

## **I Sistemi Geografici Informativi come strumento di visualizzazione e analisi della mobilità giornaliera in Svizzera**

Claudia DOLCI (\*), Alessandro CAROSIO (\*)

(\*) ETH, Politecnico federale di Zurigo, IGP, HIL Höggerberg, 8093 Zurigo, Svizzera

### **Riassunto**

La ricerca nel settore dei trasporti è stata negli ultimi decenni ampia e approfondita, facendoci assistere ad un continuo aumento delle tecnologie e dei software atti a migliorare l'analisi dei sistemi di trasporto e dei fenomeni a essi legati. Tra questi, la simulazione è diventata un mezzo indispensabile per l'ottimizzazione di sistemi complessi che consente di analizzare dinamicamente il comportamento del sistema studiato.

Spesso però le grandissime quantità di dati prodotte mancano di metodi di analisi adeguati e di un'eshaustiva rappresentazione grafica, elementi preziosi che permettono di comprendere e interpretare in modo migliore l'informazione. Questo aspetto riduce notevolmente l'utilità di molte previsioni, elemento che ha ispirato il presente lavoro.

In questo articolo sono illustrati alcuni metodi di analisi e visualizzazione di dati tabulari generati da simulazioni riguardanti la mobilità giornaliera su territorio svizzero, utilizzando tecniche GIS.

### **Abstract**

*In the last years we assisted at a continuous increase in technologies and software specialized for the analysis and planning of transportation systems. The simulation has become one of the most important tools for the optimization of complex systems, which allows analyzing the behavior of the studied system dynamically.*

*Often the big amount of data derived from a simulation is not supported by adequate methods of analysis and by a graphical representation, central elements for a good perception and interpretation of the information.*

*In this article we present some GIS applications developed in order to study the mobility in Switzerland using visualization methods for data generated by a simulation.*

### **Modelli di simulazione**

Ad oggi esistono numerosi modelli per la simulazione del traffico sulle reti che permettono previsioni sempre più accurate. Per molti anni è stato problematico studiare il comportamento dei sistemi complessi, in quanto i modelli usati per descriverli erano così articolati che le simulazioni utilizzate comportavano tempi di calcolo estremamente elevati. Attualmente, grazie ai calcolatori paralleli la potenza computazionale a disposizione è cresciuta in maniera considerevole, la simulazione è diventata così un'attività sempre più presente in molti campi dell'ingegneria, dove viene ormai considerata un mezzo indispensabile per l'analisi dei sistemi di trasporto e per l'ottimizzazione dei flussi di traffico.

Ricordiamo che i sistemi di trasporto sono sistemi complessi, costituiti da un insieme di elementi che concorrono a fornire opportunità di trasporto per soddisfare la domanda di spostamento di persone e merci espressa dal territorio (Cascetta, 2001). Lo spostamento non è quasi mai un'attività

fine a se stessa, in quanto il sistema di trasporto nasce usualmente dal bisogno degli individui di svolgere attività (lavoro, studio, svago, ecc.) che hanno localizzazione in genere diversa dal luogo di origine. Lo studio degli spostamenti richiede, di conseguenza, l'analisi di numerosi elementi coinvolti nel fenomeno, tra cui la tipologia di utenti che si spostano, il motivo dello spostamento, l'origine e la destinazione dello spostamento, l'istante temporale di inizio e fine dello spostamento e il modo di trasporto utilizzato.

Secondo una classificazione generalmente condivisa è possibile distinguere tre importanti approcci alla simulazione.

Appartengono alla prima categoria i modelli di macrosimulazione (detti anche “di prima generazione”). Essi considerano il traffico nella sua totalità, descrivendolo come un flusso definito da regole comportamentali che si basano principalmente sull'interazione tra i veicoli e dei veicoli con l'infrastruttura. I modelli macroscopici (modelli aggregati) si basano sulla simulazione continua del traffico, concentrandosi perlopiù sul traffico nella sua evoluzione, fornendo previsioni sulla velocità media di scorrimento, sul flusso e sulla densità veicolare (grandezze continue e mediate) (Ortúzar e Willumsen, 1995).

Al contrario, si parla di microsimulazione, se si desidera ricostruire l'evoluzione del traffico studiando la singola unità. Nello specifico, i modelli di microsimulazione (modelli disaggregati) simulano il movimento e le traiettorie dei singoli veicoli, consentendo di seguire nel dettaglio il traffico sulla rete stradale. Questa prospettiva di analisi permette di introdurre elementi di eterogeneità nella distribuzione delle caratteristiche individuali, superando così un forte limite dei modelli di macrosimulazione, ossia l'assunto di omogeneità della popolazione, per il quale la relazione tra variabili va necessariamente modellata come invariata nell'intera popolazione (Macy, 2001). Recentemente, grazie al menzionato incremento delle potenzialità computazionali, anche i modelli di microsimulazione sono diventati mezzi di analisi interessanti, in grado di lavorare con un'elevata risoluzione sia temporale che spaziale (Charypar, Axhausen, Nagel, 2007). Risulta chiaro però che, rispetto ai modelli macroscopici, quelli microscopici richiedono e producono un'elevata quantità di dati, basti pensare a simulazioni dove si considerano le attività giornaliere di più di un milione di persone.

Il terzo approccio è rappresentato dai modelli mesoscopici, che si collocano tra l'approccio aggregato dei modelli macroscopici e quello più particolare dei modelli microscopici riferito al singolo elemento. In questi modelli i veicoli sono rappresentati ancora microscopicamente, ma il comportamento dei veicoli è calcolato accorpandoli in aggregati con caratteristiche affini (velocità e tempi di viaggio), snellendo così le procedure di calcolo.

## **Il simulatore MATSIM**

Nella pratica non esistono modelli né interamente aggregati né disaggregati, ma piuttosto modelli per i quali le variabili presentano maggiori o minori livelli di aggregazione. Spesso i simulatori sono composti da sottomodelli separati, per i quali sono usati approcci diversi. Il livello di aggregazione delle variabili dipende dallo scopo per il quale il sistema viene modellizzato.

Nel caso specifico di questo lavoro, i dati utilizzati sono stati prodotti dal simulatore MATSim, sviluppato dall'Istituto di Pianificazione dei Trasporti del Politecnico di Zurigo (IVT, Eth, Zurigo) e dall'Istituto di Pianificazione dei Sistemi di Trasporto e di Telematica di Berlino (TU, Berlino).

MATSim ([www.matsim.org](http://www.matsim.org)) è un modello di microsimulazione dinamica della circolazione stradale basato su un approccio ad agenti (*agent-based*) in grado di offrire scenari di traffico veicolare su larga scala (Raney and Nagel, 2005). Per le sue caratteristiche, MATSim viene più propriamente posto come via di mezzo tra l'approccio mesoscopico e quello microscopico ad

automi cellulari (Charypar, Axhausen, Nagel, 2007), trattandosi di un simulatore di reti *queue-based* ad eventi discreti (vedi Balmer, 2007).

Nel caso di MATSim (Figura 1), gli input del modello sono il sistema di offerta rappresentato dalla rete stradale e la domanda di trasporto generata dai piani di attività dei singoli agenti. Oggetto della simulazione è una popolazione di agenti (*synthetic population*) che svolge delle attività sull'arco delle 24 ore. Gli agenti rappresentano le entità che hanno il compito di simulare le azioni all'interno del sistema. Per ogni agente esiste un pacchetto di possibili piani di attività, che vengono salvati nella cosiddetta banca dati degli agenti (*agent database*). Ad ogni iterazione della simulazione un algoritmo di selezione sceglie per ogni agente un piano di attività all'interno del pacchetto offerto.

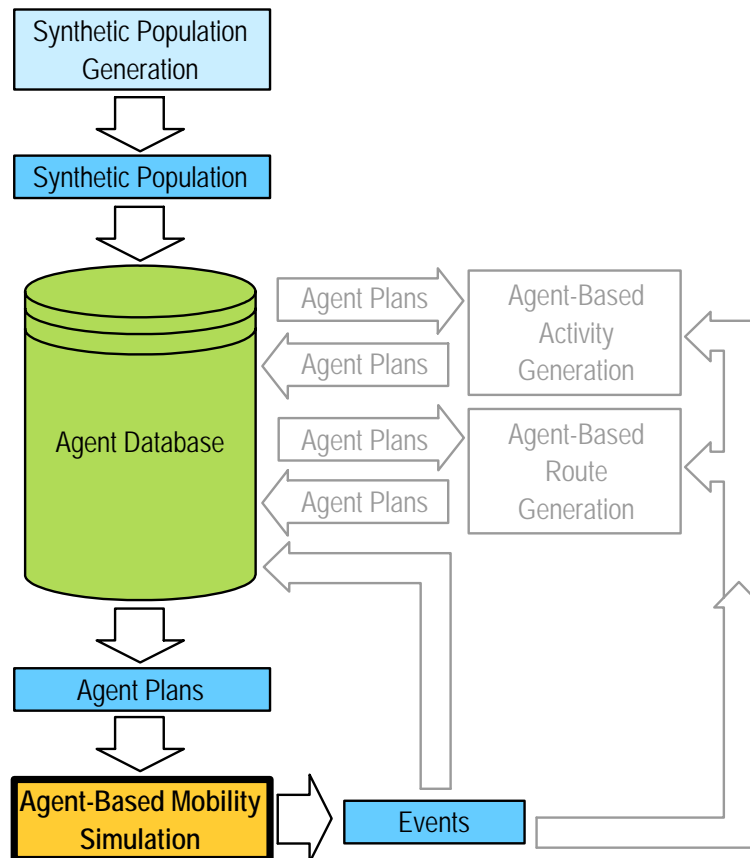


Figura 1- Rappresentazione schematica di MATSim (versione adattata da Balmer, 2007)

L'output del simulatore è una tabella di eventi conseguenti ai piani di attività dei singoli agenti, dove sono listati gli eventi ordinati cronologicamente e per singolo agente. Questa tabella descrive per ogni istante della simulazione la posizione dell'agente lungo la rete stradale e il tipo di attività svolta. Ogni evento è distinto da una collocazione temporale precisa nell'arco delle 24 ore, dalla chiave identificativa dell'agente che opera l'azione, dal tipo di attività svolta (lavoro, svago, casa ecc.) e dal tipo di azione (partenza, attesa di entrata sull'arco, abbandono del percorso, arrivo, ecc.).

### I GIS come strumento di analisi dell'informazione

L'impiego dei GIS è diventata pratica sempre più diffusa nel settore dei trasporti, tanto da essere considerato uno tra i più importanti campi di applicazione (Waters, 1999). Per indicare l'uso dei GIS nel settore dei trasporti, agli inizi degli anni Novanta è stato introdotto il termine inglese "GIS-T".

Attualmente, i GIS-T costituiscono un importante strumento informativo in grado di integrare le conoscenze acquisite nel campo della modellistica e della simulazione del traffico con le possibilità

di gestione delle informazioni offerte dai sistemi di gestione relazionali dei dati (Bosetti, Maroni e Rinaldi, 2003).

Come già anticipato all’inizio dell’articolo, le simulazioni, soprattutto quelle che adottano un approccio microscopico, producono un grandissimo numero di dati che spesso però mancano di adeguati metodi di analisi e di un’esaustiva rappresentazione grafica. Una piattaforma GIS può costituire una soluzione efficace per questo tipo di problemi, grazie alla capacità di integrazione, cioè di relazionare dati attraverso un riferimento spaziale e di inserire e manipolare informazioni a differenti livelli di aggregazione.

Anche nel caso di MATSim, allo stato attuale non esiste un modulo di analisi e di visualizzazione grafica dei risultati. Per tale motivo, la gestione e l’interpretazione dei dati generati dal simulatore hanno rappresentato l’aspetto fondamentale di questo lavoro, che ha come scopo quello di ottenere, grazie agli strumenti di analisi tipici di un sistema informativo territoriale, risultati numerici e grafici a livello di singolo segmento stradale e di “area complessiva” (aggregazione dell’informazione).

Il progetto è interamente basato sulla piattaforma ESRI, dove si è creata una banca dati centralizzata (ArcSDE-Oracle). Tra i dati da strutturare nello schema logico figurano i dati relativi alla rete stradale e i dati prodotti dal simulatore. Nella banca dati sono inoltre integrati dati GIS preesistenti, utili per le analisi post-simulazione e necessari a garantire la possibilità di aggregare l’informazione a un grado di dettaglio maggiore.

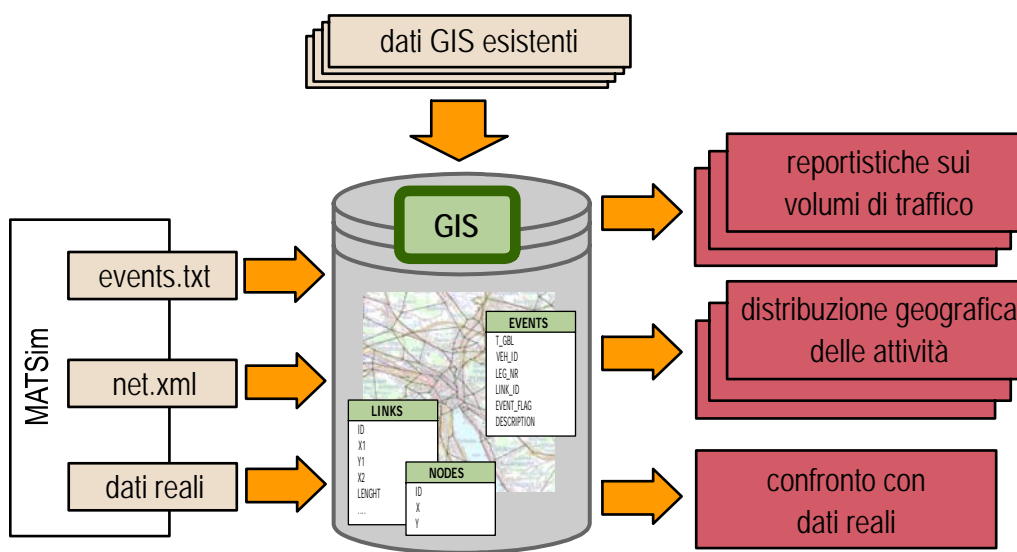


Figura 2 - Schema dell’analisi post-simulazione

Completata la fase di modellizzazione dei dati, l’obiettivo del lavoro è stato quello di fornire un prototipo GIS che offrisse alcuni strumenti di analisi finalizzati allo studio dei dati provenienti dal simulatore.

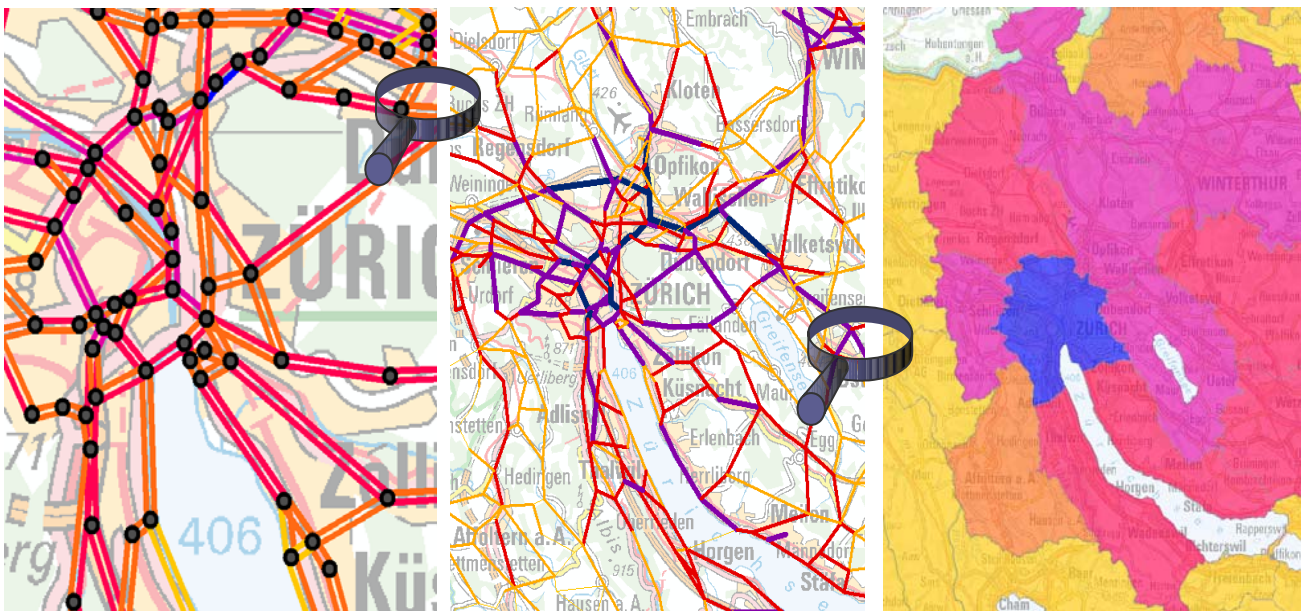
Il prototipo consente lo svolgimento di alcune operazioni di analisi e garantisce una buona flessibilità d’azione, permettendo all’utente di ottenere informazioni sulla mobilità giornaliera simulata anche senza grandi conoscenze del software GIS utilizzato. A tal fine sono stati programmati dei diagrammi di flusso in *Model Builder* (modulo di ArcGIS) in grado di riprodurre alcune fasi di analisi fondamentali, dove è possibile selezionare diversi *files* di entrata e di uscita a seconda delle esigenze dell’utente. L’utilizzo dell’applicativo è accompagnato da una documentazione integrata nei singoli blocchi che guida e illustra i diversi passaggi che portano alla preparazione e all’assemblaggio dei dati ai fini dell’analisi.

## Risultati e conclusioni

L'uso dell'applicativo offre reportistiche dettagliate sul traffico che forniscono un monitoraggio costante del traffico simulato. Si riescono ad identificare zone con funzioni logistiche importanti e zone di alta congestione, ottenendo utili informazioni per la pianificazione del traffico. Si può calcolare, ad esempio, il numero di veicoli transitanti nelle ore di punta su determinati segmenti stradali, come il mattino tra le 8 e le 9 verso Zurigo o la sera tra le 17 e le 18 nella direzione opposta.

Con l'ausilio di queste informazioni si possono realizzare carte tematiche dei volumi di traffico, per la cui realizzazione è stato scelto un intervallo minimo di aggregazione temporale di 30 minuti, mentre il livello di aggregazione spaziale dell'informazione varia in base alla scala di rappresentazione scelta dall'utente. I volumi di traffico possono essere rappresentati per senso di marcia, a livello di singolo arco o aggregati a livello di unità amministrativa (comuni e cantoni).

A dipendenza del grado di dettaglio scelto, sono messi a disposizione dell'utente più modelli di rappresentazione grafica che offrono varie possibilità di visualizzazione (Figura 3).



*Figura 3 - Rappresentazione dei volumi dei flussi di traffico con livelli di aggregazioni spaziali diversi*

Variando il livello di aggregazione spaziale si valorizza la rappresentazione, offrendo all'applicazione un aspetto dinamico rilevante. Da un lato, infatti, viene mantenuta l'informazione dettagliata contenuta nel file di output di MATSim e dall'altro guadagniamo una visione di insieme del fenomeno traffico e siamo in grado di ricostruire il quadro della mobilità sul territorio.

Sempre utilizzando l'informazione riguardante le attività svolte dai singoli agenti, grazie all'applicativo sviluppato, si può visualizzare la distribuzione spaziale delle attività lavorative sull'intero territorio svizzero, ponendo particolare attenzione ai piani di spostamento casa-lavoro e lavoro-casa (tragitti dei pendolari), sull'arco dell'intera giornata. Con questo applicativo rispondiamo a domande del tipo “dove lavorano le persone che vivono nel cantone di San Gallo?” o “dove vanno a fare la spesa le persone che vivono nella zona più ricca di Zurigo?”.

Nell'esempio riportato in Figura 4 è raffigurata la distribuzione delle attività lavorative delle persone residenti nella regione di Winterthur.

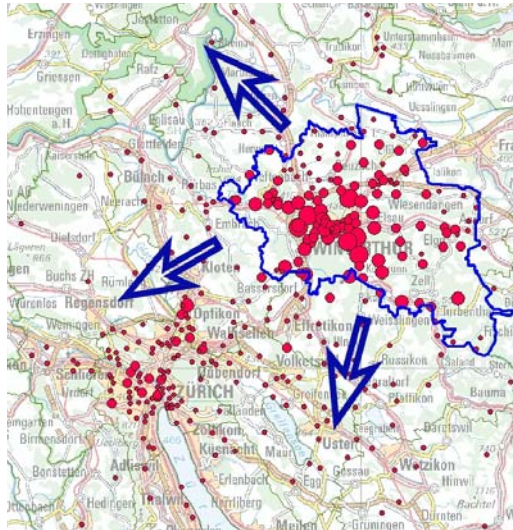


Figura 4: Distribuzione delle attività lavorative dalla regione di Winterthur

Desideriamo qui inoltre ricordare che la domanda di mobilità comporta un impatto sull'ambiente strettamente correlato alla distribuzione spaziale della popolazione sul territorio, alle diverse attività di questa e alla durata stessa dei suoi spostamenti. A tale riguardo è possibile produrre raffigurazioni in grado di evidenziare le zone caratterizzate da un forte conflitto ambientale, dove convivono forti tassi di emissioni dannose all'aria e alti valori di abitabilità.

Grazie alle visualizzazioni realizzate in questo lavoro si è offerto un valido controllo sulla qualità dei dati input e output del modello e vengono fornite informazioni rilevanti per una successiva calibrazione dello stesso. A conclusione del lavoro svolto, possiamo osservare come la struttura dei dati offerta dal modello logico e le molteplici capacità di analisi e calcolo proprie dei GIS riescano a garantire un valido supporto per la gestione dell'informazione nel settore dei trasporti.

## Bibliografia

- Balmer (2007), Simulation des Verkehrssystems, Unterlagen der Vorlesung, [http://www.ivt.ethz.ch/education/simulation\\_vs/](http://www.ivt.ethz.ch/education/simulation_vs/)
- Cascetta E. (2001), Transportation Systems Engineering: Theory and Methods, Kluwer Academic Publishers, Boston
- Charypar, D., K. W. Axhausen, and K. Nagel (forthcoming), "An Event-Driven Parallel Queue-Based Microsimulation for Large Scale Traffic Scenarios", paper presented at the *11th World Conference of Transport Research*, Berkeley
- Macy, M. e R. Willer 2002 From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling, in «Annual Review of Sociology», 28, pp. 143-166.
- Ortúzar, J., Willumsen, L.G. (1995), *Modelling Transport*, J. Wiley & Sons, New York, USA
- Raney, B. and K. Nagel (2005), "An improved framework for large-scale multi-agent simulations of travel behavior", in *TRB (2005) Annual Meeting CD-ROM*, Transportation Research Board, Washington, D.C., January 9-13 2005
- Rivadossi, M. (2004), "Metodologie per la modellazione di un'area critica: Il caso della zona Piazza Arnaldo-Canton Mombello a Brescia", Tesi di laurea Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria Civile
- Waters, N.M. (1999), "Transportation GIS: GIS-T". In P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, and D.W. Rhind, editors, *Geographical information systems: Principles, techniques, management and applications*. New York:Wiley, pp. 827-844