo periodo

Alla fine del 2027 è prevista (secondo le ultime stime di BBT-SE) l'apertura del Tunnel di Base del Brennero e in pochi anni (nei due/tre anni seguenti) anche la completa realizzazione e messa in esercizio delle tratte di accesso allo stesso. La nuova configurazione dell'infrastruttura comporterà ovviamente una modifica sostanziale della capacità della ferrovia e di conseguenza potrà indurre un radicale cambiamento nell'attrattività del corridoio del Brennero rispetto ai percorsi alternativi.

Per questo motivo, è realistico ritenere che, a partire dal 2030, le previsioni basate sulle curve logistiche finora presentate, non risulteranno più attendibili.

Per il lungo termine si è scelto di adottare le assunzioni fatte riguardo la ripartizione modale tra ferro e gomma riportate in [1] e [2], opportunamente traslate nel tempo per tenere conto del riposizionamento delle previsioni di ultimazione della Galleria di Base e del quadruplicamento della Ferrovia del Brennero.

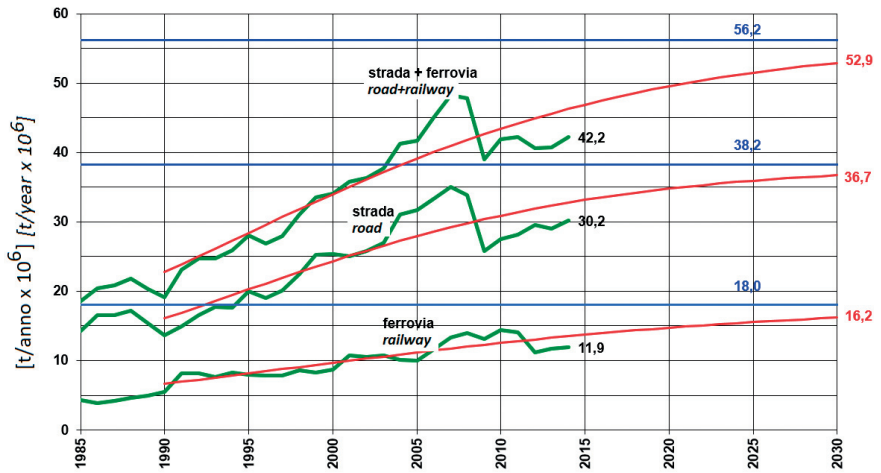


Fig. 2 - Serie storiche (1990-2014) in verde, e previsioni da logistica (ipotesi c) (in rosso) per il traffico merci al Brennero.

Fig. 2 - Historical series (in green: 1990-2014) and forecasts from logistics (in red hypothesis c) for freight traffic at the Brenner pass.

Fig. 2 shows the traffic trends of freight traffic for transport modes obtained by setting as logistics that relating to case c).

At the time horizons of 2020, and 2027 (representing respectively the short and medium term) the forecasts in table 5 below are obtained.

As a result of how they are obtained, relatively to the forecast horizon, the logistics assume permanence in prevailing relations time (pre-crisis years) between the territo-

Tabella 5 – Table 5

Previsioni da logistica sul breve e medio termine
Forecasts from logistics in the short and medium term

Anno Year	Previsione Forecast	Ferrovia [t/anno x 10 ⁶] Railroad [t/year x 10 ⁶]	Strada [t/anno x 10 ⁶] Road [t/year x 10 ⁶]	Complessivo (strada+ ferrovia) [t/anno x 10 ⁶] Overall (road + railway) [t/year x 10 ⁶]
2020	Parco veicolare Vehicle fleet	12,4	31,4	43,8
	Variabile latente Latent variable	12,9	32,8	45,8
	Tonnellaggio merci Freight tonnage	14,7	34,8	49,5
2027	Parco veicolare Vehicle fleet	12,7	32,2	45,0
	Variabile latente Latent variable	13,4	34,0	47,5
	Tonnellaggio merci Freight tonnage	15,8	36,3	52,1

In [1] si prevedeva un unico scenario, con un progressivo passaggio di merci da strada a ferrovia in base alle ripartizioni percentuali modali della Tabella 6. Si è scelto di mantenere (in via cautelativa) l'ipotesi che il tonnellaggio complessivo delle merci continui a crescere fino al 2035 secondo le già presentate previsioni da logistica. Questa circostanza è realistica dal momento che, anche qualora il nuovo assetto infrastrutturale dovesse attrarre nuovi traffici a discapito di altri itinerari, un periodo transitorio sarebbe senz'altro necessario prima dell'attinimento di nuovi stati del sistema su orizzonti di lungo periodo.

In Tabella 7 sono riportate le previsioni dell'evoluzione del tonnellaggio trasportato al Brennero tra il 2031 e il 2035. Come già detto il tonnellaggio complessivo secondo la curva logistica descritta al paragrafo precedente presenta una modesta crescita. Di particolare interesse è il progressivo aumento previsto per la quantità di merce trasportata su ferrovia a discapito di quella trasportata su strada. Per meglio cogliere questo shift modale si rimanda anche alle seguenti Figg. 3 e 4, dalle quali risulta una chiara rappresentazione di questa tendenza

In [2] e [19] (ProgTrans) sono stati assunti invece per il periodo post-apertura del Tunnel di Base del Brennero quattro diversi scenari. ProgTrans ritiene che dei cinque fattori connessi con la domanda delle merci (socio-economia, sviluppo dei processi sociali, evoluzione dell'economia dei trasporti – logistica, evoluzione tecnologia e politica dei trasporti), la sola politica dei trasporti contribuisca alla definizione degli scenari stessi e, quindi, alle relative ripartizioni modali. I predetti scenari sono così definiti:

- “di minimo”, scenario più pessimistico, che contempla l'apertura di tutte le tratte d'accesso, ma non della Galleria di base;
- “base”, che prevede l'apertura di tutte le infrastrutture, ma nessuna particolare politica dei trasporti;
- “di tendenza”, che, a differenza dello scenario inerziale, ipotizza la continuazione dell'orientamento della

Tabella 6 – Table 6

Previsione della ripartizione modale delle merci su strada e ferrovia a fronte di un incremento della domanda complessiva “da logistica” [1]

Forecast of the modal split of freight by road and rail against an increase in overall demand “from logistics” [1]

Anni Years	Ferrovia Railway	Strada Road
2031	36%	64%
2032	40%	60%
2033	41%	59%
2034	47%	53%
2035	57%	43%

rial and economic factors that generate demand of freight traffic and also, the upkeep of the current structure of infrastructure offer (motorway and rail).

The forecasts reported in Table 5 are, in order of magnitude, in line with those elaborated by LTF (Lyon Turin Ferroviaire) in [17] with respect to the Brenner Pass, and, as a trend, complying to those of the France-Italy connection and the Lötschberg and Gotthard (Italy-Switzerland connection) border crossings. For these forecasts please refer to [17] and [18].

These circumstances should be further corroborated anyway referring to specific economic and territorial contexts of incidence of freight traffic relating to the above-mentioned crossing.

5. Brenner freight traffic forecast assumptions from long-term logistic curves

The Brenner Base Tunnel is expected to open at the end of 2027 (according to the latest BBT-SE estimates) and within a few years (in the two/three following years) also the completion and commissioning of access routes to it. The new configuration of the infrastructure will obviously result in a substantial modification of railroad capacity and therefore can cause a radical change in the attractiveness of the Brenner corridor compared to alternative routes.

For this reason, it is realistic to believe that, starting from 2030, forecasts based on the logistic curves so far presented, will no longer be reliable.

For the long term we chose to adopt the assumptions made concerning the modal split between rail and road shown in [1] and [2], appropriately transferred in time to take account of the repositioning of the Base Tunnel completion and the quadruplication of the Brenner Railway.

Tabella 7 – Table 7

Previsione della evoluzione delle domande di traffico merci su ferrovia e su strada a fronte di un incremento della domanda complessiva “da logistica”

Forecast of the changing freight traffic demand by rail and road, against an increase of total demand “from logistics”

Anni Years	Ferrovia [t/anno x 10 ⁶] Railway [t/year x 10 ⁶]	Strada [t/anno x 10 ⁶] Road [t/year x 10 ⁶]	Strada+ferrovia [t/anno x 10 ⁶] (da logistica) Road + rail [t/year x 10 ⁶] (from logistics)
2031	19,1	34,0	53,1
2032	21,3	32,0	53,3
2033	21,9	31,6	53,5
2034	25,2	28,5	53,7
2035	30,7	23,2	53,9

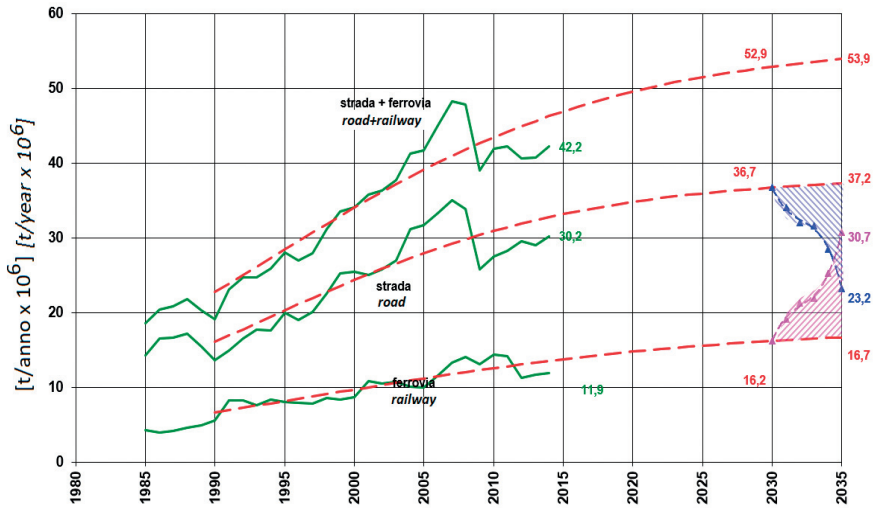


Fig. 3 - Previsioni per la evoluzione del traffico merci al Brennero nel periodo 2030-2035.

Fig. 3 - Forecast for the evolution of freight traffic at the Brenner Pass in the period 2030-2035.

In [1] a single scenario was foreseen, with a gradual shift of freight from road to rail based on the modal split percentages of Table 6. We chose to keep (by way of precaution) the hypothesis that total tonnage of goods continues to grow until 2035 according to the previously submitted forecast from logistics. This condition is realistic since, even if the new infrastructure planning were to attract new traffic to the detriment of other routes, a transitional period would certainly be necessary before the acquisition of new system conditions on long-term horizons.

Table 7 shows the evolution of tonnage transported at the Brenner Pass between 2031 and 2035. As already mentioned the total tonnage according to the logistic curve described in the previous paragraph shows modest growth. The progressive increase expected for the amount of goods transported by rail to the detriment of that

politica dei trasporti dell'ultimo decennio, ovvero a favore della ferrovia;

- "di consenso", caratterizzato da misure dei trasporti decisamente più favorevole alla ferrovia.

Nella Tabella 8 e nelle Figg. 5, 6, 7 e 8, sono riportate le previsioni per la ripartizione modale nel periodo 2030-2045 in base agli scenari appena sopra elencati e alle percentuali di scambio modale che si ricavano da [2].

Per ogni ulteriore approfondimento anche relativo ai criteri di stima del traffico delle merci al Brennero e delle relative ripartizioni modali, si rimanda, oltre al già citato [2], in particolare anche a [19].

Come già evidenziato per le previsioni svolte in base a [1], va sottolineato che anche qui si assume che il quantitativo complessivo delle merci trasportate al Brennero nel periodo successivo al 2030 continuerà a crescere coe-

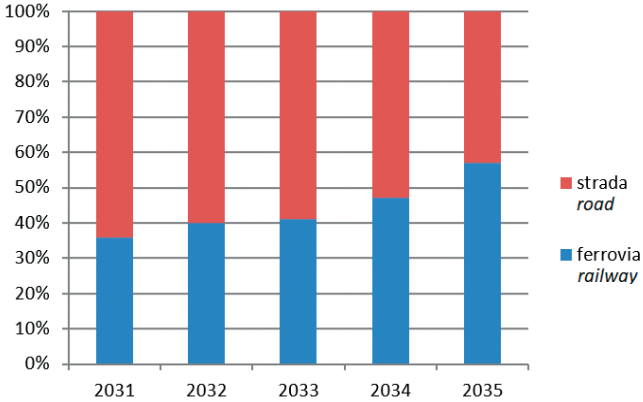


Fig. 4 - Previsioni per la ripartizione modale delle merci al Brennero nel periodo 2031-2035.

Fig. 4 - Forecasts for the modal split of goods at the Brenner Pass in the period 2031-2035.

Tabella 8 – Table 8

Previsioni per la ripartizione modale [mio t/anno] per il periodo 2030-2045
Forecast for modal split [mio t/year] for the period 2030-2045

Anni Years	Scenario minimo Minimum scenario		Scenario base Basic scenario		Scenario di tendenza Trend scenario		Scenario di consenso Consent scenario	
	Strada Road	Ferrovia Railway	Strada Road	Ferrovia Railway	Strada Road	Ferrovia Railway	Strada Road	Ferrovia Railway
2030	36,5	16,4	36,5	16,4	36,5	16,4	36,5	16,4
2035	37,2	16,7	35,0	18,9	34,0	19,9	31,3	22,6
2040	37,1	17,5	32,2	22,4	30,6	24,0	26,8	27,8
2045	37,5	17,6	32,0	23,1	30,3	24,8	25,3	29,7

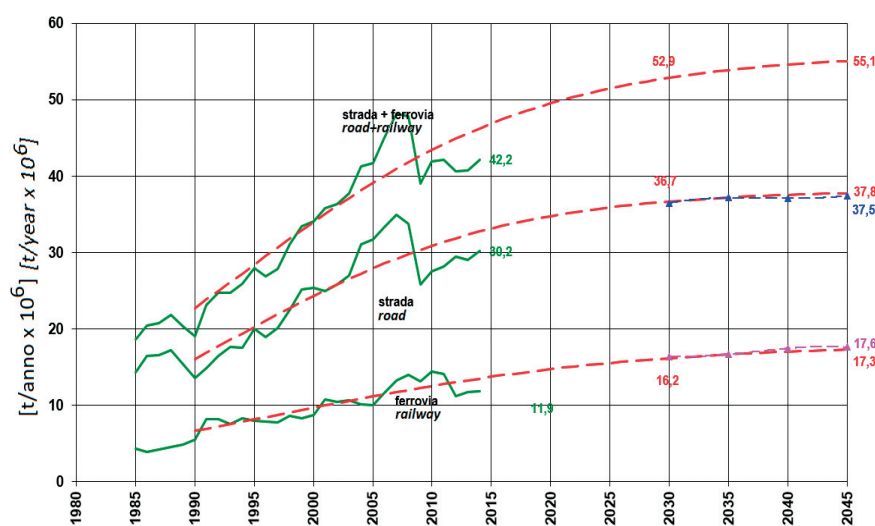


Fig. 5 - Previsioni al 2045 con logistica e secondo lo scenario minimo.

Fig. 5 - Forecast at 2045 with logistics and according to minimum scenario.

rentemente con le previsioni da logistica presentate in questo articolo. Questa assunzione, per quanto non del tutto realistica per il periodo 2030-2035, lo diventa ancor meno per il successivo periodo 2035-2045, ma quello che qui preme sottolineare è il diverso impatto che possono avere i quattro scenari sulla ripartizione modale.

Dall'esame delle Figg. 5, 6, 7, e 8 e della relativa Tabella 8, è immediato notare che tutti e quattro gli scenari qui proposti presentano un quantitativo di merci trasportate su ferro (a discapito di quelle trasportate su strada) superiore rispetto a quanto previsto in base alla sola curva logistica. Questa tendenza è, evidentemente, tanto più incisiva quanto più forti sono i provvedimenti adottati nei singoli scenari, tanto che, nello scenario di consenso, le politiche adottate sarebbero in grado di condurre al superamento del quantitativo di merci trasportate su ferro rispetto a quello delle merci trasportate su strada. Da un confronto tra le Figg. 3 e 8 si può in ogni caso notare che lo shift modale nel tempo nell'ultimo caso presentato (scenario di consenso), risulta comunque molto meno rapido e più graduale rispetto a quello previsto in accordo con [1].

La differenza delle previsioni segnala quindi, in modo evidente (Figg. 5, 6, 7, 8 e 9), la diversa efficacia dei provvedimenti associati a ciascuno degli scenari ipotizzati.

carried by road is of particular interest. To better achieve this modal shift please refer also to the following Figs. 3 and 4, where there is a clear representation of this trend.

In [2] and [19] (ProgTrans) four different scenarios were taken instead for the post-opening period of the Brenner Base Tunnel. ProgTrans believes that out of the five factors associated with freight demand (socio-economic, development of social processes, development of the economics of transport – logistics, technology evolution and transport policy), the transport policy alone contributes to the definition of the same scenarios and, therefore, its modal splits. These scenarios mentioned are defined as follows:

- “minimum”, the most pessimistic scenario, which contemplates the opening of access routes, but not of the base Tunnel;
- “basic”, which provides for the opening of all the infrastructures, but no particular transport policy;
- “trends”, which, unlike the inertial scenario, assumes the continuation of transport policy orientation of the last decade - that is in favour of the railway;
- “consent”, featuring much more favourable measures for rail transport.

Table 8 and Figs. 5, 6, 7 and 8, show the modal split forecasts in the period 2030-2045 according to the scenarios

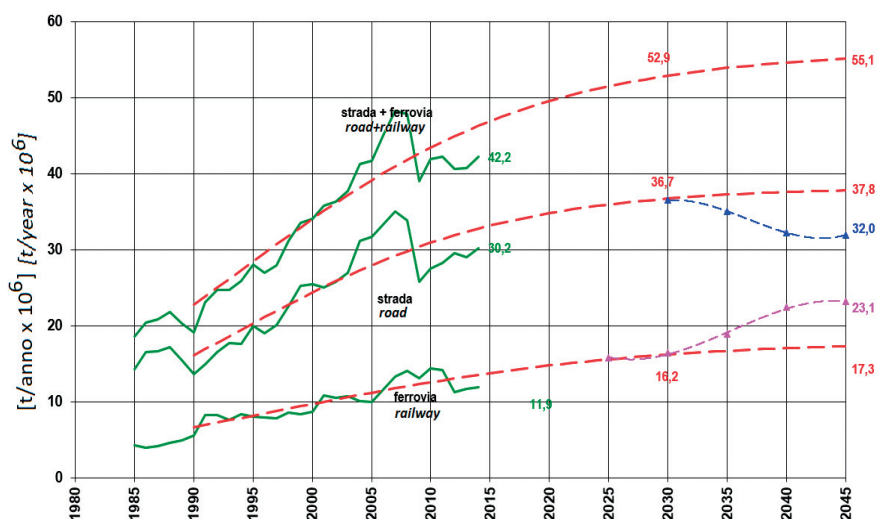


Fig. 6 - Previsioni al 2045 con logistica e secondo lo scenario di base.

Fig. 6 - Forecast at 2045 with logistics and according to the basic scenario.

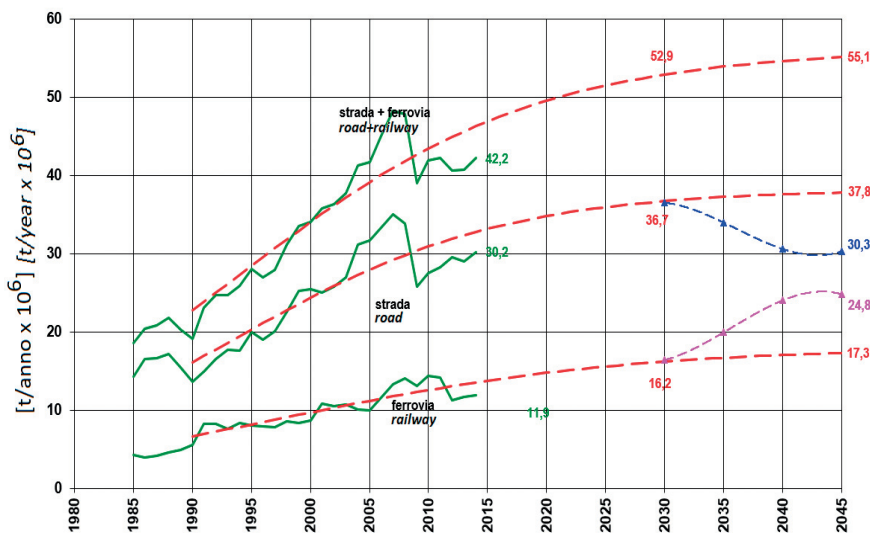


Fig. 7 - Previsioni al 2045 con logistica e secondo lo scenario di tendenza.
Fig. 7 - Forecasts at 2045 with logistics and according to the trend scenario.

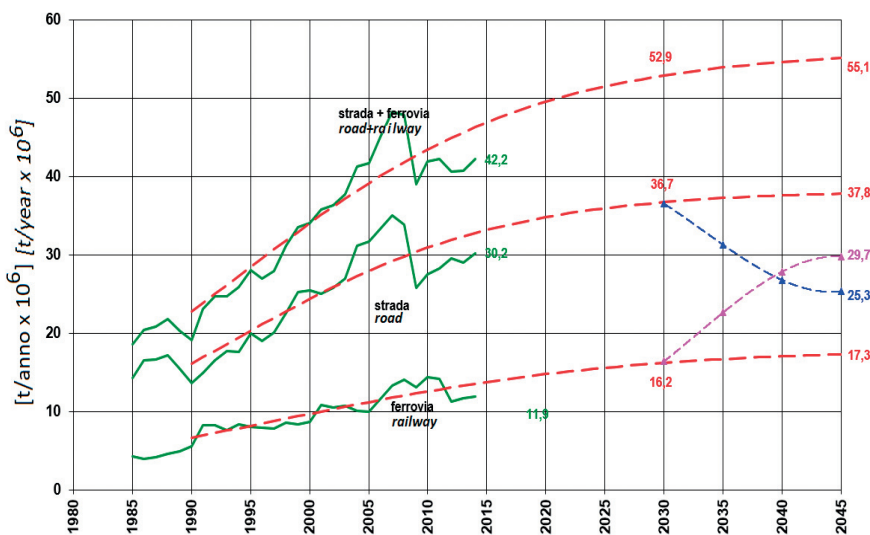


Fig. 8 - Previsioni al 2045 con logistica e secondo lo scenario di consenso.
Fig. 8 - Forecasts at 2045 with logistics and according to the consent scenario.

6. Ipotesi d'esercizio

Per completare le analisi si verifica, con i tre programmi di esercizio delle Tabelle 9, 10 e 11 [1], se l'infrastruttura ferroviaria può essere in grado di servire la domanda di traffico merci prevista.

A questo scopo si è scelto di utilizzare tre diversi orizzonti temporali: 2020 (breve termine), 2027 (medio termine) e 2035 (lungo termine, a completamento dell'infrastruttura).

6. Operation hypothesis

To complete the analysis, verification of whether the railway infrastructure is able to serve the demand of expected freight traffic is carried out, with the three operation programmes of Tables 9, 10 and 11[1].

For this purpose three different time horizons were chosen: 2020 (short term), 2027 (medium term) and 2035 (long term, upon completion of the infrastructure).

just listed above and the percentages of modal exchange obtained from [2].

For each additional in-depth analysis even concerning the criteria of freight traffic forecasting at the Brenner Pass and its modal splits, see also, besides the already mentioned [2], and in particular [19].

As already highlighted for the forecasts drafted according to [1], it is important to note that even here it is assumed that the total quantity of goods transported over the Brenner pass in the period after 2030 will continue to grow in line with forecasts from logistics presented in this article. This assumption, although not quite realistic for the period 2030-2035, becomes even less so for the subsequent period 2035-2045, but what must be emphasised here is the different impact that the four scenarios can have on the modal split.

After examining Figs. 5, 6, 7, and 8 and the relative Table 8, we can immediately notice that all four scenarios proposed here have a quantity of goods transported by rail (to the detriment of those transported by road) greater than expected based only on the logistics curve. This trend is obviously much stronger the stronger the measures that are taken in individual scenarios, so much so that, in the consent scenario, the policies would lead to exceeding the quantity of goods transported by rail than that of goods transported by road. A comparison of figs. 3 and 8 in any case highlights that the modal shift over time in the last case presented (consent scenario), is still much slower and more gradual than forecasted in accordance with [1].

The difference in forecasts therefore evidently reports (Figs. 5, 6, 7, 8 and 9), the different effectiveness of the measures associated with each scenario assumed.

Come si dirà subito nel seguito, ai predetti orizzonti temporali si associano i diversi stati di avanzamento della costruzione della Galleria di Base e della riqualificazione e quadruplicamento della Ferrovia del Brennero.

Per ogni orizzonte temporale si sono assunte tre ipotesi.

Per il loro dettaglio si rimanda a [16] e [20]. Per motivi di sintesi ci si limita qui a dire che:

- le tre ipotesi citate sono:
 - ipotesi 1: tutti i treni sono costituiti da carri sui quali può essere trasportato un quantitativo di merce equivalente a 2 unità di carico (u.c.);
 - ipotesi 2: metà dei treni è costituita da carri sui quali può essere trasportato un quantitativo di merce equivalente a 2 u.c., l'altra metà è composta da carri sui quali può essere trasportato un quantitativo di merce equivalente a 3 u.c.;

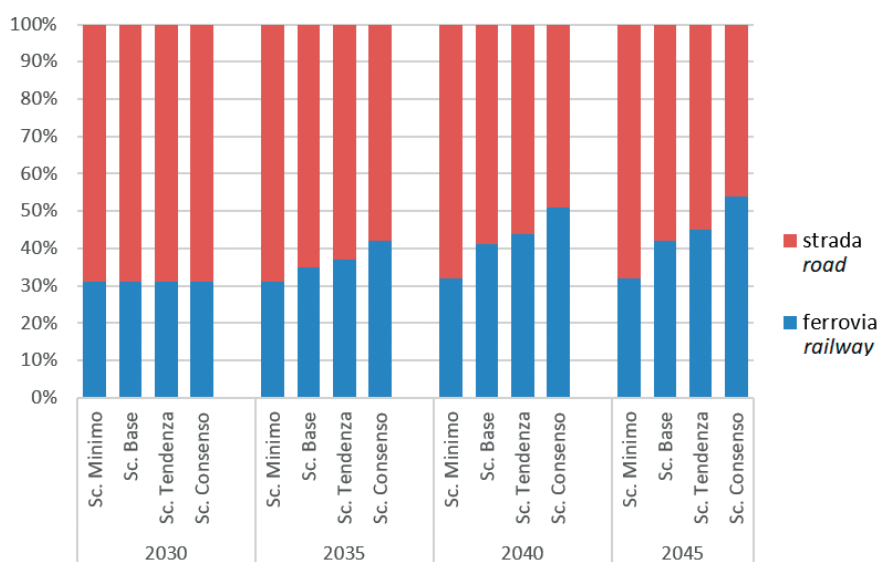


Fig. 9 - Previsioni della ripartizione modale delle merci al Brennero nel periodo 2030-2045.

Fig. 9 - Forecasts of modal split of goods over the Brenner pass in the period 2030-2045.

Tabella 9 – Table 9

Valutazione del numero di mezzi pesanti/giorno per trasportare lo stesso quantitativo di merci che possono viaggiare giornalmente su ferrovia secondo la simulazione di esercizio per il caso di riferimento 2020 (situazione infrastrutturale attuale)

Evaluation of the number of heavy vehicles/day to transport the same amount of goods that can travel daily by rail according to the operation simulation for the 2020 reference case (current infrastructure situation)

Tipo treni Train type		Treni/giorno Trains/day	N. carri (1 treno) N. wagons (1 train)	u.c. trasportate (1 treno) L.u. Transported (1 train)			Autoarticolati/autotreni equivalenti (1 treno) Equivalent articulated lor- ries/tractor trailers (1 train)			Autoarticolati/autotreni equivalenti complessivi Overall Equivalent articulated lorries/ tractor trailers		
Tipo Type	Lungh. Length			Ip. 1 Case 1	Ip. 2 Case 2	Ip. 3 Case 3	Ip.1 Case 1	Ip.2 Case 2	Ip.3 Case 3	Ip. 1 Case 1	Ip. 2 Case 2	Ip.3 Case 3
RoLa	405	24	18	36	36	36	18	18	18	432	432	432
SG	220	10	9	18	22	27	9	11	13	90	110	130
SG	250	6	10	20	25	30	10	12	15	60	72	90
DG	420	30	19	38	47	57	19	23	28	570	690	840
DG	600	15	28	56	70	84	28	35	42	420	525	630
DG	440	29	20	40	50	60	20	25	30	580	725	870
FG	430	11	19	38	47	57	19	23	28	209	253	308
FG	440	4	20	40	50	60	20	25	30	80	100	120
FG	440	2	20	40	50	60	20	25	30	40	50	60
FG	420	6	19	38	47	57	19	23	28	114	138	168
		137		364	444	528	182	220	262	2595	3095	3648

Legenda: RoLa = Autostrada viaggiante (Rollende Landstraße); EG = Treno merci equiparato a treno viaggiatori; SG = Treno merci rapido; DG = Treno merci diretto; FG = Treno merci a lunga percorrenza.

Legend: RoLa = Travelling highway (Rollende Landstraße); EG = freight train equivalent to passenger train; SG = fast freight train; DG = direct freight train; FG = long-haul freight train.

Tabella 10 – Table 10

Valutazione del numero di mezzi pesanti/giorno per trasportare lo stesso quantitativo di merci che possono viaggiare giornalmente su ferrovia secondo la simulazione di esercizio per il caso di progetto al 2027
Evaluation of the number of heavy vehicles/day to transport the same amount of goods that can travel daily by rail according to the operation simulation for the project case at 2027

Tipo treni Train type		N. treni/giorno N. Trains/day			N. carri (1 treno) N. wagons (1 train)	u.c. trasportate (1 treno) L.u. Transported (1 train)			Autoarticolati/autotreni equivalenti (1 treno) Equivalent articulated lorries/tractor trailers (1 train)			Autoarticolati/autotreni equivalenti complessivi Equivalent articulated lorries/tractor trailers Total		
Tipo Type	Lungh. Length	Linea Esistente Existing line	Linea Nuova New line	Totale Total		Ip.1 Case 1	Ip.2 Case 2	Ip. 3 Case 3	Ip.1 Case 1	Ip. 2 Case 2	Ip. 3 Case 3	Ip. 1 Case 1	Ip. 2 Case 2	Ip.3 Case 3
RoLa	750	0	30	30	33	66	66	66	33	33	33	990	990	990
RoLa	470	0	20	20	21	42	42	42	21	21	21	420	420	420
EG	220	0	4	4	9	18	22	27	9	11	13	36	44	52
SG	300	0	10	10	13	26	32	39	13	16	19	130	160	190
SG	460	0	6	6	21	42	52	63	21	26	31	126	156	186
DG	370	36	0	36	16	32	40	48	16	20	24	576	720	864
DG	350	22	0	22	15	30	37	45	15	18	22	330	396	484
DG	460	4	0	4	21	42	52	63	21	26	31	84	104	124
DG	600	0	10	10	28	56	70	84	28	35	42	280	350	420
DG	550	0	14	14	25	50	62	75	25	31	37	350	434	518
DG	310	11	0	11	13	26	32	39	13	16	19	143	176	209
DG	600	0	6	6	28	56	70	84	28	35	42	168	210	252
DG	700	0	4	4	33	66	82	99	33	41	49	132	164	196
FG	430	22	0	22	19	38	47	57	19	23	28	418	506	616
FG	440	8	0	8	20	40	50	60	20	25	30	160	200	240
FG	440	4	0	4	20	40	50	60	20	25	30	80	100	120
FG	420	12	0	12	19	38	47	57	19	23	28	228	276	336
		119	104	223		708	853	1008	354	425	499	4651	5406	6217

Legenda: RoLa = Autostrada viaggiante (Rollende Landstraße); EG = Treno merci equiparato a treno viaggiatori; SG = Treno merci rapido; DG = Treno merci diretto; FG = Treno merci a lunga percorrenza.

Legend: RoLa = Travelling highway (Rollende Landstraße); EG = freight train equivalent to passenger train; SG = fast freight train; DG = direct freight train; FG = long-haul freight train.

- ipotesi 3: tutti i treni sono costituiti da carri sui quali può essere trasportato un quantitativo di merce equivalente a 3 u.c.;
- per quanto attiene ai treni adibiti al trasporto intermodale accompagnato (RoLa), in tutte 3 le ipotesi, si è considerato un quantitativo di merce trasportabile su ciascun carro equivalente a 2 u.c.;
- per ciascun treno si valuta, nelle tre ipotesi considerate, il “numero di autotreni/autoarticolati equivalenti”, ossia il numero di mezzi pesanti necessari per trasportare lo stesso quantitativo di merci. A ciò fare si è ipotizzato che ogni mezzo pesante trasporti un quantitativo di merce all'incirca pari a 2 u.c. (assumendo in 280 i giorni di un anno utili al trasporto delle merci sia su strada sia su ferrovia);

As will be immediately said further on, these timeframes are associated with the different Base Tunnel construction progresses and redevelopment and quadruplication of the Brenner Railway.

- *For each time horizon three hypotheses were made.*
- *For their detail see [16] and [20]. For the sake of synthesis let us just say here that:*
- *the three hypotheses mentioned are:*
 - *Case 1: all trains are made up of wagons on which a quantity of goods equivalent to 2 loading units (l.u.) can be carried;*
 - *Case 2: half of the trains consists of wagons on which a quantity of goods equivalent to 2 l.u. can be*

Tabella 11 – Table 11

Valutazione del numero di mezzi pesanti/giorno per trasportare lo stesso quantitativo di merci che possono viaggiare giornalmente su ferrovia secondo la simulazione di esercizio per la configurazione infrastrutturale finale
Evaluation of the number of heavy vehicles/day to transport the same amount of goods that can travel daily by rail according to the operation simulation for the final infrastructure configuration

Tipo treni <i>Train type</i>		N. treni/giorno <i>N. trains/day</i>			n. carri (1 treno) N. wagons (1 train)	u.c. trasportate (1 treno) <i>L.u. transported (1 train)</i>			Autoarticolati/autotreni equivalenti (1 treno) <i>Overall equivalent articulated lorries/ tractor trailers (1 train)</i>			Autoarticolati/ autotreni equivalenti complessivi <i>Overall equivalent articulated lorries/ tractor trailers</i>		
Tipo <i>Type</i>	Lungh. <i>Length</i>	Linea Esistente <i>Existing line</i>	Linea Nuova <i>New line</i>	Totale <i>Total</i>		Ip.1 <i>Case 1</i>	Ip.2 <i>Case 2</i>	Ip. 3 <i>Case 3</i>	Ip.1 <i>Case 1</i>	Ip. 2 <i>Case 2</i>	Ip. 3 <i>Case 3</i>	Ip. 1 <i>Case 1</i>	Ip. 2 <i>Case 2</i>	Ip.3 <i>Case 3</i>
RoLa	750		30	30	33	66	66	66	33	33	33	990	990	990
RoLa	470		20	20	21	42	42	42	21	21	21	420	420	420
EG	220		10	10	9	18	22	27	9	11	13	90	110	130
SG	300		20	20	13	26	32	39	13	16	19	260	320	380
SG	460		26	26	21	42	52	63	21	26	31	546	676	806
DG	370	18	20	38	16	32	40	48	16	20	24	608	760	912
DG	350	22	14	36	15	30	37	45	15	18	22	540	648	792
DG	460	4	20	24	21	42	52	63	21	26	31	504	624	744
DG	600		20	20	28	56	70	84	28	35	42	560	700	840
DG	550		20	20	25	50	62	75	25	31	37	500	620	740
DG	310	6		6	13	26	32	39	13	16	19	78	96	114
DG	600		12	12	28	56	70	84	28	35	42	336	420	504
DG	700		10	10	33	66	82	99	33	41	49	330	410	490
FG	430	10		10	19	38	47	57	19	23	28	190	230	280
FG	440	8		8	20	40	50	60	20	25	30	160	200	240
FG	440	4		4	20	40	50	60	20	25	30	80	100	120
FG	420	6		6	19	38	47	57	19	23	28	114	138	168
		78	222	300		708	853	1008	354	425	499	6306	7462	8670

Legenda: RoLa = Autostrada viaggiante (Rollende Landstraße); EG = Treno merci equiparato a treno viaggiatori; SG = Treno merci rapido; DG = Treno merci diretto; FG = Treno merci a lunga percorrenza.
Legend: RoLa = Travelling highway (Rollende Landstraße); EG = freight train equivalent to passenger train; SG = fast freight train; DG = direct freight train; FG = long-haul freight train.

– nell'ipotesi che un'u.c. corrisponda a circa 8 t di merce (in media), si valuta, nelle tre ipotesi considerate, se il programma di esercizio assunto possa essere sufficiente a trasportare tutta la merce prevista in base alle previsioni precedentemente presentate.

Per l'orizzonte temporale del 2020 si assume il programma di esercizio riportato in Tabella 9 [1], conforme all'assetto attuale della Ferrovia del Brennero (comprensivo dell'eliminazione delle riduzioni di capacità nella bassa Valle dell'Inn).

In Fig. 2 e in Tabella 5 sono riportate le previsioni per il traffico merci sul Brennero al 2020 secondo le proiezioni da logistica: risulta un volume di merci su strada pari a 34,8 mio t/anno, corrispondente a circa 2,175 milioni di

carried, the other half consists of wagons on which a quantity of goods equivalent to 3 l.u. can be transported;

- o *Case 3: all trains are made up of wagons on which a quantity of goods equivalent to 3 l.u. can be transported;*
- *as regards accompanied intermodal transport trains (RoLa), in all 3 cases, a quantity of goods transported on each wagon equivalent to 2 l.u. was considered;*
- *for each train, in the three cases considered, the "number of equivalent articulated lorries/tractor trailers" is evaluated, which is the number of heavy means needed to transport the same amount of goods. To do this, it*

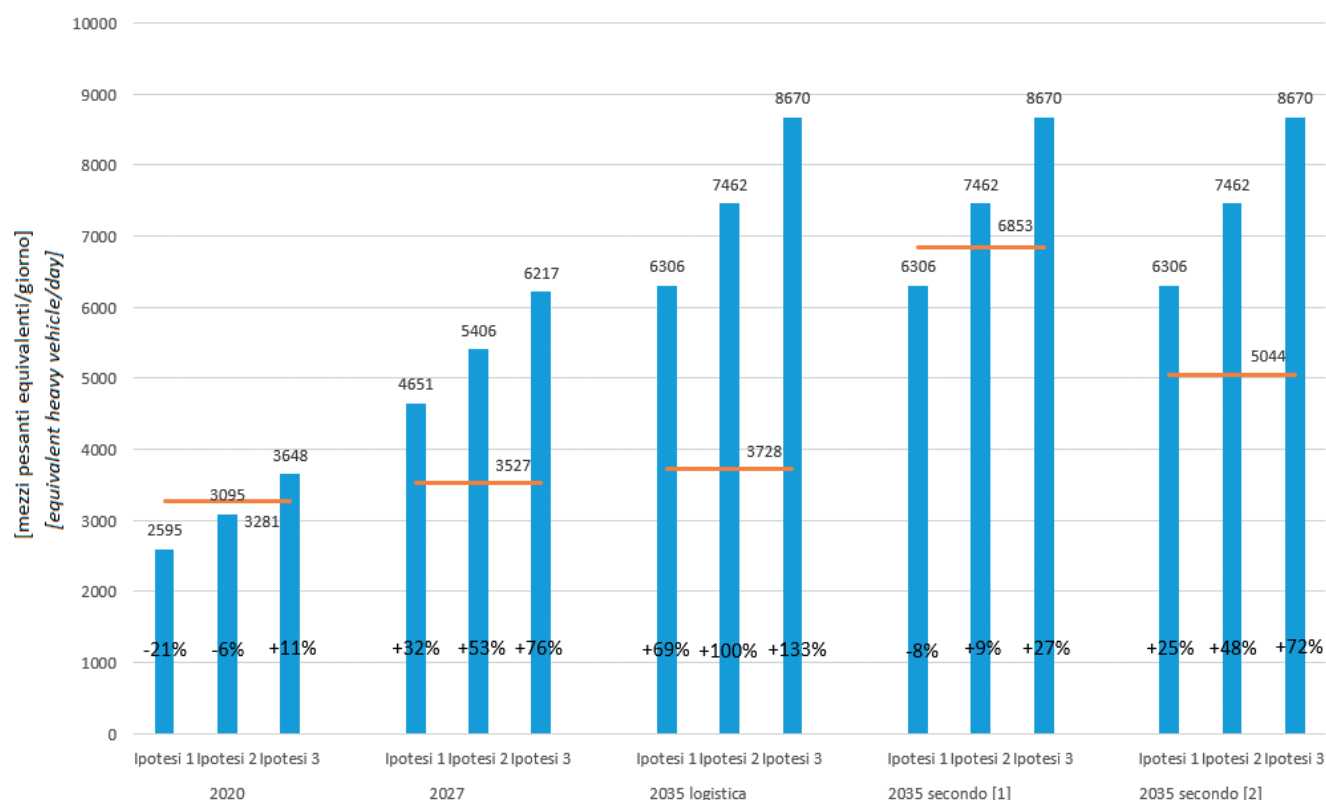


Fig. 10 - Previsioni per la riserva di capacità (in percentuale) della ferrovia a diversi orizzonti temporali. Sia la domanda (secondo le diverse previsioni – in arancione), sia l'offerta (secondo le tre diverse ipotesi – in blu) sono espresse in mezzi pesanti equivalenti.

Fig. 10 - Forecasts for reserve capacity (as a percentage) of the railway at different time horizons. Both demand (according to different forecasts – in orange), and offer (according to three different hypotheses – in blue) are expressed in equivalent heavy vehicles.

mezzi pesanti annui e, quindi, ad un TGM di circa 7.768 veicoli pesanti; per quanto riguarda il traffico su ferro si ottiene una previsione di 14,7 mio t/anno, pari a circa 0,92 milioni di mezzi pesanti equivalenti annui, ossia ad un TGM di circa 3.281 mezzi pesanti equivalenti.

Con riferimento, dunque, alla Tabella 9 il quantitativo di merce trasportabile giornalmente su ferro in base alle previsioni di esercizio (pari a 2.595, 3.095 o 3.648 mezzi pesanti equivalenti/giorno rispettivamente per le ipotesi 1, 2 e 3) risulta inferiore alla domanda prevista secondo la evoluzione da logistica del traffico merci movimentato con questa modalità (pari a 3.281 mezzi pesanti equivalenti/giorno) nel caso delle ipotesi 1 e 2 (di poco inferiore in quest'ultimo caso) e superiore alla stessa nell'ipotesi 3. Queste circostanze sono chiaramente rappresentata in Fig. 10. Nell'ipotesi 3 sarebbe quindi possibile, in linea di principio, ridurre, trasferendolo sulla ferrovia, il traffico merci su strada (circa 7.768 mezzi pesanti/giorno), di circa 367 mezzi pesanti/giorno, con un decremento percentuale del 5% (Fig. 11).

Per l'orizzonte di progetto del 2027 si assume il programma di esercizio di Tabella 10: a questa data l'infra-

was assumed that each heavy goods vehicle transports a quantity of goods of approximately 2 l.u. (assuming 280 days as the useful days in a year for transporting goods both on road and rail);

- assuming that a l.u. corresponds to about 8 tonnes of goods (on average), in the three cases considered, it is evaluated whether the operation programme assumed is sufficient to transport all goods provided according to the projections previously presented.

For the 2020 time horizon the operation programme shown in Table 9 [1] is assumed, in conformity with the current structure of the Brenner Railway (including the elimination of capacity reductions in the lower Inn Valley).

Fig. 2 and Table 5 show the freight traffic forecast at the Brenner Pass at 2020 according to projections by logistics: there is a volume of goods by road equivalent to 34.8 million tonnes/year, corresponding to about 2.175 million heavy vehicles per year and hence at an Average Daily Traffic (ADT) of about 7.768 heavy vehicles; regarding rail traffic there is a forecast of 14.7 million tonnes/year, equivalent to about 0.92 million equivalent heavy vehicles per year, which is an ADT of about 3.281 equivalent heavy means.

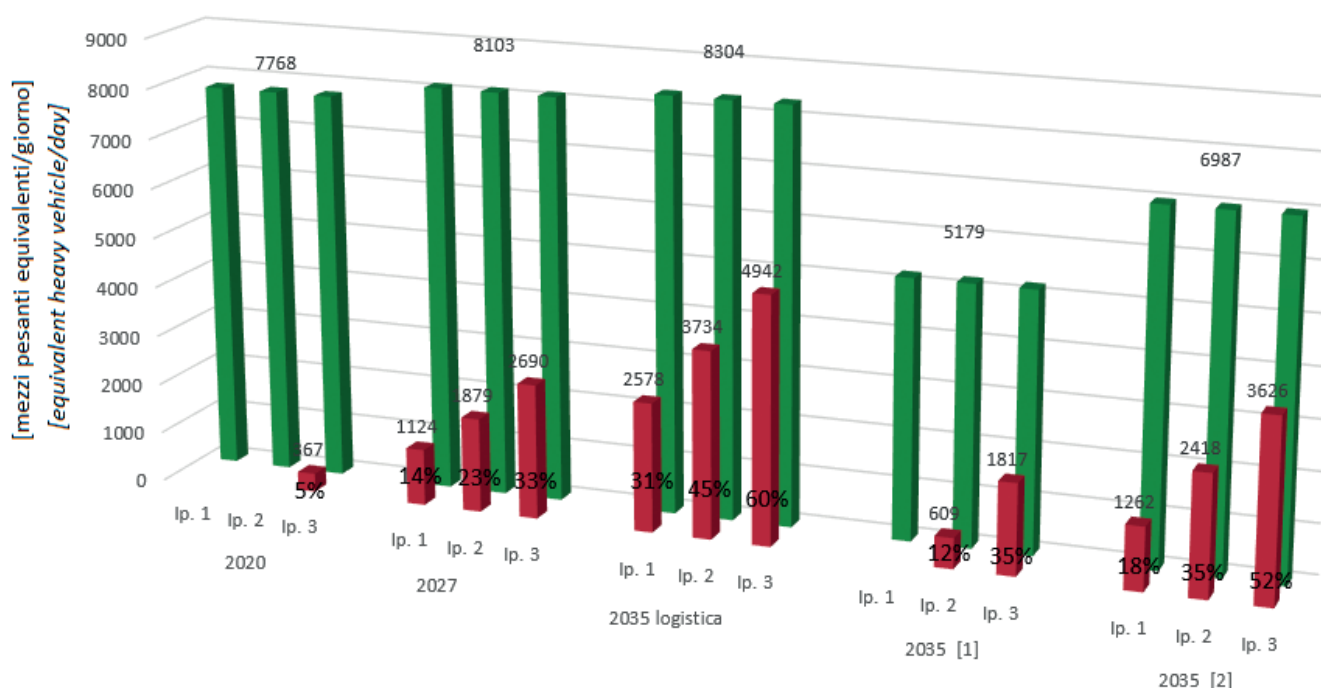


Fig. 11 - Previsioni per la quantità di merci trasferibili su ferro a diversi orizzonti temporali. Sia la domanda di traffico merci su strada (in verde), sia la domanda trasferibile su ferrovia (secondo le tre diverse ipotesi – in bordeaux) sono espresse in mezzi pesanti equivalenti.

Fig. 11 - Forecasts for quantity of goods transferred by rail at different time horizons. Both the demand for road freight traffic (in green) and the demand for transfer on rail (according to three different hypotheses – in maroon) are expressed in equivalent heavy vehicles.

struttura considerata prevede la Galleria di Base del Brennero a doppio binario in esercizio e riconfigurazioni e potenziamenti parziali sulle linee di accesso.

Il programma di esercizio previsto per la sezione del Brennero (Tabella 10) consentirebbe il trasporto su ferro di un quantitativo di merce equivalente a quello trasportabile su strada rispettivamente da 4.651, 5.406 o 6.217 mezzi pesanti/giorno.

Si ricorda che per il 2027 sono previsti, secondo le ultime previsioni BBT e RFI, la realizzazione della Galleria di Base del Brennero e potenziamenti parziali sulle linee d'accesso: pertanto, anche in corrispondenza di tale orizzonte temporale, si è ipotizzato, per le presenti analisi, che la evoluzione della domanda di traffico sia ancora una volta connessa, per l'inerzia del sistema, alla sola crescita "da logistica".

In Fig. 2 e in Tabella 5 sono riportate le previsioni per il traffico merci sul Brennero al 2027 secondo le proiezioni "da logistica": risulta un volume di merci movimentate su strada pari a 36,3 mio t/anno, corrispondente a circa 2,27 milioni di mezzi pesanti annui e, quindi, un TGM di circa 8.103 veicoli pesanti; per quanto riguarda il traffico su ferro si ottiene una previsione di 15,8 mio

With respect, therefore, to Table 9, the quantity of goods transported daily by rail according to operating forecasts (equal to 2.595, 3.095 or 3.648 equivalent heavy vehicles/day equivalent to hypothesis 1, 2 and 3 respectively) is less than the expected demand according to the evolution from the logistics of freight traffic handled using this method (equivalent to 3.281 equivalent heavy vehicles/day) for case 1 and 2 (slightly less in the latter case) and higher than the same in case 3. These conditions are clearly illustrated in Fig. 10. In case 3 it would therefore be possible, in principle, to reduce road freight traffic (about 7.768 heavy vehicles/day), about 367 heavy vehicles/day, transferring it on the railway, with a decrease percentage of 5% (Fig. 11).

The operation programme of Table 10 is assumed for the 2027 horizon project: to this date the considered infrastructure provides for the Brenner Base Tunnel with double track in operation and reconfigurations and partial upgrades on the access lines.

The operation programme planned for the Brenner section (Table 10) would allow rail transport of a quantity of goods equal to that transported by road respectively of 4.651, 5.406 or 6.217 heavy vehicles/day.

t/anno, pari a circa 0,99 milioni di mezzi pesanti equivalenti annui, ossia ad un TGM di circa 3.527 mezzi pesanti equivalenti.

Con riferimento, dunque, alla Tabella 10 il quantitativo di merce trasportabile giornalmente su ferro in base alle previsioni di esercizio (pari a 4.651, 5.406 o 6.217 mezzi pesanti equivalenti/giorno rispettivamente per le ipotesi 1, 2 e 3), risulta, in tutte 3 le ipotesi considerate, superiore alla domanda prevista secondo la evoluzione da logistica del traffico merci movimentato con questa modalità di trasporto (pari a 3.527 mezzi pesanti equivalenti/giorno). Queste circostanze sono chiaramente rappresentata in Fig. 10. Sarebbe pertanto possibile, in linea di principio, ridurre, trasferendolo sulla ferrovia, il traffico merci su strada (circa 8.103 mezzi pesanti/giorno), rispettivamente, di 1.124, 1.879 o 2.690 mezzi pesanti/giorno, con un decremento percentuale, rispettivamente del 14%, del 23% o del 33% (Fig. 11).

Una volta realizzata, per il 2027, la Galleria di Base del Brennero e potenziate le linee di accesso presumibilmente per il 2030 (ciò implica per la Ferrovia del Brennero la riconfigurazione e il completo quadruplicamento), è ipotizzabile che il traffico possa essere progressivamente trasferito dalla strada alla ferrovia in un lasso di tempo coerente con la logistica e la disponibilità dei mezzi di trasporto ferroviario (non inferiore a 3 - 5 anni), pervenendo ad un assetto stabile del sistema all'orizzonte temporale del 2035.

Come anticipato, per il post-apertura del Tunnel di Base del Brennero possono essere previsti diversi scenari.

Con riferimento ad una crescita puramente secondo logistica per il 2035 si prevede in base alla estrapolazione dei modelli di Fig. 2 una domanda di traffico merci su strada pari a 37,2 mio t/anno, corrispondente a circa 2,33 milioni di mezzi pesanti annui e, quindi, un TGM di circa 8.304 veicoli pesanti; per quanto riguarda il traffico su ferro si ottiene una previsione di 16,7 mio t/anno, pari a circa 1,04 milioni di mezzi pesanti equivalenti annui, ossia ad un TGM di circa 3.728 mezzi pesanti equivalenti.

Con riferimento, dunque, alla Tabella 11 il quantitativo di merce trasportabile giornalmente su ferro in base alle previsioni di esercizio (pari, a 6.306, 7.462 o 8.670 mezzi pesanti equivalenti/giorno rispettivamente per le ipotesi 1, 2 e 3), risulta, in tutte e tre le ipotesi considerate, superiore alla domanda prevista secondo la evoluzione da logistica del traffico merci movimentato con questa modalità di trasporto (pari a 3.728 mezzi pesanti equivalenti/giorno). Queste circostanze sono chiaramente rappresentata in Fig. 10. Sarebbe pertanto possibile, in linea di principio, ridurre, trasferendolo sulla ferrovia, il traffico merci su strada (circa 8.304 mezzi pesanti/giorno), rispettivamente, di 2.578, 3.734 o 4.942 mezzi pesanti/giorno, con un decremento percentuale, rispettivamente del 31%, del 45% o del 60% (Fig. 11).

In relazione invece allo scenario di [1] (Tabella 7 e Fig. 3) per il 2035 si prevede una domanda di traffico

Please note that for 2027, according to the latest BBT and RFI forecasts, the construction of the Brenner Base Tunnel and partial upgrades on access lines are planned: therefore, even at that time horizon, it was assumed, for this analysis, that the evolution of traffic demand is once again connected to the growth "logistics" only, due to inertia of the system.

Fig. 2 and Table 5 show the forecasts for freight traffic at the Brenner pass at 2027 projected by "logistics": it is a volume of goods handled by road equivalent to 36.3 million tonnes/year, corresponding to about 2.27 million heavy vehicles per year and therefore an ADT of about 8.103 heavy vehicles; regarding rail traffic there is a forecast of 15.8 million tonnes/year, equivalent to about 0.99 million per year of equivalent heavy vehicles, which is equivalent to an ADT of about 3.527 equivalent heavy vehicles.

With respect, therefore, to Table 10, the quantity of goods transported daily by rail according to operating forecasts (equal to 4.651, 5.406 or 6.217 equivalent heavy vehicles/day for cases 1, 2 and 3 respectively) is, in all 3 cases considered, greater than the expected demand according to the evolution from logistics of freight traffic handled using this transport method (equal to 3.527 equivalent heavy vehicles/day). These conditions are clearly illustrated in Fig. 10. It would therefore be possible, in principle, to reduce road freight traffic (about 8.103 heavy vehicles/day), respectively of 1.124, 1.879 or 2.690 heavy vehicles/day, transferring it on the railway, with a decrease percentage respectively of 14%, 23% or 33% (Fig. 11).

Once the Brenner Base Tunnel is completed, by 2027, and the access lines are enhanced supposedly by 2030 (this implies the complete reconfiguration and quadruplication for the Brenner railway), it is conceivable that traffic can be progressively transferred from road to rail in a time frame consistent with the logistics and the availability of rail transport means (not less than 3-5 years), achieving a stable structure system at the time horizon of 2035.

As anticipated, different scenarios can be planned for the post-Brenner Base Tunnel opening.

With reference to a growth purely according to logistics, a road freight traffic of 37.2 million tonnes/year is expected for 2035 based on the extrapolation of the models in Fig. 2, corresponding to about 2.33 million heavy vehicles per year and thus an ADT about 8.304 heavy vehicles; regarding rail traffic there is a forecast of 16.7 million tonnes/year, equivalent to approximately 1.04 million equivalent heavy vehicles per year, which is equivalent to an ADT of about 3.728 equivalent heavy vehicles.

With respect, therefore, to Table 11, the quantity of goods transported daily by rail according to operating forecasts (equal to 6.306, 7.462 or 8.670 equivalent heavy vehicles/day for hypothesis 1, 2 and 3 respectively) is, in all 3 hypothesis considered, greater than the expected demand according to the evolution from logistics of freight traffic handled using this transport method (equal to 3.728 equivalent heavy vehicles/day). These conditions are clearly illus-

merci su strada pari a 23,2 mio t/anno, corrispondente a circa 1,45 milioni di mezzi pesanti annui e, quindi, un TGM di circa 5.179 veicoli pesanti; per quanto riguarda il traffico su ferro si ottiene una previsione di 30,7 mio t/anno, pari a circa 1,92 milioni di mezzi pesanti equivalenti annui, ossia ad un TGM di circa 6.853 mezzi pesanti equivalenti.

Con riferimento, dunque, alla Tabella 11, il quantitativo di merce trasportabile giornalmente su ferro in base alle previsioni di esercizio (pari a 6.306, 7.462 o 8.670 mezzi pesanti equivalenti/giorno rispettivamente per le ipotesi 1, 2 e 3) risulta di poco inferiore alla domanda prevista secondo la ripartizione effettuata del traffico merci movimentato con questa modalità di trasporto (pari a 6.853 mezzi pesanti equivalenti/giorno) nel caso dell'ipotesi 1 e superiore alla stessa nelle ipotesi 2 e 3. Queste circostanze sono chiaramente rappresentata in Fig. 10. Nelle ipotesi 2 e 3 sarebbe pertanto possibile, in linea di principio, ridurre, trasferendolo sulla ferrovia, il traffico merci su strada (circa 5.179 mezzi pesanti/giorno), rispettivamente, di 609 o 1.817 mezzi pesanti/giorno, con un decremento percentuale, rispettivamente, del 12% o del 35% (Fig. 11).

Per quanto attiene ai quattro scenari di [2], si considera qui solo lo scenario più favorevole alla ferrovia. Con riferimento quindi allo scenario di consenso (Tabella 8 e Fig. 8) per il 2035 si prevede una domanda di traffico merci su strada pari a 31,3 mio t/anno, corrispondente a circa 1,96 milioni di mezzi pesanti annui e, quindi, un TGM di circa 6.987 veicoli pesanti; per quanto riguarda il traffico su ferro si ottiene una previsione di 22,6 mio t/anno, pari a circa 1,41 milioni di mezzi pesanti equivalenti annui, ossia ad un TGM di circa 5.044 mezzi pesanti equivalenti.

Con riferimento, dunque, alla Tabella 11, il quantitativo di merce trasportabile giornalmente su ferro in base alle previsioni di esercizio (pari a 6.306, 7.462 o 8.670 mezzi pesanti equivalenti/giorno rispettivamente per le ipotesi 1, 2 e 3) risulta sempre superiore alla domanda prevista secondo la ripartizione effettuata del traffico merci movimentato con questa modalità di trasporto (pari a 5.044 mezzi pesanti equivalenti/giorno). Queste circostanze sono chiaramente rappresentata in Fig. 10. In tutti i casi sarebbe pertanto possibile, in linea di principio, ridurre, trasferendolo sulla ferrovia, il traffico merci su strada (circa 6.987 mezzi pesanti/giorno), rispettivamente, di 1.262, 2.418 o 3.626 mezzi pesanti/giorno, con un decremento percentuale, rispettivamente, del 18%, del 35% o del 52% (Fig. 11).

Il confronto tra le previsioni effettuate in termini di veicoli pesanti equivalenti sottratti dalla strada grazie al potenziamento complessivo dell'asse del Brennero (quadruplicamento più esercizio del Tunnel di Base) all'orizzonte del 2035, secondo la crescita da pura logistica, l'ipotesi di [1] e secondo lo scenario di consenso dell'ipotesi di [2], è riportato nella Tabella 12 di sintesi.

trated in Fig. 10. It would therefore be possible, in principle, to reduce road freight traffic (about 8.304 heavy vehicles/day), respectively of 2.578, 3.734 or 4.942 heavy vehicles/day, transferring it on the railway, with a decrease percentage respectively of 31%, 45% or 60% (Fig. 11).

Regarding instead the scenario in [1] (Table 7 and Fig. 3) for 2035 road freight traffic demand is expected to be equal to 23.2 million tonnes/year, corresponding to approximately 1.45 million heavy vehicles per year and therefore an ADT of about 5.179 heavy vehicles; regarding rail traffic there is a forecast of 30.7 million tonnes per year, or about 1.92 million of annual equivalent heavy vehicles, that is an ADT of about 6.853 equivalent heavy vehicles.

With respect, therefore, to Table 11, the quantity of goods transported daily by rail according to operating forecasts (equal to 6.306, 7.462 or 8.670 equivalent heavy vehicles/day for cases 1, 2 and 3 respectively) is slightly less than the expected demand according to the distribution of freight traffic handled using this transport method (equal to 6.853 equivalent heavy vehicles/day) in the case of case 1 and higher than the same in cases 2 and 3. These conditions are clearly illustrated in Fig. 10. In cases 2 and 3 it would be possible, in principle, to reduce road freight traffic (about 5.179 heavy vehicles/day), respectively of 609 or 1.817 heavy vehicles/day, by transferring it on the railway, with a decrease percentage, respectively of 12% or 35% (Fig. 11).

As regards the four scenarios of [2], only the most favourable to the railroad shall be considered here. Therefore referring to the consent scenario (Table 8 and Fig. 8) by 2035 road freight traffic demand is expected to be equal to 31.3 million tonnes/year, corresponding to approximately 1.96 heavy vehicles per year and thus an ADT of about 6.987 heavy vehicles; regarding rail traffic a forecast of 22.6 million tonnes per year is obtained, or about 1.41 million annual equivalent heavy vehicles, that is an ADT of about 5.044 equivalent heavy vehicles.

With respect, therefore, to Table 11, the quantity of goods transported daily by rail according to operating forecasts (equal to 6.306, 7.642 or 8.670 equivalent heavy vehicles/day for cases 1, 2 and 3 respectively) is always greater than the expected demand according to the distribution of freight traffic handled using this transport method (equal to 5.044 equivalent heavy vehicles/day). These conditions are clearly illustrated in Fig. 10. In all cases it is therefore possible, in principle, to reduce road freight traffic (about 6.987 heavy vehicles/day), respectively, of 1.262, 2.418 or 3.626 heavy vehicles/day, by transferring it on the railway, with a decrease percentage respectively of 18%, 35% or 52% (Fig. 11).

The comparison of the forecasts made in terms of equivalent heavy vehicles taken off the road thanks to the expansion of the Brenner axis (quadruplication plus operation of the Base Tunnel) at the 2035 horizon, according to the growth from pure logistics, case [1] and according to the consent scenario of case [2], is shown in the summary Table 12.

7. Conclusioni

In questo articolo si sono presentate alcune previsioni speditive della evoluzione della domanda del traffico delle merci al Brennero effettuate dopo analisi esplorative delle informazioni disponibili con la individuazione e la taratura di curve logistiche. Questi modelli sono stati ottenuti ricorrendo alla evoluzione nel tempo del parco autoveicolare circolante italiano; di una variabile latente, combinazione lineare di indicatori macroeconomici e del tonnellaggio delle merci medesimo distinto per modalità di trasporto (su ferro, su strada, complessivi).

Dopo aver verificato statisticamente la maggiore significatività del modello logistico ottenuto dall'evoluzione del tonnellaggio delle merci al Brennero a fronte degli altri due modelli, si è proceduto, in base a ipotesi di scenario mutate da assunzioni effettuate da altri, relative a diversi provvedimenti di politica dei trasporti, a stimare le aliquote di traffico progressivamente trasferibili negli anni dalla strada alla ferrovia. Si sono così ottenute significative indicazioni sull'efficacia dei predetti provvedimenti nella ripartizione modale.

Per completare le analisi si è verificato infine con tre diversi programmi di esercizio se e come la Ferrovia del Brennero sarà in grado di servire la domanda di traffico merci prevista. A questo scopo si è scelto di utilizzare tre diversi orizzonti temporali: 2020 (breve termine), 2027 (medio termine), 2035 (lungo termine, a completamento dell'infrastruttura). Ai predetti orizzonti temporali si associano, come specificato nelle pagine precedenti, diversi stati di avanzamento della costruzione della Galleria di Base e della riqualificazione e quadruplicamento della Ferrovia del Brennero.

È stato così possibile pervenire, per i predetti programmi di esercizio, a previsioni per la riserva di capacità, per la domanda e per l'offerta del sistema in termini di mezzi pesanti equivalenti e, sempre in termini di mezzi pesanti equivalenti, a stime delle aliquote di domanda trasferibili dalla strada alla ferrovia.

Le previsioni presentate in questo articolo, pur con i limiti dell'approccio speditivo adottato e delle ipotesi convenzionali assunte, consentono comunque di disporre di un congruo insieme di informazioni utilizzabili per successive valutazioni tecnico-economiche (anche di ausilio alle decisioni attuative) per il riassetto complessivo delle infrastrutture del corridoio del Brennero, che è asse strategico per i collegamenti tra Europa e Mediterraneo (corridoio Scan-Med).

Va infine sottolineato, come chiaramente già fatto in [11], che una linea ferroviaria è solo uno degli elementi del trasporto su ferro delle merci. Altro elemento essen-

Tabella 12 – Table 12

Mezzi pesanti equivalenti sottratti giornalmente alla strada al 2035
Equivalent heavy vehicles taken off the road at 2035

	Logistica <i>Logistics</i>	Secondo [1] <i>According to [1]</i>	Secondo [2] <i>According to [2]</i>
			Scenario di consenso <i>Scenario of consent</i>
Progr. Esercizio ipotesi 1 <i>Case 1 Operating Progr.</i>	2.578	-	1.262
Progr. Esercizio ipotesi 2 <i>Case 2 Operating Progr.</i>	3.734	609	2.418
Progr. Esercizio ipotesi 3 <i>Case 3 Operating Progr.</i>	4.942	1.817	3.626

7. Conclusions

This article highlights some rapid forecasts of the changes in freight traffic demand at the Brenner Pass made after exploratory analysis of the available information with the identification and calibration of logistic curves. These models were obtained using the evolution over time of the Italian circulating vehicle fleet; a latent variable, linear combination of macroeconomic indicators and the tonnage of goods separated by transport mode (rail, road, overall).

After checking statistically the greatest significance of the logistic model obtained from the evolution of the tonnage of goods at the Brenner pass against the other two models, we proceeded on the basis of scenario assumptions adopted from assumptions made by others, related to different transport policy measures, by estimating the rates of traffic gradually transferred from road to rail over the years. Significant indications were thus obtained on the effectiveness of these measures in the modal split.

To complete the analysis it was finally verified if and how the Brenner railway will be able to serve the expected freight traffic demand with three different operation programmes. For this purpose it was chosen to use three different time horizons: 2020 (short term), 2027 (medium term), 2035 (long term, upon completion the infrastructure). As specified in the preceding pages, these timeframes are associated with different Base Tunnel construction progresses and the redevelopment and quadruplication of the Brenner Railway.

It was thus possible to forecast capacity reserve for the aforementioned operation programmes, for demand and offer of the system in terms of equivalent heavy vehicles and, again in terms of equivalent heavy vehicles, estimates of transferable rates of demand from road to rail.

The forecasts presented here, even with the limitations of the expeditious approach adopted and the conventional hypothesis assumed, still allow having a consistent set of information that can be used for future technical and economic evaluations (also as help for implementing decisions) for the total reorganisation of the infrastructure of the Brenner corridor, which is a strategic axis for connections between Europe and the Mediterranean (Scan-Med corridor).

ziale è rappresentato dai centri intermodali ivi presenti. La capacità di un sistema di trasporto su ferro risulta infatti il minore tra i valori capacitivi dei propri componenti: ne segue che un aumento capacitivo di una linea ferroviaria, per non essere inutile, deve accompagnarsi ad un aumento capacitivo di movimentazione delle merci nei relativi centri intermodali. Questa circostanza si consegue, tra l'altro, con una riorganizzazione complessiva tra le modalità di esercizio della linea e delle operazioni logistiche ai nodi. Ciò implica che i valori di ripartizione modale conseguenti all'entrata in esercizio della Galleria di Base del Brennero presentati in questo articolo, sono direttamente connessi all'ottimizzazione complessiva del sistema che contempli l'efficientazione dei centri intermodali al servizio della linea medesima.

Finally, it should be pointed out, as already clearly done [11], that a railway line is only one rail freight transport element. The intermodal centres therein represent another essential element. The ability of a rail transport system is in fact the lower among capacitive values of its components: it follows that an increase in capacity of a railway line, for it not to be useless, must go hand in hand with an increase in handling capacity of goods in its intermodal centres. This condition is achieved, among other things, with an overall reorganisation between the line operation mode and logistics operations at the nodes. This implies that modal split values resulting from the entry into operation of the Brenner Base Tunnel presented in this article are directly related to the overall system optimisation that contemplates the streamlining of intermodal centres serving the same line.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] GEIE BBT, "Report sintesi 2002", <http://www.bbt-se.com>
- [2] ProgTrans, "Previsioni del traffico nel Corridoio del Brennero – Relazione di sintesi 2014-2030".
- [3] ScanMed RFC, "Transport Market Study for the Scandinavian Mediterranean RFC – Final Report", September 2014.
- [4] Convenzione delle Alpi, Relazione sullo Stato delle Alpi "Segnali alpini – Edizione Speciale 1 – Trasporti e mobilità nelle Alpi", 2007.
- [5] Italferr, "Linea del Brennero – Quadruplicamento Verona – Fortezza – Studio di Impatto Ambientale", 2003.
- [6] Pat Cox, European Coordinator for the Scandinavian-Mediterranean Core Network Corridor, European Commission – Letter: "Study on cross-border freight transport forecast", 2017.
- [7] ORTUZAR & WILLUMSEN, "Pianificazione del sistema del trasporto", Hoepli 2004.
- [8] LEONTIEF, "The Structure of the American Economy, 1919-1929", Harvard University Press, Cambridge, 1941.
- [9] CASCETTA, "Transportation system analysis: Models and applications", Springer, 2009.
- [10] VITALE, "Introduzione alla statistica per le applicazioni economiche – Volume primo: statistica descrittiva", Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 2002.
- [11] FERRARI, "Gli effetti della galleria di base del Brennero sul traffico delle merci attraverso l'arco alpino orientale", Ingegneria Ferroviaria, n. 6, 467-483, 2017.
- [12] FERRARI, "The dynamics of modal split for freight transport", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 70, issue C, 163-176, 2014.
- [13] FERRARI, "Dynamic cost functions and freight transport modal split evolution", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 77, issue C, 115-134, 2015
- [14] Bollettini Alpinfo ARE (Ufficio Federale per lo sviluppo territoriale svizzero), <http://www.bav.admin.ch/themen/verkehrspolitik/00501/index.html?lang=it>
- [15] Archivio serie storiche ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica), <http://seriestoriche.istat.it/>
- [16] MAURO e Coll., Convenzione DICAM UniTN – Dipartimento di Infrastrutture e Mobilità della PAT "Trattamento ed analisi di informazioni relative alla domanda merci sull'arco alpino, finalizzate alle applicazioni di pianificazione e gestione dei sistemi di infrastrutture e mobilità relativi alla Provincia Autonoma di Trento - Secondo rapporto a conclusione dell'attività", luglio 2017.
- [17] COWI A/S, "Analisi degli studi condotti da LTF in merito al progetto Lione-Torino (sezione internazionale) – Final", Aprile 2006.

- [18] COWI A/S, “Stima delle potenzialità del traffico merci attraverso le Alpi – Caso specifico del nuovo collegamento transalpino Francia-Italia - Final”, Dicembre 2006.
- [19] ProgTrans, “Aggiornamento della previsione sul traffico merci e passeggeri per il Brennero al 2015 e 2025” – Relazione di sintesi al 2° aggiornamento Fase II.
- [20] MAURO e Coll., Convenzione DICAM UniTN – Dipartimento di Infrastrutture e Mobilità della PAT “Trattamento ed analisi di informazioni relative alla domanda merci sull’arco alpino, finalizzate alle applicazioni di pianificazione e gestione dei sistemi di infrastrutture e mobilità relativi alla Provincia Autonoma di Trento – Primo Rapporto”, dicembre 2016.

INSERZIONI PUBBLICITARIE SU “INGEGNERIA FERROVIARIA”

- Materiale richiesto:** CD con prova colore, file in formato TIFF o PDF con risoluzione 300 DPI salvati in quadricromia (CMYK)
c/o CIFI – Via G. Giolitti 48 – 00185 Roma
Indirizzo e-mail: redazionetp@cifi.it
- Misure pagine:** I di Copertina mm 195 x 170 (+ 3 mm di smarginato per ogni lato)
1 pagina interna mm 210 x 297 (+ 3 mm di smarginato per ogni lato)
1/2 pagina interna mm 180 x 120 (+ 3 mm di smarginato per ogni lato)
- Consegna materiale:** almeno 40 giorni prima dell’uscita del fascicolo
- Variazione e modifiche:** modifiche e correzioni agli avvisi in corso di lavorazione potranno essere effettuati se giungeranno scritte entro 35 giorni dalla pubblicazione

“FORNITORI DEI PRODOTTI E SERVIZI”

A richiesta è possibile l’inserimento nei “Fornitori di prodotti e servizi” pubblicato mensilmente nella rivista.

Per informazioni:

C.I.F.I. – Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani – Via G. Giolitti, 48 – 00185 Roma
Sig.ra MANNA Tel. 06.47307819 – Fax 06.4742987 – E-mail: redazionetp@cifi.it

C.I.F.I. – Sezione di Milano – P.za Luigi Di Savoia, 1 – 20214 Milano
Tel. 339-1220777 – 02.63712002 – Fax 02.63712538 – E-mail: segreteria@cifimilano.it