

I modelli input output per la previsione della domanda di traffico delle merci

Freight traffic demand forecasting input output models

Raffaele MAURO ^(*)
Andrea POMPIGNA ^(*)

Sommario - In questo lavoro si esamina la pratica utilizzabilità dei modelli Input/Output per analisi e valutazioni previsionali della domanda di traffico delle merci finalizzate alla pianificazione dei trasporti in un contesto regionale/interregionale. Dopo un sintetico richiamo all'evoluzione nel tempo degli approcci ai criteri previsionali per il traffico delle merci, vengono presentati i modelli che ricorrono alla cosiddetta contabilità spaziale (o regionale). Essi consentono di tener conto dell'esistenza di una distribuzione spaziale dell'offerta e della domanda di trasporto delle merci e delle relazioni tra queste ultime e il sistema economico e territoriale. Vengono così approfonditi i modelli intersettoriali o Input/Output (IO) models, oggetto negli anni più recenti di costante attenzione scientifica. Nell'ambito della prospettiva dei modelli IO, dopo la trattazione dei concetti e delle relazioni di base per le versioni a singola regione (*Single Region IO - SRIO*), vengono richiamati i modelli multiregionali con coefficienti fissi (*Inter-Regional IO - IRIO e Multi-Regional IO - MRIO*) ed elastici (*Random Utility-Based MRIO - RUBMRIO*). Di questi modelli vengono messe in evidenza le principali caratteristiche ed estensioni, con la finalità di analizzarne e valutarne la possibilità di un impiego concreto ed efficace, a livello regionale/interregionale, nella pianificazione dei sistemi e delle infrastrutture di trasporto.

1. Introduzione

Questo lavoro si colloca all'interno di una articolata attività di studio avente come oggetto l'analisi degli effetti territoriali dell'evoluzione della domanda di trasporto delle merci e delle ricadute sulla evoluzione del sistema infrastrutturale, con attenzione particolare al caso del valico del Brennero e della Provincia Autonoma di Trento (PAT), e i cui obiettivi sono:

- a) l'individuazione, la scelta e l'esame di criteri di trattamento e di analisi dei dati relativi al trasporto merci sull'arco alpino (con particolare riferimento alle origini e destinazioni che interessano la PAT);

Summary - This paper examines the practical usability of Input/Output models for analysis and forecast assessments of the freight traffic demand aimed at transport planning in a regional/interregional context. After a brief reference to the evolution over time of the approaches to the forecast criteria for freight traffic, the models that resort to the so-called spatial (or regional) accounting are presented. They allow taking into account the existence of a spatial distribution of supply and demand for the transport of goods and the relations between the latter and the economic and territorial system. In this way the intersectorial models or Input/Output (IO) models, object of constant scientific attention in recent years are investigated. Within the perspective of IO models, after dealing with the concepts and basic relationships for single-region versions (*Single Region IO - SRIO*), multiregional models with fixed (*Inter-Regional IO - IRIO* and *Multi-Regional IO - MRIO*) and elastic coefficients are referred to (*Random Utility-Based MRIO - RUBMRIO*). The main features and extensions of these models are highlighted, with the aim of analysing and evaluating the possibility of a concrete and effective use thereof at regional/interregional level, in the planning of transport systems and infrastructures.

1. Introduction

This work is part of an articulated study activity having the analysis of the territorial effects of the evolution of the freight transport demand and the effects on the evolution of the infrastructural system as its object, with particular attention to the case of the Brenner Pass and of the Autonomous Province of Trento (APT), and whose objectives are:

- a) the identification, selection and examination of criteria for processing and analysing data relating to freight transport on the Alpine region (with particular reference to the origins and destinations that affect the APT);
- b) the elaboration of forecast scenarios of the evolution of

^(*) DICAM, Università di Trento, via Mesiano 77 - 38123 Trento.

^(*) DICAM, University of Trento, via Mesiano 77 - 38123 Trento.

- b) l'elaborazione di scenari previsionali dell'evoluzione della domanda di merci sull'arco alpino con relativi confronti tra le diverse situazioni di ripartizione modale ed evoluzione del sistema infrastrutturale di interesse (in particolare per il territorio trentino);
- c) il trattamento con gli strumenti individuati in esito alle attività richiamate al punto a) delle informazioni disponibili, unitamente alla comparazione dei risultati ottenuti dall'implementazione dei predetti strumenti;
- d) le analisi delle informazioni trattate secondo i criteri esaminati in a), b) e c), finalizzate alla pianificazione dei sistemi e delle infrastrutture di trasporto (in particolare, di interesse per la PAT).

La ricerca, attualmente in corso, ha già prodotto analisi che, pur centrate sui traffici al Brennero, risultano metodologicamente di portata generale. Esse sono basate su:

- l'ausilio di curve logistiche e previsioni di medio e lungo periodo conseguenti alla assunzione di più scenari, relativi a possibili indirizzi di politica dei trasporti e di provvedimenti di esercizio [1];
- modelli e tecniche econometriche con componenti dinamiche e vincoli di capacità per l'analisi delle serie storiche relative ai tonnellaggi annuali complessivamente trasportati al valico del Brennero su strada + ferrovia e allo split modale tra i due sistemi coesistenti di trasporto con riferimento a due differenti scenari di evoluzione macroeconomica ed infrastrutturale [2].

Nel presente lavoro si presentano ulteriori avanzamenti delle attività di ricerca prima richiamate: in esso si analizza la possibilità di un impiego concreto ed efficace di modelli basati sulle teorie economiche della contabilità spaziale (*spatial accounting models*) [3] per l'analisi della domanda delle merci.

2. I modelli per l'analisi della domanda merci

Nell'intenzione di ricostruire un percorso storico di evoluzione dei modelli di trasporto delle merci [3], la comparsa di questi modelli può essere collocata nei primi anni '60 del secolo scorso, in maniera sostanzialmente parallela a quelli relativi al trasporto passeggeri. Contrariamente a quanto avvenuto per questi ultimi, tuttavia, lo sviluppo e l'evoluzione dei modelli dedicati al traffico delle merci, compresa un'adeguata trattazione teorica al di là di semplicistici approcci mutuati dalle trattazioni per il traffico passeggeri, sono stati molto più lenti. Le cause di queste circostanze sono attribuibili a una molteplicità di fattori, che vanno dalla poca disponibilità di dati sistematici, alla scarsa attenzione al tema da parte di decisori politici e/o amministrativi.

Nel tempo, l'attenzione nei confronti del trasporto delle merci è progressivamente aumentata per via della crescita dei volumi di merci trasportate, in un contesto di crescenti livelli di consumo che necessitano di un utilizzo competitivo dei diversi sistemi di trasporto e di una ottimizzazione nelle strategie di produzione e distribuzione [3].

freight demand in the Alpine region with comparisons between the different situations of modal split and evolution of the infrastructural system of interest (in particular for the Trentino area);

- c) the processing of the information available with the tools identified as a result of the activities referred to in point a), together with the comparison of the results obtained from the implementation of the aforementioned tools;*
- d) the analyses of the information processed according to the criteria examined in a), b) and c), aimed at the planning of transport systems and infrastructures (in particular, of interest to the APT).*

The research, currently in progress, has already produced analyses that are methodologically general, although centred on the Brenner traffic. They are based on:

- the use of logistic curves and medium and long-term forecasts resulting from the assumption of multiple scenarios, related to possible transport policy and operational measures orientations [1];*
- econometric models and techniques with dynamic components and capacity constraints for the analysis of the historical series relative to the overall annual tonnages transported to the Brenner pass on road + railway and to the modal split between the two coexisting transport systems with reference to two different macroeconomic and infrastructural evolution scenarios [2].*

*This work presents further progresses in the research activities referred to above: in it the possibility of a real and effective use of models based on the economic theories of spatial accounting (*spatial accounting models*) [3] for the analysis of freight demand is analysed.*

2. Models for the analysis of freight demand

With the intention of reconstructing a historical evolution path of freight transport models [3], the appearance of these models can be placed in the early 60s of the last century, substantially parallel to those relating to passenger transport. Unlike what happened for the latter, however, the development and evolution of models dedicated to freight traffic has been much slower, including an adequate theoretical dissertation beyond simplistic approaches borrowed from dissertations of passenger traffic. The causes of these circumstances are attributable to a multiplicity of factors, ranging from the lack of systematic data, to the lack of attention to the issue by political and/or administrative decision makers.

Over time, attention towards the transport of goods has progressively increased due to the growth of the volumes of goods transported, in a context of increasing levels of consumption that require competitive use of the different transport systems and optimisation in production and distribution strategies [3].

Attualmente si nota che: da un lato si assiste alla diffusione di efficienti sistemi di acquisizione, immagazzinamento, gestione ed analisi di rilevanti quantità disponibili grazie ai più moderni prodotti dell'innovazione tecnologica; dall'altro si registra il concretizzarsi dell'attenzione da parte dei soggetti preposti alle decisioni attuative verso i temi del trasporto delle merci. Questa attenzione è motivata oggi dalle condizioni di esercizio delle infrastrutture di trasporto che tendono spesso alla congestione e dalla necessità di contenere quindi gli impatti negativi su ambiente, salute e sicurezza connesse al traffico veicolare - in particolare pesante.

L'attenzione nei confronti della componente merci nella valutazione di piani e progetti per lo sviluppo di infrastrutture e servizi di trasporto è diventata allora argomento di crescente interesse pubblico, sia a livello nazionale, sia internazionale: è dato ormai condiviso che i sistemi economici - ed in senso stretto la produzione industriale - sono fortemente influenzati dai sistemi di trasporto per le merci, con effetti sostanziali sull'accessibilità dei mercati; sulla competitività delle economie nazionali; sulla produttività settoriale. Inoltre, è attualmente dato acquisito che la domanda di trasporto merci è sostanzialmente determinata dalla struttura e dalla dinamica dei processi economici nel loro complesso [4].

Negli ultimi decenni, quindi, la modellizzazione delle relazioni commerciali e, di conseguenza, dei flussi di merci è stata ampiamente studiata, sviluppando ed applicando strumenti di *spatial accounting* [3]. Questo approccio consente di analizzare gli effetti incrociati tra cambiamenti politici, macroeconomici e trasportistici; valutare le interazioni tra dinamiche economiche e settoriali e flussi di scambio merceologico tra differenti zone all'interno di un'area di studio; pervenire a previsioni su scenari futuri diversamente ipotizzati e articolati.

Ai modelli appena richiamati appartengono gli Input-Output (IO) models e i modelli di equilibrio generale (*Computable General Equilibrium models - CGE*) nella versione spaziale (o regionalizzata) (*Spatial CGE - SCGE* o *Regional CGE - RCGE*). I modelli IO [5],[6] rappresentano l'economia attraverso una serie di relazioni lineari tra i settori produttivi e di consumo, descrivendo le relazioni inter-industriali in termini di input intermedi tra i diversi settori economici e considerano, nelle versioni multiregionali, anche gli scambi tra diverse zone. Nella formulazione analitica di un modello IO, gli output e gli input intermedi per i settori industriali, anche come scambi inter-regionali, sono definiti in un contesto di equilibrio ex-post tra domanda ed offerta nell'ipotesi di prezzi costanti e in considerazione di una domanda finale esogena. Un modello CGE o SCGE/RCGE [7],[8] è un sistema di equazioni che descrivono un'economia nel suo insieme e le interazioni tra le sue parti, così da rendere la domanda e l'offerta di merci (e di eventuali fattori economici concorrenti) in equilibrio rispetto ad un certo livello dei prezzi. Un modello CGE (o anche SCGE/RCGE) si basa su equazioni derivate direttamente dalla Teoria Economica, che possono descrivere l'offerta dei produttori o la domanda dei consu-

Currently we note that: on the one hand we are witnessing the diffusion of efficient acquisition, storage, management and analysis systems of important quantities available thanks to the most modern technological innovation products; on the other hand there is the concretisation of attention of the subjects in charge of the implementation decisions towards topics regarding the transport of goods. This attention is motivated today by the operating conditions of transport infrastructures that often tend to congestion and the need to contain therefore the negative impacts on the environment, health and safety connected to vehicular traffic - particularly heavy traffic.

The focus on the freight component in the evaluation of plans and projects for the development of transport infrastructures and services has therefore become a topic of growing public interest, both nationally and internationally: it is now accepted that economic systems - and strictly speaking, industrial production - are strongly influenced by transport systems for goods, with substantial effects on market accessibility; on the competitiveness of national economies; on sector-based productivity. Furthermore, it is currently acknowledged that the demand for freight transport is substantially determined by the structure and dynamics of economic processes as a whole [4].

In recent decades, therefore, the modelling of commercial relations and, consequently, of goods flows has been extensively studied, developing and applying spatial accounting models [3]. This approach allows analysing the cross effects between political, macroeconomic and transport changes; assessing interactions between economic and sector-based dynamics and commodity exchange flows between different areas within a study area; obtaining forecasts on future scenarios that are differently hypothesised and articulated.

The aforementioned models include the Input-Output (IO) models and the Computable General Equilibrium models (CGE) in the spatial (or regionalised) version (Spatial CGE - SCGE or Regional CGE - RCGE). The IO models [5],[6] represent the economy through a series of linear relationships between the productive and consumption sectors, describing the inter-industrial relations in terms of intermediate inputs between the different economic sectors and also consider exchanges between different areas, in the multi-regional versions. In the analytical formulation of an IO model, the intermediate outputs and inputs for the industrial sectors, also as inter-regional exchanges, are defined in a context of ex-post equilibrium between supply and demand in the hypothesis of constant prices and in consideration of an exogenous final demand. A CGE or SCGE/RCGE model [7],[8] is a system of equations describing an economy as a whole and the interactions between its parts, so as to make the supply and demand of goods (and any concurrent economic factors) in balance with respect to a certain price level. A CGE model (or also SCGE/RCGE) is based on equations derived directly from Economic Theory, which can describe the supply of producers or consumer demand, includ-

matori, comprendendo variabili esogene ed endogene e vincoli di compensazione del mercato. Tutte le equazioni del modello vengono risolte simultaneamente (*Computable*) per individuare un equilibrio economico (*Equilibrium*) nel quale, a un certo livello di prezzi, tutti i produttori, i consumatori, i lavoratori e gli investitori massimizzano la propria utilità in relazione alle quantità di beni che producono e consumano; al numero di ore di lavoro; alle quantità di capitale che risparmiano e investono, tenendo così conto contemporaneamente di tutte le attività (*General*) nel sistema economico [8]. Nei modelli SCGE/RCGE l'equilibrio economico considera anche le allocazioni geografiche e le distribuzioni spaziali degli agenti economici, incorporando la distanza tra i medesimi (ovvero il costo del trasporto) come caratteristica del modello.

I modelli IO hanno trovato numerose applicazioni per la loro semplicità e capacità di riflettere esplicitamente le interdipendenze economiche tra settori e regioni. Gli stessi, in effetti, risultano di più facile implementazione rispetto ai CGE. Questi ultimi risultano più articolati perché includono la variabilità dell'offerta e consentono una maggiore flessibilità per via della loro non linearità per quanto attiene alle consegne intersettoriali, gli effetti di sostituzione e le relative variazioni di prezzo. In generale, i modelli CGE richiedono considerevoli quantità di dati, che, nella maggior parte dei casi, è arduo reperire.

Rimandando alla letteratura di settore per gli approfondimenti relativi ai modelli CGE/SCGE (es. [7],[8]) e alle rassegne specifiche per gli impieghi nel campo dei trasporti (es. [9]), in questo articolo vengono esaminati i soli modelli IO perché essi, nel corso degli anni, sono stati diffusamente applicati nell'ambito della Teoria dei Sistemi di Trasporto, in particolare per il trasporto delle merci. Queste diverse applicazioni all'analisi della domanda merci sono avvenute per via della semplicità della struttura dei modelli e della capacità degli stessi di riflettere esplicitamente le interdipendenze economiche tra settori economici e regioni geografiche in modo diretto, agevolmente computabile, facilmente interpretabile.

L'analisi dei sistemi di trasporto, infatti, è un'importante prospettiva consentita dall'analisi delle interdipendenze economiche intersettoriali, sia per gli spostamenti delle merci, sia per gli spostamenti degli individui [10]. In particolare per l'analisi della domanda merci, i modelli IO possono fornire importanti strumenti e tecniche operative, non solo per valutare l'entità degli impatti generati da potenziali shock su una o più componenti dei sistemi medesimi, ma anche per fungere da ausilio per le decisioni attuative in tema di pianificazione delle infrastrutture di trasporto.

L'approccio IO, nel considerare l'interdipendenza dei settori industriali all'interno di un più vasto e articolato sistema economico, consente di identificare e descrivere i collegamenti dei sistemi di trasporto con gli input ed output dei vari settori economici [11]. Basandosi sulla semplice modellazione di effetti moltiplicatori intersettoriali, il modello IO permette di descrivere, tanto dal punto di vista teorico quanto nelle applicazioni, gli effetti sul sistema dei trasporti determinati da shock nel sistema economico

ing exogenous and endogenous variables and market compensation constraints. All the equations of the model are solved simultaneously (Computable) to identify an economic equilibrium (Equilibrium) in which, at a certain price level, all producers, consumers, workers and investors maximise their utility in relation to the quantities of goods that they produce and consume; to the number of working hours; to the amounts of capital that they save and invest, thus taking into account all the activities (General) in the economic system [8]. In the SCGE/RCGE models the economic equilibrium also considers the geographical allocations and the spatial distributions of the economic agents, incorporating the distance between them (or the cost of transport) as a characteristic of the model.

IO models have found numerous applications due to their simplicity and ability to explicitly reflect the economic interdependencies between sectors and regions. In fact, they are easier to implement than CGEs. The latter are more complex because they include the variability of the supply and allow greater flexibility due to their non-linearity with regard to intersectorial deliveries, replacement effects and the related price changes. In general, CGE models require considerable amounts of data, which, in most cases, are hard to find.

Referring to the sector literature for more information on CGE/SCGE models (e.g. [7],[8]) and specific reviews for use in the transport field (e.g. [9]), this article examines only IO models because they have been widely applied over the years in the field of Transport Systems Theory, in particular for the transport of goods. These different applications to the analysis of freight demand have taken place due to the simplicity of the model structure and the ability of the same to explicitly reflect the economic interdependencies between economic sectors and geographical regions in a direct, easily computable, easily interpretable way.

Indeed, the analysis of transport systems is an important perspective allowed by the analysis of intersectorial economic interdependencies, both for the transport of goods and for the transport of individuals [10]. In particular, for the analysis of the demand for goods, the IO models can provide important tools and operating techniques, not only to assess the magnitude of the impacts generated by potential shocks on one or more components of the same systems, but also to serve as an aid to the implementation decisions regarding transport infrastructure planning.

In considering the interdependence of the industrial sectors within a wider and more articulated economic system, the IO approach allows identifying and describing the connections of transport systems with the inputs and outputs of the various economic sectors [11]. Based on the simple modelling of intersectorial multiplier effects, the IO model allows describing the effects on the transport system caused by shocks in the economic system, both from a theoretical point of view and in the applications, and such to have different effects within the relationships among the various productive and consumption sectors.

e tali da ripercuotersi con diversa intensità all'interno delle relazioni tra i vari settori produttivi e di consumo.

3. Concetti e relazioni di base nei modelli input output

Un modello Input Output (IO) consente di descrivere le connessioni tra i settori industriali di una determinata regione, le relazioni con i settori industriali al di fuori della regione stessa e le interazioni con la domanda finale nell'ambito di un determinato intervallo temporale.

L'elemento centrale di un modello IO è la tavola o tabella delle transazioni regionali, detta anche di Input Output (IO), che descrive in termini di unità monetarie le interrelazioni reciproche che avvengono tra settori di un determinato sistema economico (caratterizzato da una o più regioni) e per un determinato intervallo temporale.

In una versione tipo (Fig. 1), ciascuna riga della tavola IO individua un settore produttivo i che caratterizza il sistema economico di una data regione e consente di rappresentare i valori delle vendite, o output, del singolo settore i (inteso come produttore nell'ambito dei Settori di Processo) verso ognuno degli N settori industriali regionali rappresentati per colonna (intesi come consumatori nell'ambito dei Consumi Industriali), oltreché verso gli utilizzi della Domanda Finale. La produzione di ciascun settore i , pertanto, viene suddivisa in produzione di beni intermedi e diretti al reimpiego nei settori produttivi $j = 1, 2, \dots, N$,

3. Concepts and basic relations in input output models

An Input Output (IO) model allows describing the connections between the industrial sectors of a given region, the relationships with industrial sectors outside the region itself and the interactions with the final demand within a given time interval.

The central element of an IO model is the regional transactions table, also called Input Output (IO), which describes the mutual interrelations that occur between sectors of a given economic system (characterised by one or more regions) and for a specific time interval, in terms of monetary units.

In a standard version (Fig. 1), each row of the IO table identifies a production sector i that characterises the economic system of a given region and allows representing the values of sales, or output, of the single sector i (understood as producer within the context of Process Sectors) towards each of the N regional industrial sectors represented by column (understood as consumers in the field of Industrial Consumption), as well as towards the uses of the Final Demand. The production of each sector i , therefore, is subdivided into production of intermediate goods and directed to re-use in the productive sectors $j = 1, 2, \dots, N$, and in final production and directed to the use of end consumers. The goods that the sector exports outside the region are consid-

		CONSUMO INDUSTRIALE - INDUSTRIAL CONSUMPTION										DOMANDA FINALE - FINAL DEMAND					TOTALE - TOTAL
		Agricoltura <i>Agriculture</i>	Estrazione <i>Mining</i>	Costruzione <i>Constructions</i>	Manifattura <i>Manufacturing</i>	Commercio <i>Trading</i>	Trasporti <i>Transport</i>	Servizi <i>Services</i>	Altri settori <i>Other sectors</i>	Consumi Privati <i>Private Consumptions</i>	Consumi Pubblici <i>Public Consumptions</i>	Investimenti <i>Investments</i>	Variazioni scorte <i>Stock changes</i>	Esportazioni <i>Export</i>			
SETTORI PROCESSO PROCESS SECTORS	PRODUZIONE INDUSTRIALE INDUSTRIAL PRODUCTION	Agricoltura <i>Agriculture</i>															
		Estrazione <i>Mining</i>															
		Costruzione <i>Constructions</i>															
		Manifattura <i>Manufacturing</i>															
		Commercio <i>Trading</i>															
		Trasporti <i>Transport</i>															
		Servizi <i>Services</i>															
		Altri settori <i>Other sectors</i>															
		Struttura Inter-settoriale <i>Inter-sectoral Production Structure</i> (II)										Struttura Consumi <i>Consumption Structure</i> (I)					
SETTORI PAGAMENTI PAYMENTS SECTORS	VALORE AGGIUNTO ADDED VALUE	Corrispettivi per manodopera <i>Wages</i>															
		Profitti Imprenditori <i>Surplus</i>															
		Indennità consumo di capitale <i>Fixed Capital Depreciations</i>															
		Imposte indirette <i>Taxes</i>															
		Importazioni <i>Import</i>															
	IMPORT																
TOTALE - TOTAL																	
Totale Risorse - Total Supply																	

Figura 1 – Struttura di base di una tavola Input – Output.
Figure 1 – Basic structure of an Input - Output table.

ed in produzione finale e diretta all'utilizzo dei consumatori finali. I beni che il settore esporta all'esterno della regione vengono considerati come facenti parte della Domanda Finale, indipendentemente dal fatto che siano destinati ad un reimpiego produttivo all'esterno della regione ovvero al soddisfacimento dei consumatori finali, anche essi esterni alla medesima regione. Le componenti di Domanda Finale per ciascun settore sono solitamente rappresentate dai Consumi Finali Privati (o delle Famiglie) e Pubblici (o di Spesa Pubblica) e dal Commercio Extra-Regionale (Esportazioni), espressi in unità monetarie. Sempre a comporre la Domanda Finale vengono considerate anche le Scorte e gli Investimenti. La somma dei valori di una riga, come sommatoria di tutti gli impieghi intermedi e finali, rappresenta il totale delle vendite, o output, di produzione del settore cui è intestata la riga. Queste quantità sono sempre espresse in unità monetarie.

Dualmente, ciascuna colonna descrive il valore degli acquisti, o input, di beni intermedi operati dal settore j cui è intestata (inteso come acquirente nell'ambito dei Consumi Industriali) nei confronti di ognuno dei settori industriali $i = 1, 2, \dots, N$ rappresentati per riga (intesi come cedenti nell'ambito dei Settori di Processo), oltreché i pagamenti operati dallo stesso settore per l'impiego dei fattori primari in termini di retribuzione del Lavoro, remunerazione dei Capitali, contribuzione fiscale (Tasse). Tutti questi pagamenti compongono il cosiddetto Valore Aggiunto del settore industriale regionale. Gli acquisti operati all'esterno della regione individuano le Importazioni del settore regionale, che costituiscono ulteriore voce a comporre il Settore dei Pagamenti finali settoriali. La somma dei valori di una colonna, come sommatoria di tutti gli acquisti intermedi e dei pagamenti finali rappresenta il totale delle risorse o input alla produzione del settore cui è intestata la colonna.

In definitiva, nell'esempio di schema di tavola IO per una generica regione riportato in Fig. 1, possono essere individuati quattro quadranti caratteristici [12]:

- il primo quadrante (I) descrive la struttura dei Consumi, identificando i consumi settoriali da parte delle famiglie e di ulteriori consumatori finali – quali investitori e amministrazioni pubbliche – oltreché delle esportazioni verso mercati esterni alla regione;
- il secondo quadrante (II) descrive la Struttura Inter-settoriale di produzione all'interno del sistema economico, ossia i modi in cui i beni intermedi si combinano per produrre beni da reimpiegare nella produzione industriale o da utilizzare nella domanda finale;
- il terzo quadrante (III) mostra la struttura degli Impieghi Primari, cioè i pagamenti per i fattori di produzione primaria cui i settori di produzione attingono e che costituiscono il valore aggiunto, oltreché le importazioni da mercati esterni alla regione;
- il quarto quadrante (IV) esprime i trasferimenti non di mercato tra i settori dell'economia, detti anche Trasferimenti Sociali, quali ad esempio le tasse/sussidi delle famiglie, i surplus/deficit delle amministrazioni, i consumi finali con acquisti su mercati esterni.

ered to be part of the Final Demand, regardless of whether they are destined for productive reuse outside the region or to satisfy the end consumers, who are also outside the same region. The components of Final Demand for each sector are usually represented by the Final Private Consumption (or Household) and Public Consumption (or Public Expenditure) and by Extra-Regional Trade (Exports), expressed in monetary units. Stocks and Investments are also considered to compose the Final Demand. The sum of the values of a row, as a sum of all the intermediate and final uses, represents the total sales, or output, of the header line sector. These quantities are always expressed in monetary units.

Dually, each column describes the value of the purchases, or inputs, of intermediate goods made by the sector j to which it is addressed (understood as a buyer in the field of Industrial Consumption) with respect to each of the industrial sectors $i = 1, 2, \dots, N$ represented by row (understood as assignors in the Process Sectors), as well as the payments made by the same sector for the use of the primary factors in terms of remuneration of the Work, remuneration of Capitals, tax contributions (Taxes). All these payments make up the so-called Added Value of the regional industrial sector. The purchases made outside the region identify the Imports of the regional sector, which constitute a further item to make up the sectorial final Payments Sector. The sum of the values of a column, as the sum of all intermediate purchases and final payments, represents the total resources or inputs to the production of the sector to which the column is headed.

In conclusion, four characteristic quadrants can be identified [12] in the IO table scheme example for a generic region shown in Fig. 1:

- *the first quadrant (I) describes the Consumption structure, identifying sectorial consumption by families and other end consumers – such as investors and public administrations – as well as exports to markets outside the region;*
- *the second quadrant (II) describes the Inter-sectorial Production Structure within the economic system, i.e. the ways in which intermediate goods are combined to produce goods to be re-used in industrial production or to be used in the final demand;*
- *the third quadrant (III) shows the structure of the Primary Uses, i.e. the payments for the primary production factors which the production sectors draw from and which constitute the added value, as well as the importations from markets outside the region;*
- *the fourth quadrant (IV) expresses the non-market transfers between the sectors of the economy, also called Social Transfers, such as for example the taxes/subsidies of families, the surplus/deficits of the administrations, final consumption with purchases on external markets.*

In Fig. 2 è riportata a titolo di esempio la Tavola IO a 9 settori dell'economia italiana per il 2014, con valori a prezzi correnti in milioni di euro (elaborazione su fonte World Input-Output Database - WIOD, base dati 2016 [13]) per i trasferimenti di mercato (quarto quadrante assente).

Una tabella IO fornisce, tuttavia, solo una descrizione del sistema economico di una data regione in un certo intervallo temporale (in genere un anno). Infatti, poiché essa ha caratteristica di consuntivo descrittivo, non consente di indagare il funzionamento del sistema economico, nell'intento di valutare ad esempio le modalità con le quali quest'ultimo reagisce ad eventuali cambiamenti. Le analisi richiamate richiedono, in effetti, un vero e proprio modello economico dotato di strutture e relazioni in grado di completare con relazioni matematiche il quadro di rappresentazione fornito dalla tavola.

Il modello IO sviluppato da LEONTIEF alla fine degli anni 30 del secolo scorso [5],[6],[14],[15], costituisce lo strumento analitico con cui è possibile indagare il funzionamento del sistema economico rappresentato mediante la tavola IO. Questo modello, per il quale LEONTIEF ha ricevuto nel 1973 il premio Nobel per l'Economia, si configura come una versione semplificata di un sistema di equilibrio economico generale tra domanda e offerta. Esso si basa sulle interrelazioni esistenti tra i prezzi e le scelte di produzione e di consumo dei diversi beni all'interno di un sistema economico, finalizzato allo studio empirico dell'interdipendenza quantitativa tra le diverse attività economiche [5] in un contesto di mercato in concorrenza perfetta. Più nel dettaglio, il concetto di mercato in concor-

Fig. 2 shows by way of example the IO Table for 9 sectors of the Italian economy for 2014, with values at current prices in millions of euros (elaboration on World Input-Output Database - WIOD source, 2016 database [13]) for market transfers (fourth quadrant absent).

An IO table, however, provides only a description of the economic system of a given region in a certain time interval (generally one year). In fact, since it has the characteristic of descriptive summary, it does not allow investigating the functioning of the economic system, in order to evaluate for example the ways in which the latter reacts to possible changes. The analyses referred to indeed require a real economic model with structures and relations capable of completing the representation framework provided by the table with mathematical relations.

The IO model developed by LEONTIEF at the end of the '30s of the last century [5],[6],[14],[15], constitutes the analytical tool with which the functioning of the economic system represented by the IO table can be investigated. This model, for which LEONTIEF received the Nobel Prize in Economics in 1973, takes the form of a simplified version of a general economic equilibrium system between supply and demand. It is based on the interrelations between the prices and the choices of production and consumption of the different goods within an economic system, aimed at the empirical study of the quantitative interdependence between the various economic activities [5] in a market context in perfect competition. More in detail, the concept of market in concor-

2014	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Total Final consumption expenditure	Gross fixed capital formation	Changes in inventories and valuables	Exports	Total finale use	Total output
1 Agriculture, hunting, fishing and forestry	5'338	23'500	6	606	699	558	108	545	6'102	37'461	14'209	310	-390	5'747	19'876	57'338
2 Food, beverage and tobacco	4'310	29'180	41	976	1'350	1'635	284	1'318	21'235	60'331	48'258	644	273	27'798	76'973	137'304
3 Mining and construction	7	63	15	29	1'167	71	181	444	807	2'784	6'195	166	74	1'055	7'490	10'274
4 Textile sector	215	151	8	22'114	260	730	997	1'688	3'328	29'490	8'181	915	-623	42'869	51'341	80'832
5 Energy, fuel and power products, waste	2'508	4'319	618	1'337	47'403	8'673	3'925	20'244	33'852	122'878	40'190	1'599	-1'110	14'011	54'689	177'567
6 Chemical products,	1'138	1'477	163	2'140	2'013	17'415	7'090	8'658	9'345	49'440	8'690	2'428	-546	55'592	66'164	115'604
7 Machinery and transport equipment	835	962	134	515	1'981	1'367	30'149	12'776	19'257	67'977	15'555	33'356	-2'270	142'805	189'446	257'422
8 Manufacturing products	1'306	3'317	242	1'241	3'750	4'339	38'258	121'106	45'308	218'868	27'633	128'993	-1'836	83'669	238'460	457'328
9 Services	4'920	30'163	1'863	18'442	37'651	19'614	52'108	88'657	474'242	727'661	940'598	61'637	679	73'900	1'076'815	1'804'476
Total intermediate consumption	20'577	93'132	3'089	47'401	96'273	54'402	133'100	255'437	613'477	1'316'890	1'109'509	230'048	-5'749	447'446	1'781'255	3'098'144
taxes less subsidies on products	565	1'331	89	665	-1'390	1'652	1'803	3'103	32'462	40'281						
Total intermediate consumption market price	21'142	94'463	3'179	48'066	94'883	56'055	134'904	258'540	645'939	1'357'170						
Value added at basic prices	31'864	28'840	6'164	23'151	36'644	29'592	76'666	142'599	1'088'111	1'463'631						
Import cif	4'065	13'170	880	9'075	42'963	28'231	43'280	53'007	67'718	262'389						
International Transport Margins	267	831	52	539	3'077	1'727	2'572	3'182	2'707	14'953						
Output at basic prices	57'338	137'304	10'274	80'832	177'567	115'604	257'422	457'328	1'804'476	3'098'144						

Figura 2 – Tavola IO a 9 settori dell'economia italiana per il 2014 – milioni di euro correnti (elaborazione su fonte dati WIOD 2016 [13]).
Figure 2 – IO Table with 9 sectors of the Italian economy for 2014 - millions of current euros (processing on WIOD 2016 data source [13]).

renza perfetta che si chiama in causa è relativo alle seguenti ipotesi:

- i beni prodotti all'interno di un settore produttivo possiedono caratteristiche di omogeneità e possono essere venduti al medesimo prezzo di mercato;
- gli operatori operano sul mercato in condizioni di perfetta informazione su costi di produzione e prezzi e possono decidere da dove acquisire gli input di produzione;
- non esistono barriere di ingresso o uscita per le imprese che operano sul mercato, le quali possono entrarvi ed uscirne in qualsiasi momento.

Il modello si basa su tre tipi di relazioni, strutturabili sulla base delle informazioni contenute nella tavola IO: le identità o definizioni di base; le condizioni di equilibrio; le condizioni tecniche [12].

Le definizioni base del modello riguardano gli output e gli input di produzione settoriali, ossia le somme delle componenti della tavola rispettivamente per riga e per colonna. Indicando in maniera simbolica le transazioni della tavola IO come in Fig. 3, si possono scrivere le seguenti identità relative agli output di produzione settoriale:

$$x_i = r_i + f_i = \sum_{j=1}^N z_{ij} + f_i \quad (1)$$

e agli input di produzione settoriali:

perfect competition which is called into question relates to the following hypotheses:

- *goods produced within a production sector have homogeneous characteristics and can be sold at the same market price;*
- *operators operate on the market in conditions of perfect information on production costs and prices and can decide from where to acquire the production inputs;*
- *there are no entry or exit barriers for companies that operate on the market, which can enter and exit at any time.*

The model is based on three types of relationships, which can be structured on the basis of the information contained in the IO Table: basic identities or definitions; equilibrium conditions; technical conditions [12].

The basic definitions of the model concern the sectorial production outputs and inputs, i.e. the sums of the table components by row and by column respectively. By symbolically indicating the transactions of the IO table as in Fig. 3, the following identities relating to the sector production outputs can be written

$$x_i = r_i + f_i = \sum_{j=1}^N z_{ij} + f_i \quad (1)$$

and to the sectoral production inputs:

		CONSUMO INDUSTRIALE INDUSTRIAL CONSUMPTION					DOMANDA FINALE FINAL DEMAND				TOTALE IMPIEGHI TOTAL USES
		SETTORE 1 SECTOR 1	SETTORE 2 SECTOR 2	SETTORE 3 SECTOR 3	SETTORE 4 SECTOR 4	TOTALE IMPIEGHI INTERMEDI TOTAL INTERMEDIATE USES	Consumi Privati Private consumption	Consumi Pubblici Public consumption	Esportazioni Export	TOTALE IMPIEGHI FINALI TOTAL FINAL USES	
PROCESSO PROCESS	PRODUZIONE INDUSTRIALE INDUSTRIAL PRODUCTION	SETTORE 1 SECTOR 1	SETTORE 2 SECTOR 2	SETTORE 3 SECTOR 3	SETTORE 4 SECTOR 4	f_1	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_1	$x_1 = f_1 + f_1 = q_1$
		SETTORE 2 SECTOR 2	SETTORE 2 SECTOR 2	SETTORE 3 SECTOR 3	SETTORE 4 SECTOR 4	f_2	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_2	$x_2 = f_2 + f_2 = q_2$
		SETTORE 3 SECTOR 3	SETTORE 2 SECTOR 2	SETTORE 3 SECTOR 3	SETTORE 4 SECTOR 4	f_3	f_{31}	f_{32}	f_{33}	f_3	$x_3 = f_3 + f_3 = q_3$
		SETTORE 4 SECTOR 4	SETTORE 2 SECTOR 2	SETTORE 3 SECTOR 3	SETTORE 4 SECTOR 4	f_4	f_{41}	f_{42}	f_{43}	f_4	$x_4 = f_4 + f_4 = q_4$
	TOTALE CONSUMI INTERMEDI TOTAL INTERMEDIATE CONSUMPTION	z_1	z_2	z_3	z_4						
PAGAMENTI PAYMENTS	VALORE AGGIUNTO ADDED VALUE	Lavoro Work	va_{11}	va_{12}	va_{13}	va_{14}					
		Capitale Capital	va_{21}	va_{22}	va_{23}	va_{24}					
	TOTALE VALORE AGGIUNTO TOTAL ADDED VALUE	va_1	va_2	va_3	va_4						
	IMPORT Import	im_1	im_2	im_3	im_4						
	TOTALE PAGAMENTI TOTAL PAYMENTS	$m_1 = va_1 + im_1$	$m_2 = va_2 + im_2$	$m_3 = va_3 + im_3$	$m_4 = va_4 + im_4$						
TOTALE RISORSE TOTAL RESOURCES		$q_1 = z_1 + m_1$	$q_2 = z_2 + m_2$	$q_3 = z_3 + m_3$	$q_4 = z_4 + m_4$						

Figura 3 – Descrizione delle variabili in una Tabella Input – Output.
Figure 3 – Description of the variables in an Input - Output Table.

$$q_j = z_j + m_j = \sum_{i=1}^N z_{ij} + (va_j + im_j) \quad (2)$$

Nell'equazione (1), per il generico settore i rappresentato nella i -esima riga della tavola IO, x_i è il totale degli impieghi, ossia degli output (ovvero dell'offerta); r_i è il totale degli impieghi intermedi z_{ij} verso tutti i settori di processo; f_i è la domanda finale. Nell'equazione (2), per il generico settore j rappresentato nella j -esima colonna della tavola IO, q_j è il totale delle risorse, ossia degli input (ovvero della domanda); z_j è il totale dei consumi intermedi z_{ij} da tutti i settori di processo; m_j è il totale dei pagamenti, rappresentato dalla somma tra il totale delle componenti settoriali del valore aggiunto va_j e le importazioni settoriali im_j .

Le condizioni tecniche sono rappresentate nel modello dallo schema di utilizzo delle risorse intermedie, ossia dalla distribuzione degli input, nella produzione industriale settoriale. Considerando ogni impiego intermedio nella tavola e dividendolo per il totale della colonna a cui appartiene, si ottiene la matrice dei cosiddetti coefficienti tecnici. Questi rappresentano le proporzioni con cui ogni settore combina gli input per sostenere la sua produzione (output). La matrice dei coefficienti A è pertanto costituita dagli elementi a_{ij} , tali che:

$$z_{ij} = a_{ij}q_j \quad (3)$$

Affinché il modello risulti utile per effettuare valutazioni analitiche rispetto a cambiamenti della produzione settoriale occorre che i coefficienti a_{ij} siano costanti e stabili nel tempo. Questa è una caratteristica essenziale del modello di LEONTIEF, che esprime l'ipotesi di assenza di economie di scala o di apprendimento, e di non sostituibilità tra i fattori di produzione nell'ambito di un dato processo produttivo.

Le condizioni di equilibrio sono dettate dall'assunzione di mercato in concorrenza perfetta con il raggiungimento del bilanciamento ex-post tra la domanda e l'offerta nel sistema economico. Ne segue l'esistenza nella tavola IO di un equilibrio tra righe e colonne, rappresentato dalla circostanza che l'output totale per il singolo settore (somma per riga) coincida con l'input totale (somma per colonna), risultando per ogni $i = j$ fissato tra 1 e N :

$$x_i = q_{j=i} \quad (4)$$

Con le posizioni effettuate il modello IO si esprime, a questo punto, come soluzione del sistema la cui generica equazione è rappresentata dalla (1). Tenendo conto della (2) e della (3), l'espressione (1) si può scrivere come:

$$x_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}x_j + f_i \quad (5)$$

per ogni i da 1 a N . Passando in notazione matriciale, e richiamando la matrice dei coefficienti A risulta:

$$q_j = z_j + m_j = \sum_{i=1}^N z_{ij} + (va_j + im_j) \quad (2)$$

In the equation (1), for the generic sector i represented in the i -ieth row of the IO table, x_i is the total of the uses, i.e. of the outputs (i.e. of the offer); r_i is the total of intermediate uses z_{ij} towards all process sectors; f_i is the final demand. In equation (2), for the generic sector j represented in the j -ieth column of the IO table, q_j is the total of the resources, i.e. the inputs (or rather the demand); z_j is the total intermediate consumption z_{ij} from all process sectors; m_j is the total of payments, represented by the sum of the total of the sectorial components of the added value va_j and the sectorial importations im_j .

The technical conditions are represented in the model by the scheme of use of intermediate resources, i.e. by the distribution of inputs, in sectorial industrial production. The matrix of the so-called technical coefficients is obtained considering each intermediate use in the table and dividing it by the total of the column to which it belongs. These represent the proportions with which each sector combines inputs to support its production (output). The matrix of coefficients A is therefore constituted by the elements a_{ij} such that

$$z_{ij} = a_{ij}q_j \quad (3)$$

In order for the model to be useful for carrying out analytical assessments with respect to changes in sector production, the coefficients a_{ij} must be constant and stable over time. This is an essential feature of LEONTIEF's model, which expresses the hypothesis of absence of economies of scale or learning, and of non-replaceability between production factors within a given production process.

The equilibrium conditions are dictated by market assumption in perfect competition with the achievement of the ex-post balancing between demand and offer in the economic system. The result is the existence in the IO table of a balance between rows and columns, represented by the circumstance that the total output for the individual sector (sum per row) coincides with the total input (sum per column), resulting for each $i = j$ fixed between 1 and N :

$$x_i = q_{j=i} \quad (4)$$

With the positions taken, the IO model is expressed, at this point, as a solution of the system whose generic equation is represented by (1). Taking into account (2) and (3), the expression (1) can be written as:

$$x_i = \sum_{j=1}^N a_{ij}x_j + f_i \quad (5)$$

for each i from 1 to N . Passing in matrix notation, and recalling the coefficient matrix results A in:

$$x = A \cdot x + f \quad (6)$$

e quindi

$$x - A \cdot x = (I - A) \cdot x = f \quad (7)$$

L'esistenza e l'unicità di una soluzione positiva per il sistema (7) è garantita dall'invertibilità della matrice $(I - A)$ e dalla non negatività dei termini della cosiddetta matrice inversa di LEONTIEF $L = (I - A)^{-1}$. In questo modo si rende in termini matematici la "vitalità", detta anche "produttività", del sistema economico, ossia la capacità di ogni settore di generare un output superiore a quanto impiegato come input intermedio da tutti i settori. In tal caso si può scrivere:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot f = L \cdot f \quad (8)$$

Il modello IO di LEONTIEF espresso secondo la (8) è detto *demand driven*, in quanto è la Domanda Finale che si presenta come forza propulsiva dell'economia. Generalmente, infatti, in un modello IO di LEONTIEF le quote di Domanda Finale sono individuate esogenamente rispetto alla produzione e si suppone che i livelli di offerta produttiva del sistema economico si adeguino ai livelli della Domanda Finale.

Sotto le ipotesi considerate, è evidente che se le condizioni tecniche di un sistema economico vitale sono considerate stabili (ossia la matrice A ha valori che possono essere considerati come costanti, la matrice $(I - A)$ è invertibile e l'inversa di LEONTIEF L ha valori non negativi), la (8) può essere usata per prevedere il valore della produzione x^* del sistema economico in una condizione di equilibrio per soddisfare una domanda finale di valore f^* , con $x^* = L \cdot f^*$. Nei termini sopra considerati, un modello IO viene detto anche Modello Regionale di Impatto (*Regional Impact Model*) [12] in quanto consente di quantificare l'impatto determinato dalla variazione della Domanda Finale sul valore della produzione economica della regione.

In alcuni casi, e in particolar modo nelle applicazioni trasportistiche, le analisi in valore (ossia espresse in unità monetarie) possono essere sostituite da analisi in quantità, trasformando le unità di valore (es. euro) della tipica forma della matrice IO in unità fisiche di input-output (es. numero di prodotti o tonnellate di merce). Il modello è esattamente corrispondente a quello specificato in termini di valuta monetaria, secondo l'usuale forma delle matrici IO: va effettuata la distinzione che nel caso delle unità fisiche, le unità di misura sono da considerarsi strettamente omogenee solo per riga e possono invece variare per colonna. Nella prassi, vista la disponibilità di matrici IO generalmente in termini monetari, l'espressione del modello considera omogeneamente i termini di valuta monetaria delle transazioni, operando quando necessario (come ad esempio nelle applicazioni trasportistiche, industriali ed ecologiche) la riconduzione a termini fisici mediante opportuni coefficienti di trasformazione unitari dei valori monetari in quantità di merce.

Occorre precisare come il modello IO introdotto, spesso indicato come *Single Region IO* (SRIO) perché prende

$$x = A \cdot x + f \quad (6)$$

and therefore:

$$x - A \cdot x = (I - A) \cdot x = f \quad (7)$$

The existence and uniqueness of a positive solution for the system (7) is guaranteed by the inversion of the matrix $(I - A)$ and the non-negativity of the terms of the so-called LEONTIEF inverse matrix $L = (I - A)^{-1}$. In this way the "vitality", also called "productivity", of the economic system is rendered in mathematical terms, i.e. the capacity of each sector to generate an output higher than that used as an intermediate input by all sectors. In this case one can write:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot f = L \cdot f \quad (8)$$

LEONTIEF's IO model expressed according to (8) is called demand driven, as it is the Final Demand that presents itself as the driving force of the economy. Generally, in fact, in a LEONTIEF IO model the Final Demand levels are identified exogenously with respect to production and it is assumed that the production levels of the economic system are adjusted to the levels of the Final Demand.

Under the considered hypotheses, it is evident that if the technical conditions of a vital economic system are considered stable (i.e. matrix A has values that can be considered as constant, the matrix $(I - A)$ is invertible and the inverse of LEONTIEF L has non-negative values), the (8) can be used to forecast the value of production x^* of the economic system in an equilibrium condition to meet a final demand of value f^* , with $x^* = L \cdot f^*$. In the terms considered above, an IO model is also referred to as the Regional Impact Model [12] as it allows quantifying the impact of the change in the Final Demand on the value of economic production in the region.

In some cases, and especially in transport applications, value analyses (i.e. expressed in monetary units) can be replaced by quantity analysis, transforming the value units (e.g. Euros) of the typical IO matrix form into physical input-output units (e.g. number of products or tons of goods). The model corresponds exactly to the one specified in terms of monetary currency, according to the usual form of the IO matrices: a distinction must be made that in the case of physical units, the units of measurement are to be considered strictly homogeneous only by row and can vary per column. In practice, given the availability of IO matrices generally in monetary terms, the expression of the model homogeneously considers the terms of monetary currency of transactions, linking back to physical terms when necessary (such as for example in transport, industrial and ecological applications) by means of appropriate unitary transformation coefficients of the monetary values in quantity of goods.

It must be specified how the IO model introduced, often referred to as the Single Region IO (SRIO) because it takes into consideration only one region, cannot be used for transport purposes, because it is unable to consider also the geographical dimension constituted by several regions in the

in considerazione una sola regione, non abbia di fatto utilizzabilità a fini trasportistici, perché non è in grado di considerare anche la dimensione geografica costituita da più regioni nella rappresentazione delle relazioni tra i settori economici. La necessità di considerare anche questo tipo di relazioni ha portato allo sviluppo dei modelli multiregionali. Tra essi si ricordano per la loro rilevanza, anche applicativa, i modelli *Inter-Regional IO* - IRIO [6],[16], o *Multi-Regional IO* - MRIO [6],[17],[18],[19],[20], basati su ipotesi differenti nella derivazione della matrice dei coefficienti tecnici (conoscenza diretta nei modelli IRIO mediante esplicite tavole multiregionali, o stima approssimata sulla base della tavole IO di ciascuna regione e dei flussi merceologici tra ogni coppia di regioni all'interno dell'area di studio nei modelli MRIO).

Come nel modello SRIO, anche nei modelli multiregionali IRIO e MRIO viene assunta l'ipotesi di costanza nella struttura del sistema economico. Se tale vincolo appare già stringente nel caso del modello SRIO, lo diventa ancora di più nel caso multi-regionale, perché i flussi di scambio tra le regioni sono legati all'andamento temporale delle variabili economiche e dei costi di trasporto. Come evidenziato in [20], l'assunzione di coefficienti costanti non consente, però, di indagare la dinamica delle interazioni tra sistemi di trasporto e sistemi economici: questo aspetto è essenziale nelle applicazioni dei modelli IO in ambito trasportistico.

Per ovviare agli inconvenienti generati dall'assunzione di coefficienti costanti, nel tempo sono stati formulati modelli IO con coefficienti di scambio elastici [21],[22], soprattutto nella forma MRIO con coefficienti di scambio basati su modelli di utilità aleatoria, detti *Random Utility-Based MRIO* o RUBMRIO [4],[19],[23],[24],[25]. Questi modelli operano componendo la struttura MRIO per la rappresentazione delle relazioni IO con un modello di massimizzazione dell'utilità aleatoria per la simulazione degli scambi interregionali sulla base dell'attribuzione di funzioni di utilità di commercio dipendenti da un insieme di variabili economiche e trasportistiche.

L'implementazione del modello di utilità aleatoria consente la presenza di retroazioni tra domanda e offerta nei vari settori e nelle varie regioni per variazioni di utilità. In questi termini, pertanto, un modello RUBMRIO contiene la definizione di funzioni elastiche per la descrizione dei flussi tra le regioni che consentono di stimare coefficienti di scambio dinamici e sensibili, ad esempio, a variazioni esogene nei sistemi di trasporto [20],[25].

Ulteriori estensioni dei modelli MRIO, ed in particolare dei modelli RUBMRIO, possono, ad esempio, riguardare la rappresentazione esplicita dei feedback tra sistema economico e sistemi di trasporto, modellando le elasticità rispetto ai costi generalizzati di trasporto. Le modalità di questa estensione variano dalla semplice considerazione delle distanze su percorsi minimi, alla considerazione di metodi più complessi che prevedono modelli *Nested Logit* o modelli di assegnazione della domanda di trasporto per catturare gli effetti della congestione [4]. Altre ipotesi possono anche essere formulate sulla variabilità temporale

representation of relations between economic sectors. The need to also consider this type of relationship has led to the development of multi-regional models. Among them, the Inter-Regional IO - IRIO [6],[16] or Multi-Regional IO - MRIO models [6],[17],[18],[19],[20] based on different hypotheses in the derivation of the technical coefficients matrix (direct knowledge in IRIO models by means of explicit multiregional tables, or approximate estimate based on the IO tables of each region and the product flows between each pair of regions within the study area in the MRIO models).

As in the SRIO model, the hypothesis of constancy in the structure of the economic system is assumed also in the multi-regional IRIO and MRIO models. If this constraint already appears stringent in the case of the SRIO model, it becomes even more so in the multi-regional case, because the exchange flows between the regions are linked to the temporal trend of economic variables and transport costs. As shown in [20], the assumption of constant coefficients does not allow, however, to investigate the dynamics of the interactions between transport systems and economic systems: this aspect is essential in the applications of IO models in the transport sector.

To overcome the drawbacks generated by the assumption of constant coefficients, IO models have been formulated over time with elastic exchange coefficients [21],[22], especially in the MRIO form with exchange coefficients based on random utility models, called Random Utility-Based MRIO or RUBMRIO [4],[19],[23],[24],[25]. These models work by composing the MRIO structure for the representation of IO relations with a model for maximising the random utility for the simulation of interregional exchanges on the basis of the attribution of trade utility functions dependent on a set of economic and transport variables.

The implementation of the random utility model allows the presence of feedback between demand and supply in the various sectors and in the various regions for utility variations. In these terms, therefore, a RUBMRIO model contains the definition of elastic functions for the description of flows between regions that allow estimating dynamic and sensitive exchange coefficients, for example, for exogenous variations in transport systems [20],[25].

Further extensions of the MRIO models, and in particular of the RUBMRIO models, may, for example, concern the explicit representation of the feedback between the economic system and transport systems, modelling elasticities with respect to the generalised transport costs. The modalities of this extension range from the simple consideration of distances on minimum routes, to the consideration of more complex methods that envisage Nested Logit models or of transport demand assignment models to capture the effects of congestion [4]. Other hypotheses can also be formulated on the temporal variability of the technical coefficients, with specific models that allow their projection on future horizons [6],[25], based on: trend models; marginal coefficients; Best Practice - which considers the technological structure in the future based on the current most technologically ad-

dei coefficienti tecnici, con specifici modelli che ne consentano la proiezione su orizzonti futuri [6],[25], in base a: modelli di trend; coefficienti marginali; *Best Practice* - che considera l'assetto tecnologico nel futuro sulla base del più tecnologicamente avanzato produttore del settore nel presente-; fitting iterativo proporzionale per il bilanciamento delle tavole IO [26]: questo metodo è detto anche metodo RAS [27] per via della pre-moltiplicazione mediante la matrice \mathbf{R} e post-moltiplicazione mediante la matrice \mathbf{S} della matrice dei coefficienti tecnici \mathbf{A} (cfr. equazioni (5) e (6)), dove \mathbf{R} e \mathbf{S} sono opportune matrici per ottenere il bilanciamento (a differenza nulla) nelle righe e colonne della tavola IO.

4. Applicabilità dei modelli IO nel caso di studio

4.1. Obiettivi ed efficacia della modellazione

Come anticipato nei punti precedenti, in questo lavoro si discute sulla possibilità di utilizzare in modo efficace i modelli delle interdipendenze settoriali come ausili alle decisioni di pianificazione regionale/interregionale, in conformità agli obiettivi delineati nel punto 1 sub a), b), c), d).

Per specificare il requisito dell'efficacia si possono utilizzare in questa sede i criteri proposti in [23] nel caratterizzare la capacità del modello di:

- produrre un output richiesto ed utilizzabile dai decisori politici/amministrativi;
- includere le variabili fondamentali per descrivere il sistema oggetto di analisi e per rappresentare in maniera verificabile le interazioni tra le sue componenti;
- basarsi su dati effettivamente recuperabili e che consentano di effettuare processi di validazione.

In questa direzione, l'individuazione delle predette variabili va specificata in relazione allo specifico modello adottato, così come per i relativi dati per la validazione (cfr. successivi punti 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5).

Come già evidenziato, le indagini condotte [1],[2] sono finalizzate all'individuazione, alla scelta e all'esame di criteri di trattamento e di analisi dei dati relativi al trasporto merci, con particolare riferimento alle origini e destinazioni che interessano ambiti territoriali regionali/interregionali di area vasta; all'elaborazione di scenari previsionali dell'evoluzione infrastrutturale di interesse per il territorio trentino funzionali alla pianificazione dei sistemi di trasporto.

Tra i temi di generali di interesse per analisi di questo tipo emergono quattro aspetti fondamentali, e quindi di concretezza, richiesti allo strumento di modellizzazione della domanda merci:

- la dimensione spaziale, con un puntuale riferimento alle origini e destinazioni che interessano l'ambito regionale/interregionale;
- la funzione previsionale su orizzonti futuri;

vanced manufacturer in the sector; proportional iterative fitting for the balancing of IO tables [26]: this method is also called RAS method [27] because of the pre-multiplication by means of the matrix \mathbf{R} and post-multiplication by means of the matrix \mathbf{S} of the technical coefficients matrix (see equations (5) and (6)), where \mathbf{R} and \mathbf{S} are matrices to obtain the balance (with zero difference) in the rows and columns of the IO table and are appropriate.

4. Applicability of IO models in the case study

4.1. Objectives and effectiveness of modelling

As anticipated in the previous points, in this work the possibility of effectively using sectorial interdependencies models are discussed as aids to regional/interregional planning decisions, in accordance with the objectives outlined in point 1 sub a), b), c), d).

To specify the requirement of effectiveness, the criteria proposed in [23] can be used here to characterise the ability of the model to:

- *produce a required result and usable by political/administrative decision makers;*
- *include the fundamental variables to describe the system being analysed and to represent the interactions between its components in a verifiable way;*
- *be based on data that are actually recoverable and that allow validation processes to be carried out.*

In this direction, the identification of the aforementioned variables must be specified in relation to the specific model adopted, as well as for the related data for validation (see subsequent points 5.2, 5.3, 5.4 and 5.5).

As already highlighted, the investigations we conducted [1],[2] are aimed at identifying, choosing and examining criteria for processing and analysing data relating to freight transport, with particular reference to the origins and destinations that involve vast regional/interregional territorial areas; at the elaboration of forecast scenarios of the infrastructural evolution of interest for the Trentino territory functional to the planning of transport systems.

Among the topics of general interest for this type of analysis four fundamental and therefore practical aspects emerge, required of the goods demand modelling tool:

- *the spatial dimension, with precise reference to the origins and destinations that affect the regional/interregional area;*
- *the forecasting function on future horizons;*
- *the possibility of working on scenarios of evolution of multimodal transport supply and demand;*
- *the possibility of producing assessments aimed at planning systems and transport infrastructures.*

The following is a discussion, oriented towards the modelling objectives and the dimensions identified above, on the

- la possibilità di operare su scenari di evoluzione della domanda e dell'offerta di trasporto multimodale;
- la possibilità di produrre valutazioni finalizzate alla pianificazione dei sistemi e delle infrastrutture di trasporto.

Di seguito si propone una discussione, orientata rispetto agli obiettivi della modellazione e alle dimensioni sopra individuate, sull'applicabilità al caso oggetto di studio dei modelli multiregionali passati in rassegna al punto 3 per qualificarsi come idonei strumenti analitici e previsionali dotati di adeguate caratteristiche di utilizzabilità all'interno delle ipotesi e dei requisiti modellistici fin qui espressi.

4.2. La dimensione spaziale

Da un punto di vista strettamente teorico, i modelli IO nelle specificazioni multiregionali MRIO o IRIO appaiono in grado di soddisfare il primo dei temi di interesse sopra evidenziati – relativo alla dimensione spaziale – con la loro capacità di operare considerando la zonizzazione del territorio in studio e di consentire una rappresentazione dei flussi merceologici intersettoriali tra le zone medesime. Occorre tuttavia specificare in maniera più approfondita i caratteri della disaggregazione geografica richiesta. La stessa, infatti, deve consentire una rappresentazione zonale sub-provinciale del territorio regionale, con riferimento alle origini e destinazioni che interessano l'area in esame, e nello stesso tempo deve estendersi al di fuori del territorio considerato, per ricomprendere più aree contigue (anche transfrontaliere) in relazione alla natura stessa del problema. Utili a questo proposito risultano i livelli NUTS (Nomenclatura delle Unità Territoriali Statistiche) in uso nell'Unione Europea [28]. Nella Fig. 4 sono consegnati i livelli NUTS da 0 a 3, dai quali se ne evincono le caratteristiche (ad es. a seconda del livello di aggregazione: NUT1 di Macro - Regione e NUT2 di Regione).

Per quanto riguarda l'individuazione delle aree transfrontaliere, con riferimento ad esempio al valico del Brennero, occorre tenere presente la distribuzione regionale delle relazioni che ne interessano l'ambito. In questa direzione e per ora a fini esemplificativi, in Fig. 5 sono riportate le percentuali di ripartizione regionale delle merci transitate al Brennero al di là del confine italiano per il traffico autostradale, ferroviario e totale [29]. I dati evidenziano un bacino del corridoio comprendente Germania, Austria, Benelux, Scandinavia, Polonia, Repubblica Ceca e Isole Britanniche. A questo bacino dovranno essere riferiti i fin qui richiamati modelli IO.

4.3. Le analisi di scenario e le funzioni previsionali

Com'è facilmente intuibile, per la pianificazione infrastrutturale, un modello previsionale su orizzonti futuri deve tenere conto di scenari di evoluzione della domanda e dell'offerta di trasporto, quest'ultima in termini multimodali. Da questo punto di vista si può rilevare come in ge-

applicability to the case under study of the multi-regional models reviewed in point 3 to qualify as suitable analytical and forecasting tools with adequate usability characteristics within the hypotheses and modelling requirements so far expressed.

4.2. The spatial dimension

From a strictly theoretical point of view, the IO models in the multi-regional MRIO or IRIO specifications appear able to satisfy the first of the topics of interest highlighted above – related to the spatial dimension – with their ability to operate considering the zoning of the territory under study and to allow a representation of the intersectorial product flows between the same areas. However, the characteristics of the geographical breakdown required must be specified in greater detail. The same, in fact, must allow a sub-provincial zone representation of the regional territory, with reference to the origins and destinations that concern the area in question, and at the same time must extend outside the considered territory, to include more contiguous areas (also cross-border) in relation to the nature of the problem. The NUTS levels (Nomenclature of Statistical Territorial Units) used in the European Union are useful in this regard [28]. Fig. 4 shows the NUTS levels from 0 to 3, from which the characteristics are derived (e.g. depending on the level of aggregation: Macro - Region NUT1 and Region NUT2).

The regional distribution of the relationships that affect the area must be borne in mind as regards the identification of cross-border areas, with reference for example to the Brenner pass. In this direction and again for illustrative purposes, Fig. 5 shows the percentages of regional distribution of goods transported beyond the Italian border to the Brenner by motorway, rail and total traffic [29]. The data show a basin for the corridor comprising Germany, Austria, Benelux, Scandinavia, Poland, the Czech Republic and the British Isles. The IO models referred to above must consider this basin.

4.3. Scenario analyses and forecasting functions

As can be easily understood, for infrastructural planning, a forecasting model on future horizons must take into account transport demand and supply evolution scenarios, the latter in multimodal terms. From this point of view it can be noted that in general the IO models for the analysis of freight transport demand, in their multi-regional specification and in consideration of elastic coefficients, are suitable for evaluating the effects of hypothetical scenarios, also called what-if, defined, for example, by changes in final demand and/or transport costs. As previously highlighted, in fact, the IO models allow representing the structure and the main commercial flows driving forces in the economic system; the location of the various production activities and final consumption; the level of transport costs and the impact

nerale i modelli IO per l'analisi della domanda di trasporto merci, nella loro specificazione multi-regionale e nella considerazione di coefficienti elastici, siano adatti a valutare gli effetti di scenari ipotetici, detti anche *what-if*, definiti, ad esempio, da variazioni della domanda finale e/o dei costi di trasporto. Come prima evidenziato, infatti, i modelli IO consentono di rappresentare la struttura e i principali motori dei flussi commerciali nel sistema economico; l'ubicazione delle varie attività di produzione e consumo finale; il livello dei costi di trasporto e l'impatto di eventuali politiche e azioni sulla Domanda Finale e sui sistemi di trasporto.

Se la necessità di operare per scenari risulta garantita, quanto meno dal punto di vista teorico, la stessa cosa non

of any policies and actions on the Final Demand and on the transport systems.

If the need to operate by scenarios is guaranteed, at least from the theoretical point of view, the same cannot be extended to the forecasting functions in immediate terms. In the case of IO models reviewed, these are limited to the short (or very short) period. The examination of IO models (see point 3 above) has shown that the time variable is not taken into consideration, since these are substantially static models based on balance equations. The conditions of equilibrium, in fact, require that the production be used partly by the same production system and partly for the satisfaction of the final demand (including in this the investments), within a certain time interval (i.e. the year of reference).



NUTS - Level 0 – Nazione
NUTS - Level 0 - Country



NUTS - Level 1 - Macro Regione
NUTS - Level 1 - Macro Region



NUTS - Level 2 – Regione
NUTS - Level 2 - Region



NUTS - Level 3 Sub- Regione (Provincia)
NUTS - Level 3 Sub- Region (Province)

Figura 4 – Livelli NUTS delle unità territoriali per la UE [28].
Figure 4 – NUTS levels of territorial units for the EU [28].

può estendersi in termini immediati alle funzioni previsionali. Nel caso dei modelli IO passati in rassegna, queste risultano essere ristrette al breve (o brevissimo) periodo. La disamina dei modelli IO (cfr. il precedente punto 3) ha messo in evidenza come la variabile tempo non venga presa in considerazione, trattandosi di modelli sostanzialmente statici basati su equazioni di bilancio. Le condizioni di equilibrio, infatti, impongono che la produzione venga impiegata in parte dallo stesso sistema produttivo ed in parte per la soddisfazione della domanda finale (incluso in questa gli investimenti), all'interno di un certo intervallo temporale (ossia l'anno di riferimento).

La considerazione della variabile tempo, tuttavia, introduce una connotazione dinamica. Con essa la struttura di un sistema economico può variare sia per l'aumento nella disponibilità dei fattori produttivi (rappresentanti da lavoro e capitale) – a loro volta frutto di investimenti passati – sia per effetto del cambiamento tecnologico o per entrambi questi fattori.

Nel primo caso, le eventuali variazioni di capacità produttiva dovute a variazioni negli input primari possono essere tenute in considerazione aggiungendo componenti dinamiche [5],[30]. In un modello con componenti dina-

The consideration of the time variable, however, introduces a dynamic characteristic. With it the structure of an economic system can vary both due to the increase in the availability of productive factors (labour and capital representatives) - which in turn are the result of past investments - both due to technological change or to both these factors.

In the first case, any changes in production capacity due to variations in the primary inputs can be taken into consideration by adding dynamic components [5],[30]. In a model with dynamic components, sector stocks are also considered as the use of primary goods, or durable capital, to support the expansion of production in the user sectors (for example, tractors used by the agricultural sector to increase production). This in turn is expressed in consideration of a certain development interval, between the moment in which the investment is implemented and that in which the investment asset is used. From this point of view, therefore, the dynamic IO model takes into consideration a certain time interval (for example, consisting of several years) examining the trend of the intermediate equilibrium situations of the economic system (for example, annual) between an initial instant and a final one. The classical expression of the LEONTIEF model

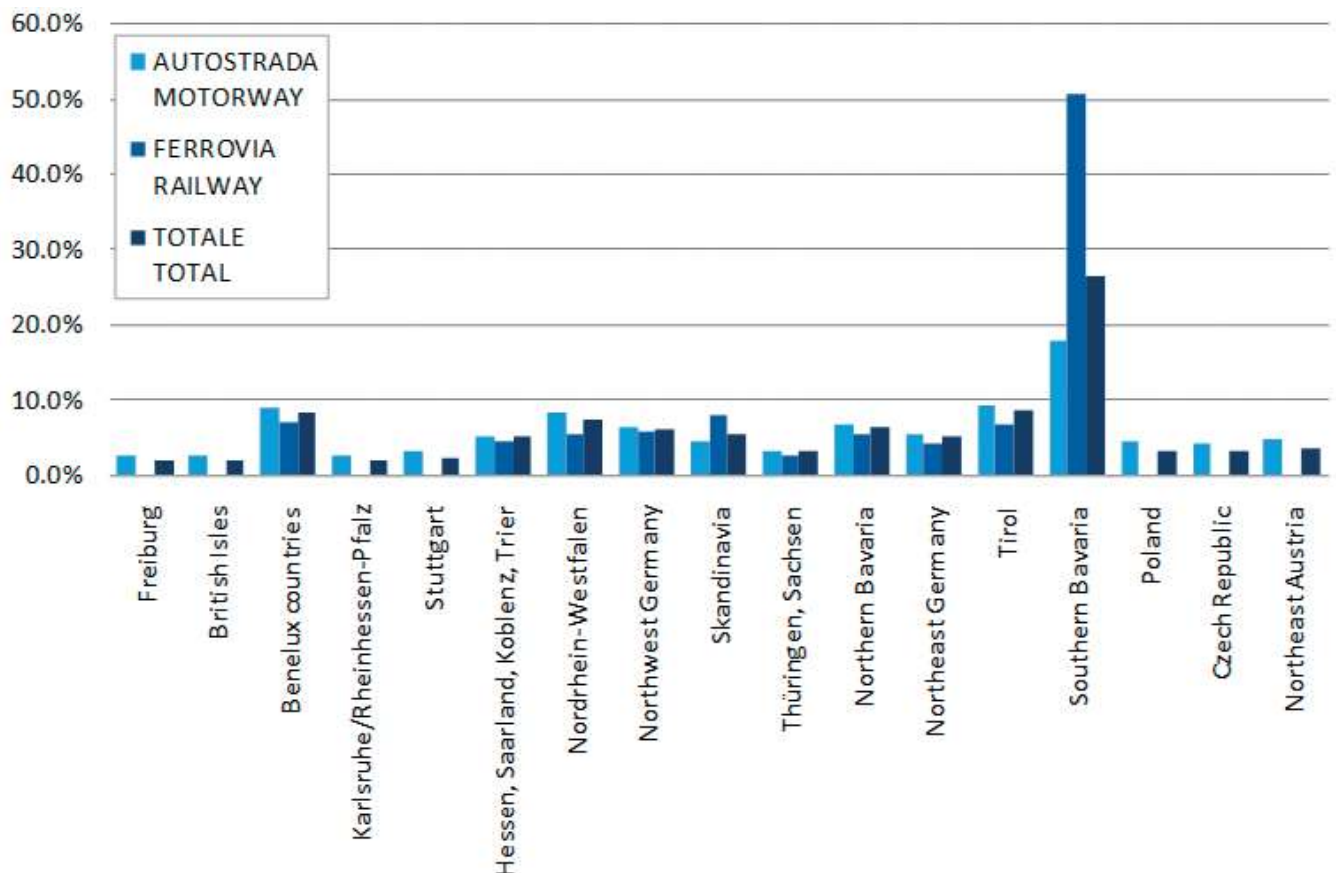


Figura 5 – Scambi internazionali di merci al Brennero su Autostrada, Ferrovia e Totale (% di ciascuna regione rispetto al totale per modo di trasporto)- Elaborazione su base dati [29].

Figure 5 – International exchanges of goods at the Brenner on Motorways, Railways and Total (% of each region with respect to the total by transport mode) - Processing on database [29].

niche, gli stock di settore vengono considerati anche come impiego di beni primari, o capitali durevoli, a sostegno dell'espansione produttiva dei settori utilizzatori (esempio: i trattori utilizzati dal settore agricolo per incrementare la produzione). Questa a sua volta si esplica in considerazione di un certo intervallo di gestazione, tra il momento in cui viene attuato l'investimento e quello in cui il bene di investimento viene utilizzato. Da questo punto di vista, quindi, il modello IO dinamico prende in considerazione un certo intervallo temporale (ad esempio, costituito da più anni) esaminando l'andamento delle situazioni intermedie di equilibrio del sistema economico (ad esempio, annuali) tra un istante iniziale e uno finale. L'espressione classica del modello di LEONTIEF con soluzione espressa dalla (8) si traduce in un sistema di equazioni alle differenze finite del primo ordine, risolvibile una volta che sono fissate le condizioni iniziali o quelle finali e noti i coefficienti tecnici in conto produzione (impieghi settoriali) ed in conto capitale (investimenti).

Nel secondo caso, per considerare gli effetti del cambiamento tecnologico occorre rimuovere l'ipotesi di base di costanza della struttura di produzione, che insieme all'omogeneità settoriale caratterizza i modelli IO. Infatti, anche nell'ipotesi dei modelli RUBMRIO a coefficienti di scambio elastici introdotti nel punto 3, l'ipotesi di coefficienti tecnici costanti e uniformi nel settore viene comunque mantenuta. Se questo vincolo risulta accettabile su orizzonti previsionali sensibilmente ristretti (ossia di pochi anni), la stessa cosa non può dirsi su orizzonti di medio-lungo periodo. Rispetto ad essi, i cambiamenti nei sistemi tecnologici di produzione e nelle strutture di specializzazione, a livello regionale e di area complessiva, potrebbero mutare in maniera non trascurabile. Per tenere conto della variabilità temporale dei coefficienti tecnici, una possibilità consiste nell'operare mediante i già citati modelli che ne consentano la proiezione su orizzonti futuri e che considerano, come già detto: i modelli di trend; i coefficienti marginali; la convergenza verso le *Best Practice* settoriali; il metodo RAS per il bilanciamento delle matrici IO. Con specifico riferimento a queste possibilità possono vedersi con profitto le esemplificazioni ed applicazioni concrete nella letteratura di settore (es. [6] e [25]).

4.4. Uno strumento per la pianificazione dei sistemi e delle infrastrutture di trasporto

L'ultimo punto di interesse richiamato all'inizio di questo paragrafo mette in evidenza quella che è l'esigenza fondamentale dei decisori politici e/o amministrativi: disporre di uno strumento che consenta analisi e valutazioni finalizzate alla pianificazione dei sistemi e delle infrastrutture di trasporto di interesse per i territori di incidenza.

Per soddisfare questa richiesta, è necessario che lo sviluppo e l'impiego di un modello di tipo IO si inquadri all'interno di una catena modellistica opportunamente articolata. Solo attraverso l'esplicitazione di retroazioni tra sistema economico e sistemi di trasporto, infatti, il modello

with solution expressed by (8) translates into a system of finite differences equations of the first order, which can be solved once the initial or final conditions are fixed and the technical coefficients in production (sectorial investments) and capital account (investments) are known.

In the second case, to consider the effects of technological change it is necessary to remove the basic hypothesis of constancy of the production structure, which characterises the IO models together with the sectorial homogeneity. In fact, even in the hypothesis of the RUBMRIO models with elastic exchange coefficients introduced in point 3, the hypothesis of constant and uniform technical coefficients in the sector is nevertheless maintained. If this constraint is acceptable on considerably narrow forecasting horizons (i.e. a few years), the same cannot be said on medium-long term horizons. Compared to these, changes in technological production systems and specialisation structures, at regional and overall area level, could change in a non-negligible way. To take into account the temporal variability of the technical coefficients, one possibility consists in operating through the already mentioned models that allow it to be projected onto future horizons and which, as already mentioned, consider trend models; the marginal coefficients; convergence towards sectorial Best Practices; the RAS method for balancing IO matrices. With specific reference to these possibilities, examples and concrete applications in the sector literature (e.g. [6] and [25]) can be seen profitably.

4.4. A tool for planning transport systems and infrastructures

The last point of interest recalled at the beginning of this paragraph highlights what is the fundamental need of political and/or administrative decision makers: to have a tool that allows analysis and assessments aimed at planning transport systems and infrastructures of interest to the territories of incidence.

To satisfy this request, it is necessary that the development and use of an IO type model fall within a properly articulated modelling chain. In fact, the IO model can be configured as a tool to support transport planning decisions only through the expression of feedbacks between the economic system and transport systems.

In a system planning context such as that required by decision makers, feedback between the economic system and the transport system can be represented by integrating the RUBMRIO model with procedures that allow assessing generalised transport costs. From an operational point of view, the implementation of a Decision Support System (DSS) based on two components [4],[19] can be envisaged: an MRIO model with elastic coefficients on one side; a sequence of models for assessing transport costs and modal choices on the other [20].

In this direction, the multi-regional IO model quantifies the transport demand for goods, starting from the quantities in value and transforming them into quantities of goods

IO può configurarsi come strumento di supporto alle decisioni di pianificazione dei trasporti.

In un contesto di pianificazione di sistema come quello richiesto dai decisori, i feedback tra sistema economico e sistema dei trasporti possono essere rappresentati integrando il modello RUBMRIO con procedure che consentono di valutare i costi generalizzati di trasporto. Dal punto di vista operativo, si può prevedere l'implementazione di un Sistema di Supporto alle Decisioni (SSD) basato su due componenti [4],[19]: un modello MRIO a coefficienti elastici da una parte; una sequenza di modelli per la valutazione dei costi di trasporto e delle scelte modali dall'altra [20].

In questa direzione, il modello IO multi-regionale provvede alla quantificazione della domanda di trasporto delle merci, partendo dalle quantità in valore e trasformandole in quantità di merci attraverso l'utilizzo di fattori valore/quantità esogeni, che rappresenta l'input per il modello di traffico. Quest'ultimo, quindi, fornisce in uscita i costi generalizzati di viaggio, elaborati sulla base dei livelli di servizio delle reti modellate, che possono alimentare nuovamente il modello IO. Questo processo, che può essere rappresentato come in Fig. 6 (per un maggiore approfondimento sulle componenti dei due modelli e sul flusso di informazioni si può fare riferimento alla trattazione proposta in [19]), viene eseguito iterativamente fino a quando la rete di trasporto raggiunge l'equilibrio dell'utente e i flussi commerciali nel modello RUBMRIO raggiungono l'equilibrio dei costi di trasporto [25].

Occorre specificare che l'intera struttura modellistica dovrebbe comunque essere estesa anche alla componente passeggeri, per effetto della significativa coesistenza delle componenti su alcune modalità di trasporto (in primis stradale).

La struttura sopra prospettata dovrà poi essere tradotta in procedure di calcolo e di interfaccia in grado di assicurare chiarezza e completezza della modellazione, includendo le variabili fondamentali per descrivere i sistemi oggetto di analisi e per rappresentare in maniera agevolmente verificabile le interazioni tra le componenti. Il SSD, qui riproposto [4],[19], raccoglie all'interno di un unico framework i diversi aspetti emersi nella rassegna delle applicazioni dei modelli IO per lo studio dei sistemi di tra-

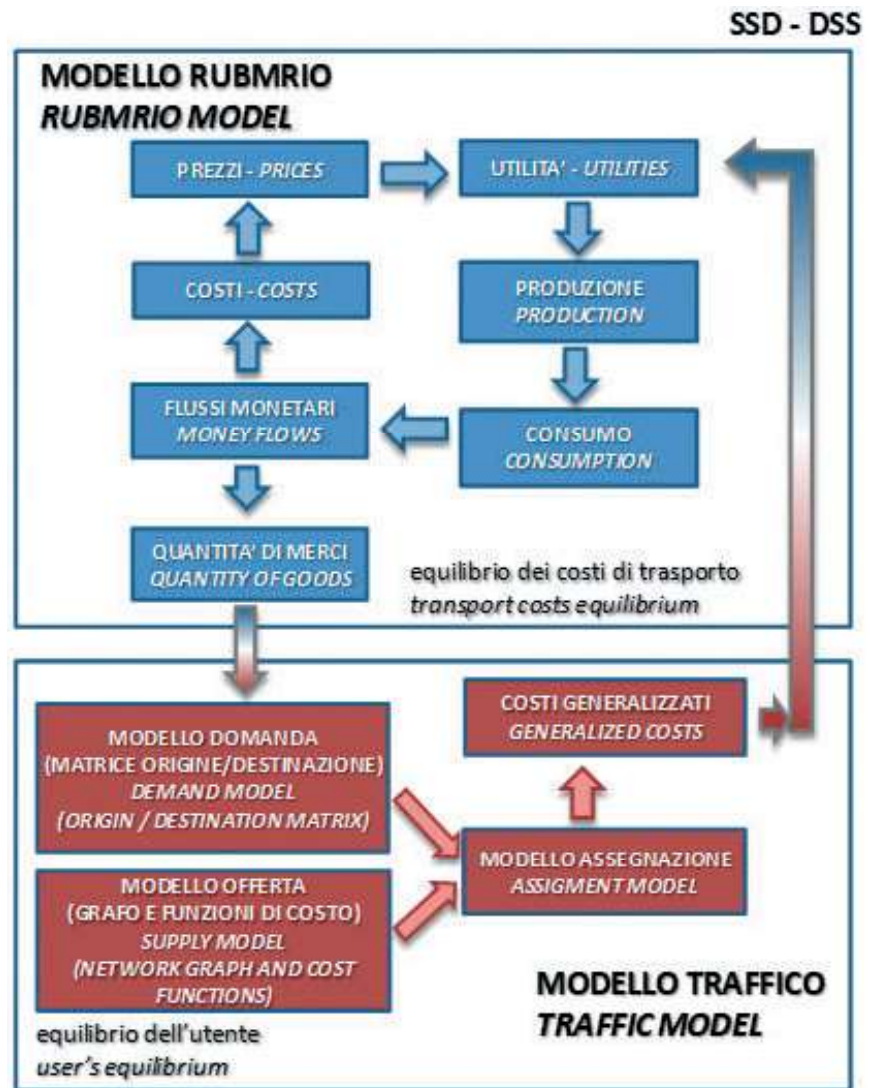


Figura 6 – Struttura SSD con equilibrio multiplo Modello RUBMRIO - Modello Traffico [4],[19],[25].

Figure 6 – DSS structure with multiple equilibrium RUBMRIO Model - Traffic Model [4],[19],[25].

through the use of exogenous value/quantity factors, which represents the input for the traffic model. The latter, therefore, provides the generalised travel costs, processed on the basis of the service levels of the modelled networks, which can feed the IO model again. This process, which can be represented as in Fig. 6 (for further details on the components of the two models and on the flow of information, reference can be made to the discussion proposed in [19]), is performed iteratively until the transport network reaches user balance and trade flows in the RUBMRIO model reach the balance of transport costs [25].

It should be specified that the entire modelling structure should in any case also be extended to the passenger component, due to the significant coexistence of the components on certain transport modes (primarily road).

sporto. Le considerazioni in merito all'efficacia della struttura prospettata sono presentate subito di seguito.

4.5. I fattori di criticità: disomogeneità informativa e complessità strutturale

Come detto, la connotazione di SSD efficace include il fatto che lo stesso possa basarsi su dati effettivamente reperibili (direttamente o indirettamente, con opportuni trattamenti di informazioni connesse a quelle necessarie alla implementazione del modello). Il tema della disponibilità di dati per la modellazione del trasporto delle merci è da considerarsi, in effetti, come una vera e propria sfida [31]. Dati economici e dati di trasporto hanno solitamente unità di misura diverse e spesso altrettanto diverse classificazioni e aggregazioni/disaggregazioni. Se i dati economici sono espressi in valuta, come nel caso dei flussi nelle tavole IO, i dati di trasporto sono espressi in quantità (es., tonnellate) o in unità di traffico (es. veicoli, unità di trasporto equivalenti, etc.). La riconduzione a termini omogenei può effettuarsi mediante opportuni coefficienti di trasformazione unitari. Occorre rilevare come l'operazione sia, in effetti, particolarmente delicata nell'ambito della specificazione del modello in corrispondenza della diversità delle caratteristiche dei settori considerati e della relativa eterogeneità interna della loro struttura. La necessità di operare idonei accorpamenti nei confronti dei settori, infatti, può condurre a conglobare sub-settori diversi per caratteristiche strutturali e produttive, nei confronti dei quali la definizione dei valori di trasformazione unitari può risultare molto complessa e non esente da potenziali ed importanti errori di semplificazione.

Va poi chiarito che, nell'effettiva trasformazione da flussi di valuta a flussi di merci, devono considerarsi gli effetti conseguenti allo stage intermedio rappresentato dai sistemi logistici [32]. I sistemi logistici e di trasporto, infatti, si evolvono e si adattano progressivamente per rispondere ai requisiti imposti dagli schemi organizzativi e gestionali e dai sistemi di produzione e distribuzione dei vari settori economici. Queste circostanze sono evidenti solo se si pensi agli effetti recenti legati agli sviluppi tecnologici; alla crescente specializzazione e sofisticazione dei processi di produzione; all'introduzione di nuovi sistemi di distribuzione e di politiche di approvvigionamento; alla crescente diffusione del commercio elettronico; alle conseguenti evidenze di fenomeni di decoupling del traffico merci rispetto all'andamento dei fondamentali macroeconomici emersi di recente in alcuni contesti nazionali [33], [34].

Vanno poi considerate anche, in via del tutto generale, la difficoltà di reperire informazioni per rappresentare alcune situazioni tipiche della catena logistica e distributiva, legate alle operazioni *groupage/degroupage* per consolidamento o rotture di carico che interessano il trasporto della merce da una origine ad una destinazione finale con varie soste intermedie. Una non corretta valutazione di queste situazioni, infatti, potrebbe condurre a stime distorte dei quantitativi di merce effettivamente scambiate

The structure described above must then be translated into calculation and interface procedures capable of ensuring clarity and completeness of the modelling, including the fundamental variables for describing the systems being analysed and for an easily verifiable representation of the interactions between the components. The DSS proposed here [4],[19], brings the different aspects that emerged in the review of the applications of IO models for the study of transport systems together within a single framework. The considerations regarding the effectiveness of the proposed structure are presented immediately below.

4.5. Critical factors: information lack of homogeneity and structural complexity

As said, the connotation of effective DSS includes the fact that the same can be based on data that can be actually found (directly or indirectly, with appropriate processing of information related to that necessary for the implementation of the model). In effect, the issue of the availability of data to model the transport of goods is to be considered, as a real challenge [31]. Economic data and transport data usually have different units of measure and often equally different classifications and aggregations/disaggregations. If the economic data are expressed in currency, as in the case of flows in IO tables, the transport data are expressed in quantity (e.g., tons) or in traffic units (e.g., vehicles, equivalent transport units, etc.). Retrieval of homogeneous terms can be carried out by means of suitable unit transformation coefficients. It should be noted that the operation is, in fact, particularly delicate in the context of the specification of the model in correspondence with the diversity of the characteristics of the sectors considered and the relative internal heterogeneity of their structure. In fact, the need to perform suitable mergers with the sectors can lead to the incorporation of different sub-sectors for structural and productive characteristics, with respect to which the definition of unitary transformation values can be very complex and not without potential and important simplification errors.

It should also be clarified that, in the actual transformation from currency flows to goods flows, the effects resulting from the intermediate stage represented by logistics systems must be considered [32]. The logistics and transport systems, in fact, evolve and adapt progressively to meet the requirements imposed by organisational and management schemes and by production and distribution systems of the various economic sectors. These circumstances are evident only if one thinks of the recent effects linked to technological developments; to the growing specialization and sophistication of production processes; to the introduction of new distribution systems and procurement policies; to the growing diffusion of e-commerce; to the consequent evidence of freight traffic decoupling phenomena compared to the trend of macroeconomic fundamentals that have recently emerged in some national contexts [33],[34].

tra le diverse zone rappresentate nel modello in origine costruito a partire dai flussi di valuta.

Nella definizione di uno SSD con la struttura e le caratteristiche sopra evidenziate le esigenze di zonizzazione devono evidentemente incrociarsi con quelle derivanti dalla reperibilità e trattabilità dei dati. Da questo punto di vista possiamo rilevare come la dimensione del bacino e il livello di disaggregazione territoriale necessario rappresentino un aspetto che condiziona decisamente l'implementabilità dei modelli in oggetto. In applicazioni complesse del tipo di quella qui in esame è insita una intrinseca disomogeneità nella disaggregazione geografica dei vari sottomodelli, anche in base alle caratteristiche dei corrispondenti dati di input disponibili [4]. Le diverse banche dati internazionali (es. EORA-MRIO [35], EU-Eurostat [36], EXIOBASE [37], OECD [38], WIOD [39]), che consentono di alimentare il modello MRIO, operano a livello di nazione (NUT0), ma come si è già detto (cfr. punto 4.2.) questa rappresentazione può essere insufficiente a garantire la rispondenza agli obiettivi generali individuati al punto 4.1. Così ad esempio, la configurazione di bacino e le esigenze di modellazione impongono per il Trentino e l'Alto Adige una zonizzazione a livello NUT3 e per il resto del territorio italiano (al di fuori della PAT si potrebbe operare eventualmente a livello NUT2 con dettaglio regionale), per passare ad una più aggregata (es. NUT0 di nazione, NUT1 di macroregione, NUT2 di regione) per le aree transfrontaliere. Questa situazione impone una serie di operazioni complesse di integrazione dati ed omogeneizzazione, che possono essere basate su stime esistenti di tavole IO a livello più disaggregato rispetto al NUT0 per singole nazioni (es. tavole regionali IRPET per l'Italia [40],[41]); su procedure di aggregazione/disaggregazione che utilizzano modelli gravitazionali; su coefficienti di origine/destinazione esogeni e operazioni di bilanciamento matriciale [26] (es. RAS [27]).

Altro aspetto fondamentale che interessa l'aggregazione e l'omogeneizzazione dei dati riguarda la definizione dei settori produttivi, soprattutto in un contesto di molteplicità di basi dati come quello in esame. A tal proposito, si sottolinea l'importanza del problema per prevenire inutili frammentazioni e/o aggregazioni inappropriate [16]. Nel primo caso si introducono, infatti, aumenti sostanziali nella complessità della rappresentazione matematica del modello, mentre nel secondo caso possono generarsi perdite di significatività del modello stesso. Questi effetti sono evidenti soprattutto negli usi trasportistici, che qui interessano, dei modelli MRIO, per i quali le scelte di aggregazione settoriale inappropriate possono condurre a ricomprendere insieme settori con elevati impatti/condizionamenti nei confronti del sistema dei trasporti con settori in cui gli stessi non sono altrettanto rilevanti. Va considerata, inoltre, la difficoltà di generare affidabili valori di trasformazione unitari (da valore economico a grandezza fisica) per gli scambi rappresentati nel modello.

Si può quindi concludere che, se anche in via teorica, un SSD come sopra definito – basato su una adeguata caratterizzazione zonale dei sistemi territoriali e in grado di

The difficulty of finding information to represent some typical situations of the logistic and distribution chain should also be generally considered, linked to groupage/de-groupage operations due to consolidation or breakages of load that affect the transport of goods from one origin to a final destination with various intermediate stops. An incorrect assessment of these situations, in fact, could lead to distorted estimates of the quantities of goods actually exchanged between the different areas represented in the model originally built starting from the currency flows.

In the definition of a DSS with the structure and the characteristics highlighted above the zoning needs must obviously intersect with those deriving from the availability and processability of the data. From this point of view we can see how the size of the basin and the level of territorial disaggregation required represent an aspect that decisively conditions the implementability of the models in question. In complex applications such as the one under consideration there is an intrinsic inhomogeneity in the geographical disaggregation of the various sub-models, also based on the characteristics of the corresponding available input data [4]. The various international databases (e.g. EORA-MRIO [35], EU-Eurostat [36], EXIOBASE [37], OECD [38], WIOD [39]), which allow the MRIO model to be fed, work at nation level (NUT0), but as already mentioned (see point 4.2.) this representation may be insufficient to guarantee compliance with the general objectives identified in point 4.1. Thus, for example, the basin configuration and the modelling requirements impose a zoning on the NUT3 level and on the rest of the Italian territory for Trentino and Alto Adige (outside the APT one could possibly work at NUT2 level with regional detail), to change to a more aggregate one (e.g. nation NUT0, macro-region NUT1, region NUT2) for cross-border areas. This situation requires a series of complex data integration and homogenisation operations, which can be based on existing estimates of IO tables at a more disaggregated level than NUT0 for individual nations (e.g. IRPET regional tables for Italy [40] [41]); on aggregation/disaggregation procedures that use gravitational models; on exogenous origin/destination coefficients and matrix balancing operations [26] (e.g. RAS [27]).

Another fundamental aspect regarding data aggregation and the homogenisation concerns the definition of productive sectors, above all in a context of multiplicity of databases such as the one in question. In this regard, the importance of the problem is underlined to prevent unnecessary fragmentation and/or inappropriate aggregation [16]. In the first case, substantial increases are introduced in the complexity of the mathematical representation of the model, while in the second case there may be losses of significance of the model itself. These effects are evident above all in transport uses, which are of interest here, of MRIO models, for which inappropriate sectorial aggregation choices can lead to encompassing sectors with high impacts/constraints on the transport system with sectors in which the same are not equally important. Furthermore, the difficulty of gener-

considerare le componenti dinamiche delle interazioni tra sistema economico e sistemi di trasporto in un contesto multimodale – può risultare in grado di soddisfare le richieste dei decisori, dal punto di vista pratico la sua concreta applicazione si scontra con una forte disomogeneità delle informazioni disponibili. L'elevata eterogeneità dei dati recuperabili in termini di segmentazione settoriale, di definizione spaziale e di unità di misure rende necessario l'utilizzo di molteplici processi di omogeneizzazione basati su dati aggregati esogeni. Vanno poi aggiunte alcune ulteriori necessarie assunzioni semplificative e/o estrapolazioni numeriche, per sopperire alla difficoltà di reperimento (se non mancanza) di alcune informazioni essenziali (basta qui ricordare il già citato tema della logistica). È evidente come queste circostanze possono compromettere sensibilmente la robustezza del modello e la sua affidabilità come strumento di previsione e di ausilio alle decisioni attuative per la pianificazione dei sistemi e delle infrastrutture di trasporto.

Infine, va considerato come la struttura e le articolazioni modellistiche prospettate siano caratterizzate da un importante grado di complessità, che ne condiziona di fatto la possibilità di una gestione diretta ed autonoma da parte degli utilizzatori finali. Le strutture modellistiche necessarie, ancorché realizzate in modo da soddisfare ai requisiti di chiarezza e completezza documentale, necessitano infatti di conoscenze altamente specialistiche per l'analisi e la lettura dei fenomeni oggetto di studio che difficilmente possono essere internalizzate dalle strutture che dipendono dai decisori politici e/o amministrativi.

5. Conclusioni

In questo lavoro sono stati approfonditi alcuni aspetti relativi all'utilizzo concreto di modelli Input/Output per produrre analisi e valutazioni previsionali della domanda di traffico delle merci su scala regionale/interregionale.

Nell'ambito della prospettiva dei modelli IO, dopo la trattazione dei concetti e delle relazioni di base per le versioni a singola regione (SRIO), sono stati richiamati quelli con maggiore utilizzabilità in campo trasportistico, cioè i modelli multiregionali con coefficienti fissi (IRIO e MRIO) ed elastici (RUBMRIO). Per essi sono state messe in evidenza le principali caratteristiche ed estensioni con la finalità di analizzare la possibilità di un impiego concreto ed efficace nelle valutazioni della domanda di trasporto delle merci sulle scale territoriali considerate.

È stato, quindi, mostrato come da un punto di vista strettamente teorico, i modelli IO nelle specificazioni multi-regionali MRIO o IRIO siano in grado di soddisfare ai requisiti di applicabilità relativi alla dimensione spaziale, poiché operano con una suddivisione del territorio di studio in zone e consentono una rappresentazione dei flussi merceologici intersettoriali tra le medesime. A tal proposito, tuttavia, sono state sottolineate le difficoltà di utilizzo di questi modelli in relazione a specifiche caratteristiche di estensione del bacino territoriale di riferimento; al-

ating reliable unit transformation values (from economic value to physical quantity) for the exchanges represented in the model must be considered.

It can therefore be concluded that, even if theoretically, a DSS as defined above - based on adequate zonal characterisation of the territorial systems and able to consider the dynamic components of the interactions between the economic system and transport systems in a multimodal context - can turn out to be capable of meeting the requests of the decision makers, from the practical point of view its concrete application clashes with a strong non homogeneity of the available information. The high heterogeneity of the recoverable data in terms of sectorial segmentation, spatial definition and unit of measures makes it necessary to use multiple homogenisation processes based on exogenous aggregate data. Some further necessary simplifying assumptions and/or numerical extrapolations must be added, to make up for the difficulty of finding (if not lacking) some essential information (just remember the aforementioned logistics topic). It is clear that these circumstances can significantly compromise the robustness of the model and its reliability as a tool for forecasting and aiding the implementing decisions for the planning of transport systems and infrastructures.

Finally, it should be considered how the structure and the modelling articulations envisaged are characterised by an important degree of complexity, which in fact conditions the possibility of direct and independent management by the end users. The necessary modelling structures, even if created in such a way as to satisfy the requirements of document clarity and completeness, in fact require highly specialised knowledge for the analysis and reading of the phenomena under study that can hardly be internalised by the structures that depend on political and/or administrative decision makers.

5. Conclusions

This work has examined in depth some aspects related to the real use of Input/Output models to produce analyses and forecast assessments of the traffic demand on regional/interregional scale.

Within the perspective of IO models, after dealing with the concepts and basic relationships for single-region versions (SRIO), reference was made to those with greater usability in the transport field, i.e. the multiregional models with fixed (IRIO and MRIO) and elastic coefficients (RUBMRIO). For them the main characteristics and extensions have been highlighted with the aim of analysing the possibility of a real and effective use in evaluating the demand for transporting goods on the territorial scales considered.

It was therefore shown that from a strictly theoretical point of view, the IO models in the multi-regional MRIO or IRIO specifications are able to satisfy the applicability requirements relating to the spatial dimension, since they work with a subdivision in areas of the study territory and

la disomogeneità della zonizzazione territoriale e della struttura economica; alla reperibilità di dati di base omogenei per la rappresentazione dei sistemi economici e di trasporto; alla difficoltà di tenere in adeguata considerazione i rilevanti effetti legati ai sistemi logistici ed alle relative dinamiche.

Per assicurarne la capacità previsionale, sono state evidenziate particolari estensioni dei modelli di base che consentono di includere in essi componenti dinamiche nella struttura del sistema economico analizzato. È stata quindi evidenziata l'importanza dell'introduzione dei coefficienti elastici, considerata dai modelli RUBMRIO, per consentire la effettiva esplicitazione delle relazioni di feedback tra sistemi economici e di trasporto, necessaria per operare su scenari evolutivi della domanda e dell'offerta di trasporto.

Per soddisfare pienamente questa richiesta, lo sviluppo e l'impiego di un modello di tipo IO deve inquadrarsi all'interno di una catena modellistica più articolata. In tal senso è stato delineato un Sistema di Supporto alle Decisioni basato su due componenti integrate, costituite da un modello RUBMRIO e da una sequenza di modelli per la valutazione dei costi e delle scelte modali nei sistemi di trasporto. È stato poi mostrato come l'intera struttura modellistica ipotizzata vada in generale estesa anche alla componente passeggeri, per effetto della coesistenza delle componenti su alcune modalità di trasporto.

Inoltre, l'elevata eterogeneità dei dati – sempre che si riesca a reperirne – recuperabili in termini di segmentazione settoriale, di definizione spaziale e di unità di misurare rendono però necessari molteplici processi di omogeneizzazione basati su informazioni aggregate esogene, insieme ad assunzioni o estrapolazioni indispensabili per integrare o sostituire informazioni essenziali (ad esempio quelle relative ai sistemi logistici). Queste circostanze condizionano sensibilmente la robustezza del SSD e la sua affidabilità come reale strumento pratico descrittivo e previsionale.

In definitiva, i modelli IO rappresentano sicuramente uno strumento importante di analisi e di ricerca nel campo della modellazione dei trasporti, con particolare riguardo al trasporto delle merci. Ciò nonostante, le analisi fin qui riferite evidenziano, secondo gli autori di questo lavoro, l'esistenza oggi di reali ostacoli all'uso dei modelli IO nelle concrete attività di pianificazione dei sistemi e delle infrastrutture di trasporto.

Ringraziamenti

Questo lavoro, come i due precedenti [1],[2], rientra nell'attività di studio in corso presso il DICAM dell'Università di Trento finanziata dalla Provincia Autonoma di Trento PAT (convenzione PAT - DICAM UNITN 8984/896-216). Gli autori ringraziano il prof. Cosimo VITALE (Università di Salerno) e il prof. Enrico ZANINOTTO (Università di Trento) per le proficue discussioni e i suggerimenti da loro ricevuti.

allow representing the intersectorial product flows between them. In this regard, however, the difficulties in using these models in relation to specific extension features of the reference territorial basin were underlined; to the inhomogeneity of territorial zoning and economic structure; to the availability of homogeneous basic data for the representation of economic and transport systems; to the difficulty of adequately taking into account the relevant effects related to logistics systems and the related dynamics.

Particular extensions of the basic models have been highlighted to ensure the predictive ability that allow them to include dynamic components in the structure of the analysed economic system. The importance of the introduction of elastic coefficients, considered by the RUBMRIO models, was therefore highlighted, to allow the effective clarification of feedback relations between economic and transport systems, required to operate on evolutionary scenarios of transport demand and supply.

To fully satisfy this demand, the development and use of an IO type model must be set within a more articulated model chain. In this sense, a Decision Support System was established based on two integrated components, consisting of a RUBMRIO model and a sequence of models for evaluating costs and modal choices in transport systems. It was then shown that the entire hypothetical modelling structure should generally be extended also to the passenger component, due to the coexistence of the components on some transport modes.

Moreover, the high heterogeneity of the data - if found - recoverable in terms of sectorial segmentation, spatial definition and unit of measures, however, make it necessary to apply multiple homogenisation processes based on aggregate exogenous information, together with indispensable assumptions or extrapolations to integrate or replace essential information (for example that related to logistics systems). These circumstances significantly affect the robustness of the DSS and its reliability as a real descriptive and forecasting practical tool.

Ultimately, IO models certainly represent an important analysis and research tool in the field of transport modelling, with particular regard to the transport of goods. Nonetheless, according to the authors of this paper, the analyses referred to so far highlight the existence today of real obstacles to the use of IO models in the concrete planning of transport systems and infrastructures.

Acknowledgements

This work, like the previous two [1],[2], is part of the ongoing study activity at the DICAM of the University of Trento funded by the Autonomous Province of Trento APT (APT - DICAM UNITN 8984/896-216 Agreement). The authors thank prof. Cosimo VITALE (University of Salerno) and prof. Enrico ZANINOTTO (University of Trento) for the fruitful discussions and suggestions received.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] MAURO R., CATTANI S., (2018), "Previsioni del traffico delle merci al Brennero/*Freight traffic forecasts at the Brenner pass*", INGEGNERIA FERROVIARIA. - ISSN 0020-0956, pp. 1-24.
- [2] MAURO R., POMPIGNA A., (2019), "Modelli aggregati dinamici per la previsione della domanda delle merci e dello split modale strada/ferrovia al Brennero/*Dynamic aggregate models for forecasting of freight demand and road/railway modal split at the Brenner*", INGEGNERIA FERROVIARIA 2019 (7-8), pp. 555-589.
- [3] TAVASSZY L., De JONG G., (2014), "*Modelling freight transport*". Elsevier.
- [4] CASCETTA E., MARZANO V., PAPOLA A., VITILLO R., (2013), "*A multimodal elastic trade coefficients MRIO model for freight demand in Europe*". In *Freight Transport Modelling* (pp. 45-68). Emerald Group Publishing Limited.
- [5] LEONTIEF W., (1986), "*Input-Output Economics*". Oxford University Press.
- [6] MILLER R. E. BLAIR P. D., (2009), "*Input-output analysis: foundations and extensions*". Cambridge University press.
- [7] DIXON P. B., JORGENSEN D. (Eds.), (2012), "*Handbook of computable general equilibrium modeling*". Newnes.
- [8] BURFISHER M. E., (2017), "*Introduction to computable general equilibrium models*". Cambridge University Press.
- [9] ROBSON E. N., WIJAYARATNA K. P., DIXIT, V. V., (2018), "*A review of computable general equilibrium models for transport and their applications in appraisal*". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116, 31-53.
- [10] LAKSHMANAN T. R., (2011), "*The broader economic consequences of transport infrastructure investments*". *Journal of transport geography*, 19(1), 1-12.
- [11] LEE, M. K. YOO S.-H., (2016), "*The role of transportation sectors in the Korean national economy: An input-output analysis*". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 93, 13-22.
- [12] SCHAFER W. A., (1999), "*Regional impact models. Regional Research Institute*", West Virginia University.
- [13] TIMMER M. P., DIETZENBACHER E., LOS B., STEHRER R., DE VRIES G. J., (2015), "*An illustrated user guide to the world input-output database: the case of global automotive production*". *Review of International Economics*, 23(3), 575-605.
- [14] LEONTIEF W., (1936), "*Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States*". *Review of Economics and Statistics*, 18, 105-125.
- [15] LEONTIEF W., (1941), "*The Structure of American Economy 1919-1939*". New York: Oxford University Press.
- [16] ISARD W., (1951), "*Interregional and regional input-output analysis: a model of a space-economy*". *The review of Economics and Statistics*, 318-328.
- [17] CHENERY H., (1953), "*The structure and growth of the Italian economy*". *Regional Analysis* (Chenery H., Clark P., eds.), United States Mutual Security Agency, Rome.
- [18] MOSES L.N., (1955), "*The stability of interregional trading patterns and input-output analysis*". *American Economic Review*, 45, 803-832.
- [19] YU H., (2018), "*A review of input-output models on multisectoral modelling of transportation-economic linkages*". *Transport Reviews*, 38(5), 654-677.
- [20] CASCETTA E., (2009), "*Transportation systems analysis: models and applications*". Springer Science & Business Media.
- [21] MIN Y., KOCKELMAN K. M., ZHAO Y., JIN L., (2001), "*Models of location, trade & travel: an application of random utility based interzonal input-output models*". In *Proceedings of the 48th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International*.
- [22] TIMMERMANS H. J., (2003), "*The saga of integrated land use-transport modeling: how many more dreams before we wake up?*". In *Proceedings of the International Association of Traveler Behavior Conference*.
- [23] DE LA BARRA T., (1989), "*Integrated Land Use and Transport Modelling*". Cambridge University Press.
- [24] JIN L., KOCKELMAN K., ZHAO Y., (2003), "*Tracking Land Use, Transport, and Industrial Production using Random-Utility based Multizonal Input-Output Models: Applications for Texas Trade*". *Proceedings of the 82nd TRB Meeting*, Washington.

- [25] BACHMANN C., KENNEDY C., ROORDA M. J., (2014), “*Applications of random-utility-based multi-region input-output models of transport and the spatial economy*”. *Transport Reviews*, 34(4), 418-440.
- [26] DEMING W. E., STEPHAN F. F., (1940), “*On a least squares adjustment of a sampled frequency table when the expected marginal totals are known*”. *The Annals of Mathematical Statistics*, 11(4), 427-444.
- [27] BACHARACH M., (1970), “*Biproportional matrices & input-output change*”. Cambridge University Press, Cambridge.
- [28] European Commission, (2007), Regulation (EC) No 1304/2007 of 7 November 2007 amending Directive 95/64, Regulation (EC) No 1172/98, Regulations (EC) No 91/2003 and (EC) No 1365/2006 with respect to the establishment of NST 2007 as the unique classification for transported goods in certain transport modes.
- [29] European Commission, (2018), “*Transalpine Freight Traffic Flows: Summary Report on CAFT-Surveys 2014/15 Alpine Arc from Ventimiglia to Wechsel*”, European Commission, DG MOVE and Swiss Federal Office of Transport (FOT).
- [30] D’ANTONIO M., (1980), “*Analisi delle interdipendenze settoriali: teoria ed applicazioni empiriche*”, Liguori, Napoli.
- [31] MÜLLER S., KLAUENBERG J., WOLFERMANN A., (2015), “*How to translate economic activity into freight transportation?*”. *Transportation Research Procedia*, 8, 155-167.
- [32] TAVASSZY L. A., SMEENK B., RUIJGROK C. J., (1998), “*A DSS for modelling logistic chains in freight transport policy analysis. International Transactions in Operational Research*”, 5(6), 447-459.
- [33] ALISES A., VASSALLO J. M., GUZMÁN A. F., (2014), “*Road freight transport decoupling: A comparative analysis between the United Kingdom and Spain*”. *Transport Policy*, 32, 186-193.
- [34] ALISES A., VASSALLO J. M., (2015), “*Comparison of road freight transport trends in Europe. Coupling and decoupling factors from an Input-Output structural decomposition analysis*”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, 141-157.
- [35] EORA-MRIO: <http://worldmrio.com/> [accesso 20/09/2019].
- [36] EU-Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/esa-supply-use-input-tables> [accesso 20/09/2019].
- [37] EXIOBASE: <http://www.exiobase.eu/> [accesso 20/09/2019].
- [38] OECD/WTO: <http://www.oecd.org/trade/input-outputtables.htm> [accesso 20/09/2019].
- [39] WIOD: http://www.wiod.org/new_site/home.htm [accesso 20/09/2019].
- [40] PANICCIÀ R., ROSIGNOLI S., (2018), “*A methodology for building a multiregional Supply and Use Table for Italy*”. *Studi e Approfondimenti, IRPET*.
- [41] IRPET: <http://www.irpet.it/matrici-input-output-e-sam-regionali> [accesso 20/09/2019].