

CALIBRAZIONE AGGREGATA DI MODELLI MRIO PER LA SIMULAZIONE DELLA DOMANDA MERCI A SCALA NAZIONALE*

Antonio Comi, Giuseppe Tardioli

Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa "Mario Lucertini", Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Viale del Politecnico 1, 00133,

Roma, Italia

comi@ing.uniroma2.it

Abstract

In this work, the Multi Regional Input-Output (MRIO) model was calibrated using aggregate datasets and applied to assess ex ante the economic impacts due to the implementation of new transportation infrastructures. The models were calibrated using all data available from national and regional statistical sources. The paper also reports an application to the appraisal of new infrastructures in Italy. Two scenarios were assessed: short and long-medium periods.

KEY WORDS: *Multi-Regional Input Output Model, Freight Demand, Aggregate Calibration, Scenario Assessment, Freight Transport.*

1. Introduzione

Le politiche della mobilità contribuiscono al benessere individuale, alla crescita economica ed alla qualità della vita. Esse, infatti, permettendo la mobilità delle persone e delle merci, possono influenzare lo sviluppo di attività economiche e la loro dislocazione sul territorio, in quanto ne determinano l'accessibilità.

Il costo di trasporto è uno dei fattori che concorrono alla produzione, e in quanto tale può modificare la produttività delle aziende. Inoltre, poiché minore è il costo di produzione minori sono i prezzi dei beni e dei servizi che un'azienda può offrire al mercato, il costo di trasporto può incidere anche sulla competitività [1].

Quindi, se si riconosce il legame che esiste tra il sistema dei trasporti e gli obiettivi strategici della sostenibilità (economica, sociale ed ambientale) che costituiscono la sfida del secolo, appare chiaro che le politiche della mobilità hanno un ruolo centrale [2, 3]. A tale proposito, un

numero significativo di modelli e metodologie è stato proposto nel corso degli anni, sia per quantificare gli impatti economici dei piani di trasporto merci sull'economia, sia per una corretta stima dei flussi di merci data la struttura economica / industriale sottostante. In questo contesto, l'approccio multiregionale input-output (MRIO) è ben sviluppato nelle sue basi teoriche e adottato nella pratica [4], anche se si riscontrano alcune limitazioni riconducibili alla disponibilità di dati di dettaglio necessari per la sua messa a punto. In questo contesto, in questa nota viene messa a punto ed applicata una procedura che permette la calibrazione aggregata di modelli Input-Output Multi Regionali utilizzando i dati da fonte ("facilmente" reperibili) per la valutazione degli effetti economici indotti dall'implementazione di nuove infrastrutture e servizi di trasporto.

Pertanto, uno degli obiettivi del presente lavoro è stato quello di specificare, calibrare e validare un modello Input-Output su scala nazionale per la stima della produzione

* Il documento nella sua interezza è frutto del lavoro congiunto dei due autori. Tuttavia, il coordinamento della ricerca, la formulazione metodologica e modellistica, l'analisi dello stato dell'arte e l'analisi critica dei risultati sono principalmente riconducibili ad Antonio Comi, mentre l'analisi dei dati e l'implementazione degli scenari di simulazione principalmente a Giuseppe Tardioli.

per uno scenario di riferimento [2015] e di previsione relativo al 2025 [orizzonte temporale di medio periodo] e al 2030 [orizzonte temporale di lungo periodo].

Al fine di realizzare una stima più corretta, si è fatto ricorso ad una metodologia basata su modelli e metodi quantitativi di simulazione del sistema dei trasporti, sull'utilizzo di dati socio-economico a livello nazionale e regionale rilasciati da istituti di statistica e ricerca (ISTAT, Istituto Regionale Programmazione Economica della Toscana - IRPET) e su dati riguardanti ipotesi di crescita macroeconomica (Istituto di Studi e Analisi Economica - ISAE).

Questa nota è organizzata come segue: nel par. 2, sono richiamati i modelli Input-Output Multi-Regionali, quindi il par. 3 presenta la procedura di calibrazione e validazione sviluppata utilizzando i dati da fonte disponibili, il par. 4 riassume i risultati dell'applicazione per la stima degli effetti sulla produzione regionale dovuti all'implementazione di nuove infrastrutture e servizi nel territorio nazionale. Infine, nel par. 5 sono trattate alcune conclusioni sul lavoro svolto.

2. I modelli Input Output Multi-Regionale (MRIO)

I modelli Input-Output prendono spunto dalla rappresentazione esplicita delle interdipendenze esistenti fra i diversi settori dell'economia (modelli intersettoriali) per simulare le quantità di beni prodotte e scambiate tra le diverse zone. All'interno di questo gruppo sono collocabili diversi modelli che si differenziano rispetto agli elementi del sistema economico, a seconda che vengano considerati rigidi o elastici rispetto alla simulazione (implicita o esplicita) del sistema legato alle tecnologie, ai parametri di commercio o al sistema dei prezzi.

Nel seguito, l'attenzione sarà rivolta ai modelli Input-Output (I/O) con un livello di dettaglio regionale (MRIO, Multi Regional Input Output) che rappresentano una delle formulazioni più generali ed hanno avuto larga applicazione sia a livello nazionale che internazionale nel campo dell'ingegneria dei trasporti [4-8] ed in altri settori economici, quali ad esempio quello energetico, della produzione industriale [9-12]. L'elaborazione degli schemi contabili e analitici che costituiscono gli elementi della moderna analisi Input-Output si deve all'economista Wassily Leontief [13]. Questi, già dalla seconda metà degli anni '30, ne elaborò le basi nell'ambito dei sistemi economici statali americani. I modelli Input-Output, in seguito allo sviluppo economico e all'industrializzazione, sono stati ampiamente approfonditi e sviluppati negli anni '70 ed '80 come strumento per lo studio dei sistemi economici nazionali e regionali [14].

In Italia, esiste da tempo una vasta tradizione letteraria sui modelli Input-Output, prevalentemente impiegati come strumento di analisi economica a livello nazionale

e regionale [15].

Nella realtà territoriale e commerciale di una determinata area di studio (ad esempio, nazione) diversi beni/servizi possono essere prodotti e/o consumati in regioni differenti, per cui è necessario introdurre dei modelli che tengano conto degli scambi commerciali tra zone distinte. I modelli Multi-Regional Input/Output (nel seguito MRIO) consentono di comprendere le relazioni economiche che intercorrono tra le diverse regioni di una nazione attraverso lo studio in parallelo delle tavole I/O riferite alle singole regioni facenti parte dell'area di studio. Ipotizzando di suddividere l'area di studio in n_z zone (regioni), in cui le attività di produzione e consumo sono articolate in n_s settori, le attività di ciascun settore si ritengono essere omogenee rispetto ai comportamenti economici. L'offerta complessiva (produzione e importazione) del settore m nella zona i risulta uguale alla domanda totale (intermedia e finale) del settore m prodotta nella zona i , data dalla somma della domanda intermedia (in qualunque zona e qualunque settore), della domanda finale (in qualunque zona) e delle esportazioni [16]:

$$X_i^m + J_{reg,i}^m + J_{est,i}^m = \sum_n \sum_j Z_{ij}^{mn} + Y_i^m + Y_{reg,i}^m + Y_{est,i}^m \quad \forall m, i \quad (1)$$

dove

- X_i^m è il valore della produzione totale del settore m nella zona i ,
- $J_{reg,i}^m$ è il valore delle importazioni del settore m nella zona i dalle altre regioni (zone) dell'area di studio;
- $J_{est,i}^m$ valore delle importazioni del settore m nella zona i dall'esterno dell'area di studio (estero);
- Z_{ij}^{mn} valore della domanda intermedia del settore m prodotta nella zona i e necessaria per la produzione del (consumata dal) settore n nella zona j ;
- $\sum_n \sum_j Z_{ij}^{mn}$ valore della domanda intermedia della produzione del settore m necessaria per la produzione nella zona i ,
- Y_i^m valore della domanda finale del settore m nella zona i ,
- $Y_{reg,i}^m$ valore delle esportazioni del settore m dalla zona i verso tutte le altre regioni (zone) dell'area di studio;
- $Y_{est,i}^m$ valore delle esportazioni del settore m della zona i verso l'esterno dell'area di studio (estero).

Per tener conto che regioni diverse possono avere tecnologie di produzione diverse per la generica zona (regione) i , la dipendenza tra i valori della produzione e della domanda intermedia è espressa come:

$$a_i^{mn} = \frac{K_i^{mn}}{X_i^n} \quad (2)$$

da cui:

$$K_i^{mn} = a_i^{mn} X_i^n \quad (3)$$

Il termine a_i^{mn} è definito coefficiente tecnico della zona i , ed esprime il valore del prodotto del settore m (input) necessario per produrre un'unità di valore del settore n (output) dipendente dalle "tecnologie" produttive disponibili nella zona i .

Per simulare gli scambi di beni/servizi che avvengono tra le diverse regioni (zone) considerate, nei modelli MRIO vengono introdotti i coefficienti di scambio (o di commercio). In accordo con la formulazione proposta da Isard [17], il generico coefficiente di scambio t_{ij}^{mn} esprime la percentuale di beni servizi del settore m della regione i utilizzati per la produzione di beni servizi del settore n nella regione j . Chenery [18] e Moses [19] ipotizzarono che questi coefficienti fossero indipendenti dal settore economico di destinazione, ovvero che:

$$t_{ij}^{mn} = t_{ij}^m \quad t_{est,j}^{mn} = t_{est,j}^m \quad \forall n \quad (4)$$

Da quanto detto ne emerge che esiste il seguente vincolo di congruenza:

$$t_{est,j}^m + \sum_i t_{ij}^m = 1 \quad (5)$$

dove $t_{est,j}^m$ rappresenta la percentuale di acquisizione dall'estero e $\sum_i t_{ij}^m$ invece la percentuale di acquisizione dall'interno dell'area di studio.

Da quanto detto, emerge che per l'applicazione di un sistema di modelli così fatto è necessario disporre di un adeguato sistema informativo con caratteristiche di coerenza, rilevanza e completezza a livello sub-nazionale (regione), e di avere una uniformità quanto più possibile dei dati disponibili da fonte. Infatti, ad oggi, da fonte è possibile disporre solamente di tavole Input-Output a livello nazionale. Pertanto, è stato necessario omogeneizzare i dati al fine di eliminare possibili difformità rispetto alla fonte, agli anni ed al metodo di raccolta (database).

3. La calibrazione e la validazione del modello MRIO

In letteratura sono presenti due macro-classi di modelli MRIO, suddivisi a seconda che i coefficienti di scambio siano ritenuti costanti (una regione importa/esporta sempre la stessa percentuale di beni/servizi dalle altre regioni) oppure elastici (le percentuali di importazioni/esportazioni tra diverse regioni variano rispetto ad alcune variabili, quali per esempio il prezzo di vendita, i costi di trasporto, ecc.).

Riferendosi ai modelli MRIO a coefficienti costanti, in essi si ipotizza che gli elementi delle matrici dei coefficienti

tecniche \mathbf{A} e dei coefficienti di scambio \mathbf{T} siano costanti e noti (ad esempio pari ai rispettivi valori attuali). Sotto tali ipotesi [15], è possibile esplicitare la (1) in termini di produzione, così come segue:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{TA})^{-1} [\mathbf{T} (\mathbf{Y} + \mathbf{Y}_{est})] \quad (6)$$

dove \mathbf{I} è la matrice identità.

La eq. (6) permette di fare delle previsioni sulla produzione regionale per ciascun settore a partire da ipotesi di scenario sul vettore dei consumi finali \mathbf{Y} e delle esportazioni \mathbf{Y}_{est} . Una volta ottenuto, in tal modo, il vettore \mathbf{X} , è possibile calcolare una stima della domanda O-D di trasporto merci in quantità.

Questo modello è noto come modello MRIO ad importazioni endogene, in quanto un aumento di domanda finale è bilanciato con un aumento di produzione interna e di importazioni estere.

Ciò detto mette in evidenza che per l'utilizzo di un modello così fatto per previsioni di scenario necessita della determinazione di:

- matrice dei coefficienti tecnici (\mathbf{A}),
- matrice dei coefficienti di scambio (\mathbf{T});
- vettore della domanda finale (\mathbf{Y});
- vettore delle esportazioni con l'estero (\mathbf{Y}_{est}).

Nel seguito sarà descritta una procedura per la determinazione delle variabili di cui sopra, utilizzando le informazioni disponibili da fonte, i quali sono descritti nel paragrafo seguente (par. 3.1.).

3.1. I dati disponibili

Come detto, per l'applicazione dei modelli MRIO occorre disporre innanzitutto delle tavole intersettoriali dei sottosistemi regionali, le quali possono essere ottenute in differenti modi:

- ricostruzione diretta (metodi *diretti* o metodi survey);
- disaggregazione della tavola intersettoriale nazionale (metodi *indiretti* o metodi non survey).

I metodi *diretti* prevedono che i flussi degli scambi intersettoriali vengano rilevati per ogni area regionale; in questo modo, la tavola nazionale dovrebbe essere ricavabile successivamente per aggregazione delle tavole intersettoriali regionali. Questi metodi, condotti a livello degli operatori regionali, implicano però un processo lungo e costoso e sono stati, in genere, applicati all'esterno dei sistemi statistici nazionali, a fronte di specifiche esigenze di analisi a livello regionale.

In particolare, in Italia, esperienze di questo tipo hanno offerto solo una copertura parziale del complesso delle regioni in cui si articola il sistema economico nazionale. Inoltre, se per differenti regioni sono applicati differenti metodi di costruzione diretta, non è garantita la confrontabilità completa tra i risultati che riguardano le singole

regioni; in aggiunta, se le ricostruzioni non sono sincrone, subentrano anche problemi di confrontabilità temporale. I metodi *indiretti* si basano invece sulla derivazione delle tavole I/O regionali mediante adattamento o regionalizzazione delle tavole I/O disponibili a livello nazionale.

Queste tecniche hanno lo scopo di regionalizzare la tavola I/O nazionale senza ricorrere ad indagini dirette, ma utilizzando dati da fonte disponibili a livello regionale.

Per tutti questi motivi, i metodi di costruzione indiretta sembrano essere preferibili. Infatti, utilizzando i dati ufficiali di contabilità regionale, che in genere sono prodotti dagli uffici statistici nazionali, e applicando un metodo unitario per tutte le regioni di un sistema economico nazionale, si ottengono risultati omogenei dal punto di vista metodologico, e quindi più correttamente confrontabili.

Inoltre, tra le tecniche di indagine indiretta, le più utilizzate tendono a scomporre i coefficienti tecnici in due componenti, i coefficienti di scambio *intranazionale* e coefficienti di *esportazione*. Lo svantaggio dei metodi indiretti sembra comunque essere quello di appiattire le peculiarità regionali e le eventuali differenze strutturali tra i sottosistemi economici regionali.

Un approccio *intermedio* consiste nell'applicare i metodi di ricostruzione indiretta della tavola regionale integrandoli con alcune informazioni specifiche che le fonti ufficiali di solito non producono. Tale metodologia si basa sull'adattamento della tavola I/O nazionale utilizzando, oltre ai dati comunemente disponibili a livello regionale, anche un insieme di dati provenienti da indagini dirette appositamente realizzate.

Le tavole I/O utilizzate nel presente studio sono state ottenute tramite un approccio intermedio consistente nell'utilizzare sia il metodo indiretto di costruzione delle tavole regionali, mediante adattamento di quella nazionale, sia utilizzando dati disponibili a livello regionale:

- tavole I/O nazionali prodotte dall'ISTAT relative agli anni 1995, 2000, 2005, 2010-2014 in valore (milioni di €);
- tavole regionali anno 1991 dell'IRPET (Istituto Regionale Programmazione Economica della Toscana) in valore (miliardi di lire);
- dati censimento dell'industria e dei servizi rilasciato dall'ISTAT (anni 1981, 1991, 1996, 2001, 2005, 2011);
- conti economici nazionali prodotti dall'ISTAT (1970-2005, 1997-2008, 1995-2018) in valore (milioni di €).

Per quanto riguarda la tavola I/O nazionale, essa viene elaborata periodicamente dall'ISTAT; attualmente è disponibile la Tavola Intersettoriale dell'Economia Italiana relativa all'anno 2014.

Invece, relativamente alle tavole I/O disponibili a livello regionale, esse sono prodotte dall'IRPET. I dati raccolti

(ISTAT, IRPET, ISAE ed EUROSTAT) sono stati aggregati per tipologia settoriale omogenea individuando 15 branche merceologiche aggregate (vedi Tab. 1).

	DENOMINAZIONE
1	Agricoltura
2	Prodotti energetici
3	Industria mineraria
4	Chimica e farmaceutica
5	Prodotti in metallo e macchine
6	Mezzi di trasporto
7	Alimentari e tabacco
8	Tessile, abbigliamento, calzature, pelli e cuoio
9	Carta e stampa
10	Altri prodotti industriali
11	Costruzioni ed opere pubbliche
12	Commercio, alberghi e pubblici esercizi
13	Trasporti e comunicazioni
14	Credito ed assicurazione
15	Altri servizi

Tab. 1 - Classi merceologiche.
(fonte: propria elaborazione)

3.2 I coefficienti tecnici

Per ciascun settore merceologico (vedi Tab. 1) sono stati messi a punto dei modelli regressivi per la stima dei coefficienti tecnici regionali. Il generico elemento della matrice **A**, a_i^{mn} è pari:

$$a_i^{mn} = \sum_h \beta_h \cdot X_{hi}^{mn} = \beta_{ad}^m \cdot AD_i^m + \beta_{ad}^n \cdot AD_i^n + \beta_{pil}^m \cdot (PIL_i^m / AD_i^m) + \beta_{asa} \cdot ASA \quad [7]$$

dove

- AD_i^m sono gli addetti del settore m nella zona i;
- AD_i^n sono gli addetti del settore n nella zona i;
- PIL_i^m è il Prodotto Interno Lordo (PIL) del settore m nella zona i;
- ASA è una variabile dummy che vale 1 se $m = n$, 0 altrimenti.
- β_h sono i parametri da calibrare.

La tabella (vedi Tab. 2) riporta i valori dei parametri calibrati. Per alcune regioni, quali Lazio e Lombardia, si è reso necessario introdurre variabili ASA regionali.

Questa problematica è da attribuire al fatto che l'Italia è uno dei Paesi dell'Unione Europea con le più alte disparità a livello regionale; a fronte di regioni con un Prodotto Interno Lordo considerevole dal punto di vista nazionale, esistono delle realtà regionali con un PIL molto basso.

Mobilità, Accessibilità, Infrastrutture

Settore <i>n</i>	agricoltura	prod. energetici	ind. mineraria	chim. e far.ca	prod. in metallo	mezzi di trasporto	alim. e tabacchi	tessile, abb. calz.	carta e stampa	altri prod. industriali	costruz. ed op. pubbl.	commercio	trasporti e comunic.	credito ed assicuraz.	altri servizi
β_{pil}	1,32E-07		1,88E-07			3,92E-07	1,9E-07	2,63E-07		3,27E-07		1,79E-07	2E-07		8,67E-08
<i>t-st</i>	5,512		4,512			4,872	2,300	8,878		8,153		8,372	7,276		9,014
β_{pil / add_m}				0,001	0,008				0,001						
<i>t-st</i>				4,012	2,094				3,676						
β_{pil / add_n}											0,040			0,002	
<i>t-st</i>											9,921			1,994	
$\beta_{(add_n / add_m)}$	0,0154						0,014	0,0007		0,002		0,0001	0,0004		7,85E-05
<i>t-st</i>	4,680						9,022	2,326		3,840		2,079	1,471		3,931
$\beta_{(add_m / add_n)}$			0,003												
<i>t-st</i>			11,723												
β_{add_m}	1,65E-08				1,31E-07					3,14E-08			2,34E-07		1,65E-08
<i>t-st</i>	1,732				3,912					1,339			10,052		1,732
β_{add_n}	2,25E-07		4,38E-07	8,22E-08				3,77E-07							2,25E-07
<i>t-st</i>	2,217		5,638	5,496				5,741							
$\beta_{asa (m=n)}$	0,1504	0,206	0,227	0,305	0,214	0,078	0,137	0,294	0,315	0,220		0,053	0,096		0,063
<i>t-st</i>	22,035	55,720	29,705	41,729	24,010	6,120	8,961	54,147	50,566	29,496		9,934	13,877		25,755
$\beta_{asa (j=Lomb.)}$			-0,026			-0,077	-0,016	-0,037		-0,047					
<i>t-st</i>			-2,259			-3,808	-0,702	-4,517		-4,163					
$\beta_{asa (j=Lazio)}$						-0,0178									
<i>t-st</i>						-1,108									
ρ^2	0,75	0,92	0,81	0,88	0,70	0,34	0,46	0,92	0,91	0,80	0,35	0,45	0,52	0,33	0,76

Tab. 2 - Modelli per la stima dei coefficienti tecnici.
(fonte: propria elaborazione)

3.3. I coefficienti di scambio

Per ciascun settore merceologico (vedi Tab. 1) sono stati messi a punto dei modelli regressivi per la stima dei coefficienti di scambio.

È bene evidenziare che i coefficienti di scambio vengono normalmente divisi in tre classi distinte:

- scambi intraregionali ($t_{i,i}^m$), percentuale di acquisizione di un'unità di valore all'interno della stessa area di studio (commercio intraregionale);
- scambi nazionali interregionali ($t_{i,j}^m$), percentuale di acquisizione di unità di valore dalle altre aree di studio (le 20 regioni italiane);
- scambi extranazionali ($t_{est,i}^m$), percentuale di acquisizione di unità di valore dall'esterno dell'area di studio (Unione Europea e Paesi extracomunitari).

Riprendendo quanto detto al par. 2, i coefficienti $t_{est,i}^m$ e $t_{i,i}^m$ possono essere stimati direttamente dalle tavole I/O regionali, infatti si ha [15]:

$$t_{est,i}^m = \frac{J_{est,i}^m}{\sum_n K_i^{mn} + Y_i^m} \quad t_{i,i}^m = 1 - \frac{J_{est,i}^m + J_{reg,i}^m}{\sum_n K_i^{mn} + Y_i^m} \quad (8)$$

In particolare, i coefficienti di scambio $t_{i,j}^m$, ovvero le percentuali di acquisizione dalle diverse zone i del prodotto (merce) m utilizzato nella zona j possono essere ottenute mediante un modello di utilità aleatoria di tipo logit (di pa-

rametro θ) che simula la scelta della zona di acquisizione data la zona di impiego j :

$$t_{i,j}^m = \exp(V_{i,j}^m / \theta) / \sum_{k \in I_j^m} \exp(V_{k,j}^m / \theta) \quad (9)$$

dove

- I_j è l'insieme di tutte le zone j da cui è possibile acquisire il prodotto m ;
- $V_{i,j}^m$ è l'utilità sistematica associata all'acquisizione del prodotto m dalla zona i per utilizzarlo nella zona j .

L'utilità sistematica $V_{i,j}^m$ è stata espressa come combinazione lineare di attributi specifici della zona di acquisizione e di variabili di trasporto, così come segue:

$$V_{i,j}^m = \beta_1 \cdot AD_i + \beta_2 \cdot PIL_i + \beta_3 \cdot Y_{i,j} \quad (10)$$

dove

- AD_i sono gli addetti totali alla produzione nella zona i ;
- PIL_i è il Prodotto Interno Lordo (PIL) della zona i ;
- $Y_{i,j}$ è la *logsum* relativa alla relazione (i, j) che è stata stimata come somma delle funzioni di utilità sistematica relative al modo di trasporto disponibile per andare da i a j ;
- β_h sono i parametri calibrati e riportati in tabella (vedi Tab. 3).

	β_1	β_2	β_3
valore	0,0425	0,4159	3,3693
ρ^2	0,75		

Tab. 3 - Coefficienti modello per lo scambio interregionale.
(fonte: propria elaborazione)

L'attributo $Y_{i,j}$ è espresso come:

$$Y_{i,j} = \ln \sum_{\text{modo}} \exp(V_{i,j}^{\text{modo}}) \quad (11)$$

in cui $V_{i,j}^{\text{modo}}$ è l'utilità sistematica associata all'alternativa modale *modo*.

L'utilità sistematica associata a ciascun modo di trasporto è stata espressa come segue:

- strada

$$V_{i,j}^{\text{strada}} = \beta_{t_s} \cdot T_{i,j}^{\text{strada}} + \beta_{c_s} \cdot C_{i,j}^{\text{strada}}$$

- combinato strada-ferrovia

$$V_{i,j}^{\text{ferrovia}} = \beta_{t_f} \cdot T_{i,j}^{\text{ferrovia}} + \beta_{c_f} \cdot C_{i,j}^{\text{ferrovia}} + \beta_f \cdot FERRO$$

- combinato strada-mare

$$V_{i,j}^{\text{mare}} = \beta_{t_m} \cdot T_{i,j}^{\text{mare}} + \beta_{c_m} \cdot C_{i,j}^{\text{mare}} + \beta_m \cdot MARE$$

dove **T** e **C** sono i tempi ed i costi monetari di viaggio $[i, j]$, mentre **FERRO** e **MARE** sono le variabili specifiche dell'alternativa (ASA), rispettivamente per la modalità combinato strada-ferrovia e combinato strada-mare. I valori dei parametri sono riportati in tabella (vedi Tab. 4).

		Strada	Ferrovia	Mare
β_t	Tempo di viaggio [h ⁻¹]	-0,1219	-0,0465	-0,1037
β_c	Costo di viaggio [€ ⁻¹]	-0,0013	-0,0009	-0,0014
β_{ASA}	ASA [0/1]		-1,5245	1,1365
ρ^2			0,80	

Tab. 4 - Modello di ripartizione modale.
(fonte: propria elaborazione)

3.4. Domanda finale ed esportazioni con l'estero

Nei vettori della domanda finale (**Y**) e delle esportazioni (**Y_{est}**) sono considerati i seguenti settori:

- consumi delle famiglie, che rappresenta il valore della domanda finale relativa ai consumi privati;
- consumi pubblici, che rappresenta il valore della domanda finale relativa ai consumi di enti pubblici o collettivi;
- investimenti, che rappresenta il valore degli investimenti fissi (lordi);
- variazione scorte, che rappresenta il valore della variazione di scorte (capitale circolante immobilizzato);
- esportazioni con l'estero, che rappresenta il valore dei beni esportati al di fuori dell'area di studio.

Sia la domanda finale che le esportazioni con l'estero si sono assunte funzione della popolazione:

$$Y_i = f(res_i) \quad (12)$$

in cui *res_i* è la popolazione residente della zona di traffico i nel caso di domanda finale e la popolazione residente esternamente all'area di studio (estero) nel caso di esportazioni con l'estero.

4. Applicazione al contesto nazionale

Il modello MRIO, messo a punto così come descritto nei paragrafi precedenti, è stato applicato al contesto nazionale per la stima degli impatti economici derivanti dall'implementazione degli interventi previsti su infrastrutture e servizi di trasporto al 2025 ed al 2030.

In particolare, i due scenari precedentemente richiamati (infrastrutture e servizi) futuri di simulazione sono stati definiti in accordo con quanto stabilito dal Master Plan delle Infrastrutture [20] che, nell'ottica di ottimizzare le risorse disponibili, ha definito un quadro di opere da realizzare nel breve e medio-lungo periodo, in modo da promuovere un sistema di trasporti sicuro, efficace e sostenibile. Gli scenari trasportistici di riferimento agli anni 2025 e 2030 sono stati, quindi, costruiti a partire dall'individuazione di infrastrutture e servizi di trasporto che, per stato di avanzamento del processo pianificazione-programmazione-costruzione, hanno una ragionevole certezza di entrare in esercizio all'orizzonte temporale di analisi.

Lo scenario trasportistico al 2025 è stato definito a partire dall'attuale sistema dei trasporti a servizio della mobilità interregionale e nazionale. Lo scenario trasportistico al 2030 è stato definito a partire dallo scenario 2025.

Per quanto concerne lo scenario socioeconomico, il modello messo a punto permette di stimare la domanda (finale ed esportazioni con l'estero) ed i coefficienti tecnici e di scambio in funzione del numero di addetti regionali per ogni settore produttivo, Pil regionale, popolazione residente. All'interno del sistema socioeconomico, il sistema dei trasporti rappresenta una parte integrante fondamentale, in quanto, esso è definito come un elemento chiave nella costruzione di un nuovo assetto geo-economico. Nella figura (vedi Fig. 1), si riporta la configurazione della rete stradale considerata al 2025. In particolare, sono considerati una serie di interventi infrastrutturali stradali pensati per il miglioramento dei collegamenti sulle direttrici principali di collegamento del Paese (ad es. l'adeguamento della SS106 "Jonica", oppure la E45-E55 "Romea" nella tratta Orte-Mestre), nonché di tutta una serie di interventi mirati alla soluzione di criticità legate alla presenza di congestione (ad es., ammodernamento infrastrutturale della tratta autostradale tra Firenze - Bologna, del potenziamento della dorsale nord-tirrenica SS1 "Aurelia"). Non mancano i collegamenti regionali in zone del nostro paese ben note per la loro cronica carenza di

Mobilità, Accessibilità, Infrastrutture

dotazione di infrastrutture di elevata qualità e sicurezza (ad es. itinerario Salerno-Potenza-Bari). Gli interventi previsti nel nord Italia sono contestualizzati in una rete attuale sufficientemente connessa e sono volti a migliorare i collegamenti regionali. Per il sistema stradale siciliano, si prevede il completamento dell'itinerario Palermo-Agrigento, dell'itinerario nord-sud Santo Stefano di Camastra-Gela, nonché della Catania-Ragusa.

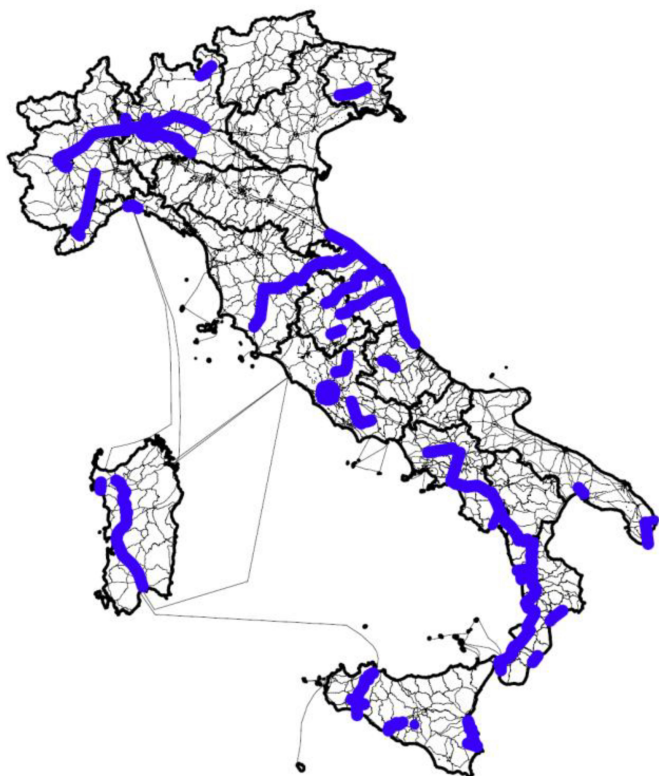


Fig. 1 - Scenario trasportistico 2025 - rete stradale.
(fonte: propria elaborazione)

In tabella (vedi Tab. 5) sono riportati i risultati del modello MRIO al contesto nazionale per i due scenari. Rispetto al 2015, per il 2025 si rileva un aumento del vettore della produzione settoriale nazionale pari al 0,75%. Rispetto al 2025, per il 2030 si rileva un aumento della produzione pari al 1,52%. Dai dati ottenuti emerge che, nonostante la maggior parte degli interventi sul sistema dei trasporti nazionale sia concentrata nel Mezzogiorno d'Italia, la ripartizione geografica della produzione 2025 rimane pressoché costante e risulta concentrata in alcune regioni italiane, considerate le più ricche nel quadro economico italiano, quali la Lombardia (che costituisce oltre il 25% della produzione merceologica nazionale), l'Emilia Romagna (9%), il Piemonte (9%) e il Veneto (circa l'11%). Alcune regioni, rispetto allo scenario di riferimento (anno 2015) tendono ad acquisire maggiori quote di produzione, seppur minime, come Piemonte (+0,48%), Sicilia (+0,99%) e Veneto (+0,42%); altre regioni tendono invece a ridurre il proprio peso specifico nello scenario nazionale (la Campania con -1,07%, l'Emilia Romagna con -0,55% ed il Lazio con -1,08%), mentre altre mantengono inalterate le loro quote di produzione come la Calabria

(+0,02%), le Marche (-0,02%) la Toscana (-0,04%) e la Valle d'Aosta (nessuna variazione).

	anno base 2015	2025 vs 2015	2030 vs 2025
<i>addetti</i>	16.963.826	19.131.111	19.748.330
<i>Δ addetti</i>	-	12,70%	3,20%
<i>PIL (milioni di €)</i>	1.243.763	1.503.521	1.904.615
<i>Δ PIL</i>	-	20,80%	26,60%
<i>popolazione (in migliaia)</i>	58.607	58.586	58.032
<i>Δ popolazione</i>	-	-0,04%	-0,95%
<i>produzione (milioni di €)</i>	1.513.719	1.525.043	1.548.222
<i>Δ produzione X</i>	-	0,75%	1,52%

Tab. 5 - Risultati di scenario.
(fonte: propria elaborazione)

Per quanto riguarda lo scenario 2030, sono sempre la Lombardia, l'Emilia-Romagna, il Piemonte ed il Veneto le regioni trainanti l'economia nazionale con percentuali rispettivamente del 25,4%, del 9,6%, del 9,3% e del 10,9%. Aumenti di produzione percentuali rispetto allo scenario 2012 si verificano per le regioni Campania (+0,18%), Emilia-Romagna (+0,27%), Lombardia (+0,39%) e Piemonte (+0,14%), mentre diminuzioni percentuali si registrano per Calabria (-0,29%), Puglia (-0,32%) e Sicilia (-0,22%). Rimangono inalterate le quote di produzione, con variazioni del 0,01%, per il Molise, la Toscana, la Valle d'Aosta ed il Veneto e, con variazione nulla, per l'Umbria. Sebbene, il sistema dei trasporti del Mezzogiorno d'Italia risulta interessato da notevoli migliorie in entrambi gli scenari di simulazione, si riscontra, come atteso (a seguito dell'attuale sistema industriale), una limitata incidenza sul sistema produttivo di questa area del Paese. Infatti, come sintetizzato nella tabella (vedi Tab. 6) che riporta le incidenze di ciascuna regione del Mezzogiorno sulla produzione nazionale dovuta alle su citate azioni sul sistema nazionali dei trasporti, rispetto al 2015, nel 2025 si stima una variazione positiva dello 0,60%; nel 2030, invece, si ha una riduzione negativa di poco inferiore all'1%.

	2015	2025	2030
Basilicata	0,65	0,70	0,74
Calabria	1,44	1,46	1,19
Campania	6,07	4,92	5,14
Molise	0,36	0,93	0,41
Puglia	4,02	4,11	3,82
Sicilia	4,62	5,63	5,48
Totale	17,15	17,75	16,78

Tab. 6 - Risultati di scenario nelle regioni del Mezzogiorno: incidenza sulla produzione nazionale (valori percentuali).
(fonte: propria elaborazione)

5. Conclusioni

Il trasporto di merci è una domanda derivata. Infatti, gli input devono essere trasportati alle unità produttive la cui produzione deve essere consegnata ad altre unità produttive, centri di distribuzione, grossisti, magazzini, rivenditori e consumatori. Tradizionalmente il legame tra

attività economica e trasporto merci è descritto dal PIL, anche se negli ultimi anni questa dipendenza non è così marcata, a seguito di forti modificazioni che stanno interessando l'operare delle imprese e delle politiche che vengono messe in atto. Di conseguenza, questa relazione tra trasporto merci e PIL non può essere utilizzata per le previsioni a lungo termine. Ci sono diverse ragioni per questa instabilità della relazione trasporto merci-PIL: la composizione del PIL è cambiata e sta ancora cambiando, alcuni metodi per collegare il trasporto merci al PIL non sono adatti e il legame tra trasporto merci e attività economica stessa sta cambiando a causa delle politiche (disaccoppiamento) e del comportamento delle imprese (concorrenza basata sul tempo, lavoro vs. trasporto costoso). Ciò impone maggiore complessità ai modelli di domanda in grado di far fronte alle evoluzioni nel trasporto merci. Per comprendere questo mutevole rapporto tra economia e trasporto merci, sono necessari modelli che richiedono non solo informazioni per i diversi gruppi di prodotti, ma devono essere costruite a partire da una base microeconomica dettagliata. Ciò non di meno, gli alti costi per la raccolta di dati dettagliati e la difficoltà di condivisione delle informazioni da parte dei diversi decisori del sistema, a causa di una concorrenza sempre più forte che limita la condivisione dei dati, spinge la ricerca del settore a trovare nuove soluzioni per far fronte a queste problematiche. In questo contesto, il lavoro proposto ha avuto come obiettivo la messa a punto di un modello MRIO a scala nazionale con dati da fonte, che è stato applicato al contesto nazionale per stimare gli effetti dovuti alla messa in esercizio degli interventi sul sistema dei trasporti nazionale. Il modello proposto ha dato buoni risultati in termini di significatività statistica e per l'anno di riferimento (2015) si sono ottenuti risultati in linea con altri studi analoghi presenti in letteratura. L'applicazione ha evidenziato la limitatezza della struttura industriale del Mezzogiorno che, anche a seguito di considerevoli migliorie del sistema di trasporti, porterebbe la produzione di questa area del paese, nel lungo medio-termine, a ridursi rispetto al totale nazionale. Infatti, il modello ha permesso la simulazione di due diversi scenari (breve e medio-lungo periodo) in cui si è evinto che tali interventi determinano sull'economia del Mezzogiorno d'Italia nel lungo periodo una riduzione stimabile intorno all'1%, mentre nel breve periodo l'incidenza del Mezzogiorno d'Italia cresce rispetto alla produzione nazionale di circa lo 0,5%.

Bibliografia

[1] Nuzzolo A. (a cura di), *Politiche della Mobilità e Qualità delle Aree Urbane*. Guida Editori, Napoli, 2010

- [2] Crisalli U., Comi A., Rosati L., *A Methodology for the Assessment of Rail-road Freight Transport Policies*. In: Nuzzolo A., Musso A., Crisalli U., Rossi R. (eds), *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, n. 87, pp. 292 - 305. Elsevier Ltd, 2013
- [3] Lo Bosco D., Suraci F., Verdini T., *La valutazione degli investimenti per la mobilità: un modello matematico di aiuto alla decisione*. In: LaborEst, n. 19, pp. 48 - 56, 2019
- [4] Cascetta E., Iannò D., *Calibrazione aggregata di un sistema di modelli di domanda merci a scala nazionale*. In: Cantarella G.E., Russo F. (a cura di), *Metodi e Tecnologie dell'Ingegneria dei Trasporti*, Franco Angeli, Milano, 2000
- [5] Cascetta E., Marzano V., Papola A., Vitillo R., *A Multimodal Elastic Trade Coefficients MRIO Model for Freight Demand in Europe*. In: Ben-Akiva M., Meersman H., Van de Voorde, E. (eds.), *Freight Transport Modelling*, Emerald, 2013
- [6] Nuzzolo A., Crisalli U., Comi A., *An aggregate transport demand model for import and export flow simulation*. In: *Transport*, vol. 30 (1), pp. 43 - 54, Francis & Taylor, 2015
- [7] Ben Akiva M., Meersman H., Van de Voorde, E., *Freight Transport Modelling*. Emerald Group Publishing Limited, 2014
- [8] Cascetta E., Marzano V., Papola A., *Multi regional input-output models for freight demand simulation at a national level*. In: Ben-Akiva M., Meersman H., Van de Voorde E. (eds.), *Recent developments in transport modelling: Lessons for the freight sector*. Bingley, UK: Emerald, 2013
- [9] Wang Y., Li X., Sun Y., Zhang L., Giao Z., Zhang Z., Zheng H., Meng J., Lu Y., Li Y., *Linkage analysis of economic consumption, pollutant emissions and concentrations based on a city-level multi-regional input-output (MRIO) model and atmospheric transport*. In: *Journal of Environmental Management*, n. 270: 110819, 2020
- [10] Faturay F., Vunnava V.S.G., Lenzen M., Singh S., *Using a new USA multi-region input output (MRIO) model for assessing economic and energy impacts of wind energy expansion in USA*. In: *Applied Energy*, n. 261: 114141, 2020
- [11] Ezici B., Egilmez G., Gedik R., *Assessing the eco-efficiency of U.S. manufacturing industries with a focus on renewable vs. non-renewable energy use: An integrated timeseries MRIO and DEA approach*. In: *Journal of Cleaner Production* n. 253: 119630, 2020
- [12] Asada R., Cardellini G., Mair-Bauernfeind C., Wenger J., Haas V., Holzer D., Stern T., *Effective bioeconomy? A MRIO-based socioeconomic and environmental impact assessment of generic sectoral innovations*. In: *Technological Forecasting and Social Change*, n. 153: 119946, 2020
- [13] Leontief W., Strout A., *Multiregional input-output analysis*. In: *Teoria economica delle interdipendenze settoriali*, pp. 119 - 150, Etas /Kompass ed., London, 1963
- [14] Nuzzolo A., Crisalli U., Comi A., Sciangula F., *Metodologie di analisi e previsione della domanda merci*. Texmat, Roma, 2007
- [15] Cascetta E., *Modelli per i sistemi di trasporto: teoria ed applicazioni*. UTET, Torino, 2006
- [16] Isard W., *Interregional and regional input-output analysis: a model of a space-economy*. In: *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 33 (4), pp. 318 - 328, 1951
- [17] Isard W., *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science*. Wiley, New York, 1960
- [18] Chenery H.B., *Regional Analysis. The Structure and Growth of the Italian Economy*. In: Chenery H.B., Clark P.G., Pinna V.C. (eds), *US Mutual Security Agency*, Roma, 1953
- [19] Moses L.N., *The stability of interregional trading patterns and input-output analysis*. In: *American Economic Review*, n. 45, pp. 803 - 832, 1955
- [20] MIT, *Master Plan Infrastrutture Prioritarie*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Roma, 2019

