



Modelli di previsione della domanda merci in area urbana

Demand Forecasting Models for Urban Goods Movements

Agostino Nuzzolo, Umberto Crisalli, Antonio Comi

University of Rome "Tor Vergata"
Department of Civil Engineering
e-mail: nuzzolo@ing.uniroma2.it; crisalli@ing.uniroma2.it;
comi@ing.uniroma2.it web: www.civ.uniroma2.it

La struttura della distribuzione urbana delle merci

Negli ultimi anni si è avuto un crescente interesse verso i problemi legati alla logistica ed al trasporto delle merci in area urbana e metropolitana, dovuto alla consapevolezza che una migliore organizzazione della logistica comporta implicazioni positive non solo sull'economia, ma anche sulla qualità della vita dei cittadini, in termini di riduzione dei fenomeni di congestione e dei livelli di inquinamento da traffico veicolare. In questa nota viene presentato lo stato dell'arte più recente dei modelli di simulazione della distribuzione urbana delle merci che consentono una valutazione *ex-ante* di scenari di misure che la Pubblica Amministrazione può adottare per la riduzione delle criticità del settore. Nel seguito, partendo dalla struttura organizzativa della distribuzione delle merci e dalle relative criticità, vengono individuati i decisori le cui scelte possono essere influenzate dalle misure in questione e vengono classificate le misure stesse in funzione degli obiettivi strategici che l'Amministrazione vuole raggiungere. È possibile in questo modo individuare in funzione delle misure, quali sono i processi decisionali che è necessario simulare con i modelli (par. 2). È richiamata (par. 3) una delle soluzioni modellistiche più recenti per la simulazione della domanda merci in area urbana e metropolitana. Il sistema di modelli presentato consente di arrivare ai flussi di veicoli merci tra le zone dell'area di studio e si compone di due sottosistemi: quello di *domanda* che fornisce le matrici OD in consegne tra le zone, e quello *logistico* che permette di passare alla OD in veicoli. Per maggiori dettagli sullo stato dell'arte dei modelli si rimanda a Ambrosini *et al.* (2007), Yang *et al.* (2009), Nuzzolo *et al.* (2009) e Russo e Comi (2010). La struttura della distribuzione urbana delle merci può essere schematizzata considerando che la merce che arriva al consumatore finale può seguire differenti percorsi o canali distributivi e a valle del produttore si possono individuare:

In order to reduce the impacts of freight transport, Public Administration usually implements city logistics scenarios, whose effects have to be evaluated by using *ex-ante* assessment procedures.

This paper proposes the state-of-the-art of models for the prediction of urban goods movements, which have been developed to support the above *ex-ante* assessment.

Aiming at preserving the economic sustainability of the businesses located in the city and, at the same time, the environmental quality, the new challenge of urban traffic management is the optimization of the access of a large number of trucks and vans delivering goods in the urban area.

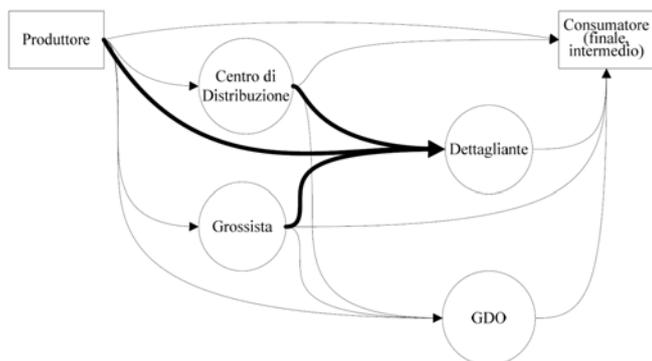
Thus, the availability of a reliable tool for *ex-ante* assessment plays a key role in the decision making processes.

Starting from the structure of urban goods distribution and its critical states, this paper identifies the decision-makers, whose choices could be influenced by city logistics measures. Furthermore, considering the outcomes and goals to be reached by Public Administration, the city logistics measures are also classified. In such way, it is possible to define the decisional processes influenced by city logistics measures, that models have to simulate.

The presented modelling system allows us to forecast the OD truck flows within the study area and it consists of two sub-systems: the first related to the *demand* and the second related to the *logistics*. The former gives the OD matrices in terms of deliveries; the latter allows to convert the delivery OD flows into truck OD flows.

The demand sub-system has been specified as a partial share model. From socio-economic data of the study area, it allows us to estimate the OD matrices in quantity characterized by service type, as well as the OD matrices in deliveries characterized by time slice and vehicle type.

The logistic sub-system allows to estimate the OD matrices in vehicles. The modelling framework consists of two models that allow us to reproduce the commercial vehicle tours within the urban area. The former model gives the distribution of tours per number of deliveries; the latter gives the probability to choose the following destination for the next delivery.



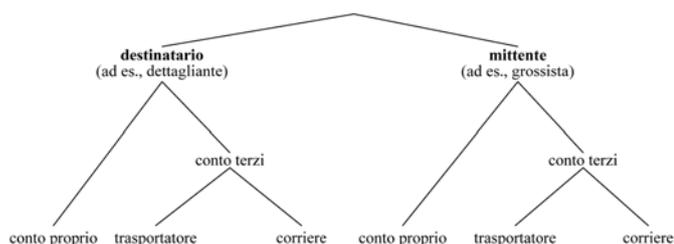
Schema funzionale della distribuzione delle merci.

- i centri di distribuzione dove vengono svolte, principalmente, attività di deposito (magazzinaggio e stoccaggio) e smistamento delle merci, con ricezione di grossi lotti dai produttori e formazione di piccole partite per il rifornimento dei punti vendita;
- i grossisti che acquistano grosse partite dai produttori e le rivendono in piccoli lotti ai dettaglianti ad un prezzo maggiorato dai costi di gestione e da un margine di profitto.

A valle dei centri di distribuzione e dei grossisti si collocano le attività di vendita. Queste, a loro volta, possono essere divise in Grande Distribuzione Organizzata (GDO) e Piccola Distribuzione.

Il trasporto della merce dal mittente (ad es., produttore o grossista) al destinatario (ad es., dettagliante) può essere svolto in *conto proprio* o in *conto terzi*. Il trasporto in conto proprio può essere eseguito direttamente dal mittente o dal destinatario con mezzi propri. Il trasporto in conto terzi è, invece, eseguito da un vettore di professione che lo effettua a fronte di una remunerazione pattuita. In particolare, il trasporto in conto terzi può avvenire utilizzando una azienda di trasporto tradizionale per quantitativi di merce elevati o corrieri espressi per quantitativi di merce ridotti e con alta frequenza. Pertanto, come esemplificato nella figura in basso, il rifornimento delle attività commerciali può avvenire per conto del:

- mittente della merce (ad es., grossista), che utilizza
 - mezzi propri (conto proprio),



Schematizzazione dei servizi di trasporto.

- servizi di trasporto offerti da terzi (conto terzi trasportatore o conto terzi corriere espresso);
- destinatario della merce (ad es., dettagliante) che utilizza
 - mezzi propri (conto proprio: auto-approvvisionamento),
 - servizi di trasporto offerti da terzi (conto terzi trasportatore o conto terzi corriere espresso).

Criticità e misure di intervento

La dimensione del trasporto urbano delle merci è evidenziata da una recente stima della Conferenza Europea dei Ministri dei Trasporti (CEMT), secondo la quale il trasporto urbano delle merci in Europa pesa per oltre il 30% sul totale del traffico merci in t-km, e contribuisce per il 20% all'occupazione della rete stradale (in termini di vetture equivalenti), per il 56% alle emissioni complessive di particolato, per il 23% alle emissioni di CO₂. È anche da considerare il grande impatto che le operazioni di carico e scarico hanno sulla circolazione cittadina. Infatti, difficilmente i diversi operatori utilizzano le aree destinate a tale scopo. Da alcune indagini è emerso che il 75% degli operatori raramente o addirittura mai utilizza le aree di sosta adibite alle operazioni di carico/scarico. La grave carenza in molte città italiane di adeguate aree dedicate al carico/scarico merci situate al di fuori della sede stradale e delle sue pertinenze determina o aggrava il fenomeno delle soste in doppia fila che limita la circolazione dei veicoli, riducendo la capacità delle strade. In termini di incidentalità, si è riscontrato nel 2008 che mediamente nelle principali città italiane il 5,5% dei veicoli coinvolti in un incidente stradale sono veicoli commerciali (Nuzzolo *et al.* 2010a).

Il trasporto urbano delle merci, contribuendo in modo determinante al processo di distribuzione dei beni ai consumatori finali, svolge un ruolo essenziale nel mantenimento delle funzioni urbane legate al commercio e alla vita sociale; per questo occorre trovare soluzioni di equilibrio tra:

- un efficiente ed efficace sistema logistico urbano;
- un livello sostenibile delle esternalità prodotte dal traffico con particolare riguardo a congestione ed emissione di inquinanti.

Pertanto, al fine di garantire un sistema di distribuzione delle merci efficiente e capace di rispondere alle esigenze dei diversi attori coinvolti e di minimizzare gli impatti è possibile implementare differenti classi di obiettivi strategici che si prefiggono, in generale, l'aumento della:

- sostenibilità economica mediante la riduzione del numero di veicoli commerciali circolanti, l'aumento della velocità commerciale, la riduzione del costo delle consegne (ottimizzazione delle consegne);
- sostenibilità ambientale mediante l'utilizzo di veicoli di piccole dimensioni e meno inquinanti;

Misure/Dim. di scelta	come?	a che ora?	quale veicolo?	quale giro di consegna/prelievo?	uso del CDU
CDU/Transit point	x	x	x	x	x
Finestre temporali	x	x		x	x
Vincoli dimensionali	x		x	x	x
Vincoli emissivi	x		x		x
Road/parking pricing	x				x
Incentivi per Low Emission Vehicle	x		x		
Incentivi per conto terzi	x				
Traffic information		x		x	

Relazione tra dimensioni di scelta e misure di logistica urbana.

- sostenibilità sociale mediante la riduzione dell'interferenza con le altre componenti della mobilità (ad es., traffico privato e mobilità pedonale).

Gli obiettivi su menzionati possono essere raggiunti mediante l'implementazione di differenti classi di misure di logistica urbana:

- misure di gestione – *governance*: regolamentazione degli accessi per fasce orarie, definizione di idonee aree adibite al carico e scarico della merce, utilizzo di opportuni veicoli rispondenti a limiti di peso e dimensione ed emissioni inquinanti emesse, definizione di politiche di *area-pricing* e *park-pricing*, corsie preferenziali per il transito dei veicoli commerciali, limiti minimi sul coefficiente di carico;
- misure infrastrutturali; esse riguardano principalmente spazi logistici di prossimità (*transit point*), e Centri di Distribuzione Urbana (CDU) anche detti Centri Urbani di Consolidamento (UCC);
- misure di *equipment*, relative principalmente alle unità di trasporto (mezzi) e riguardano l'incentivazione economica ad acquistare veicoli più performanti;
- sistemi telematici, che possono ricondursi a misure gestionali aziendali per il trasporto merci e sistemi di supporto alla *governance*.

Molto schematicamente, in termini di dimensioni di scelta, gli attori del trasporto urbano delle merci possono essere raggruppati in tre categorie:

- i commercianti e dettaglianti, che possono decidere (per alcune tipologie merceologiche):
 - come e quando rifornirsi,
 - dove e con quale veicolo,
 - quale percorso seguire per il rifornimento;
- i grossisti e gli operatori logistici, che possono decidere:
 - il tipo di servizio di trasporto (conto proprio, conto terzi trasportatore o corriere espresso),
 - l'orario ed il tipo di veicolo da utilizzare per le consegne,
 - l'uso o meno di eventuali nodi di distribuzione urbana,
 - il percorso da seguire per svolgere le consegne;
- i corrieri e gli operatori di trasporto che forniscono servizi di trasporto fra le diverse parti del territorio e che possono decidere:

- l'orario ed il tipo di veicolo da utilizzare per le consegne,
- l'uso o meno di eventuali nodi di distribuzione urbana,
- il percorso da seguire per svolgere le consegne.

Così come riassunto nella tabella in alto, l'implementazione di ciascuna misura può determinare modifiche nelle decisioni di ciascun attore. Per esempio, l'introduzione di vincoli di accesso sulle caratteristiche dei veicoli in termini di prestazioni ambientali, può spingere i dettaglianti, che prima provvedevano da se all'acquisizione dei prodotti venduti, a rivolgersi ad operatori del trasporto oppure a modificare il proprio parco veicolare per rispettare i vincoli introdotti.

La simulazione della mobilità merci

Il sistema di modelli di seguito descritto focalizza l'attenzione sulle questioni connesse al rifornimento delle attività commerciali al dettaglio (percorsi in grassetto nella figura a pag. 8 in alto). Esso consiste di due sotto-sistemi, uno che si riferisce alla domanda (sottosistema di domanda) e uno concernente la distribuzione vera e propria (sottosistema logistico, figura seguente).

Sottosistema di domanda

Il sottosistema di domanda permette innanzitutto di calcolare le *matrici OD (Origine-Destinazione) in quantità*, cioè i flussi medi di quantità di merce $Q_{od}^{sh}[t]$ di tipo s , tra la zona o e la zona d in un giorno feriale tipo h , caratterizzati da:

- tipologia di servizio di trasporto (r): conto proprio conto terzi trasportatore o corriere espresso.

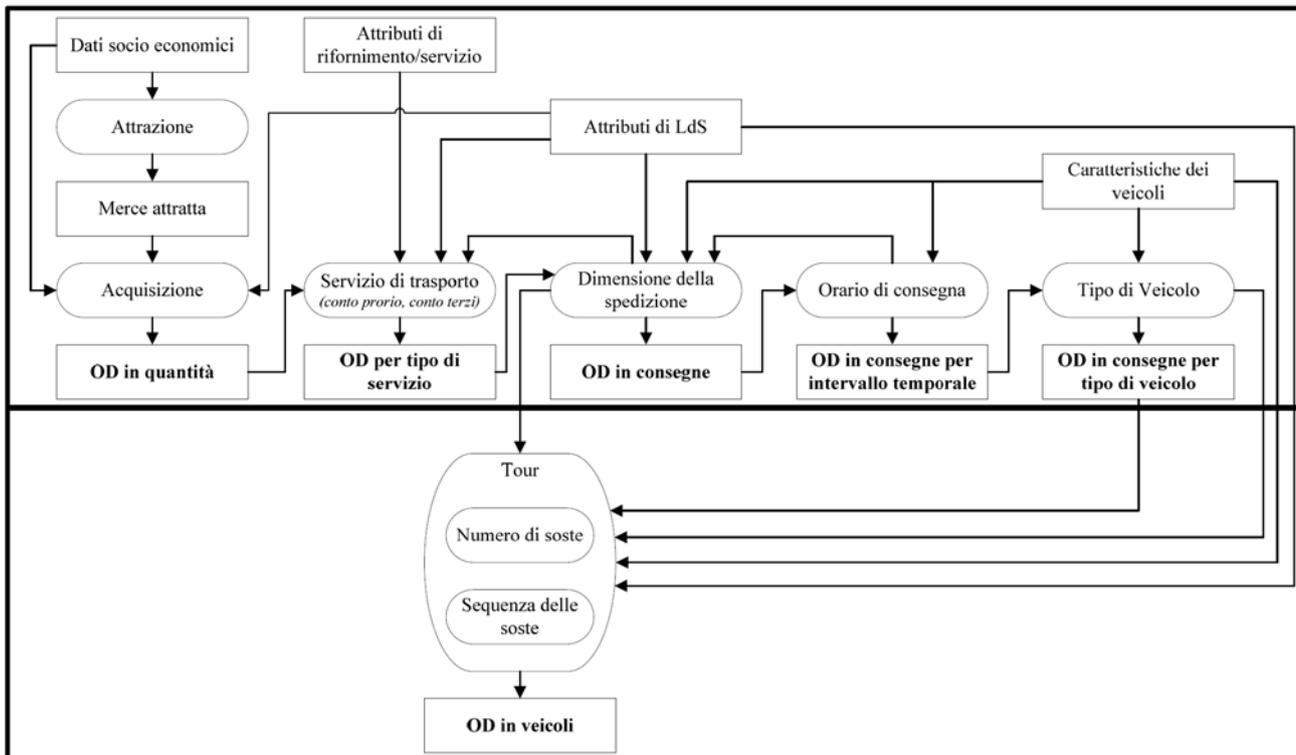
Nel seguito, per semplicità di notazione, verrà sistematicamente sottinteso l'indice s (tipologia merceologica) ed h (intervallo temporale). I flussi di quantità di merce sono ricavati così come segue:

$$Q_{od}[r] = Q_{.d} \cdot p[o/d] \cdot p[r/od] \quad (1)$$

dove

- $Q_{od}[r]$ è il flusso medio [t/giorno] della quantità di merce attratto dalla zona d e proveniente dalla zona o

Sottosistema di DOMANDA



Sottosistema LOGISTICO

Architettura del sistema di modelli per la simulazione della domanda urbana delle merci.

- con il tipo di servizio di trasporto r ;
- $Q_{o,d}$ è il flusso di merce [t/giorno] attratto dalla zona d , ottenuto mediante un *modello di attrazione*;
- $p[o/d]$ è la probabilità che la merce attratta dalla zona d provenga dalla zona o (ad es., luogo di produzione, centro di distribuzione, grossista); tale aliquota è stimata mediante un *modello di acquisizione*;
- $p[r/od]$ è la probabilità di rifornirsi mediante il tipo di servizio di trasporto r ; tale aliquota è stimata mediante un *modello di scelta del servizio di trasporto*.

Successivamente, gli scambi in quantità sono convertiti in consegne (matrici OD in consegne), caratterizzati da:

- tipologia di servizio (r),
- fascia temporale (τ),
- tipo di veicolo (v),
- quantità media consegnata (q).

Il numero di consegne di merce fatte con il tipo di servizio r ed il tipo di veicolo v lungo la relazione od nella fascia oraria τ ($ND_{od}[v\tau/r]$) si può esprimere come:

$$ND_{od}[v\tau/r] = \frac{Q_{od}[r]}{q[vr]} \cdot p[\tau/d] \cdot p[v/\tau rod] \quad (2)$$

dove

- $p[\tau/d]$ è la probabilità che le consegne avvengano nella fascia temporale t ; tale aliquota è stimata mediante un *modello scelta dell'orario di consegna*;

- $p[v/\tau rod]$ è la probabilità che le consegne lungo la relazione od con il tipo di servizio r e nella fascia temporale τ vengano effettuate con il tipo di veicolo v ; tale aliquota è stimata mediante un *modello di scelta del tipo di veicolo*;
- $q[vr]$ è la quantità media di merce consegnata con il tipo di servizio r utilizzando un veicolo di tipo v .

Il modello di attrazione

Il modello di attrazione fornisce la quantità di merce attratta da ciascuna zona di traffico dell'area di studio. A partire dalla struttura commerciale (ad es., addetti e negozi), si stima la quantità di merce che raggiunge ciascuna zona di traffico d . La formulazione di gran lunga più utilizzata per questi modelli è del tipo *regressione per categoria*, cioè per ogni tipologia di merce viene stimata la quantità media attratta ($Q_{i,d}$) in funzione di alcune variabili esplicative ($X_{i,d}$):

$$Q_{i,d} = \sum_i \beta_i \cdot X_{i,d} = \beta_{AD} \cdot AD_d + \beta_{ASA} \cdot ASA_d \quad [\text{t/giorno}]$$

dove

- AD_d è il numero di addetti al dettaglio della zona d ;
- ASA_d è una variabile *dummy* che misura il potere di vendita della zona d in funzione della densità di negozi e/o addetti al dettaglio.

	<i>Prodotti alimentari</i>	<i>Accessori per la casa</i>	<i>Prodotti di cancelleria</i>	<i>Abbigliamento</i>	<i>Prodotti per la casa e l'igiene personale</i>	<i>Materiale da costruzione</i>	<i>Altro</i>
β_{AD}	0,06	1,6	2,9	0,1	0,1	1,3	1,2
(t-st)	(1,89)	(2,52)	(1,85)	(2,99)	(1,85)	(8,93)	(3,48)
β_{ASA}^*	599,7	240,7	311,28	134,5	41,7		191,1
(t-st)	(5,96)	(2,53)	(4,90)	(3,18)	(2,35)		(3,53)
ρ^2	0,91	0,79	0,89	0,75	0,59	0,89	0,80

* la variabile *dummy* è pari ad 1 se il rapporto tra addetti al dettaglio e residenti è maggiore di 0,35 (35%)

Modello di attrazione.

Nella tabella seguente sono riportati esempi di modelli calibrati per la città di Roma (Nuzzolo *et al.* 2010b) e per 7 diverse tipologie merceologiche.

Il modello di acquisizione

Il modello di acquisizione fornisce l'aliquota (probabilità) $p[o/d]$ di merce che, essendo attratta dalla zona d , proviene (è acquisita) dalla zona o . I modelli di acquisizione di gran lunga più usati sono del tipo *logit* multinomiale:

$$p[o/d] = \exp(V_o) / \sum_o \exp(V_o)$$

in cui l'utilità sistemática (V_o) è espressa come combinazione lineare secondo i parametri β_i di variabili esplicative ($X_{i,o}$) delle possibili zone di acquisizione in relazione alla zona di attrazione d :

$$V_o = \sum_i \beta_i X_{i,o}$$

In generale, le variabili esplicative che compaiono nella funzione di utilità sistemática possono essere distinte in due categorie: variabili che rappresentano la capacità di emissione della zona o (cioè il potere emissivo/produttivo), e variabili di costo (disutilità connessa allo spostamento di merce da o a d). Le variabili di emissione, o loro funzioni, possono essere funzioni del numero di addetti al commercio all'ingrosso e dei centri di rifornimento.

Le variabili di emissione possono anche essere specifiche dell'alternativa, come ad esempio nel caso di una variabile *dummy* che vale uno per le zone periferiche/industriali e

Modello di acquisizione.

	<i>Prodotti alimentari</i>	<i>Tutte le altre tipologie di merce</i>
β_1	2,1	0,13
(t-student)	(1,94)	(2,63)
β_2	-0,05	-0,08
(t-student)	(1,85)	(2,80)
ρ^2	0,45	0,52

zero per le altre; una variabile di questo tipo tiene conto, a parità di altri attributi, del maggior valore emissivo della periferia/zona industriale rispetto alle altre zone. Le variabili di costo misurano il costo generalizzato connesso allo spostamento della merce da o a d . Esistono diverse possibili variabili di costo, dalla più elementare distanza in linea d'aria fra i centroidi delle zone, fino alle variabili di costo generalizzato che tengono conto di attributi di livello di servizio (ad es., tempo e costo monetario).

I modelli di acquisizione possono anche essere specificati attraverso una forma esponenziale riconducibile alla struttura *logit* multinomiale. Il modello di acquisizione più elementare è della forma gravitazionale:

$$p[o/d] = (AI_o)^{\beta_1} \cdot C_{od}^{\beta_2} / \sum_{o'} (AI_{o'})^{\beta_1} \cdot C_{o'd}^{\beta_2}$$

in cui AI_o e C_{od} sono rispettivamente una variabile esplicative di emissione e una di costo, rispettivamente; β_1 e β_2 sono i coefficienti del modello. La tabella seguente riporta i valori dei parametri β_1 e β_2 stimati per la città di Roma (Nuzzolo *et al.* 2010b) in cui l'attributo di emissione sono il numero di addetti all'ingrosso e l'attributo di costo è lunghezza dello spostamento od .

Il modello di scelta del tipo di servizio di trasporto

Il modello di scelta del tipo di servizio di trasporto consente di stimare la probabilità che le attività commerciali localizzate nella zona di traffico d siano rifornite con il tipo di servizio di trasporto r che prevede un deposito/magazzino nella zona o . Sebbene la ricerca sia indirizzata alla messa a punto di modelli comportamentali, allo stato attuale non risultano presenti in letteratura soluzioni di questo tipo. Pertanto,

	<i>Conto proprio destinatario</i>	<i>Conto proprio mittente</i>	<i>Conto terzi</i>	Totale
Prodotti alimentari	15%	61%	24%	100%
Accessori per la casa	31%	46%	23%	100%
Prodotti di cancelleria	11%	65%	24%	100%
Abbigliamento	11%	42%	47%	100%
Prodotti per la casa e l'igiene personale	9%	22%	69%	100%
Materiale da costruzione	6%	40%	54%	100%
Altro	28%	21%	51%	100%
Totale (aliquota media)	20%	49%	31%	100%

Ripartizione per tipo di servizio di trasporto.

	<i>Prodotti alimentari</i>	<i>Accessori per la casa</i>	<i>Prodotti di cancelleria</i>	<i>Abbigliamento</i>	<i>Prodotti casa e igiene personale</i>	<i>Materiale da costruzione</i>	<i>Altro</i>
prima dalle 9:00	30%	30%	34%	23%	47%	38%	27%
9:00-11:00	40%	37%	50%	51%	32%	42%	31%
11:00-13:00	24%	17%	9%	15%	19%	10%	21%
13:00-16:00	6%	13%	6%	11%	2%	4%	20%
dopo le 16:00	0%	3%	1%	1%	5%	0%	0%
Totale	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Orari di consegna.

Tipo di merce	Tipo di veicolo	<i>Conto proprio destinatario</i>	<i>Conto proprio mittente</i>	<i>Conto terzi</i>	Totale (aliquota media)
Prodotti alimentari	LGV	92%	62%	75%	70%
	MGV	8%	38%	25%	30%
	Totale	100%	100%	100%	100%
Accessori per la casa	LGV	58%	37%	69%	51%
	MGV	42%	63%	31%	49%
	Totale	100%	100%	100%	100%
Prodotti di cancelleria	LGV	55%	62%	66%	62%
	MGV	45%	38%	34%	38%
	Totale	100%	100%	100%	100%
Abbigliamento	LGV	100%	54%	66%	65%
	MGV	0%	46%	34%	35%
	Totale	100%	100%	100%	100%
Prodotti per la casa e l'igiene personale	LGV	100%	76%	100%	95%
	MGV	0%	24%	0%	5%
	Totale	100%	100%	100%	100%
Materiale da costruzione	LGV	43%	64%	12%	35%
	MGV	57%	36%	88%	65%
	Totale	100%	100%	100%	100%
Altro	LGV	45%	61%	50%	51%
	MGV	55%	39%	50%	49%
	Totale	100%	100%	100%	100%
Totale (valore medio complessivo)	LGV	64%	56%	63%	60%
	MGV	36%	44%	37%	40%
	Totale	100%	100%	100%	100%

Ripartizione per tipo di veicolo.

	<i>Prodotti alimentari per la casa</i>	<i>Accessori di cancelleria</i>	<i>Prodotti di cancelleria</i>	<i>Abbigliamento</i>	<i>Prodotti casa e igiene personale</i>	<i>Materiale da costruzione</i>	<i>Altro</i>
Conto proprio destinatario	0,389	1,197	0,569	0,238	0,300	0,141	0,423
Conto proprio mittente	0,367	0,982	0,632	0,306	0,129	0,395	0,394
Conto terzi	0,232	0,611	0,412	0,275	0,196	0,787	0,497
Media	0,320	0,902	0,547	0,279	0,180	0,424	0,320

Quantità media consegnata (tonnellate).

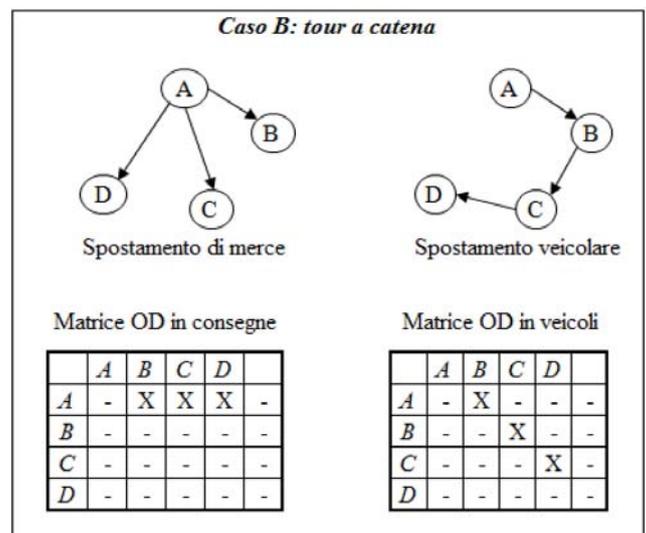
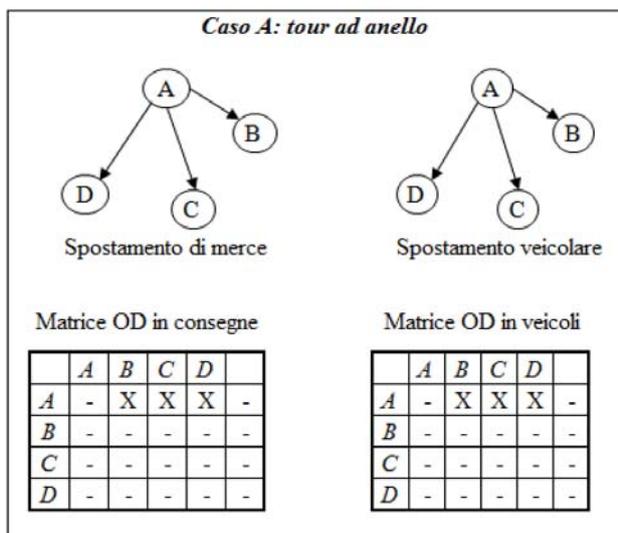
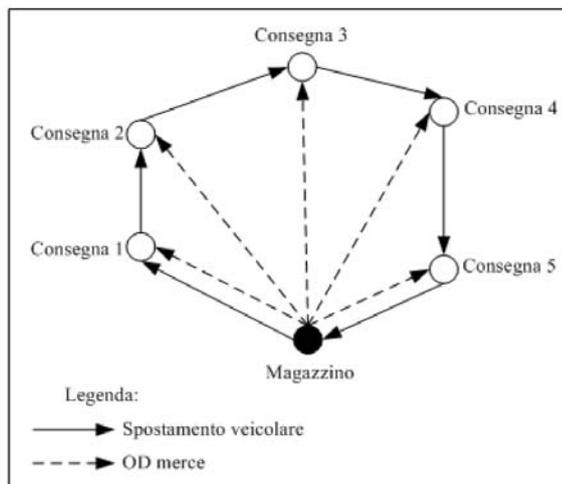
generalmente si utilizzano modelli statistico-descrittivi stimati utilizzando indagini *ad-hoc* che forniscono la percentuale di merce trasportata con il tipo di servizio di trasporto r . La tabella "Ripartizione per tipo di trasporto" riporta alcune percentuali stimate nella città di Roma (Nuzzolo *et al.* 2010b) in cui sono definiti 3 diversi tipi di servizio:

– conto proprio destinatario (ad es., dettagliante),

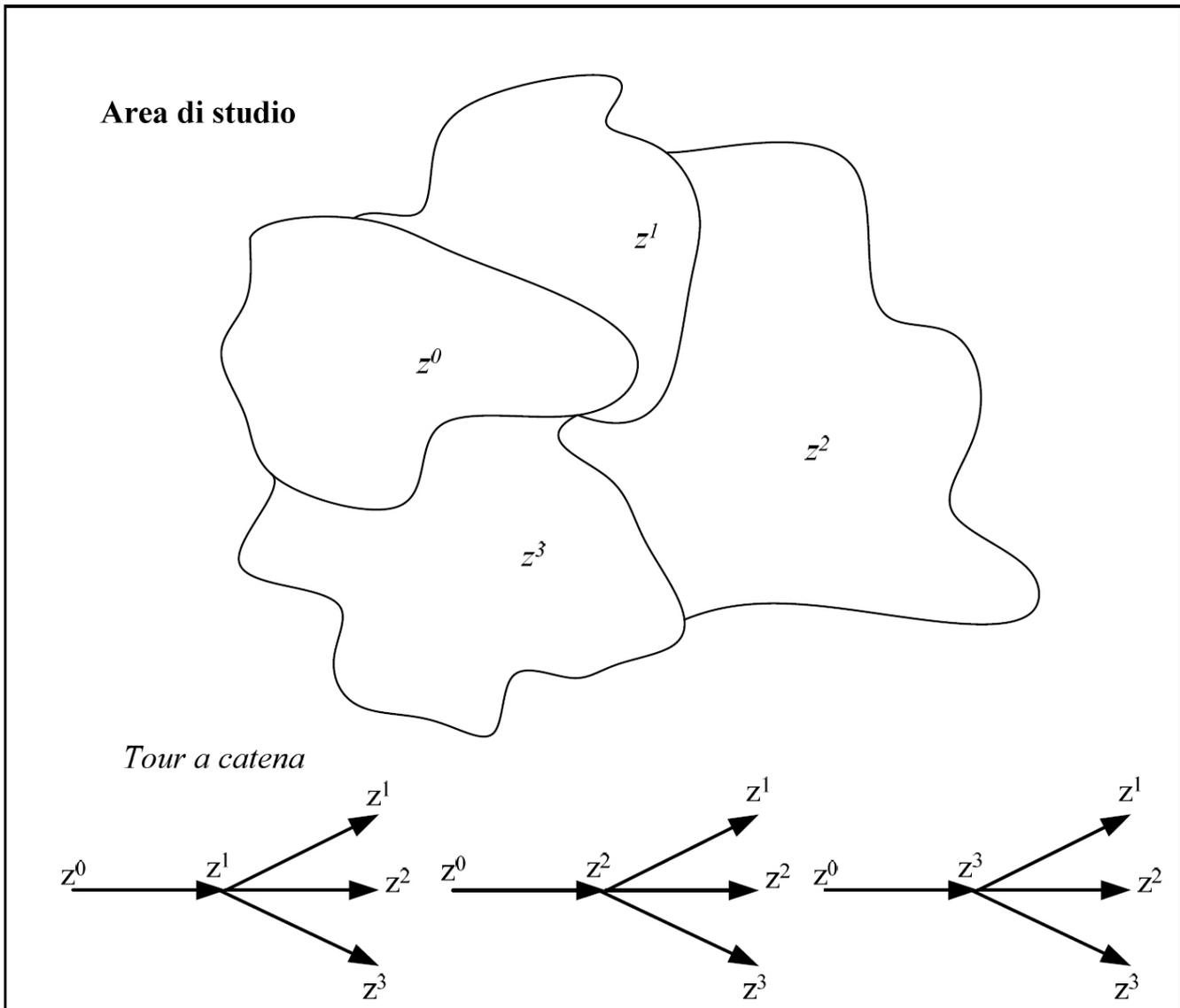
- conto proprio mittente (ad es., grossista),
- conto terzi (sia conto terzi a carico del mittente sia conto terzi a carico del destinatario).

Il modello di scelta dell'orario di consegna

Il modello di scelta dell'orario di consegna consente di stimare la probabilità che le attività commerciali localizzate nella zona di traffico d siano rifornite nella fascia temporale τ . Anche



Schematizzazione dei flussi merci in consegne e veicoli ed esemplificazione della ricostruzione dei tour a catena.



Esemplificazione della ricostruzione dei tour a catena.

se esiste una vasta letteratura di tale tipologia di modelli per la mobilità passeggeri, allo stato attuale in letteratura sono piuttosto rari gli studi che investigano questa dimensione di scelta per la mobilità merci (Russo *et al.* 2009). Pertanto, generalmente si utilizzano modelli statistico-descrittivi che forniscono la percentuale di merce consegnata nella finestra temporale τ (ad es., antimeridiana, pomeridiana). La tabella "Orario di consegna" riporta alcune percentuali stimate nella città di Roma (Nuzzolo *et al.* 2010b).

Modello di scelta del tipo di veicolo e quantità media consegnata

La probabilità che le attività commerciali siano rifornite utilizzando il tipo di veicolo v ($p[v/\tau rod]$), generalmente, è stimata mediante modelli statistico-descrittivi.

La tabella "Orario di consegna" riporta le distribuzioni tra veicoli di p.t.t. inferiore a 1,5 t (*Light Goods Vehicle* – LGV) e superiore (*Medium Goods Vehicle* – MGV) rilevate nella città di Roma (Nuzzolo *et al.* 2010b) per i tre diversi tipi di servizio di trasporto. Infine, la tabella in alto riporta la quantità media consegnata da ciascun tipo di servizio di trasporto rilevata nella città di Roma (Nuzzolo *et al.* 2010b).

Sottosistema logistico

Questo secondo sottosistema permette la ricostruzione dei flussi OD in veicoli commerciali ($VC_{od}[v\tau r]$) caratterizzati da:

- tipologia di servizio (r),
- fascia temporale (τ),
- tipo di veicolo (v).

La ricostruzione delle matrici OD in veicoli deve tener conto che ciascun operatore del trasporto si organizza in modo da

	Prodotti alimentari	Accessori per la casa	Prodotti cancelleria	Abbigliamento	Prodotti casa e igiene personale	Materiale da costruzione	Altro	Media
Conto proprio destinatario								
• LGV	1,93	1,02	1,62	2,23	1,43	3,90	1,39	1,50
• MGV	2,90	1,99	2,36	4,08	1,03	6,45	3,97	2,84
Conto proprio mittente								
• LGV	2,04	1,24	1,46	1,73	2,19	1,39	1,50	1,60
• MGV	3,08	2,42	2,12	3,17	1,58	2,30	4,26	3,03
Conto terzi								
• LGV	3,23	2,00	2,23	1,93	2,19	1,00	1,19	2,20
• MGV	4,87	3,90	3,25	3,53	1,58	1,16	3,38	4,17

Numero medio di soste (consegne) per viaggio.

prevedere una o più consegne durante lo stesso viaggio (tour; figura in alto).

Nel caso di una sola consegna parliamo di tour ad anello; nel caso di più consegne parliamo di tour a catena. A partire dall'output del sottosistema di domanda, la stima delle matrici OD in veicoli può essere ottenuta con riferimento a ciascuna zona di origine o mediante una sequenza di due modelli che consentono di simulare: la distribuzione dei tour con origine nella zona o per numero di consegne e la scelta della successiva zona di consegna.

Nel primo modello, $p[n/v\tau r]$, è la probabilità (aliquota) che un tour che parte da o utilizzando il servizio di trasporto r ed il tipo di veicolo v nella fascia τ , preveda un numero di n consegne. Per il calcolo di questa aliquota si può utilizzare un modello di tipo statistico-descrittivo. Nella tabella seguente sono riportati alcuni valori medi rilevati nella città di Roma (Nuzzolo *et al.* 2010b).

Il numero di consegne, $ND_{od}[n/n\tau r]$, effettuate con tour che prevedono un numero n di consegne è pari a:

$$ND_{od}[n/v\tau r] = ND_{od}[v\tau/r] \cdot p[n/v\tau r] \quad (3)$$

Il secondo modello fornisce la probabilità $p[d^k/d^{k-1}nv\tau r]$ di effettuare la k -ma consegna nella zona d^k , dopo che si è effettuata la $(k-1)$ -ma nella zona d^{k-1} in un tour che prevede n consegne. Un esempio di tale modello applicato ad una rete test di 84 nodi è dato da Wang and Houlguin-Veras (2008). Quindi, mediante la specificazione di opportune equazioni di congruenza è possibile ricostruire le matrici OD in veicoli congruenti alle date matrici OD in consegne. A titolo esemplificativo, si supponga che l'area di studio sia composta da quattro zone di traffico (d^b ; $b = 0, 1, 2, 3$) e che i tour prevedano due consegne ($n = 2$) tutti con origine nella zona d^0 . Si assuma anche che nella zona origine (d^0) non vengano fatte consegne (figura seguente). Il problema della ricostruzione della matrice OD in veicoli soddisfacente alla matrice OD

in consegne (che nel caso in esame degenera in un vettore il cui generico elemento è $ND_{z^0 z^j}[2/v\tau r]$) si può ricondurre alla risoluzione di un sistema di 9 equazioni in 9 incognite:

$$\begin{cases} z^0 z^1 + z^1 z^1 + z^2 z^1 + z^3 z^1 = ND_{z^0 z^1}[2/v\tau r] \\ z^0 z^2 + z^1 z^2 + z^2 z^2 + z^3 z^2 = ND_{z^0 z^2}[2/v\tau r] \\ z^0 z^3 + z^2 z^3 + z^1 z^3 + z^3 z^3 = ND_{z^0 z^3}[2/v\tau r] \\ z^1 z^1 = z^0 z^1 \cdot p[z^1/2v\tau z^0 z^1] \\ z^1 z^2 = z^0 z^1 \cdot p[z^2/2v\tau z^0 z^1] \\ \dots \\ z^3 z^3 = z^0 z^3 \cdot p[z^3/2v\tau z^0 z^3] \end{cases} \quad (4)$$

con $z^i z^j$ numero di veicoli con origine z^i ($i \in \{0, 1, 2, 3\}$) e destinazione z^j ($j \in \{1, 2, 3\}$). Il generico elemento della matrice OD in veicoli ($VC_{z^i z^j}[v\tau r]$) corrispondente al vettore, $ND_{z^0}[2/v\tau r]$, di consegne effettuate con tour da 2 consegne con origine nella zona z^0 è pari a:

$$VC_{z^i z^j}[v\tau r] = z^i z^j$$

Data la complessità del fenomeno, in letteratura non sono ancora presenti robuste soluzioni modellistiche per la ricostruzione delle matrici OD in veicoli congruentemente con date matrici OD in quantità e/o consegne. Le indagini campionarie (Nuzzolo *et al.* 2009) hanno evidenziato che i diversi operatori del trasporto organizzano i propri viaggi in modo da servire con un unico viaggio clienti localizzati in aree limitrofe, aggregando i clienti per macro-area (ad es., stesso codice di avviamento postale). Partendo da tale evidenza, in prima analisi, le matrici OD possono essere ottenute ipotizzando che tutte le consegne vengano fatte nella stessa

zona di traffico (approccio della quantità media) e, quindi, il numero di veicoli $VC_{od} [v\tau r]$ è pari a:

$$VC_{od} [v\tau r] = \frac{ND_{od} [v\tau r]}{nd [vr]} \quad (5)$$

dove $nd [vr]$ è il numero medio di consegne effettuate con il tipo di servizio r ed il tipo di veicolo v . La tabella in alto riporta il numero medio di soste (consegne) rilevate nella città di Roma (Nuzzolo *et al.* 2010b) per tipo di servizio di trasporto e tipo di veicolo.

Conclusioni

Recentemente si è sviluppato un crescente interesse per il trasporto delle merci in ambito urbano e, in particolare, per la raccolta e distribuzione merci nei centri cittadini. In Europa, e non solo, numerosi progetti hanno contribuito a portare in evidenza la centralità del tema del trasporto merci in città e ad identificare possibili soluzioni.

Permangono tuttavia alcuni problemi fondamentali. Il successo delle città e dei loro centri dipende da vari fattori, spesso in conflitto tra loro. Da un lato è necessario che vi siano dei sistemi logistici ben organizzati affinché uffici ed esercizi commerciali possano essere serviti in modo efficiente, a costi sostenibili, per affrontare la crescente competizione con i poli urbani-commerciali di periferia. Dall'altro, sussiste

l'indubbio bisogno di proteggere l'ambiente urbano, la cui qualità influenza anch'essa la capacità di attirare clienti, turisti, lavoratori e residenti.

Scaturisce così la necessità di dotarsi di metodologie di analisi che permettano la valutazione *ex-ante* di nuove soluzioni prima che queste vengano implementate perché, come si è verificato in differenti contesti europei e mondiali, si possano dimostrare piuttosto inefficaci allo scopo per le quali sono state adottate.

In questa nota è stato presentato un sistema di modelli di domanda che permette l'analisi dei diversi fattori che influiscono sulla generazione dei traffici commerciali all'interno delle aree urbane e metropolitane. Anche se alcuni modelli sono statistico-descrittivi, i primi risultati ottenuti hanno dimostrato la bontà del modello e la possibilità di integrarlo in una più articolata metodologia atta a valutare *ex-ante* le misure di logistica urbana.

Gli ulteriori sviluppi della ricerca sono indirizzati alla messa a punto di modelli di tipo comportamentale che permettano di investigare più in dettaglio come le misure di logistica urbana possano influenzare la scelta del tipo di servizio di trasporto, della quantità media consegnata, del veicolo, ed il processo di costruzione dei giri di consegna.

Infine, il sistema di modelli potrebbe essere sviluppato all'interno di un DSS (*Decision Support System*) in modo da costituire un utile strumento di stima degli impatti (economici, ambientali e sociali) generati dall'implementazione di scenario di logistica urbana.

Riferimenti bibliografici

- Ambrosini C., Meimbresse B., Routhier J., Sonntag H. (2007) "Urban freight policy-oriented modelling in Europe". Proceedings of City Logistics V a cura di E. Taniguchi e R. G. Thompson, Kyoto, Giappone.
- Nuzzolo A., Comi A., Coppola P., Crisalli U. (2010a) "Politiche della Mobilità e Qualità delle Aree Urbane". Guida Editore, Napoli.
- Nuzzolo A., Crisalli U., Comi A., Galuppi S. (2010b) "Demand models for the estimation of urban goods movements: an application to the city of Rome". Selected Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research, Lisbon, Portugal.
- Nuzzolo A., Crisalli U., Comi A. (2009) "A delivery approach modeling for urban freight restocking". Proceedings of the 12th International Conference on Travel Behaviour Research (IATBR), Jaipur, India.
- Russo F., Comi A. (2010) "A modelling system to simulate goods movements at an urban scale". Transportation, DOI 10.1007/s11116-010-9276-y, Springer Science+Business Media, LLC.
- Russo F., Vitetta A. and Comi A. (2009). "Estimation of target time distribution for agri-food products by road transport". Schedule-Based Modeling of Transportation Networks: Theory and Applications, N. H. M. Wilson and A. Nuzzolo (eds.), Springer Science + Business Media.
- Wang Q. e Houlguin-Veras J. (2008). "An investigation on the attributes determining trip chaining behavior in hybrid micro-simulation urban freight models". Proceedings of the 87th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC, U.S.A..
- Yang C. H., Chow J. Y. e Regan A. C. (2009). "State-of-the Art of Freight Forecasting Modeling: Lessons Learned and the Road Ahead". Proceedings of the 88th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC, U.S.A.

Referenze immagini

L'immagine a pag. 7 è tratta dal sito web http://www.eu-portal.net/material/downloadarea/kt8_wm_it.pdf. Tutte le altre immagini sono elaborazioni degli autori.