



www.ricerchetrasporti.com

IL MODELLO ASTRA ITALIA PER LA VALUTAZIONE STRATEGICA DI POLITICHE DI TRASPORTO

TRT Trasporti e Territorio

Maggio 2003

**IL MODELLO ASTRA-ITALIA
PER LA VALUTAZIONE STRATEGICA
DI POLITICHE DI TRASPORTO**

TRT Trasporti e Territorio
via Rutilia, 10/8 20141 Milano
tel 02 57410380, fax 02 55212845
www.TRTrasportieterritorio.it

1. INTRODUZIONE

ASTRA-Italia è un modello strategico che si basa sull'approccio *Systems Dynamics Modelling*¹ e simula, insieme al sistema dei trasporti, anche il sistema macroeconomico, quello territoriale e quello ambientale e pertanto consente di cogliere gli impatti di lungo periodo di politiche di trasporto non solo sul sistema dei trasporti ma anche sull'ambiente, l'economia e lo sviluppo regionale.

Il modello ASTRA-Italia segue l'impostazione dell'omonimo modello a scala europea messo a punto in un progetto di ricerca co-finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del IV Programma Quadro². Il modello simula l'evoluzione dei quattro sistemi - trasporti, ambiente, economia e sviluppo regionale - nel corso di 40 anni, a partire dal 1990 sino al 2030. Per ciascuno dei quattro sistemi sono state individuate le relazioni chiave in grado di rappresentare in forma sintetica i fenomeni rilevanti e i quattro sistemi sono stati interfacciati tra loro in maniera da simulare correttamente le interazioni e i fenomeni di retroazione tipici dei sistemi complessi, quale quello dei trasporti.

Il modello ASTRA-Italia è stato applicato nello studio "Fisco e pedaggi: l'obiettivo ambientale" promosso da Federtrasporto³. Scopo dello studio era quello di ricavare indicazioni per ridefinire la politica relativa alla fiscalità del trasporto e ai pedaggi in modo da riflettere meglio i costi effettivamente generati dal singolo atto di trasporto sotto il vincolo del mantenimento ai livelli attuali del carico di fisco e pedaggi sopportati dal trasporto. Il modello ASTRA-Italia è stato utilizzato come strumento con il quale simulare i diversi effetti – trasportistici, economici, ambientali – di politiche alternative riguardo alla tassazione e alla tariffazione del trasporto.

2. LA STRUTTURA DEL MODELLO ASTRA-ITALIA

Il modello ASTRA-Italia simula tutti i flussi di merci e passeggeri che hanno luogo in Italia. Gli spostamenti interni (ovvero con origine e destinazione in Italia) sono generati dal modello, quelli di attraversamento e di quelli di scambio sono trattati esogenamente. Il periodo di simulazione del modello è di 40 anni: dal 1990 al 2030. Gli anni 1990-2000 sono usati per la calibrazione dei parametri, mentre quelli 2001-2030 sono di previsione. L'unità di misura temporale del modello è l'anno, e durante ciascun anno il modello fa riferimento a quattro intervalli di tre mesi per svolgere i

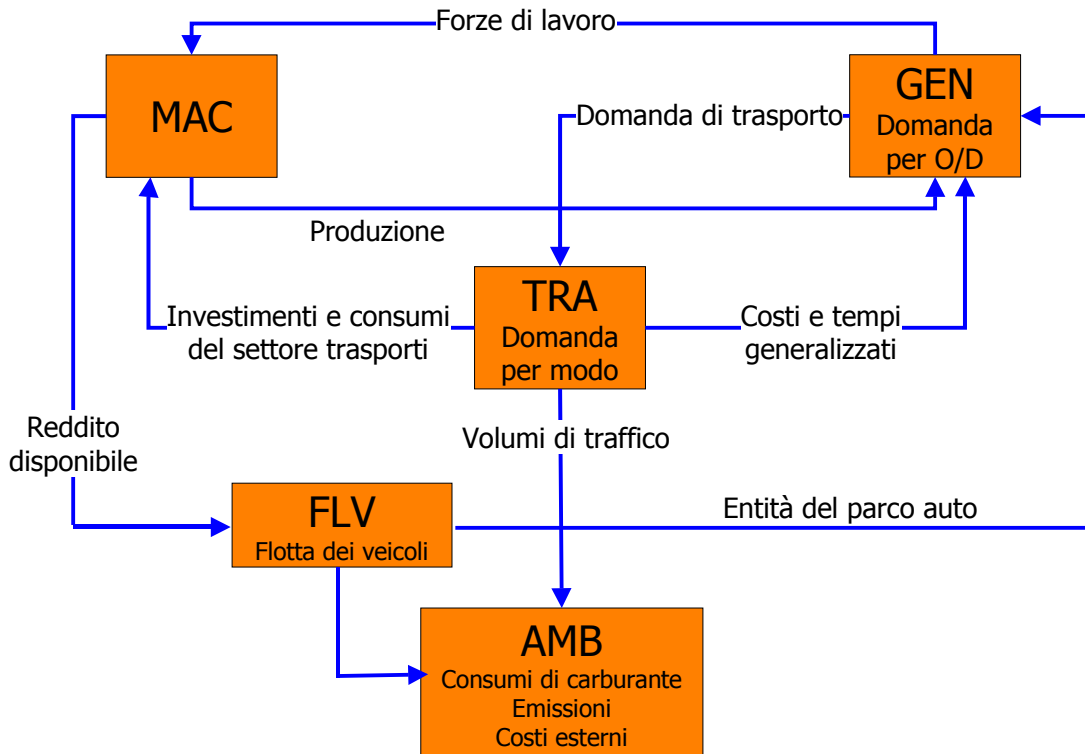
¹ Il modello utilizza il *software* Vensim® distribuito da Ventana Systems, Inc. (www.vensim.com)

² Il progetto ASTRA è stato realizzato da IWW Universität Karlsruhe (Germania), coordinatore, TRT Trasporti e Territorio, ME&P Marcial Echenique and Partners, Cambridge (Gran Bretagna) e CEBR, Centre of Economic and Business Research, Londra (Gran Bretagna); www.iww.uni-karlsruhe.de/ASTRA/

³ Centro Studi FEDERTRASPORTO - Bollettino economico sul settore dei trasporti: Fisco e pedaggi per ridurre i costi del trasporto: la metodologia, Numero 12, Roma, Ottobre 2002, www.federtrasporto.it

calcoli. ASTRA-Italia è composto da cinque modelli principali tra loro interconnessi, come rappresentato nella figura 1.

Fig.1 Principali relazioni tra i modelli di ASTRA-Italia



Il modello macroeconomico MAC simula le variabili fondamentali della struttura economica. Alcuni di questi elementi vengono trasferiti al modello di generazione GEN, che li utilizza per la fase di generazione e distribuzione della domanda di trasporto fornendo quindi i dati di input per il modello TRA. Quest'ultimo determina il volume di traffico per ciascun modo di trasporto, che serve come input per il modello AMB, il quale calcola i livelli di emissione e i costi esterni anche sulla base della flotta dei veicoli gestita nel modello FLV. Tra i vari modelli vi sono relazioni di *feed-back*. Ad esempio, il modello GEN invia al modello MAC informazioni sull'entità delle forze di lavoro, mentre il modello TRA informa il modello GEN sul livello dei costi generalizzati di trasporto che governano la distribuzione degli spostamenti.

2.1 La rappresentazione dello spazio

Le quattro tipologie di modelli che compongono ASTRA-Italia fanno riferimento di norma ciascuna a differenti rappresentazioni dello spazio: ad esempio i modelli macroeconomici lavorano solitamente su una scala spaziale molto aggregata, mentre i modelli di trasporto necessitano generalmente della definizione di una rete. I modelli ambientali possono essere applicati sia a scala aggregata che su modelli di

rete. Data la natura strategica del modello ASTRA-Italia, e quindi la necessità di aggregare il più possibile la dimensione spaziale, e considerando che in esso esistono contemporaneamente tutte le quattro tipologie di modello, la rappresentazione della dimensione spaziale è peculiare, articolata su due livelli distinti: le macroregioni e le zone funzionali.

Le prime rappresentano una zonizzazione geografica aggregata, mentre le seconde sono definite sulla base delle caratteristiche insediative (aree metropolitane, densamente popolate e non densamente popolate) e sono ricavate come ulteriore disaggregazione delle macroregioni in modo da poter trattare più correttamente le scelte di trasporto in base alla reale offerta di trasporto (la dotazione di mezzi pubblici di una grande città è molto maggiore di quella di un piccolo centro). Sono definite tre macroregioni, Nord Italia, Centro Italia e Sud Italia e Isole. La loro composizione è coerente con quella utilizzata da ISTAT ed è la seguente:

- **Nord** Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna.
- **Centro**: Toscana, Lazio, Umbria, Marche.
- **Sud e Isole**: Abruzzo, Molise, Campania, Basilicata, Puglia, Calabria, Sicilia, Sardegna.

Separatamente per le tre macroregioni, sono definite delle zone funzionali. Per la loro definizione, l'unità di riferimento adottata nel modello ASTRA-Italia è quella delle province. Così come le macroregioni, anche le zone funzionali sono tre (all'interno di ogni macroregione). Esse si distinguono in base alle caratteristiche definite orientativamente qui di seguito.

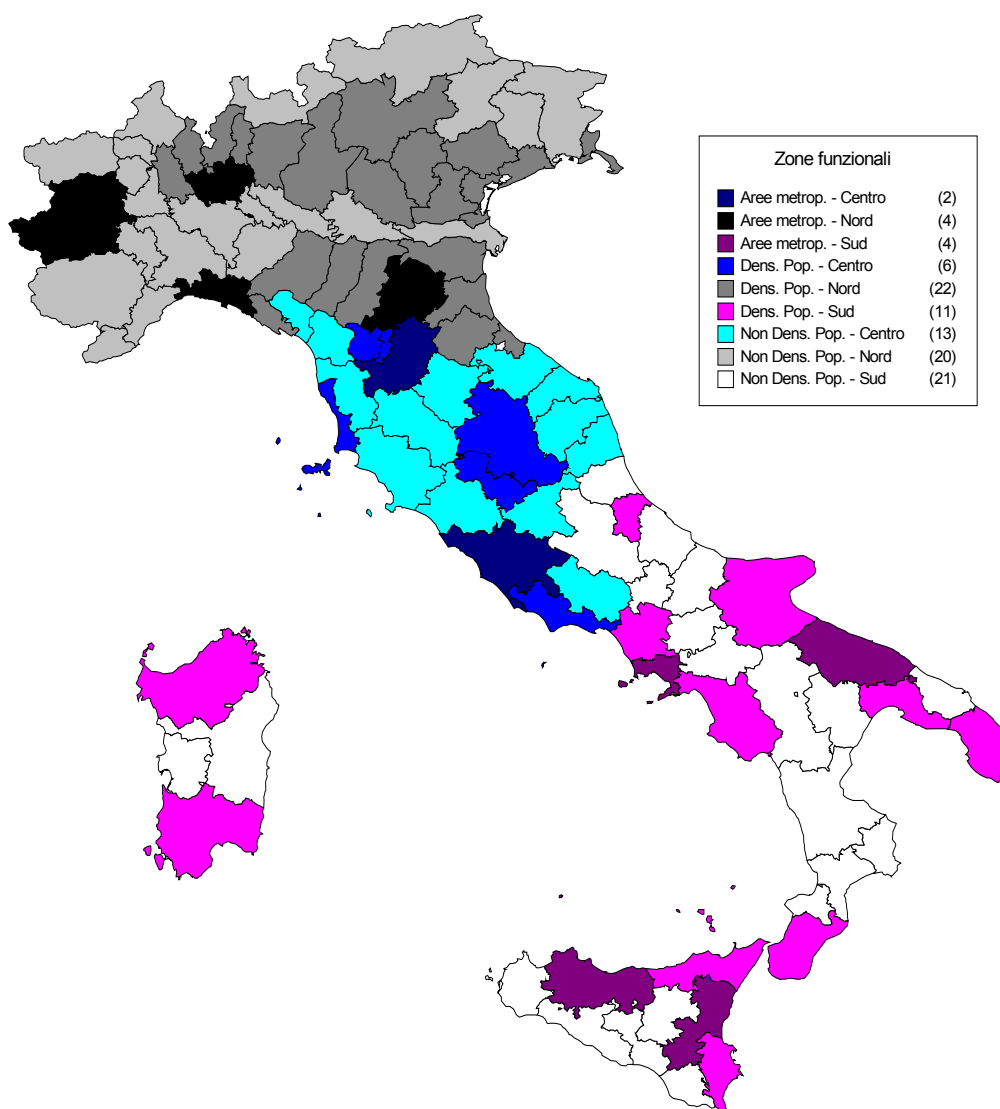
- I. **Aree metropolitane (AM)**. Sono le province in cui la grande maggioranza della popolazione vive nel continuo urbano del capoluogo e nella sua area metropolitana. Vi è un aeroporto e, in molti casi, anche un sistema di trasporto metropolitano. La popolazione (complessiva della provincia) è pari ad almeno un milione di abitanti circa.
- II. **Aree densamente abitate (AD)**. Sono le province in cui vi è un capoluogo di dimensioni significative (con più di 150.000 abitanti) e/o quelle con una densità abitativa pari o superiore a 250 abitanti per km² e in cui, quindi, la mobilità interna alla provincia presenta spesso caratteristiche tipiche degli spostamenti a scala urbana o metropolitana, per i quali è esistente una significativa dotazione di servizi di trasporto.
- III. **Aree poco densamente abitate (AP)**. Sono le province in cui la densità della popolazione è inferiore a 250 abitanti per km² (e spesso inferiore anche a 150 abitanti per km²) e in cui, quindi, gli spostamenti interni alla provincia si configurano prevalentemente come spostamenti a carattere extraurbano, il che

si riflette, in media, anche sulle caratteristiche e l'importanza dei servizi di trasporto.

Nella figura 2 sono rappresentate congiuntamente le zone funzionali e le macroregioni.

Il sistema di azionamento basato sulle zone funzionali è uno dei concetti chiave nel modello ASTRA-Italia poiché permette l'utilizzo di strutture di dati (vettori e matrici) di dimensioni ridotte in sostituzione di rappresentazioni estese (per esempio analizzando esplicitamente le singole province) che risulterebbero troppo complesse e comprometterebbero la capacità di calcolo del modello.

Fig. 2 Macroregioni e zone funzionali

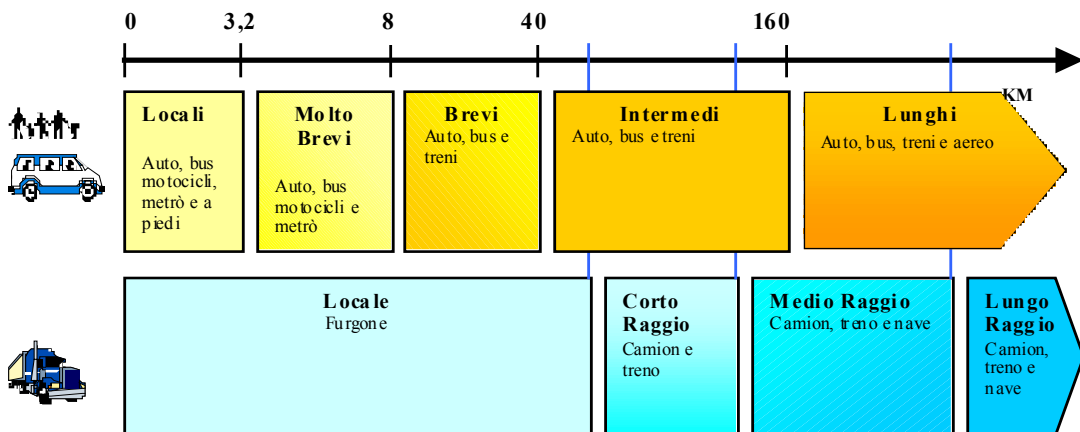


2.2 Le fasce di distanza

L'uso delle zone funzionali comporta la necessità di ricorrere a *fasce di distanza* degli spostamenti, ovvero delle classi di lunghezza degli spostamenti all'interno delle quali esistano caratteristiche omogenee di ripartizione modale. Infatti, la ripartizione modale per ogni coppia origine-destinazione dipende fortemente dalla distanza, si pensi, ad esempio, alla bicicletta, non utilizzabile se non per brevi tragitti, o all'aeroplano, che viaggia su lunghe distanze.

Una rappresentazione delle fasce di distanza è data in figura 3. Per fare un esempio, la zona funzionale delle aree metropolitane del Nord Italia comprende Milano, Torino e Genova. Uno spostamento all'interno della zona funzionale delle aree metropolitane del Nord Italia potrà essere tanto uno spostamento molto breve all'interno di Milano o di Genova, quanto uno spostamento tra Milano e Genova. Si tratta quindi di rappresentare coppie origine-destinazione con distanze significativamente diverse tra loro e quindi con differenti modi di trasporto disponibili.

Fig. 3 Fasce di distanza per gli spostamenti merci e passeggeri



3. LA RAPPRESENTAZIONE DELLA MOBILITÀ

Per quanto riguarda la mobilità passeggeri, il modello considera tre motivi di spostamento:

1. lavoro (studio, lavoro pendolare e affari di lavoro),
2. affari personali (commissioni, acquisti, visite, ecc.),
3. turismo (comprese le escursioni nell'ambito di una giornata).

I modi di trasporto passeggeri sono sette: auto, moto, piedi (o bicicletta), bus, ferro (metropolitana o treno), aereo e nave.

Anche nel caso delle merci sono rappresentati tre differenti segmenti di mobilità:

1. merci rinfuse (liquidi, sabbia, ecc.);
2. merci unitizzate (container, casse mobili, pallet, ecc.)
3. merci varie (macchinari, ecc.)

Tre sono anche i modi merci: veicoli stradali (leggeri e pesanti), treno e nave.

Per ogni coppia origine-destinazione, il modulo di ripartizione modale provvede a stimare in che proporzione è utilizzato ciascun modo di trasporto. La ripartizione modale si basa su un algoritmo di tipo Logit, in cui la scelta dipende principalmente da due componenti: il tempo e il costo del viaggio. I due elementi sono riportati a una unità di misura comune per mezzo di valori di tempo del tempo di viaggio diversi per motivo di spostamento (o per gruppo di merce). Anche i costi di viaggio sono diversi nei diversi segmenti di mobilità: ad esempio, i costi dell'aereo non sono gli stessi per gli spostamenti per lavoro e per turismo. Inoltre, i tempi dei modi di trasporto sono aggiornati, anno per anno e in maniera differente a seconda dei modi, sulla base dei livelli di congestione.

4. LE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO

Nel modulo delle infrastrutture di trasporto viene simulata la capacità a disposizione dei vari modi e, in base ai rispettivi livelli di traffico, vengono calcolati i tempi di viaggio e/o le velocità medie per modo. In termini spaziali, il modulo è organizzato in base alle macroregioni, vale a dire che la capacità considerata è quella complessiva all'interno di ciascuna macroregione.

Per ciascun modo di trasporto esiste quindi una specifica curva tempo/capacità che viene utilizzata per calcolare le prestazioni del modo al variare degli specifici volumi di traffico. Il modulo è diviso in due sezioni: la prima riguarda il calcolo della capacità in funzione degli investimenti, mentre la seconda rappresenta un modulo di assegnazione che si occupa di determinare i tempi di viaggio in funzione del traffico ed è a sua volta distinto in quattro componenti, ognuna riguardante un modo di trasporto: strada, ferrovia, aereo e nave.

5. LA FLOTTA DI VEICOLI STRADALI

Nel modello ASTRA-Italia le emissioni gassose generate dal trasporto stradale sono legate al volume di traffico, alla tipologia di strada (urbana o extraurbana) ed alla composizione delle flotte dei veicoli. Il modello FLV classifica le flotte a seconda

del tipo di veicolo e della categoria di emissione e, nel caso delle autovetture, anche del tipo di carburante (benzina, diesel) e della cilindrata (tabella 1).

Tab. 1 Classificazione per la definizione delle categorie di veicoli stradali

Tipo di carburante	Cilindrata	Categoria di emissione	
		Norma	Anno di validità
Automobili a benzina	<1400 cc 1400-2000 cc >2000 cc	ECE 15/03 e precedenti	< 85
		ECE 15/04	
		EURO I	85 – 92
		EURO II	93 – 96
		EURO III	97 – 2000
		EURO IV	2001 – 2005
			2006 – 2030
Automobili a gasolio	< 2000 cc > 2000 cc	PreEuro	< 93
		EURO I	93 – 96
		EURO II	97 – 2000
		EURO III	2001 – 2005
		EURO IV	2006 – 2030
Automobili innovative			> 2004
Veicoli merci leggeri (furgoni fino a 3.5 ton)		PreEuro	≤95
		EURO I	95 – 97
		EURO II	98 – 2000
		EURO III	2001 – 2005
		EURO IV	2006 – 2030
Veicoli merci leggeri innovativi			> 2004
Veicoli merci pesanti (Autotreni, autoarticolati, ecc. oltre 3.5 ton)		PreEuro	<93,
		EURO I	93 – 96
		EURO II	97 – 2000
		EURO III	2001 – 2005
		EURO IV	2006 – 2030
Veicoli merci pesanti innovativi			> 2004
Autobus, corriere		PreEuro	<93,
		EURO I	93 – 96
		EURO II	97 – 2000
		EURO III	2001 – 2005
		EURO IV	2006 – 2030
Autobus innovativi			> 2004
Motocicli		80	<99
		EURO I	99 – 2001
		EURO II	2002 – 2030

Il modello considera anche la presenza di veicoli innovativi nelle flotte di: autovetture, autobus, veicoli merci leggeri e veicoli merci pesanti. In ciascuna di esse, il gruppo dei veicoli innovativi assume la forma di una categoria aggiuntiva rispetto a quelle tradizionali. Nella sostanziale incertezza riguardo all'evoluzione futura, si è scelto di considerare come possibili veicoli innovativi le seguenti tre

tipologie di veicoli: veicoli a GPL, veicoli a metano, veicoli a idrogeno (*fuel cells*). Nel modello è possibile controllare la quota di ciascuna di queste tre diverse tecnologie oltre che il peso complessivo dei veicoli innovativi sul totale della flotta.

6. IL MODELLO AMBIENTALE E IL CALCOLO DEI COSTI ESTERNI

Il modello AMB di ASTRA-Italia provvede a calcolare gli effetti ambientali causati dall'attività di trasporto nelle diverse macro regioni o zone funzionali e di fornire informazioni per stimarne gli impatti. Gli effetti ambientali modellizzati in ASTRA-Italia sono:

- emissioni inquinanti e gas serra. Si considerano 6 diverse sostanze: ossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO₂), ossidi di azoto (NO_x), particolato (PM), anidride solforosa (SO₂), e composti organici volatili (VOC);
- inquinamento acustico;
- incidentalità;
- congestione.

Il calcolo delle emissioni inquinanti avviene partendo dalla quantità complessiva di traffico e applicando coefficienti di emissione in funzione della velocità prodotta dalla curva di deflusso, espressi in grammi di inquinante per veicolo*km (vkm). Per i modi non stradali, i coefficienti unitari non dipendono dalla velocità, ma sono valori fissi in espressi in grammi per vkm. Tutti i coefficienti sono stati definiti a partire da studi specialistici come il rapporto ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente)⁴, il rapporto MEET⁵ e uno studio CONFITARMA sulle emissioni navali⁶.

6.1 La stima dei costi esterni del trasporto

I costi esterni del trasporto calcolati dal modello ASTRA-Italia comprendono il costo monetario associato alle emissioni inquinanti, il costo monetario associato al rumore, quello associato agli incidenti e quello dovuto alla congestione stradale.

⁴ Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA), 2000, *Le emissioni in atmosfera da trasporto stradale*, Roma

⁵ MEET deliverable 22, 1999, *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption*, Transport Research Laboratory.

⁶ Lombard, P.L. e Molocchi, A., 2001, *Navigazione e Ambiente. Un confronto con i costi esterni delle altre modalità di trasporto*, Milano, Franco Angeli

L'approccio utilizzato per il calcolo dei valori economici da associare ai costi esterni legati all'inquinamento, all'incidentalità e al rumore è quello dei valori marginali. A questo scopo i costi relativi alle emissioni di gas inquinanti o di rumore sono trattati diversamente in base alla tipologia di area - urbana o extraurbana - e di zona funzionale (per tenere conto della densità della popolazione). Poiché la definizione dei costi marginali è, almeno in parte, una materia controversa, il modello contiene due insieme di valori ("alto" e "basso"), che quindi producono due differenti stime dei costi esterni totali a partire dalla stessa simulazione di una determinata politica o della soluzione di riferimento.

Per la congestione stradale, l'approccio è differente: i costi esterni sono definiti, in accordo con la teoria economica del benessere, come il costo dovuto ad un uso inefficiente delle infrastrutture stradali esistenti. Tale valore, calcolato a partire dalle curve di deflusso, riguarda solo gli spostamenti con veicoli privati dato che per i mezzi di trasporto collettivi su strada l'uso delle infrastrutture è regolato direttamente dall'ente pianificatore.

7. L'USO DEL MODELLO E L'INTERFACCIA UTENTE

Il periodo di simulazione del modello ASTRA-Italia in fase di previsione va dall'anno 2000 all'anno 2030 con una scansione annuale. Il modello evolve secondo scenari. Ciascun scenario è dato da un insieme di ipotesi riguardo l'evoluzione di determinate variabili, parte delle quali rappresentano elementi di fondo del sistema (ad esempio: il trend del PIL, la dinamica demografica), mentre altre si prestano ad essere interpretate come leve utilizzabili nell'ambito di politiche di intervento relative ai fenomeni oggetto dell'analisi (ad esempio: il livello di tassazione sui carburanti, l'entità delle tariffe del trasporto pubblico).

La modalità di base con cui evolve il modello è chiamata "scenario di riferimento". Esso può essere definito come lo scenario che vede la prosecuzione delle tendenze correnti nelle variabili chiave, nell'ipotesi che entro l'orizzonte del 2030 non vi siano rilevanti scostamenti. Nello stesso tempo, si modificano le variabili che rappresentano il livello di "intervento politico" sulla base dell'ipotesi che si mantengano le tendenze correnti o, nel caso siano individuabili interventi già decisi, che si mettano in atto politiche coerenti con tali indirizzi (ad esempio gli investimenti decisi dal Piano Generale dei Trasporti del 2000 o l'introduzione degli standard di emissione degli autoveicoli).

Definito in questo modo, lo scenario di riferimento non rappresenta lo scenario più probabile, ma semplicemente un utile termine di confronto rispetto agli scenari alternativi determinati dalle specifiche politiche che si intendono testare.

A fronte dello scenario di riferimento, l'utente può costruire specifici "scenari di intervento", in cui alcune variabili chiave vengono modificate per valutare gli effetti sul sistema in termini di mobilità, quote modali, costi esterni, ecc. Allo scopo di

facilitare la costruzione degli scenari e di leggere i risultati della loro simulazione, il modello dispone di una interfaccia utente.

7.1. L'interfaccia utente

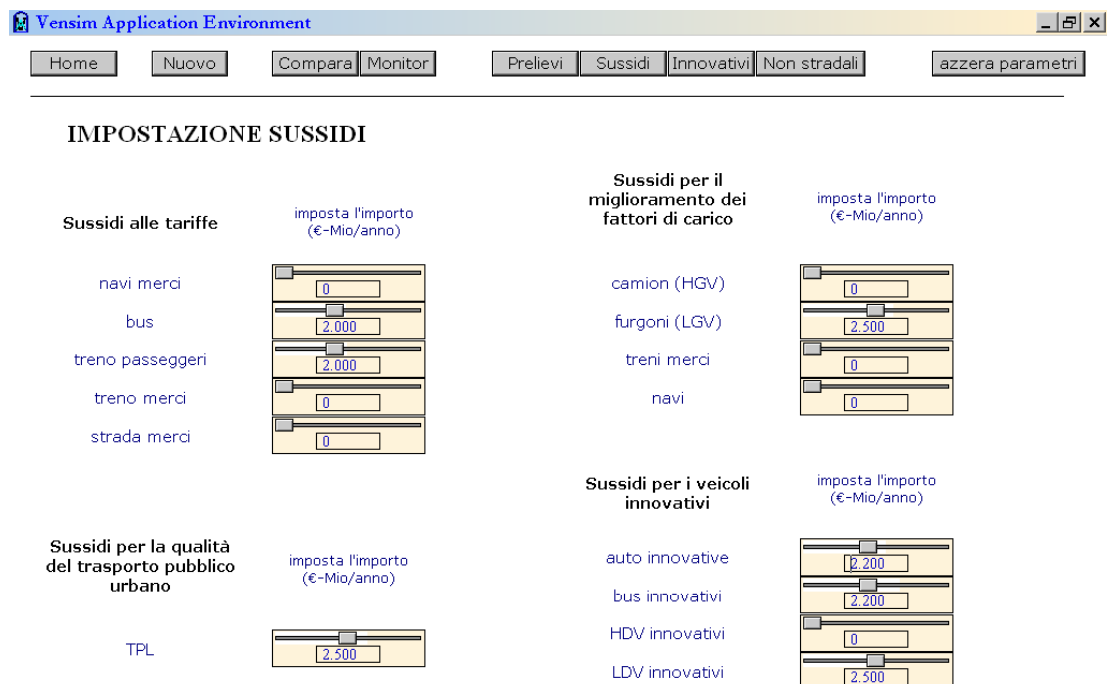
Nell'interfaccia l'utente può decidere:

- 1) quali variabili di input attivare (all'interno di un insieme predeterminato);
- 2) quali valori assegnare a ciascuna variabile (entro una gamma di valori prestabilita);
- 3) in quale anno far partire lo scenario di politica.

Le variabili che possono essere attivate si dividono in due gruppi fondamentali:

- 1) variabili che rappresentano prelievi aggiuntivi;
- 2) variabili che rappresentano utilizzi delle risorse (sussidi).

Fig. 4 Schermata dell'interfaccia per la definizione dei sussidi



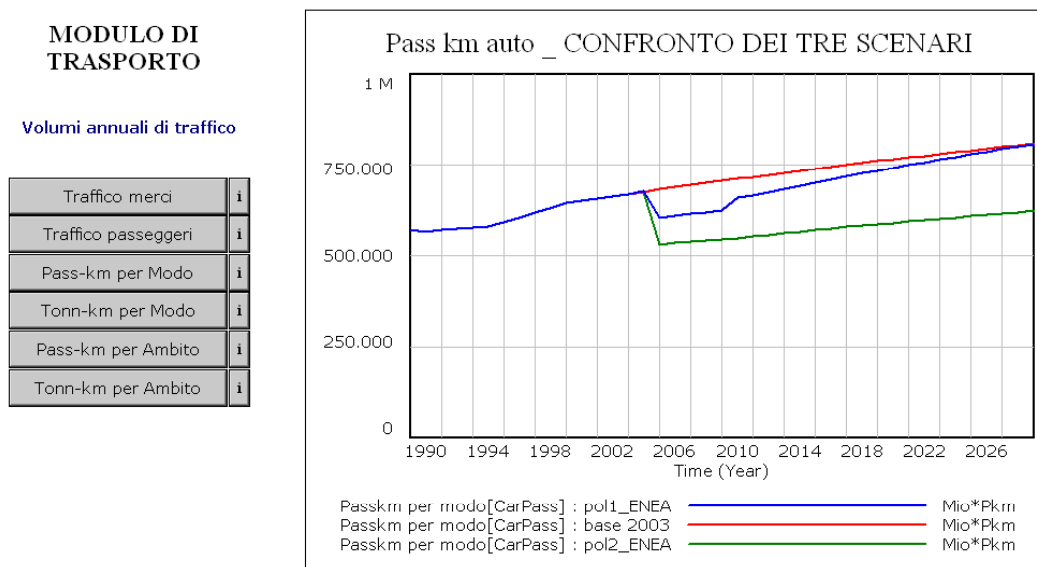
TRT

I prelievi aggiuntivi possono riguardare elementi come la tariffa chilometrica per i modi stradali, tariffe di ingresso o di parcheggio per le automobili nelle aree urbane (*cordon pricing* e *park pricing*), tasse sul carburante, tasse di proprietà delle autovetture .

I sussidi possono essere diretti a sostenere le tariffe dei modi di trasporto, a favorire il miglioramento dei fattori di carico dei veicoli merci, a finanziare l'acquisto di veicoli innovativi o a migliorare la qualità del trasporto pubblico locale

Oltre alle variabili a disposizione per la costruzione delle politiche, che possono essere modificate dall'utente, l'interfaccia mette a disposizione numerose variabili per la lettura dei risultati ottenuti, sia in forma grafica che tabellare.

Fig. 5 Schermata dell'interfaccia per la definizione dei sussidi



TRT

Le variabili riguardano sia i risultati in termini di mobilità (es. passeggeri*km, tonnellate*km) sia in termini di emissioni e di costi esterni e possono essere variamente disaggregati per modo, per ambito (urbano ed extraurbano), per tipo di inquinante, ecc. Inoltre, sono disponibili indicatori relativi agli introiti complessivi dei nuovi prelievi e all'impatto in termini macroeconomici (PIL, occupazione) delle politiche impostate nello scenario.