

UN MODELLO MATEMATICO PER LA VALUTAZIONE DEGLI SCENARI DI SVILUPPO DEL SISTEMA DEL TRASPORTO MERCI NEL NORD-OVEST

Domenico INAUDI¹, Gerard DE JONG², Maurizio ARNONE³

SOMMARIO

I modelli per la simulazione del trasporto merci sono ancora in piena evoluzione a causa della loro intrinseca complessità causata, principalmente, dalla numerosità dei decisori da considerare (aziende, spedizionieri, trasportatori, operatori logistici, ecc.), dalla varietà dei prodotti trasportati (in termini di categorie merceologiche, dimensioni, peso, valore, ...), dall'elevata variabilità dei processi decisionali e, soprattutto, dalla limitata disponibilità di informazioni (solitamente si dispone solo di dati aggregati, spesso datati o parziali).

Nuove prospettive si aprono però oggi a seguito dello sviluppo di diversi progetti europei finalizzati a realizzare un *framework* modellistico comune per il territorio dell'Unione.

Il presente articolo, dopo aver fornito una panoramica sullo stato dell'arte della modellistica per il trasporto merci a livello europeo - con un focus particolare sui progetti comunitari - propone una metodologia per la realizzazione di un modello per il trasporto delle merci nel Nord-Ovest italiano, che sia integrato nel nuovo *framework* europeo. Questa metodologia consente di adattare modelli e *database* europei a contesti meno ampi (territori nazionali o macroregioni) per realizzare un modello in grado di rappresentare con precisione i fenomeni reali a fronte di un contenuto impiego di risorse.

¹ SITI Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione, Via P. C. Boggio 61, 10138, Torino, domenico.inaudi@polito.it.

² Significance, Koninginnegracht 23, 2514 AB The Hague, The Netherlands, dejong@significance.nl

³ SITI Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione, Via P. C. Boggio 61, 10138, Torino, maurizio.arnone@siti.polito.it.

1 Introduzione: l'opportunità di un nuovo approccio

La ricerca nel campo dei modelli per la ricostruzione del traffico merci è in uno stadio di sviluppo meno avanzato rispetto a quella per gli spostamenti dei passeggeri. Si tratta infatti di un argomento affrontato più recentemente e più complesso, dal momento che, nel processo di movimentazione di beni, intervengono molti più attori ed elementi eterogenei.

Le decisioni non dipendono dai singoli, ma coinvolgono, ad esempio, le aziende, che inviano e ricevono le merci (*shippers*), gli spedizionieri, che organizzano tempi e modi delle consegne (*freight forwarders*), e le imprese di trasporto (*carriers*), che effettuano gli spostamenti. Le tipologie di beni prodotti e richiesti dal mercato sono molto numerose e difficili da catalogare in modo univoco, inoltre la natura dei materiali influenza il modo con cui possono essere trasportati, perciò, a seconda del dettaglio di analisi che si vuole raggiungere, è necessario lavorare con molte informazioni relative a categorie merceologiche e a modalità di trasporto differenti.

Molti dati, infine, risultano difficili da reperire e spesso sono confidenziali per motivi di concorrenza sul mercato, ad esempio i costi del trasporto, elemento necessario ai fini della costruzione dei modelli.

In letteratura esistono numerosi approcci riferiti al comparto delle merci, con caratteristiche diverse e studiati per svariati impieghi. La scelta della tipologia di modello da implementare è strettamente legata sia al tipo di risultato che si intende ottenere, sia ai dati disponibili come input. Il dettaglio desiderato per le simulazioni è un ulteriore elemento che accresce le difficoltà nel selezionare il modello adatto.

Ora però, il crescente consolidamento del ruolo dell'Unione Europea nella pianificazione strategica di infrastrutture e servizi di trasporto di rilevanza internazionale ha portato all'esigenza di avere a disposizione metodologie e strumenti modellistici consolidati, comuni su tutto il territorio europeo. Per questa ragione nell'ultimo decennio sono stati finanziati diversi progetti volti a costruire:

- una base dati comune (progetti ETIS, Worldnet e ETIS+);
- un modello comune (TransTools 1, 2 e 3);
- delle linee guida per la realizzazione di modelli (MOTOS).

La creazione di una base dati comune potrà agevolare il lavoro dei modellisti contribuendo a risolvere il "cronico" problema della mancanza di dati. La definizione di linee guida per la realizzazione di modelli, basate sull'analisi dello stato dell'arte, potrà facilitare la diffusione

della conoscenza e permettere di orientare le metodologie verso standard comuni, validi ed affidabili. Infine la creazione di un modello europeo potrà permettere di avere un *framework* comune cui ricollegarsi nello sviluppo del proprio modello.

Al fine di non rendere vano il lavoro svolto a livello europeo, è quanto mai necessario che i modelli più locali che saranno sviluppati nei singoli Paesi siano compatibili con gli strumenti messi a disposizione dai progetti europei. Ciò semplifica ma non esaurisce il compito del modellista: ogni modello avrà le sue peculiarità, ad esempio in termini di obiettivi e grado di dettaglio, e dovrà necessariamente essere studiato separatamente. In particolare le esperienze in campo europeo (Overgård Hansen, 2011) hanno già dimostrato come non sia possibile utilizzare i modelli europei per analisi di contesti territoriali nazionali o di dimensioni minori a causa del livello di dettaglio, che non sarebbe sufficiente.

Partendo da queste considerazioni, nel presente articolo si illustrerà una **metodologia** per la realizzazione di un modello per il trasporto delle merci nel Nord-Ovest italiano in grado di utilizzare i dati e i modelli elaborati nei progetti europei, adattandoli al contesto di studio.

Nel Paragrafo 2 verranno descritti brevemente i progetti comunitari mirati a produrre base dati e modello di trasporto merci per l'Europa, mentre nel Paragrafo 3 verrà fornita una panoramica sullo stato dell'arte nella modellistica del trasporto di merci, comprendendo il modello italiano, attualmente in corso di aggiornamento.

Nei Paragrafi 4 e 5, infine, verrà descritta e valutata la metodologia elaborata e in corso di applicazione al caso studio del Nord-Ovest italiano.

2 I progetti europei nel settore della modellistica applicata al trasporto merci

2.1 Base dati

ETIS

Il progetto ETIS (European Transport policy Information System) è stato sviluppato nell'ambito del "Quinto programma quadro" tra il dicembre 2002 e l'agosto 2005. L'obiettivo principale consisteva nel fornire a decisori politici ed analisti la capacità di valutare su scala europea scelte strategiche legate ai trasporti, quali investimenti nelle infrastrutture, nuovi progetti e politiche o previsioni di traffico. Per soddisfare tali scopi è necessario infatti disporre di una base dati consistente sui flussi di passeggeri e merci che gravitano sulla rete europea. In particolare ETIS si proponeva di:

- sviluppare un database condiviso a livello europeo sui flussi di traffico passeggeri e merci e sui principali attributi della domanda e dell'offerta di trasporto (dati socio-

economici, informazioni sulla rete per diverse modalità di trasporto, dati sui servizi, sui costi, sui tempi di viaggio, ecc.) necessari per le simulazioni modellistiche;

- definire una metodologia in grado di generare tale database a partire dalle fonti nazionali ed internazionali già esistenti, quasi sempre difficilmente confrontabili tra loro;
- generare una prima versione pilota della base dati per una valutazione delle politiche sui trasporti sulla rete transeuropea TEN-T;
- fornire un'interfaccia che permetta agli utenti di accedere e di generare i dati di interesse per specifici modelli di trasporto relativi a Stati e ad anni diversi.

Il complesso processo di ricerca ed armonizzazione delle fonti di dati già esistenti e di stima delle informazioni mancanti ha portato alla realizzazione di una prima versione pilota del database di riferimento che include anche le matrici O/D, riferite all'anno 2000, di traffico merci e passeggeri da e verso l'Unione Europea e le loro previsioni al 2020. In particolare la matrice delle merci, ricavata a partire da quella del commercio estero, contiene prime informazioni su:

- origini e destinazioni (che coincidono con le zone di produzione e consumo, P/C, delle merci, dal momento che vengono presi in considerazione i flussi di prodotti e non di veicoli) con dettaglio regionale (NUTS2) per gli stati dell'UE-25 e per Norvegia e Svizzera e dettaglio nazionale (NUTS0) o di gruppi di Stati per il resto d'Europa e del Mondo;
- zone di trasferimento modale (fino a 2 porti, mentre, per carenza di dati, sono stati esclusi i terminal terrestri);
- modi utilizzati tra l'origine e la destinazione (strada, ferrovia, vie navigabili interne, mare, altro);
- tipo di merce (classificazione europea NSTR a 2 cifre quando possibile);
- tipo e caratteristiche del carico (general cargo, rinfuse liquide/solide, merci unitizzate, veicoli – con distinzione per merci pericolose);
- unità di misura dei flussi (valore, tonnellate, tonnellate-km, TEU, TEU-km, ecc.)

WORLDNET

Il progetto WORLDNET (Worldwide Cargo Flows), finanziato nell'ambito del "Sesto Programma Quadro" e realizzato tra il 2007 ed il 2009, ha permesso di aggiornare e raffinare la matrice dei flussi merci elaborata da ETIS e di estendere parallelamente la rete di trasporto utilizzata dal modello di simulazione del traffico TRANS-TOOLS, anch'esso sviluppato in ambito europeo allo scopo di assegnare i flussi ricavati da ETIS per valutare gli impatti delle politiche europee sulle infrastrutture. Nello specifico, gli obiettivi del progetto WORLDNET hanno permesso di:

- aggiornare la matrice O/D delle merci all'anno 2005 con un maggior dettaglio delle zone di origine e destinazione: provinciale (NUTS3) per gli stati di tutta Europa (dati aggregati però a livello regionale, NUTS2, nella matrice finale per soddisfare le richieste del modello TRANS-TOOLS), nazionale (NUTS0) per il resto del mondo, con ulteriori disaggregazioni in zone per alcuni Paesi non europei molto estesi quali Russia, USA, Canada, Brasile, Cina, India e Australia. La matrice è stata generata utilizzando una metodologia ad hoc diversa e più flessibile di quella sviluppata in ETIS che ha permesso di stimare i dati con maggiore disaggregazione, pur mantenendo la medesima struttura della matrice di base che include le zone di trasferimento modale (con dettaglio regionale, NUTS2, o nazionale, NUTS0), i modi utilizzati, le categorie merceologiche ed il peso della merce;
- estendere ed aggiornare il modello della rete con i collegamenti principali tra l'Europa ed il resto del mondo riferiti alle diverse modalità di trasporto;
- includere i dati relativi al modo aereo (non considerato in ETIS) sia per la domanda sia per l'offerta di trasporto;
- realizzare uno strumento di visualizzazione grafica, basato su tecnologia GIS, che permetta agli utenti di interagire con il database WORLDNET e di estrarne i dati desiderati.

ETISPLUS

Un ulteriore aggiornamento e raffinamento delle basi dati ottenute nei precedenti progetti è in corso di realizzazione attraverso il progetto ETISPLUS, finanziato nell'ambito del "Settimo Programma Quadro", che ha preso il via nel settembre 2009 e si concluderà nel maggio 2012. Lo studio si propone di aggiornare agli anni 2005 e 2008 le matrici O/D sia dei flussi passeggeri sia del traffico merci, a partire dalle matrici ETIS riferite all'anno 2000 e dai flussi merci WORLDNET già stimati al 2005. L'area geografica di riferimento verrà ulteriormente estesa e disaggregata a livello provinciale (NUTS3), includendo anche gli ultimi due Stati membri e saranno integrati, eventualmente ricorrendo a stime, gli indicatori e i dati relativi sia alla domanda sia all'offerta di trasporto (modello della rete) già inclusi nei database ETIS e WORLDNET. In particolare, la nuova matrice dei flussi merci verrà elaborata utilizzando la metodologia, già testata in WORLDNET, che permette di combinare ed armonizzare dati sul commercio estero e sui trasporti provenienti da diverse fonti europee ed extra-europee e di integrarli con basi dati specifiche (statistiche regionali, sui traffici multimodali o suddivisi per singoli modi di trasporto) al fine di riprodurre una struttura analoga a quella generata in ETIS, in grado di descrivere le catene dei trasporti. In aggiunta, il progetto prevede di considerare i trasferimenti modali non solo nei porti, ma anche nei centri di distribuzione terrestri (in precedenza trascurati) che saranno identificati con le zone in cui sono localizzati; saranno

inoltre fornite informazioni sui flussi di merci containerizzate marittimi e terrestri ricavati da database o tramite stime e fattori di conversione.

2.2 Modelli

TRANS-TOOLS

TRANS-TOOLS (TOOLS for TRansport Forecasting ANd Scenario testing) è un modello di trasporto a scala europea sviluppato nel corso di diversi progetti di cooperazione, co-finanziati dalla Commissione Europea, al fine di creare uno strumento modellistico di riferimento, di pubblico dominio, in grado di simulare gli effetti delle diverse politiche di trasporto. Il modello copre, attraverso diversi moduli, il traffico passeggeri e merci, il trasporto intermodale e può inoltre fornire una valutazione degli impatti economici ed ambientali derivanti dall'implementazione delle politiche analizzate.

La prima versione del modello, sviluppata nell'ambito del "Sesto Programma Quadro" tra il 2004 ed il 2008, è inserita in ambiente GIS e offre la copertura della rete di trasporto stradale, ferroviario, aereo, marittimo e su vie interne navigabili dell'Europa centrale ed orientale (UE27 e stati confinanti), mentre per i traffici verso l'estero considera soltanto il trasporto via mare. I principali moduli che costituiscono TRANS-TOOLS, ricavati dalla combinazione di modelli già esistenti a livello europeo, sono:

- **modulo di domanda passeggeri:** copre i primi tre step di un classico modello a quattro stadi (generazione, distribuzione e ripartizione modale) utilizzando come matrice di base la matrice O/D passeggeri stimata da ETIS per l'anno 2000. Fornisce in output le matrici O/D unimodali a livello NUTS3 indicanti il numero di passeggeri ed il numero di veicoli per modo e per motivo dello spostamento;
- **modulo di domanda merci:** include a sua volta i modelli *trade* e di *ripartizione modale* che, a partire dalla matrice O/D ETIS all'anno base 2000, generano una matrice di previsione dei flussi merci all'anno evolutivo con indicazioni sull'origine, le destinazione e le zone di transshipment degli spostamenti, suddivisa per categoria merceologica e per modo di trasporto. Il *modello logistico* permette infine di simulare la variazione del numero e della localizzazione dei centri di distribuzione delle merci in Europa modificando o inserendo eventuali nuove zone di trasferimento modale e generando le matrici di trasporto unimodali delle merci a livello NUTS2;
- **modulo di assegnazione:** sulla base della domanda stimata, determina i flussi sugli archi, e le matrici dei costi generalizzati e dei tempi di trasporto sulla rete. Sono disponibili quattro diverse assegnazioni: stradale (merci e passeggeri), ferroviaria (merci e passeggeri), fluviale (solo per le merci) e aerea (solo per i passeggeri);

- **modello economico regionale:** stima gli effetti che le politiche di trasporto hanno sull'economia di una data area;
- **modulo delle esternalità:** stima i costi sociali derivanti dalle emissioni inquinanti e dall'incidentalità.

Tra il 2008 ed il 2010, la prima versione di TRANS-TOOLS è stata aggiornata e migliorata nell'ambito del progetto TENCONNECT, commissionato dalla Direzione Generale Energia e Trasporti (DG TREN) della Commissione europea. I miglioramenti apportati hanno riguardato sia la base dati sia la struttura del modello. È stata estesa la copertura geografica dell'area di riferimento europea precedentemente adottata, disaggregando ulteriormente la zonizzazione di alcuni dei nuovi Stati membri dell'Unione e dei Paesi confinanti e raggiungendo un totale di 1441 zone (NUTS3) per la definizione della domanda passeggeri e 296 zone (NUTS2) per il traffico merci. Sono state raffinate ed aggiornate al 2005 le matrici degli spostamenti passeggeri su strada, aereo e ferrovia grazie a nuove stime e calibrazioni basate su statistiche più dettagliate e maggiori conteggi di traffico; la matrice di base aggiornata dei flussi merci è invece derivata dal progetto WORLDNET. Infine, sono state attualizzate le reti dei trasporti stradale, ferroviario, aereo e su vie interne navigabili, inserendo i nuovi collegamenti, eliminando quelli dismessi ed aggiornando i principali indicatori quali velocità, numero di corsie, pedaggiamenti, ecc. Relativamente alla struttura del modello, sono stati sostituiti il modulo di domanda passeggeri ed il modello *trade* per le previsioni dei flussi merci che nella prima versione fornivano risultati troppo approssimativi; sono inoltre stati apportati miglioramenti al modulo di assegnazione (soprattutto per il traffico aereo) ed al modello economico. Infine, un altro importante obiettivo del progetto TENCONNECT ha condotto alla generazione di previsioni di traffico agli anni 2020 e 2030 ed all'assegnazione di tali flussi sulla rete.

Nuove modifiche al modello ed alle basi dati della seconda versione di TRANS-TOOLS sono attualmente in fase di definizione ed elaborazione nell'ambito del progetto TRANS-TOOLS version 3, finanziato all'interno del "Settimo Programma Quadro" tra il 2011 ed il 2013. Lo studio prevede un ulteriore aggiornamento al 2010 della rete dei trasporti ed una nuova stima delle matrici di domanda a partire dal database prodotto dal progetto ETISPLUS. Verranno inoltre ulteriormente perfezionati i moduli di domanda e di assegnazione al fine di fornire output a livello provinciale (NUTS3) per i flussi sia passeggeri sia merci, nell'area di riferimento.

2.3 Linee guida per la realizzazione di modelli

MOTOS

Il modello TRANS-TOOLS è annoverato tra gli esempi di *best practices* a livello europeo indicate dal progetto MOTOS. Sviluppato tra il 2006 ed il 2007 nell'ambito del "Sesto Programma Quadro", MOTOS (Transport Modelling: Towards Operational Standards in Europe) si è posto l'obiettivo di definire principi condivisi e buone pratiche e di contribuire alla creazione di un approccio standard per la simulazione modellistica dei trasporti su scala nazionale e regionale nell'Unione Europea. Il principale risultato del progetto consiste in un manuale di linee guida, basate prevalentemente sulle esperienze degli Stati già dotati di un modello di traffico nazionale e rivolte ai nuovi Stati membri, per la costruzione ed il raffinamento di modelli a supporto delle politiche dei trasporti in grado di mettere in collegamento i diversi livelli di analisi: regionale, nazionale ed europeo.

3 Lo stato dell'arte nel settore della modellistica merci

La modellazione dei flussi di merci è concettualmente basata sullo stesso modello sviluppato per il trasporto passeggeri, noto come modello a quattro stadi (Ortuzar e Willumsen, 2006). Sono tuttavia necessari alcuni adattamenti, dovuti alle differenze sostanziali che esistono tra flussi di persone e di merci:

- presenza di diversi decisori;
- varietà degli elementi trasportati;
- disponibilità limitata di dati.

I passi del modello a **quattro stadi** adattato al trasporto delle merci sono sinteticamente riportati in Tabella 1.

Fase	Output della fase
1- Produzione e attrazione	La quantità di merce (es. tonnellate) trasportata dalle zone origine e quella trasportata alle zone destinazione. Nei passi intermedi i flussi di merci sono spesso espressi in unità monetarie.
2- Distribuzione	I flussi di merce (es. tonnellate) tra origini e destinazioni.
3- Scelta del modo (split modale)	Flussi di merce allocati alle diverse modalità di trasporto (es. strada, ferrovia, trasporto combinato, trasporto su vie navigabili).
4- Assegnazione	Distribuzione dei mezzi per il trasporto delle merci sulle reti di trasporto (si convertono i flussi da tonnellate a unità di veicoli e poi li si assegna alla rete).

Tabella 1. Adattamento del modello a quattro stadi al trasporto merci (De Jong et al., 2004)

Per il trasporto merci entrano in gioco alcune componenti aggiuntive rispetto ai modelli passeggeri, tra cui i **modelli di trasformazione** delle merci da unità monetarie in tonnellate (solitamente nella fase di produzione/attrazione) e i modelli di conversione tra tonnellate e mezzi di trasporto.

Vi è inoltre una fase, che riveste grande importanza, che riguarda le scelte logistiche effettuate per il trasferimento della merce, tra cui la scelta dell'unità per il carico (container, pallet, ...), la scelta della catena di trasporto (trasporto diretto o composto da tappe in centri di distribuzione e consolidamento), la tipologia e la grandezza dei mezzi utilizzati per il trasporto e la frequenza e l'orario del trasporto.

Queste scelte, che solitamente vengono simulate in una fase a sé stante, **il modello logistico**, sono ancora oggetto di ricerca, data la loro complessità. A seconda del livello di precisione che si intende raggiungere, questo modello, che richiede una notevole quantità di dati di input, può essere implementato o meno. I modelli ora in fase di studio in alcuni dei Paesi Scandinavi (Vierth, 2011; Kleven, 2011; Overgård Hansen, 2011) ne prevedono l'impiego, al contrario l'ultimo modello Olandese (Tavasszy, 2011) non ne fa uso.

Ogni fase del modello a quattro stadi (o a cinque, se si include il modello logistico) si può basare sia su dati **aggregati**, i dati al livello macro delle zone, sia su dati **disaggregati**, i dati a livello degli attori coinvolti (ad esempio gli spedizionieri). Tra i dati disaggregati si fa una distinzione tra dati sulle scelte effettive - le scelte rivelate (*RP – Revealed Preferences*) - e dati in cui le scelte vengono effettuate tra situazioni ipotetiche - le scelte dichiarate (*SP – Stated Preferences*).

Solitamente i modelli utilizzano dati aggregati, a causa dei minori oneri di raccolta, ma vi sono anche modelli disaggregati di livello nazionale, ad esempio nei paesi Scandinavi (Vierth, 2011; Kleven, 2011; Overgård Hansen, 2011).

Se si hanno i dati a disposizione, i flussi di merce possono inoltre essere segmentati per **tipologia merceologica**, aggiungendo precisione al modello in virtù della maggiore capacità di rappresentare le scelte effettuate durante il trasporto, che dipendono anche dal tipo di merce (ad esempio merce deperibile o ad alto valore o pericolosa).

Di seguito verranno confrontati, per ciascuna delle fasi del modello a quattro stadi, i principali modelli impiegati in letteratura. Le tabelle proposte rappresentano un adattamento di de Jong et al. (2004), cui si rimanda per approfondimenti. Dato lo scopo del modello descritto nel presente articolo, che intende rappresentare i flussi di merci su area vasta (nello specifico il Nord-Ovest italiano), l'attenzione sarà focalizzata su modelli merci su scala nazionale che presentano un livello di dettaglio simile.

Modelli di produzione e attrazione

Tutti i modelli applicati nei casi studio esaminati sono basati su dati aggregati. Non sono stati trovati esempi di modelli di produzione ed attrazione nel trasporto merci che siano stati stimati su dati disaggregati. Nella Tabella 2 viene presentato il confronto tra i modelli più comuni.

Tipo di modello	Breve descrizione	Esempi	Vantaggi	Svantaggi
Serie temporali	I dati delle serie temporali sono utilizzati per sviluppare modelli aventi diversi gradi di sofisticatezza. I modelli possono trarre informazioni soltanto dai flussi di traffico rilevati oppure basarsi su serie temporali di variabili esplicative, come il prodotto interno lordo.	Garrido, 2000	Pochi dati necessari (ma per molti anni).	Poca visibilità della causalità e poca possibilità di simulare gli effetti di politiche.
<i>System dynamics</i>	Integrano quattro sotto-modelli (coprendo attività macroeconomica, economie regionali e uso del territorio, domanda di trasporto e impatti ambientali). Le interazioni tra i sotto-modelli consentono di simulare in modo dinamico le interrelazioni tra tutte le variabili. Il modello macroeconomico prevede la crescita del PIL, i risultati sono elaborati dal modulo di economia regionale che restituisce la domanda di trasporto merci in flussi per coppia OD.	ASTRA, 2000	Pochi dati necessari. Può simulare le interazioni con l'uso del territorio. Si possono valutare gli effetti di elementi esterni e politiche.	Nessun test statistico per i valori dei parametri.
Tasso di spostamento per zona	Solitamente si basano sul tasso di spostamento per zone omogenee rilevato attraverso indagini nell'area di studio (o in un'altra area simile).	Quick Response Freight Forecasting Manual Guidebook on Statewide Travel Forecasting	Pochi dati necessari (dati zonali).	Poca visibilità della causalità e poca possibilità di simulare gli effetti di politiche.
Input-output	Sono modelli macro-economici che partono dalle tabelle input-output, che descrivono, in unità monetarie, che cosa distribuisce agli altri settori ciascun settore, includendo anche la domanda finale dei consumatori, l'import e l'export. Per la stima del livello di produzione per regione e per settore vengono utilizzati i MRIO (Multi-Regional Input-Output) derivati da considerazioni di equilibrio a partire dalle tavole input-output regionali (che associano la dimensione spaziale a quella economica).	Modello italiano per passeggeri e merci Modello del Belgio Il modello SCENES ed il suo predecessore STREAMS	Legato all'economia. Può simulare le interazioni con l'uso del territorio. Può simulare gli effetti di politiche se i coefficienti impiegati sono elastici.	Necessita di tabelle input-output, preferibilmente multi regionali. Assunzioni restrittive se i coefficienti sono fissi. Necessita la conversione da valore in tonnellate. Necessita di identificare i flussi merci di import ed export

SCGE	Il modello SCGE è basato su una struttura di equilibrio generale microeconomico. La produzione, il consumo, il prezzo della merce, i fattori e la quantità della merce trasportata sono calcolati in maniera endogena. Si suppone che le aziende massimizzino il profitto con prodotti e mercati tipicamente assunti in perfetta concorrenza. La massimizzazione del profitto impone che le aziende minimizzino i costi, con i fattori di domanda generalmente sensibili ai fattori dei prezzi. Si assume che le famiglie massimizzino la loro utilità nei loro consumi, reagendo alle differenze di prezzi della merce. Infine i prezzi si adattano alla merce e ai fattori di mercato per eguagliare domanda e offerta.	Bröcker, 1998 Ivanova, 2006	Basato sulla teoria economica. Può simulare le interazioni con l'uso del territorio (e altri). Può simulare gli effetti di politiche.	Necessita come minimo di tanti dati quanto il modelli input-output. Include molte assunzioni. Necessita la conversione da valore in tonnellate. Ancora in una fase di sviluppo accademico
------	---	--------------------------------	---	---

Tabella 2. Confronto tra i modelli di produzione e attrazione

Modelli di distribuzione

Come nello stadio precedente, tutti i modelli di distribuzione delle merci applicati nei casi studio esaminati sono basati su dati aggregati. Nella Tabella 3 viene presentato il confronto tra i modelli più comuni.

Tipo di modello	Breve descrizione	Esempi	Vantaggi	Svantaggi
Gravitazionale	Il flusso tra la zona i e la zona j è una funzione del prodotto delle misure di produzione ed attrazione rispettivamente della zona i e della zona j diviso per una certa misura del costo di trasporto (generalizzato).	TEM-II (Tavasszy e altri, 1994) Il modello tedesco SMILE (Tavasszy e altri, 1998) Il modello di traffico Great Bell (Fosgerau, 1996)	Pochi dati necessari. Si possono simulare alcuni effetti delle politiche attraverso la funzione di costo del trasporto.	Possibilità limitata di includere altre variabili esplicative e gli effetti delle politiche. Numero limitato di parametri di calibrazione.
Input-output	Cfr. Tabella 2	Cfr. Tabella 2	Cfr. Tabella 2	Cfr. Tabella 2

Tabella 3. Confronto tra i modelli di distribuzione

Modelli di split modale

Nei casi studio esaminati sono stati applicati modelli sia aggregati sia disaggregati. Nella Tabella 4 viene presentato il confronto tra i modelli più comuni.

Tipo di modello	Breve descrizione	Esempi	Vantaggi	Svantaggi
Basato sull'elasticità	Simulano gli effetti del cambiamento di un singola variabile (es. il costo di alcuni modi). Le elasticità sono derivate da altri modelli o dalla conoscenza di un esperto. Tali modelli sono utilizzati per le valutazioni strategiche e/o di prima approssimazione, seguite da una più approfondita analisi usando altre forme di modelli, o in situazioni in cui i dati sono carenti.	PACE-FORWARD (Carrillo, 1996) EXPEDITE (EXpert-system based PrEdictions of Demand for Internal Transport in Europe) (EXPEDITE, 2002)	Pochi dati necessari. Facile applicazione.	Le elasticità potrebbero non essere trasferibili. Valuta impatti di singole misure, non può includere effetto di sovrapposizione di più misure.
Split modale aggregato	Sono principalmente logit binomiali o multinomiali stimati partendo dai dati di traffico/percentuali dei differenti modi per un certo numero di zone. Stimano la quota di mercato o di traffico (veicoli) di un modo di trasporto. Si possono basare sulla teoria di massimizzazione dell'utilità individuale, ma solamente con assunzioni molto restrittive. Uno svantaggio nell'utilizzare la forma multinomiale è che le elasticità incrociate sono uguali.	Blauwens and van de Voorde (1988) NEAC	Pochi dati necessari.	Basi teoriche deboli. Bassa intuizione della causalità. Possibilità limitata di includere gli effetti delle politiche.
Neoclassico	Derivano dalla teoria economica aziendale. Da una funzione di costo, in cui i servizi di trasporto sono uno degli input, può essere derivata una funzione di domanda utilizzando il lemma di Shephard. La variabile indipendente è la quota di budget dei modi di trasporto sul costo totale.	Friedlaender e Spady (1980) Oum (1989)	Pochi dati necessari. Basi teoriche.	Difficile da integrare nel modello a quattro stadi.

Domanda diretta	Il numero di viaggi (o chilometri) per modo è stimato direttamente.	Quandt and Baumol (1966)	Pochi dati necessari	Difficile da integrare nel modello a quattro stadi.
Split modale disaggregato	Utilizzano i dati provenienti dalle indagini presso gli attori coinvolti nel trasporto. Molti di questi modelli sono logit multinomiali o logit gerarchizzati, che possono basarsi sulla teoria della massimizzazione dell'utilità casuale sotto assunzioni generali. Il decisore è l'azienda che spedisce. Le funzioni di utilità (utilizzate per il trasporto passeggeri) qui sono riformulate come funzioni di profitto.	Winston (1981) Jiang et al. (1999) Nuzzolo and Russo (1995) Fosgerau (1996) Reynaud and Jiang (2000) EUFRANET (European Freight Railway Network) FTC (1998) De Jong et al. (2001)	Basi teoriche. Potenzialmente può includere molti variabili causali e gli effetti delle politiche.	Necessità di dati disaggregati (indagini).
Approccio di microsimulazione	Stima i percorsi iniziando dagli output del modello di livello superiore che produce i flussi zona-zona in termini monetari (un modello input-output). Include anche la conversione in spedizioni, i punti di trasbordo, l'allocazione al tipo di vettore e di veicolo, e genera i percorsi per ottenere sufficienti carichi veicolari.	Regione di Portland Neffendorf et al., 2001	Molte scelte comportamentali incluse. Collegamenti alla teoria.	Molti dati necessari o molte assunzioni sulle distribuzioni.
Rete multimodale	Predicono simultaneamente il modo e la scelta del percorso. Un algoritmo di minimizzazione del costo è utilizzato per cercare la combinazione ottimale tra le possibili combinazioni percorso-modo tra ogni OD.	WFTN per la regione di Walloon Trasporto merci in Norvegia (NEMO) Canada e in Finlandia	Pochi dati necessari. Basi teoriche. Possono includere la domanda elastica e le politiche che influiscono sul costo generalizzato di trasporto.	Bassa intuizione della causalità. Per la maggior parte utilizzato con domanda fissa.

Tabella 4. Confronto tra i modelli di split modale

Modelli di assegnazione

In generale sono possibili due approcci: l'assegnazione separata e l'assegnazione alla rete multimodale (già descritta nella Tabella 4).

Tipo di modello	Breve descrizione	Esempi	Vantaggi	Svantaggi
Assegnazione separata	Nella fase di assegnazione i trasporti sono allocati sui percorsi composti da archi della rispettiva rete modale. Alcuni modelli di trasporto esaminati non includono la fase di assegnazione; la maggior parte include solo l'assegnazione dei camion. In alcuni casi l'assegnazione alla rete stradale è eseguita congiuntamente al traffico passeggeri, dal momento che il traffico merci è usualmente una piccola frazione del traffico totale (eccetto vicino ai maggiori terminali merci). Per far ciò gli spostamenti dei veicoli commerciali sono convertiti in auto equivalenti, per tener conto del maggiore utilizzo di capacità di un camion rispetto ad un'auto.	Modello nazionale dei Paesi Bassi Modello nazionale italiano	Il modello di scelta modale a monte può essere disaggregato (cfr. Tabella 4). Consente interazione con spostamenti passeggeri se gli spostamenti merci e passeggeri sono assegnati insieme.	L'assenza di interazione tra domanda e assegnazione potrebbe risultare irrealistica; ciò può essere fatto solamente iterativamente. E' difficile, ma non impossibile, considerare le catene di trasporto.
Rete multimodale	Cfr. Tabella 4	Cfr. Tabella 4	Cfr. Tabella 4	Cfr. Tabella 4

Tabella 5. Confronto tra i modelli di assegnazione

3.1 Il modello italiano

Il modello di trasporto italiano, denominato Sistema Informativo per il Monitoraggio e la Pianificazione dei Trasporti, ovvero SIMPT (Gentile et. al, 2008), è stato ideato nel 1993 dopo una prima decisione del CIPET (Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica dei Trasporti) di dotarsi di un sistema di supporto alle decisioni. Nel 2002 è stato affidato l'incarico di sviluppare il modello all'Associazione Temporanea di Imprese fra PTV Ag e TPS srl. I lavori hanno avuto inizio nel 2003 e sono ancora in corso.

Nel modello il territorio nazionale (l'area di studio) è suddiviso in 267 zone (25 zone sono ottenute disaggregando le città più grosse, 97 sono i principali Capoluoghi di Provincia, mentre i restanti Comuni sono aggregati in 145 zone), mentre l'esterno è diviso in 62 zone (48 Paesi Europei e 24 aggregazioni delle restanti Nazioni del mondo).

Il modello si basa sull'interazione di tre componenti principali:

- una base informativa che include i dati relativi all'offerta (servizi nazionali ed internazionali e infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime e aeree), alla domanda (provenienti da campagne di interviste e conteggi) e alle condizioni socio-economiche (acquisiti da fonti statistiche ufficiali, da enti o società che operano nel settore dei trasporti);
- un sistema di modelli;
- uno strumento di interazione tra utente e sistema.

Il sistema di modelli è così strutturato:

- modello di **offerta**;
- modello di **domanda nazionale**, composto da:
 - un modello per i *coefficienti di scambio* che calcola i coefficienti di scambio tra regioni (elastici), considerando i costi generalizzati del trasporto e la competitività delle regioni,
 - un modello *MRIO* (Multi Regional Input-Output) che, a partire da tavole delle interdipendenze strutturali (coefficienti tecnici, domande finali ed esportazioni estere), fornisce come risultato i flussi origine-destinazione inter-regionali in valore per settore,
 - modello di *trasformazione valore/quantità*, che trasforma le matrici OD inter-regionali in valore per settore in matrici in quantità, attraverso appositi indici di conversione,
 - un modello di *provincializzazione* che disaggrega a livello di zone i flussi interregionali in quantità, tenendo conto di attributi territoriali (produzione provinciale da Eurostat 2004 e addetti da Istat 2001) e dei costi generalizzati del trasporto,
 - un modello di *ripartizione modale*, che fornisce i flussi interzonalari in quantità per ciascun modo,
 - un modello di *trasformazione quantità/veicoli*, che attraverso opportuni indici di trasformazione (calcolati sulla base di interviste agli attori del settore) converte i flussi interzonalari in quantità per ciascun modo in flussi di tonnellate;
- modello di **domanda per il territorio estero**, composto da un modello di *provincializzazione*, un modello di *ripartizione modale* e un modello di *trasformazione quantità/veicoli*;
- modello di **assegnazione**;
- modelli per la **valutazione delle prestazioni** del sistema dei trasporti;
- modelli per il calcolo dei **costi** di esercizio e di investimento e per il calcolo degli **introiti**.

Attualmente il modello, dopo aver subito l'aggiornamento a SIMPT2 (nova base dati e adeguamento all'Euro), è in fase di collaudo.

4 Una metodologia per la realizzazione di un modello per il trasporto merci nel Nord-Ovest italiano

4.1 Definizione della metodologia

La definizione della metodologia da adottare è stata effettuata sulla base degli obiettivi e dell'ambito dello studio, della precisione desiderata (*accuracy*) e della disponibilità di dati utili e di risorse economiche.

Gli obiettivi dello studio

Nel caso in esame si intende realizzare un modello previsivo per la stima **dei flussi di merce containerizzata** sulla rete infrastrutturale del Nord-Ovest italiano concentrando l'attenzione sulle relazioni tra il **sistema portuale europeo ed il Nord-Ovest italiano**.

Il modello deve:

1. fornire una rappresentazione dello scenario attuale in termini di **domanda di trasporto merci** (origine, destinazione e quantità) e **offerta di trasporto** (infrastrutture e servizi);
2. stimare **la distribuzione della domanda sull'offerta** (flussi di merci sulle reti di trasporto) in scenari futuri;
3. essere **sensibile** all'effetto sia di interventi sull'**offerta** sia di evoluzioni della **domanda** di trasporto;
4. evidenziare, sia nello scenario attuale sia negli scenari futuri, i servizi, gli archi e i nodi che possono rappresentare i **colli di bottiglia** del sistema, ovvero gli elementi che, a causa delle loro ridotte prestazioni, comportano il decadimento delle *performance* dell'intero sistema.

L'ambito di studio

Si intende valutare unicamente il trasporto di merce via **container**. Ciò garantisce comunque di prendere in considerazione la maggior parte del traffico effettuato dai porti. Se si osservano i dati di traffico dei tre porti liguri di Genova, Savona e La Spezia, infatti, si nota come, se si esclude il trasporto di rinfuse liquide, che viaggia attraverso condotta, il traffico containerizzato rappresenti circa il 60% di quello totale. Viene escluso dall'analisi il trasporto del primo e dell'ultimo miglio, ovvero i trasporti effettuati prima del consolidamento del container e dopo il suo deconsolidamento.

Le modalità di trasporto che si intendono considerare sono: **strada, ferrovia e trasporto combinato strada-ferro**. Il trasporto su vie navigabili interne, il trasporto marittimo a corto raggio (*short sea shipping*) ed il trasporto aereo sono stati esclusi perché marginali, per l'area di studio, in termini sia di collegamenti disponibili sia di traffico effettuato (fonte: Conto Nazionale dei Trasporti 2008-09, 2010).

Si sottolinea inoltre come il modello intenda prendere in considerazione i **flussi Origine-Destinazione** (di seguito flussi OD) e non i flussi Produzione-Consumo (di seguito flussi PC). I flussi PC rappresentano i flussi di merce tra la zona in cui le merci vengono prodotte e la zona in cui vengono consumate. I flussi OD rappresentano i flussi di merce tra una zona e un'altra e derivano dalle scelte effettuate dagli attori che entrano in gioco nell'esecuzione del trasporto della merce tra la zona di produzione e quella di consumo. Ad un flusso PC possono corrispondere diverse combinazioni di flussi OD.

Questa distinzione a livello macro appare più chiara se esaminata a livello micro. A questo livello ai flussi PC corrispondono le catene di trasporto, mentre ai flussi OD corrispondono i tratti che compongono queste catene di trasporto.

In Figura viene rappresentata, a titolo esemplificativo, una catena di trasporto tra Torino, luogo di produzione della merce, e Rockford, luogo di consumo. Questa catena di trasporto è composta da 3 tratti: Torino-Genova, Genova-New York e New York-Rockford. In questo caso la stessa catena di trasporto farà parte di:

- 1 matrice PC, che include la relazione Genova-Rockford (dal luogo di produzione a quello di consumo);
- 3 matrici OD:
 - matrice OD strada, che include il tratto Torino-Genova;
 - matrice OD mare, che include il tratto Genova-New York;
 - matrice OD ferro, che include il tratto New York-Rockford.

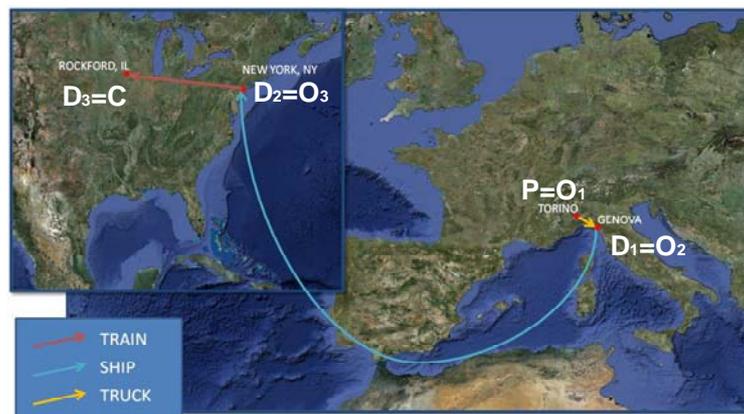


Figura 1. Esempio di corrispondenza tra flusso PC e flussi OD a livello micro

Nell'esempio mostrato ogni tratto è effettuato con modalità di trasporto diverse, in realtà una catena può essere composta da tratti eseguiti sempre con lo stesso mezzo, ad esempio via gomma tra il luogo di produzione ed un magazzino e tra questo e il luogo di consumo.

In questa fase di lavoro non si segmenta il traffico in base alla **tipologia di merce** trasportata. Questa scelta riduce gli oneri relativi alla ricerca dati ma comporta una minore rappresentatività dei fenomeni reali. Infatti la tipologia merceologica (in virtù, ad esempio, della deperibilità, della pericolosità, del peso specifico e del costo a tonnellata) influenza le scelte effettuate durante la catena di trasporto. La modalità di trasporto utilizzata, in primis, è strettamente legata alla tipologia di merce trasportata: le merci deperibili (non solo i prodotti alimentari ma soprattutto le merci di alta moda o tecnologia, la cui competitività è strettamente legata al momento di introduzione sul mercato) hanno la necessità di giungere a destinazione in tempi ristretti e necessitano di una maggiore puntualità, per cui spesso vengono trasportati con mezzi a velocità maggiore, più affidabili e sicuri.

La precisione desiderata (*accuracy*)

La precisione del modello influenza il livello di dettaglio dei risultati. In funzione degli obiettivi dello studio viene quindi definito il livello di dettaglio desiderato dei risultati e, di conseguenza, la precisione desiderata.

Dalla nascita della modellistica applicata alla pianificazione dei trasporti ad oggi si è assistito ad una variazione della precisione desiderata. Dopo la nascita negli anni 70, nel decennio successivo il notevole impulso dato dallo sviluppo di nuove tecnologie che consentivano di avere maggiori capacità computazionali ha portato ad elaborare modelli sempre più complessi, con il risultato di ottenere strumenti spesso poco *user-friendly*, di difficile comprensione, calibrazione e utilizzo. Questo trend si è accentuato nel periodo successivo in cui la modellistica è stata impiegata per analizzare i fenomeni in modo sempre più esaustivo e dettagliato con notevole dispendio di tempo e risorse economiche e risultati spesso poco solidi. Alla luce di ciò, i Paesi con maggiore esperienza nel settore (tra cui Olanda e Paesi del Nord Europa) hanno ora orientato le loro ricerche verso lo sviluppo di modelli meno dettagliati ma più solidi, comprensibili e semplici da usare (Tavasszy, 2011).

Queste considerazioni hanno orientato l'approccio modellistico adottato: il modello che si intende sviluppare privilegerà perciò **solidità e semplicità di utilizzo e comprensione**.

La disponibilità di dati utili

La presenza di database a livello europeo relativi sia alla domanda sia all'offerta di trasporto merci (cfr. Paragrafo 2) consente di ridurre gli oneri legati alla ricerca di dati. Questi database però, a causa della scala di dettaglio, non possono essere impiegati in un modello nazionale o

macro-regionale. La dimensione delle zone ed il dettaglio della rete dei trasporti non sono sufficienti per un modello che intende quantificare gli spostamenti tra Province o aggregazioni di Comuni. Inoltre non sono presenti i dati riguardanti il traffico locale, interno alle zone, fondamentali se si intende simulare lo stato dei trasporti ad una scala meno ampia. E' perciò necessario disporre di altre informazioni, di dettaglio maggiore, da impiegare per **disaggregare** i dati europei al livello desiderato. Questi, però, sono tipicamente dati socio-economici più semplici da reperire (ad esempio numero di residenti, addetti, imprese).

E' opportuno però che vengano impiegati anche dati provenienti da ulteriori fonti (statistiche e studi dei trasporti, eventuali indagini e rilievi di traffico) al fine di verificare l'attendibilità dei database europei ed, eventualmente, apportare le opportune **correzioni** laddove vi siano informazioni non congruenti. Infatti, le modalità di raccolta delle informazioni (non sempre è presente un partner per Nazione, per cui per alcuni Paesi questa attività risulta più difficoltosa e spesso può presentare lacune) ed il grado di precisione desiderato (necessariamente minore a causa delle notevoli dimensioni dell'area di studio) possono in taluni casi comportare la presenza di imprecisioni nei dati.

La possibilità di attingere da dati già disponibili e di doverli unicamente raffinare ed, eventualmente, correggere per l'area di studio consente di limitare i rilievi sul campo, costosi e di difficile esecuzione, eseguendo solo quelli strettamente necessari per la calibrazione del modello. Ciò consente di **ridurre gli oneri economici**, pur mantenendo un'adeguata rappresentatività dei dati.

4.2 Descrizione della metodologia

La metodologia impiegata segue la prassi consolidata nell'ingegneria dei sistemi di trasporto (Cascetta, 2008) e si articola nelle seguenti fasi:

- definizione dell'area di studio;
- zonizzazione;
- costruzione del modello di offerta;
- identificazione del periodo temporale di riferimento;
- costruzione del modello di domanda;
- costruzione del modello di interazione domanda-offerta;
- calibrazione e validazione dei modelli.

Definizione dell'area di studio

Nella teoria dei trasporti l'area di studio contiene il sistema di trasporto merci oggetto di analisi e deve essere individuata in modo che al suo interno si esauriscano gli effetti rilevanti delle proposte progettuali da simulare (Cascetta, 2008).

Attenendosi a questa definizione l'area di studio è costituita non solo dal Nord-Ovest italiano ma dall'intera **Europa**. Poiché il modello intende però concentrare l'attenzione sul territorio del Nord-Ovest, l'area di studio è stata rappresentata secondo due livelli di dettaglio diversi in termini di domanda e offerta:

1. il **livello 1**, formato da Piemonte, Lombardia, Liguria e Valle D'Aosta, che verrà rappresentato con un dettaglio superiore;
2. il **livello 2**, ovvero il contesto europeo, che presenterà un dettaglio inferiore.

Il livello 1 dell'area di studio è posto in collegamento con il livello 2 attraverso **porte** che coincidono con i valichi/tunnel alpini, che separano il Nord-Ovest da Francia e Svizzera, e con le principali direttrici autostradali e statali di connessione con il resto d'Italia.

Il livello 2 è collegato con l'area esterna (il contesto extra-UE) attraverso porte che coincidono con i principali porti europei. Al fine di consentire di rappresentare la maggior parte delle relazioni tra Europa e resto del Mondo sono stati selezionati 52 porti: i primi 50 per numero di TEU movimentati annualmente (fonte: ESPO, 2010), più Ravenna (IT) e Rijeka (HR), rilevanti per l'area di studio. In questo modo si prende in considerazione più del 90% del traffico containerizzato europeo via mare. Da questa lista sono stati esclusi i porti di *transshipment* (i porti il cui traffico di *transshipment* supera il 75% del traffico totale, secondo la definizione adottata da ITTMA, 2009) e quelli localizzati su isole, poiché non rappresentano punti di accesso al territorio europeo (es. Algeciras, Malta, Gioia Tauro, Las Palmas, Cagliari, ...), arrivando ad un elenco di 44 porti.

In Tabella 6 viene presentato l'elenco dei porti assunti come porte dell'area di studio di livello 2, indicandone il ranking nel sistema portuale europeo (sulla base del traffico container totale effettuato), la nazione di appartenenza e il numero di TEU movimentati nell'anno 2009 (fonte: ESPO, 2010).

Ranking	Porto	Nazione	TEU (2009)	Ranking	Porto	Nazione	TEU (2009)
1	Rotterdam	Netherlands	9.743.290	29	Naples	Italy	496.000
2	Antwerp	Belgium	7.309.639	30	Leixos	Portugal	454.503
3	Hamburg	Germany	7.007.704	31	Bilbao	Spain	443.464
4	Bremen	Germany	4.578.642	32	Thamesport	UK	423.000
5	Valencia	Spain	3.653.890	33	Aarhus	Denmark	385.000
7	Felixstowe	UK	3.021.000	34	Gdynia	Poland	378.321
10	Zeebrugge	Belgium	2.328.198	35	Venice	Italy	369.000
11	Le Havre	France	2.240.714	36	Helsinki	Finland	357.204
12	Barcelona	Spain	1.800.662	39	Kotka	Finland	345.939
13	Genoa	Italy	1.533.627	40	Koper	Croatia	343.165
14	Southampton	UK	1.381.000	41	Malaga	Spain	289.871
15	St-Petersburg	Russia	1.343.675	42	Trieste	Italy	276.957
16	La Spezia	Italy	1.046.063	43	Thessaloniki	Greece	270.181
18	Marseille	France	876.757	44	Savona	Italy	260.000
19	Gothenburg	Sweden	824.218	45	Sines	Portugal	253.495
22	Leghorn	Italy	741.000	46	Klaipeda	Lithuania	247.977
23	Piraeus	Greece	660.837	47	Gdansk	Poland	240.623
24	Tilbury	UK	647.000	48	Dunkerque	France	212.000
25	Constantza	Romania	594.299	49	Tarragona	Spain	203.873
26	Liverpool	UK	588.000	50	Amsterdam	Netherlands	203.084
27	Dublin	Ireland	548.000	53	Ravenna	Italy	185.022
28	Lisbon	Portugal	500.857	63	Rijeka	Croatia	130.740

Tabella 6. Elenco dei porti europei assunti come porte dell'area di studio di livello 2 (elaborazioni su dati ESPO, 2010)

Zonizzazione

Per agevolare l'utilizzo dei dati disponibili a livello europeo (modelli TransTools, banche dati ETIS e Eurostat) le zone sono state definite utilizzando la Nomenclatura delle Unità Territoriali per le Statistiche (NUTS) usata dall'Unione Europea (es. Eurostat) e basata sull'entità della popolazione residente in ciascuna area secondo la seguente classificazione:

- NUTS 0: territorio nazionale;
- NUTS 1: territorio con popolazione compresa tra 7.000.000 e 3.000.000 unità;
- NUTS 2: territorio con popolazione compresa tra 3.000.000 e 800.000 unità;
- NUTS 3: territorio con popolazione compresa tra 800.000 e 150.000 unità.

Per l'Italia le zone NUTS 1 corrispondono al territorio delle macroregioni (es. Nord-Ovest), le zone NUTS 2 a quello delle Regioni e le zone NUTS 3 a quello delle Province.

La zonizzazione adottata nel modello prevede la definizione di zone più piccole per il Nord-Ovest italiano, in cui si intende avere una maggiore rappresentatività dei flussi delle merci, e zone più grandi per il resto d'Italia e per il contesto europeo, con un allargamento delle zone

ed un sempre maggior livello di aggregazione dei dati mano a mano che ci si allontana dal Nord-Ovest e decrescono i volumi degli scambi commerciali.

L'area di livello 1 è stata suddivisa in NUTS 3 (Province del Nord-Ovest), mentre l'area di livello 2 è stata disaggregata secondo la zonizzazione adottata dal modello europeo TransTools 2.

In questo modo sono state individuate 298 zone (tra cui le 24 Province del Nord-Ovest), cui si aggiungono le 44 porte definite nel paragrafo precedente, che consentono il collegamento dell'area di studio di livello 2 con l'esterno (i porti). La zonizzazione adottata è rappresentata in Figura 2, in cui l'area di livello 1 è evidenziata dal colore grigio.

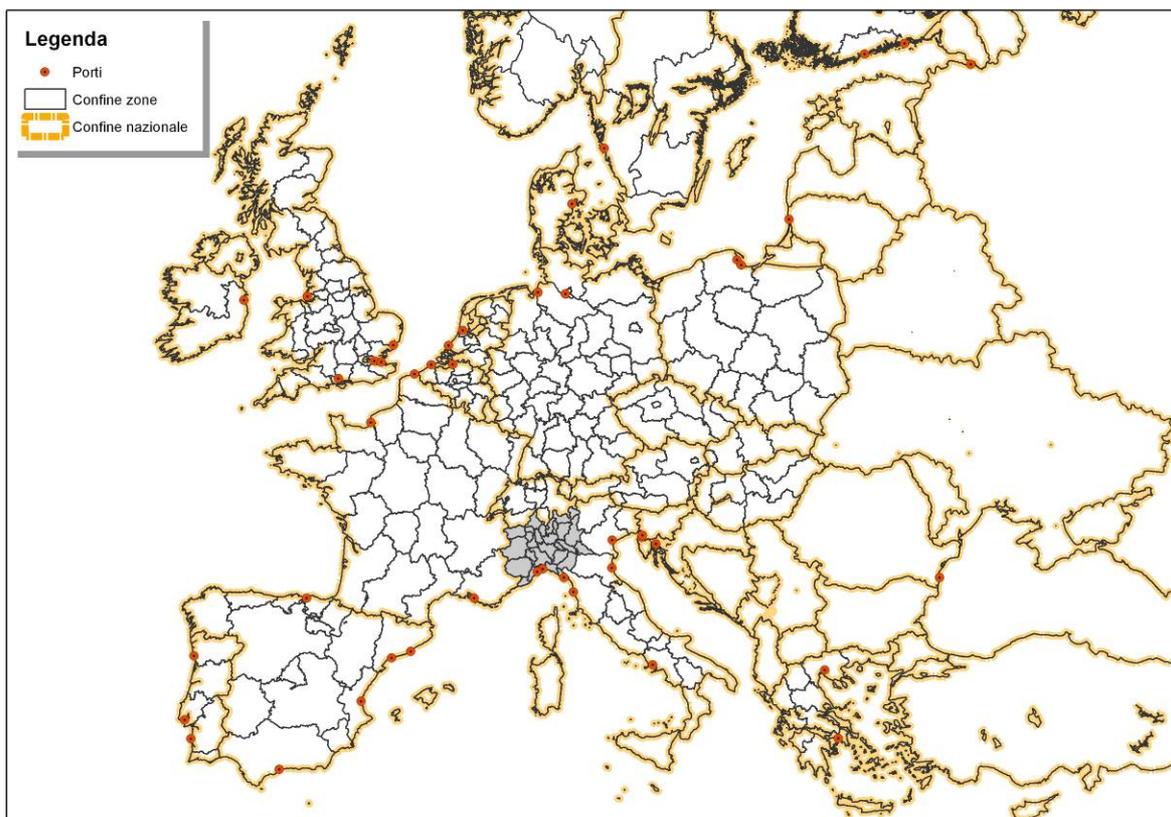


Figura 2. La zonizzazione adottata

Costruzione del modello di offerta

Questa attività è stata articolata in due fasi principali:

- individuazione delle infrastrutture e dei servizi di trasporto rilevanti e costruzione del grafo;
- definizione delle caratteristiche quantitative associate agli archi che costituiscono il grafo.

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, le modalità di trasporto che si intendono considerare sono: **strada**, **ferrovia** e **trasporto combinato strada-ferro**. Sono perciò stati realizzati due grafi tra loro collegati attraverso nodi intermodali: una rete stradale e una rete ferroviaria.

La definizione delle infrastrutture e dei servizi di trasporto rilevanti e la costruzione del grafo sono state effettuate separatamente per i due livelli dell'area di studio. Questo a causa della stretta interdipendenza tra grafo e zonizzazione. Infatti, poiché i flussi che derivano da spostamenti intrazonali non possono essere simulati, in caso di zonizzazione rada e grafo fitto si potrebbe andare incontro ad una sottostima dei flussi, mentre viceversa, in caso di zonizzazione fitta e grafo rado si potrebbe incorrere nella sovrastima dei flussi (Cascetta, 2008).

Perciò per il livello 2, in cui la zonizzazione è meno fitta, sono state impiegate le infrastrutture utilizzate nell'ambito del progetto europeo TransTools 2, che permettono il collegamento tra i livelli NUTS 2 delle diverse Nazioni. A queste sono stati aggiunti i principali terminal intermodali europei, tratti dai database sviluppati all'interno di altri modelli europei. Per il livello 1, per cui la zonizzazione ha un dettaglio maggiore, sono invece state utilizzate le seguenti infrastrutture:

- rete stradale: rete di TransTools 2, che comprende le autostrade e le principali strade statali (così come definite prima del processo di decentramento delle competenze in materia di viabilità conclusosi il DPCM del 21 febbraio 2000), che rappresentano le infrastrutture maggiormente utilizzate per il trasporto container a lungo raggio, sia nazionale sia internazionale;
- rete ferroviaria: linee con caratteristiche (infrastrutturali e operative) che le rendono preferenzialmente adatte al trasporto delle merci (definite sulla base dei dati forniti da RFI, gestore dell'infrastruttura in Italia) e altre linee;
- nodi intermodali: tutti gli interporti (definiti dalla legge n. 240 del 1990) e i terminal intermodali presenti nel Nord-Ovest italiano (rilevati da diverse fonti, tra cui gli strumenti di pianificazione delle regioni del Nord-Ovest).

Tutti gli archi sono monodirezionali e definiti convenzionalmente come coppia orientata di nodi (nodo iniziale – nodo finale). In Figura 3 e Figura 4 sono rappresentati i grafi stradale e ferroviario ed i nodi intermodali del Nord-Ovest, distinguendo con colori diversi gli archi di livello 1 (Nord-Ovest) e quelli di livello 2 (contesto europeo).

Ad ogni arco che costituisce il grafo sono quindi state associate le caratteristiche quantitative rilevanti per il modello, differenti a seconda del livello dell'area di studio di appartenenza.

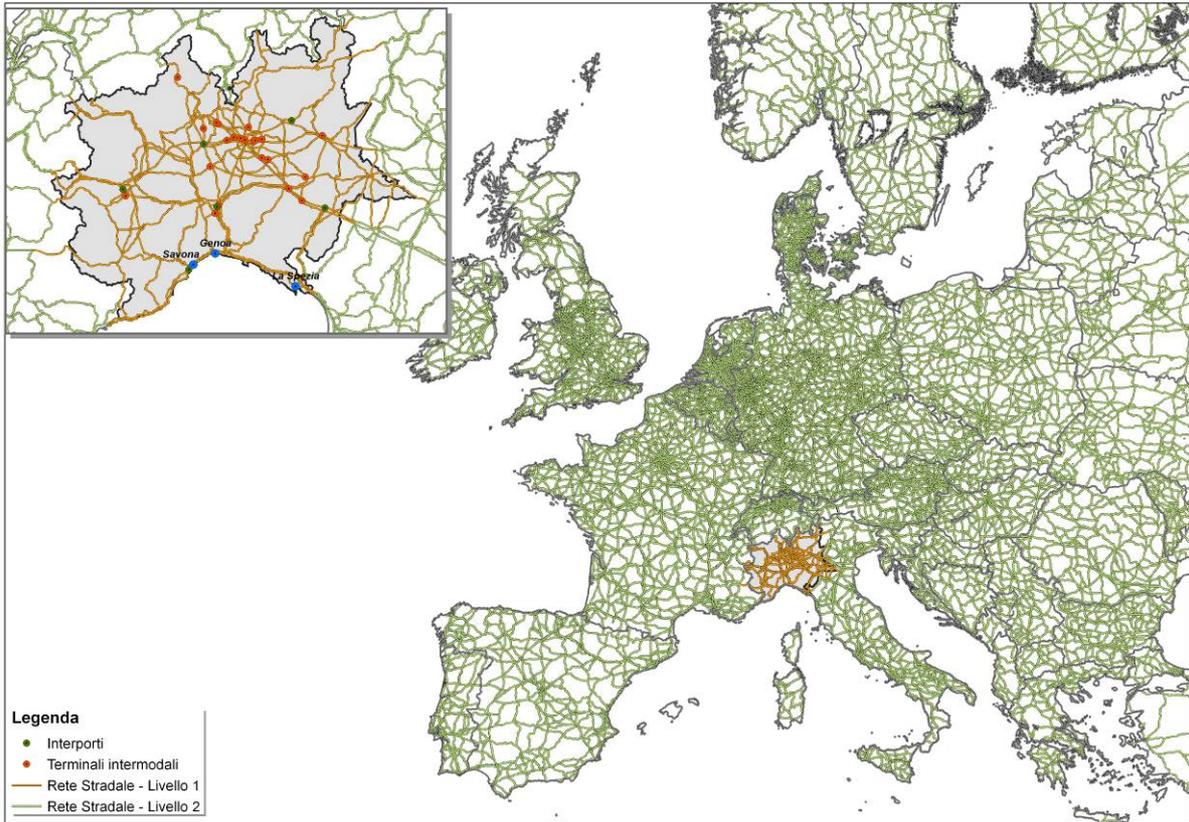


Figura 3. Grafo stradale

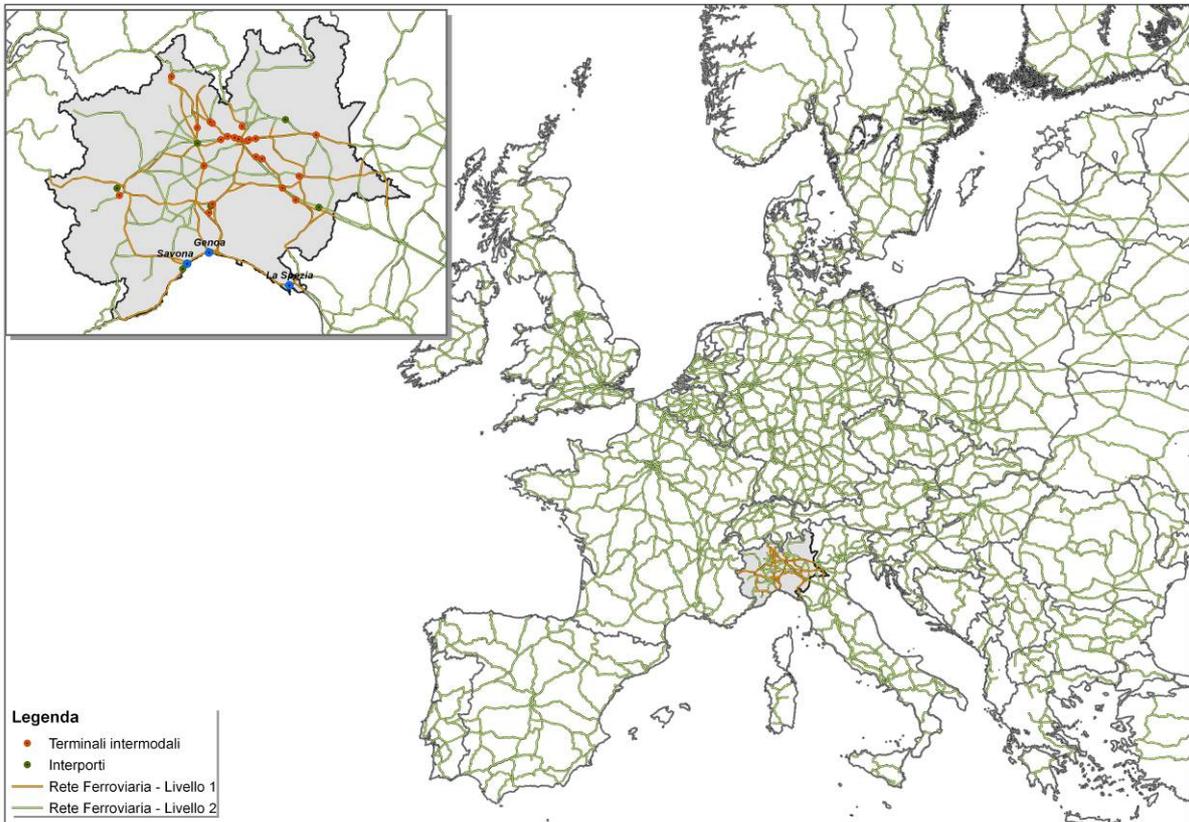


Figura 4. Grafo ferroviario

Identificazione del periodo temporale di riferimento

Il periodo temporale di riferimento definisce l'unità di misura temporale adottata nel modello. A seconda degli obiettivi, dei fenomeni che si intendono rappresentare e dei dati a disposizione le analisi possono essere riferite a intervalli più o meno ampi. Nel modello descritto l'attenzione è concentrata sul trasporto di container, ed in particolare su quello che deriva dal sistema portuale. Le indagini effettuate hanno rilevato come i trasporti marittimi si ripetano ciclicamente, secondo un cadenzamento pressoché settimanale, per cui è stata adottata come unità temporale di riferimento la **settimana**. Intervalli più piccoli (ad esempio il giorno) avrebbero rappresentato solo in maniera parziale i fenomeni reali, mentre intervalli maggiori comportato un livello di dettaglio del modello non adeguato.

Costruzione del modello di domanda

Il modello di domanda consente di stimare il quantitativo di merce (in questo caso il **numero di TEU**) che vengono trasportati nell'unità di tempo considerata (la settimana) da una zona di origine O ad una zona di destinazione D con un determinato modo di trasporto (strada, ferro e trasporto combinato).

L'approccio adottato deriva dal classico modello a quattro stadi, utilizzato per la modellazione del trasporto passeggeri, adattato al trasporto delle merci e semplificato sulla base degli elementi resi disponibili dai progetti europei descritti nel Paragrafo 2. Non viene sviluppato uno specifico modello logistico (cfr. Paragrafo 3) ma si include la scelta della catena di trasporto nel modello di split modale. Sulla base della letteratura (de Jong et al., 2004), si è preferito mantenere separato il modello di split modale da quello di assegnazione (non applicando un modello di assegnazione multimodale) in modo da poter controllare meglio i processi di calibrazione.

La principale differenza è data dal fatto che il modello è basato su **dati di domanda esistenti** stimati dai progetti europei, che vengono aggiornati, resi conformi alla zonizzazione adottata e corretti sulla base dei **dati rilevati** nell'area di studio nell'area di studio e di indagini ad hoc. Il *modello di produzione/attrazione*, che consente di stimare il quantitativo di merce prodotta e attratta dalle zone che compongono l'area di studio, e il *modello di distribuzione*, che consente di stimare i quantitativi di merce trasportati tra queste zone (la matrice Origine-Destinazione, di seguito matrice OD), vengono sostituiti da modelli di rielaborazione delle matrici OD già stimate per gli anni 2000 e 2020 da ETIS e per l'anno 2005 e 2030 da TransTools2, con un dettaglio di zonizzazione che al massimo arriva al livello NUTS 2⁴.

⁴ Si segnala che il progetto europeo ETIS+, ancora in corso, prevede di costruire una matrice dettagliata secondo una zonizzazione più fine (NUTS 3) riferita a orizzonti temporali anche più recenti (2005 e 2010).

In Figura 5 viene presentato uno schema di confronto tra l'approccio classico per la modellazione del trasporto passeggeri e l'approccio adottato nel modello proposto, con riferimento allo scenario attuale, collocato all'anno 2010.

Lo stesso metodo potrebbe essere applicato anche alle matrici già stimate dai modelli europei per orizzonti temporali futuri. Questo approccio, a fronte di un notevole vantaggio dato dalla riduzione di tempo e risorse richieste per costruire il modello, ha lo svantaggio di essere dipendente da stime già disponibili e quindi legate a determinati anni. E' perciò in corso di elaborazione un metodo che, partendo comunque dai dati resi disponibili dai modelli europei, consenta di simulare qualunque scenario futuro di domanda utilizzando le variabili indipendenti del modello.

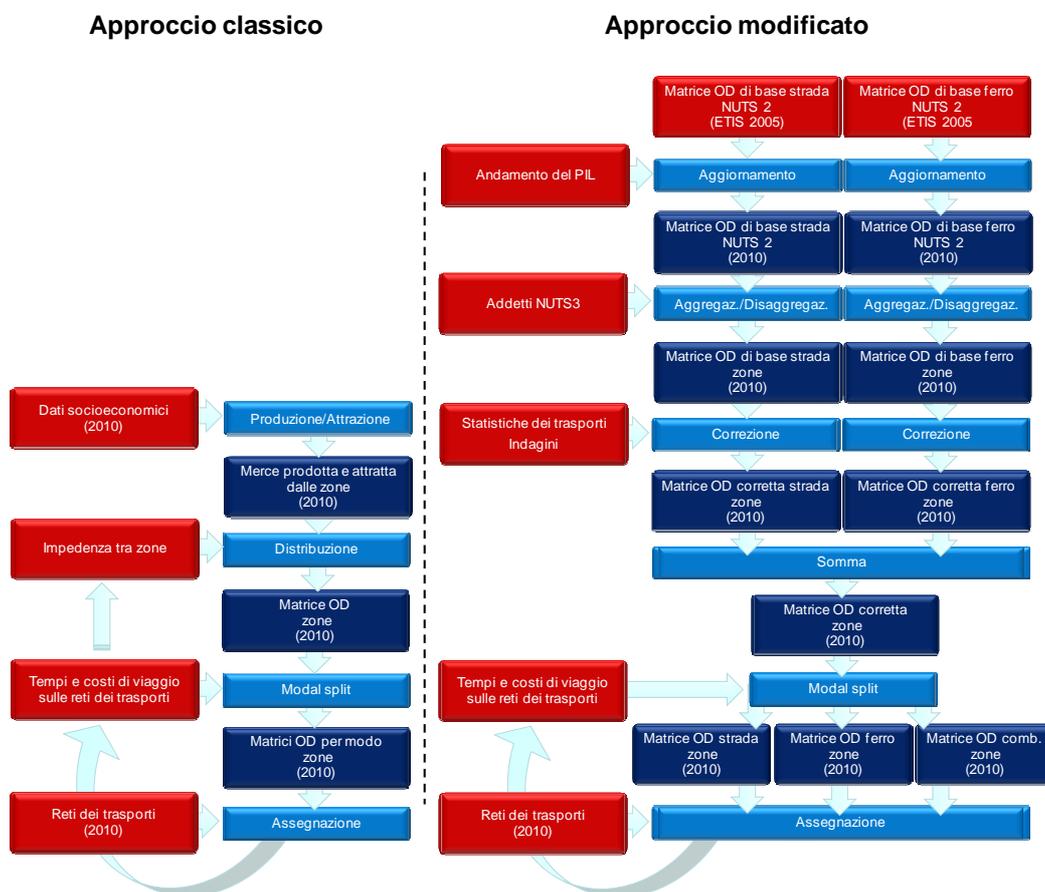


Figura 5. Confronto tra l'approccio classico per la modellazione del trasporto passeggeri e l'approccio adottato nel modello proposto (riferimento allo scenario attuale, anno 2010)

Il primo passaggio del modello consiste nell'**aggiornamento** all'anno desiderato delle matrici OD per modo rese disponibili dai progetti europei. Questo processo viene effettuato sviluppando un modello di aggiornamento della domanda per modo basato, ad esempio, sull'andamento osservato del PIL (Prodotto Interno Lordo) disponibile a livello di NUTS2 per tutta l'Europa.

Il secondo passaggio (**adattamento alla zonizzazione** desiderata) è composto da un processo di aggregazione dei dati per le zone del modello di dimensioni superiori al livello NUTS 2 (alcune zone dell'area di studio di livello 2) e da un processo di disaggregazione dei dati basato sul numero di addetti per le zone dell'area di studio di livello 1, disponibili a livello NUTS3 nei database dei progetti Europei. Poiché questi dati contengono anche informazioni relative al traffico interno alle zone (traffico intrazonale), questo processo può essere utilizzato anche per produrre una prima stima del traffico tra zone appartenenti allo stesso livello NUTS2 (ad esempio il traffico tra le Province del Piemonte).

Al termine di queste operazioni le matrici OD risultanti vengono **corrette** per l'area di studio di livello 1, utilizzando dati di dettaglio disponibili. Ciò permette di avere un superiore livello di precisione per l'area di maggiore interesse e, di conseguenza, una migliore rappresentatività dei fenomeni reali. A tal scopo vengono utilizzati i seguenti dati:

- matrice trasporto **stradale**:
 - dati OD ai valichi (dati CAFT);
 - flussi di traffico e dati OD a disposizione delle società autostradali in sezioni al cordone o all'interno dell'area;
 - indagini OD integrative sulle principali direttrici stradali di ingresso/uscita dall'area;
 - dati a disposizione delle Autorità portuali;
 - indagini presso i terminal portuali, gli interporti e i principali terminal intermodali;
 - indagini OD presso i terminal portuali, gli interporti e i terminal intermodali;
- matrice trasporto **ferroviario**
 - dati OD ai valichi (dati CAFT);
 - dati a disposizione delle imprese ferroviarie;
 - indagini presso i terminal portuali, gli interporti e i principali terminal intermodali;
 - indagini OD presso i terminal portuali, gli interporti e i terminal intermodali.

Al termine di questo processo si ottengono le matrici OD per modo relative al trasporto merci containerizzato per l'anno desiderato, riferite al sistema di zonizzazione adottato.

Queste vengono infine sommate per ottenere la **matrice totale** da impiegare come dato di input nel successivo modello di split modale.

Questo passaggio è importante poiché si intende sviluppare un modello in grado di simulare la scelta del modo di trasporto in funzione di mutamenti della domanda e dell'offerta.

Come modello di split modale si utilizza un logit aggregato, che ha valenza di modello di **scelta della catena di trasporto**, poiché le alternative di scelta sono rappresentate da:

- trasporto stradale;

- trasporto combinato strada-ferrovia;
- trasporto ferroviario diretto (nel caso in cui origine e destinazione abbiano i loro binari di raccordo, ad esempio per un collegamento ferroviario diretto da un porto ed un porto secco posizionato nell'entroterra).

Si sottolinea come la definizione dei modi possibili sia stata effettuata in funzione dell'area di studio. Per il Nord-Ovest italiano, in cui non sono presenti altre alternative modali, è stato possibile selezionare solo tre modalità, in altri territori potrebbe essere opportuno considerare anche il trasporto marittimo a corto raggio (*short sea shipping*), che sulle lunghe distanze può rappresentare un'alternativa conveniente, e il trasporto per vie navigabili, quando disponibili.

Per la stima di questo modello si impiegano dati resi disponibili dai progetti europei (cfr. paragrafi precedenti). Ciò comporta una notevole semplificazione oltre che una netta riduzione di tempo e risorse. In assenza di queste matrici, infatti, sarebbe stato necessario reperire dati disaggregati, ottenibili ad esempio intervistando un campione di spedizionieri al fine di valutare il peso dei fattori che influenzano la scelta del modo di trasporto.

Le variabili indipendenti chiave sono il **tempo di trasporto e il costo per modo** (le più importanti in questa fase di scelta, secondo la letteratura) calcolate sulle reti di trasporto stradale e ferroviaria. Ogni alternativa ha perciò una funzione di utilità espressa da:

$$V_{odv} = \beta_{tc} \cdot (d_{odv} \cdot T_v + t_{odv} R_v) + \beta_t \cdot t_{odv} + MSC_v \quad (1)$$

dove:

- V è la componente deterministica dell'utilità;
- β è un coefficiente da stimare;
- i pedici o e d rappresentano le zone di origine e destinazione;
- il pedice v rappresenta il modo;
- d è la distanza;
- t è il tempo di viaggio;
- T è il costo unitario della distanza;
- R è il costo unitario del tempo;
- MSC_v è la costante specifica dell'alternativa.

Il termine tra parentesi rappresenta il costo totale di trasporto per l'impresa di trasporto (*carrier*) o per colui che spedisce in conto proprio (*own account shipper*) ed è composto da costi che sono funzione della distanza percorsa, come il carburante, o che si possono assumere dipendenti da questa, come i pedaggi ($d_{odv} \cdot T_v$) e costi funzione del tempo di viaggio, come il

costo dell'autista ($t_{odv}R_v$). I valori unitari T (costo unitario della distanza) ed R (costo unitario del tempo), che necessitano di essere ricavati da dati esterni, sono assunti uguali a quelli resi disponibili dai progetti europei.

Il secondo termine dell'utilità invece rappresenta gli eventuali costi del capitale legati al tempo in cui la merce è in viaggio (e quindi il capitale è immobilizzato e non utilizzabile), percepiti da colui che spedisce (*shipper*). Il relativo costo unitario del tempo (β_t) è perciò diverso da quello descritto in precedenza (R) e va stimato utilizzando dati derivati da indagini o utilizzando i dati presenti in letteratura. Nel presente lavoro β_t è stato stimato sulla base dei risultati di un'indagine condotta da SiTI presso le aziende manifatturiere del Piemonte e della Lombardia nell'ambito di altri progetti.

La distanza e il tempo di viaggio per modo vengono calcolati dal modello di assegnazione (paragrafo successivo).

Costruzione del modello di interazione domanda-offerta

L'assegnazione è unimodale: ogni matrice OD per modo (strada, ferro e trasporto combinato) viene trasformata in veicoli o treni e assegnata alla propria rete di riferimento secondo un differente approccio.

La matrice stradale in TEU viene trasformata in veicoli, impiegando i fattori di conversione TEU/veicolo resi disponibili dai progetti europei, e quindi viene assegnata.

Nella modellazione del trasporto merci, l'assegnazione alla **rete stradale** normalmente non considera la relazione tra flussi e tempi di percorrenza dovuta alla capacità limitata degli archi della rete. L'assegnazione può essere perciò un'assegnazione tutto o niente (AoN – *All or Nothing*) in cui la matrice dei veicoli per il trasporto merci viene assegnata alla rete, i cui attributi di arco (velocità e tempo di percorrenza), però, includono già l'effetto dei flussi di auto (e bus). Per fare ciò si possono impiegare i risultati dei modelli europei di assegnazione passeggeri che per ogni arco della rete hanno stimato:

- capacità (veicoli/h);
- flusso di veicoli passeggeri (veicoli/h);
- tempo di viaggio a rete carica (minuti).

Per l'assegnazione **ferroviaria** sono stati presi in considerazione i vincoli infrastrutturali che possono limitare il *peso* e la *lunghezza* dei treni (non effettuando distinzioni tra diverse tipologie di unità per il carico, in questa fase non si considera il limite dato dalla *sagoma*, che può essere rilevante nel caso di trasporto di container *High Cube* oltre che per il trasporto di semirimorchi).

Data una quantità in **TEU** da trasportare dall'origine O alla destinazione D questa viene dapprima trasformata in **tonnellate** utilizzando il fattore di conversione 10,5 t/TEU (ITTMA, 2009) stimato per i principali porti europei considerando il totale dei container, pieni e vuoti (in questo modo si considera l'effetto del trasporto dei container vuoti, rilevante su alcune direttrici in cui i traffici non sono equilibrati).

Il valore così ottenuto viene diviso per il massimo tonnellaggio trasportabile sui possibili percorsi che collegano le due zone considerate. Questo valore viene calcolato sulla base di pendenza, carico assiale ammesso e modulo di incrocio e precedenza delle tratte ferroviarie che compongono ogni percorso.

Viene così stimato il **numero minimo di treni** (basato solo sulle caratteristiche infrastrutturali) che devono essere inoltrati su ogni percorso possibile che collega le zone considerate per trasportare il quantitativo di merce dato.

Sulla base del costo generalizzato di un treno per percorso (prodotto del costo generalizzato al km per i km da percorrere) viene perciò calcolato il costo generalizzato a tonnellata su ogni percorso considerato. Infine la quantità di merce da trasportare tra la coppia OD considerata viene assegnata al percorso che per cui questo valore è minimo.

L'assegnazione della matrice del **trasporto combinato** viene ricondotta ad una "tripla" assegnazione unimodale.

Si assume che i tratti stradali della catena debbano essere i più corti possibili, per cui il terminal ferroviario scelto in partenza sarà sempre quello più vicino all'origine mentre quello finale sarà il più vicino alla destinazione. In questo modo la catena viene spezzata in 3 tratti che possono essere assegnati con le modalità sopra definite:

- origine - terminal di partenza: assegnazione stradale;
- terminal di partenza - terminal di arrivo: assegnazione ferroviaria;
- terminal di arrivo - destinazione: assegnazione stradale.

Calibrazione e validazione dei modelli

A seguito dell'assegnazione alle reti di trasporto è necessario valutare la rappresentatività del modello, ovvero la sua capacità di riprodurre, il più fedelmente possibile, la situazione di traffico presente sulla rete oggetto di studio. Questo processo consiste nel confrontare i flussi di traffico simulati dal modello e quelli reali derivati dai rilievi disponibili, verificarne la corrispondenza ed, eventualmente, modificare alcuni parametri del modello al fine di migliorarla (calibrazione). Attraverso un processo iterativo di assegnazione – confronto – calibrazione è possibile giungere ad un livello di rappresentatività adeguato al grado di dettaglio del modello.

Il confronto fra dati assegnati e dati misurati è effettuato, per l'area di studio di livello 1, in primo luogo utilizzando il confronto grafico di dispersione, verificando la compattezza della nuvola rappresentante i dati (flussi assegnati sulle ascisse e dati misurati sulle ordinate) intorno alla retta bisettrice del quadrante. Successivamente, la verifica viene effettuata attraverso l'utilizzo di due indici statistici che permettono il confronto diretto tra due vettori di valori, l'errore quadratico medio percentuale e l'errore percentuale degli errori assoluti.

5 Conclusioni e sviluppi futuri

Nel presente articolo è stata illustrata una metodologia per la realizzazione di un modello per il trasporto dei container nel territorio del Nord-Ovest italiano che si integri nel *framework* modellistico europeo in corso di elaborazione.

Lo sviluppo di progetti europei mirati a creare una base dati comune, definire linee guida e realizzare un modello unico per tutto il territorio europeo offre l'opportunità di attingere a dati e know-how fondamentali per creare modelli in modo meno oneroso, riducendo tempo e risorse economiche, ma pone il problema di come impiegare in modo opportuno le informazioni rese disponibili.

Analisi già effettuate a livello europeo (Overgård Hansen, 2011) hanno evidenziato come questi modelli non possano essere impiegati per simulare il trasporto (passeggeri e/o merci) per aree di studio di dimensioni limitate (territori nazionali o macro-regioni), poiché, a causa del livello di dettaglio, fornirebbero risultati non congruenti.

La metodologia presentata impiega i dati di domanda e offerta di trasporto forniti dai modelli europei e li aggiorna, li rende conformi alla zonizzazione adottata e li corregge attraverso semplici moduli di rielaborazione dei dati che ne rendono possibile l'utilizzo anche per territori meno ampi. In questo modo le indagini sul campo (indagini OD, rilievi di traffico, interviste, ...), di difficile realizzazione e molto costose, vengono previste unicamente per correggere i dati già a disposizione.

La metodologia proposta è un adattamento del modello a quattro stadi impiegato per il trasporto delle merci, in cui i modelli di *produzione/attrazione* e di *distribuzione* vengono sostituiti da modelli di rielaborazione delle matrici OD già stimate dai progetti europei, mentre i modelli di *split modale* e di *assegnazione* vengono sviluppati in modo classico per permettere al modello di simulare diverse scelte di modo e di percorso in funzione di variazioni della domanda e dell'offerta di trasporto.

Si sottolinea come la metodologia proposta rappresenti un **possibile approccio** che dovrà essere adattato ad ogni caso studio in funzione degli obiettivi del modello, del grado di dettaglio desiderato, delle risorse e dei dati a disposizione.

Questo metodo, a fronte di un notevole vantaggio dato dalla riduzione di tempo e risorse necessarie per costruire il modello, ha lo svantaggio di essere dipendente da stime di domanda già disponibili (da correggere localmente con indagini e rilievi). E' perciò in corso l'elaborazione di un metodo che consenta di simulare qualunque scenario futuro di domanda utilizzando le variabili indipendenti del modello.

L'approccio proposto può essere utilizzato unicamente per simulare il trasporto container e non effettua distinzioni tra le diverse categorie merceologiche trasportate. Ulteriori sviluppi potrebbero prevedere di introdurre anche il trasporto di merce convenzionale e di segmentare la domanda in classi (ad esempio distinguendo le merci pericolose o quelle ad alto valore) o in categorie merceologiche (utilizzando la classificazione NST2007) in accordo con quanto effettuato dai modelli europei.

Diversi approcci possono essere sviluppati per il modello di assegnazione, ad esempio introducendo la capacità delle linee ferroviarie. A questo scopo si sta sperimentando un modello di **assegnazione a frequenza** che adatta i classici modelli impiegati per il trasporto pubblico al trasporto container.

Si sottolinea, infine, come il metodo proposto sia compatibile anche con i dati, di dettaglio maggiore, che presto saranno resi disponibili a seguito del completamento dei progetti europei ancora in corso (la base dati ETIS+ e il modello TransTools 3).

6 Bibliografia

BROCKER, J. 1998. Operational spatial computable general equilibrium modeling. *The Annals of Regional Science*, 32, pp 367-387

CASCETTA, E. 2006. *Modelli per i sistemi di trasporto – Teoria ed applicazioni*. UTET Università. Novara, 2006.

CHEN, M. ETIS and TRANS-TOOLS v1 Freight demand. In: CTS-seminar -European and National Freight demand models, 1 March 2011, Stockholm.

DE JONG, G; GUNN, H.F.; WALKER, W. 2004. National and international freight transport models: an overview and ideas for further development. *Transport Reviews*, 24 (1), pp 103-124.

ESPO. 2010. Annual Report 2009-2010. Brussels, 2010. [Accesso maggio 2011]. Disponibile on line:

http://www.espo.be/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=84

ETIS BASE. 2005. Core Database Development for the European Transport policy Information System (ETIS). Final technical report. 24 October 2005.

GENTILE, G.; MARZANO, V.; PAPOLA, A. 2008 Il modello di domanda merci nel SIMPT2 –BOZZA, SISTeMA. [Accesso maggio 2011]. Disponibile on line:

<http://guidogentile.sistemait.com/wp-content/uploads/2010/04/ModelloDomandaMerci.pdf>

HIGHWAY CAPACITY MANUAL. 2000. Transportation Research Board, Washington, D.C.. 2000

ISHIGURO, K., ISHIKURA T., HANAOKA, S., INAMURA, H. 2003. Development of multi-regional computable general equilibrium model taking account of ocean carriers' behavior and scale economy. *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5.

ISOLA, P.; MARASCO, L. 2006. SIMPT: il sistema informativo per il monitoraggio e la pianificazione dei trasporti. *MobilityLab*, 12, pp 40-43.

IVANOVA, O.; VOLD, A.; JEAN-HANSEN, V. 2002. Pingo. A model for prediction of regional and interregional freight transport. TØI report 578/2002. Oslo 2002.

JRC. 2010. TransTools Documentation. [Accesso maggio 2011]. Disponibile on line:

<http://energy.jrc.ec.europa.eu/transtools/documentation.html>

KLEVEN, O. 2011. Freight modelling and policy analyses in Norway. In: CTS-seminar - European and National Freight demand models, 1 March 2011, Stockholm.

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI. 2010. Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti 2008-2009. Roma 2010.

MOTOS. 2008. Integrating and strengthening the European Research Area. Final activity report. 31 January 2008.

NIELSEN, O.A. TransTools3. In: CTS-seminar -European and National Freight demand models, 1 March 2011, Stockholm.

NOTTEBOOM, T. 2009. Economic analysis of the European seaport system. In: ESPO 14 may 2009 Marsiglia.

ORTUZAR, J.; WILLUMSEN L.G.. 2011. Modelling Transport. Chichester: John Wiley & Sons.

OVERGÅRD, C.H.; Freight modelling and policy analysis in Denmark. In: CTS-seminar - European and National Freight demand models, 1 March 2011, Stockholm.

OVERGÅRD, C.H.; TenConnect (Trans-Tools version 2) . In: CTS-seminar -European and National Freight demand models, 1 March 2011, Stockholm.

RETE FERROVIARIA ITALIANA. 2009. Prospetto Informativo della Rete (P.I.R.). 2009.

TAVASSZY, L. Freight modelling in the Netherlands: Past, present & a rough guide to the future. In: CTS-seminar -European and National Freight demand models, 1 March 2011, Stockholm.

VIERTH, I.; Freight modelling and policy analysis in Sweden. In: CTS-seminar -European and National Freight demand models, 1 March 2011, Stockholm.

WORLNET. 2009. European transport network model refinement regarding freight and intermodal transport to and from the rest of the world. Final Report. 17 June 2009.

7 Ringraziamenti

Si ringrazia per il lavoro svolto nell'ambito del presente progetto tutto il gruppo dei ricercatori dell'area Logistica e Trasporti di SiTI, in particolare: Tiziana Delmastro, Nyree Grifeo, Andrea Isabello, Ioanna Lepinioti, Andrea Manglaviti, Martina Medda, Stefano Pensa e Andrea Rosa.

ABSTRACT

Freight transport models are still evolving due to their intrinsic complexity caused mainly by the number of decision makers involved (shippers, freight forwarders, carriers, logistics operators, etc.), by the variety of goods transported (in terms of type, dimensions, weight, value, ...), by the high variability of the decision making processes and, above all, by the limited availability of information (usually available in the form of aggregate data, often dated or partial).

However, new opportunities exist today following the development of several European projects aimed at the creation of a common modelling framework.

This paper, after offering an outline of the state of the art in modelling of freight transport at a European level – with a particular focus on European projects – proposes a methodology for the development of a freight transport model in the North-West of Italy, which is integrated into the new European framework. This methodology allows to adapt the European models and databases to less broad contexts (national territories or macro-regions) for the creation of a model capable of representing with precision real phenomena without requiring high investments.