

Diss.ETH Nr. 17975

**MODELLI GIS E VISUALIZZAZIONE
DI PROCESSI DINAMICI PER RETI DI TRAFFICO**

Dissertazione presentata al
POLITECNICO FEDERALE DI ZURIGO
per il conseguimento del titolo di
DOTTORE IN SCIENZE

da

CLAUDIA DOLCI

Master in Scienze Geoinformatiche, Università di Wageningen (NL)

nata il 30 settembre 1972

cittadina italiana

Accettata su proposta di

Prof. Dr. Alessandro Carosio, ETH Zürich, Relatore

Prof. Dr. Kay Axhausen, ETH Zürich, Correlatore

Prof. Dr. Luigi Mussio, Politecnico di Milano, Correlatore

2008



introduzione

MODELLI GIS E VISUALIZZAZIONE DI PROCESSI DINAMICI PER RETI DI TRAFFICO

Negli ultimi decenni la mobilità e il traffico sono diventati temi di grande attualità. In Svizzera, come in tutta la Comunità Europea, la capacità della rete stradale è giunta in alcuni punti ai suoi limiti e il rischio di congestione è sempre più tangibile e concreto, andando a ridurre fortemente la sicurezza e le prestazioni delle reti. Diventa pertanto prioritario e indispensabile analizzare il sistema di trasporto, al fine di trovare soluzioni adeguate per la sua pianificazione.

Pianificare significa analizzare la domanda di spostamento e strutturare l'offerta (infrastrutture e servizi) in modo da soddisfare le esigenze degli utenti. Gli interventi possono essere di natura diversa e appare evidente come alla continua domanda di spostamento non si possa rispondere unicamente con la costruzione di nuove infrastrutture. Il sistema dei trasporti necessita di un processo di ottimizzazione che contribuisca a fluidificare il traffico e a garantire una buona accessibilità. Questi risultati possono essere ottenuti oltre che con la costruzione di nuove infrastrutture, anche grazie alla modifica di quelle già esistenti, organizzando e sincronizzando l'offerta dei sistemi di trasporto pubblico o privato, fino alla definizione di tariffe e orari di esecuzione del servizio pubblico.

■
■
■
■
■

Ricordiamo che lo spostamento nasce dalla necessità degli individui di svolgere delle attività in luoghi variamente localizzati sul territorio (lavoro, studio, svago, ecc.) che, in genere, hanno locazione diversa dal luogo di origine. La domanda di spostamento si manifesta sotto forma di traffico e può essere formalmente definita come il numero di utenti con determinate caratteristiche che usufruisce del servizio offerto da un sistema di trasporto in un periodo di riferimento prefissato.

Come suggerito dalla definizione stessa, pur forse semplificando parzialmente il fenomeno, la domanda di spostamento e i conseguenti flussi di traffico sono contraddistinti per luogo di origine e di destinazione (caratterizzazione spaziale), per intervallo di tempo di riferimento (caratterizzazione temporale) e per motivi di spostamento, numero e classi di utenti (caratterizzazione socioeconomica).

I diversi aspetti legati all'analisi della domanda di spostamento e dei flussi di traffico hanno suggerito e determinato un approfondito esame delle possibili applicazioni e relativi vantaggi dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) nel settore dei trasporti. A tale proposito, ricordiamo come la tecnologia GIS sia in grado di integrare in un unico ambiente le più comuni operazioni legate all'uso di una banca dati (interrogazioni, analisi statistiche) con i benefici dell'analisi spaziale. Secondo Bartelme (2000), *“i GIS rappresentano una concezione logica in base alla quale il personale responsabile utilizza e organizza le componenti tecniche e metodologiche per gestire, analizzare e diffondere informazioni con riferimento spaziale”*.

Pur essendo la pianificazione dei sistemi di trasporto diventata un compito ormai tradizionale nell'ambito dell'ingegneria dei trasporti, negli ultimi anni la ricerca dedicata all'analisi di problemi legati al traffico ha continuato a svilupparsi in maniera notevole. Spesso però le grandissime quantità di dati prodotte mancano di uno strumento che ne permetta la gestione e la visualizzazione, aspetto che spesso riduce l'utilità di molte ricerche. In questo lavoro di tesi si è affrontato proprio questo argomento, andando a trattare i temi della modellizzazione e della visualizzazione dei dati, ritenendoli elementi preziosi per una corretta analisi e interpretazione dell'informazione.

Sono state analizzate alcune problematiche fondamentali riguardanti i flussi di traffico, in particolar modo l'aspetto dinamico-temporale del fenomeno. In questo contesto, i GIS sono stati proposti e utilizzati come strumento risolutivo, dimostrando ancora una volta la loro efficacia nell'analisi numerica, nella visualizzazione e nella capacità di combinare e di beneficiare di entrambi gli aspetti. Si è inoltre sviluppata nel corso del lavoro, la curiosità di conoscere di più e meglio gli strumenti utilizzati, sia dal punto di vista tecnico che delle possibili applicazioni.

Il lavoro di tesi è strutturato in cinque capitoli. I primi due sono principalmente descrittivi, mentre i restanti tre capitoli riportano alcuni esempi pratici, dove i GIS sono riusciti a portare il loro contributo per l'analisi e la visualizzazione dei dati riguardanti il traffico.

Per la parte applicativa della tesi è stato scelto il contesto svizzero. I motivi sono stati in parte suggeriti dalla collaborazione con l'Istituto di Pianificazione dei Trasporti del



Politecnico di Zurigo (IVT) e quindi dalla disponibilità dei dati da loro offerta. Un altro aspetto che ha favorito e suggerito la scelta è stato dettato dal fatto che il territorio svizzero con le sue infrastrutture e la sua orografia fornisce una rilevante rappresentatività del fenomeno traffico, oltre a un'ampia varietà di contesti (urbano, periurbano e interurbano). Queste caratteristiche fanno sì che le applicazioni sviluppate possano essere adottate anche per altre realtà geografiche.

Il primo capitolo presenta una panoramica sulla situazione attuale del traffico in Svizzera, delineandone le caratteristiche principali e identificandone le aree a maggiore concentrazione, allo scopo di poter inquadrare e contestualizzare le applicazioni sviluppate durante il lavoro.

Il secondo capitolo si propone di descrivere le caratteristiche e le componenti principali dei GIS con riferimento al settore dei trasporti, dalla modellizzazione dei dati alla descrizione delle funzioni di analisi, concentrandosi in particolar modo sulle tematiche trattate nei capitoli successivi.

Nei successivi capitoli applicativi sono state opportunamente scelte tre tematiche atte a dimostrare il potenziale impiego dei GIS nel settore dei trasporti.

Nel terzo capitolo si sono approfonditi gli aspetti della modellizzazione dei dati e della visualizzazione delle informazioni riguardanti il traffico, illustrando alcuni metodi messi a punto per la visualizzazione statica e dinamica di dati riguardanti la mobilità giornaliera.

Nel quarto capitolo è proposta una panoramica dei servizi di infomobilità e si descrive un approccio di *routing* dinamico studiato per l'aggiornamento dei dati di traffico in tempo reale per la realtà svizzera.

Infine, il quinto capitolo presenta un'applicazione che consente la realizzazione delle cosiddette carte del tempo, discutendo la costruzione di una serie di carte prodotte per la Svizzera che documentano il "restringimento" del paese dal 1950 ad oggi. Si descrivono i dati utilizzati ed il modello matematico impiegato per il *rescaling* necessario.





Zusammenfassung

GIS MODELLIERUNG UND DARSTELLUNG VON DYNAMISCHEN PROZESSEN IN VERKEHRSNETZEN

In den letzten Jahrzehnten haben die Themen der Mobilität und des Verkehrs an Aktualität zugenommen. In der Schweiz, wie in ganz Europa, ist die Kapazität der Strassennetze an einigen Orten an ihrer Limite angekommen und dabei wurde das Risiko von Verstopfungen immer greifbarer und konkreter, so dass die Leistungen und die Sicherheit darunter leiden. Um angepasste Lösungen für die Planung der überfüllten Strassennetze zu finden, wird die Analyse der Transportsysteme unentbehrlich und eine prioritäre Aufgabe.

Planen bedeutet die Frage der Bewegungen zu analysieren und die Angebote (Infrastruktur und Dienstleistung) so zu strukturieren, dass sie den Anforderungen der Nutzer gerecht werden. Das Vorgehen kann verschiedenartig sein, doch ist es klar, dass die Lösung nicht nur auf dem Bau neuer Infrastruktur basiert. Transporte brauchen einen Optimierungsprozess, um einen Beitrag an einen flüssigeren Verkehr zu leisten und um eine gute Erreichbarkeit zu garantieren. Diese Resultate können nicht nur durch den Bau neuer Infrastrukturen erreicht werden, sondern auch dank den Änderungen der bereits Bestehenden, durch die Organisation und Synchronisation der Angebote des privaten und

■
■
■
■
■
öffentlichen Verkehrs, sowie auch durch die Festlegung der Tarife und der Fahrpläne des öffentlichen Verkehrs.

Die Bewegungen der einzelnen Individuen entwickeln sich aus der Notwendigkeit ihre Aktivitäten an anderen Orten auszuführen (Arbeit, Studium, Freizeit, usw.) als der Herkunftsort in der Regel liegt. Die Frage der Bewegungen offenbart sich somit in Form des Verkehrs und kann formal als Anzahl Verkehrsteilnehmer mit bestimmten Charakteristiken definiert werden, welche den vom Verkehrssystem angebotenen Service in einer vordefinierten Zeitspanne benutzen.

Wie die Definition aussagt, mit vielleicht teilweise vereinfachten Darstellungen, sind die Frage der Bewegungen und die daraus resultierenden Verkehrsflüsse charakterisiert durch den Herkunftsort und den Zielort (räumliche Charakteristik) durch die vorgegebenen Zeitintervalle (zeitliche Charakteristik) und durch die Gründe der Bewegungen, sowie durch die Anzahl und Klassen der Nutzer (sozioökonomische Charakteristik).

Die verschiedenen auf die Analyse bezogenen Aspekte der Frage der Bewegungen und der Verkehrsflüsse haben eine vertiefte Prüfung der möglichen Applikationen und den daraus folgenden Vorteilen von Geoinformationssystemen (GIS) im Transportsektor aufgezeigt. In diesem Zusammenhang erinnern wir uns, dass die GIS-Technologie fähig ist, einfache Prozeduren, welche an den Gebrauch einer Datenbank gebunden sind (Abfragen, statistische Analysen), mit den Stärken der räumlichen Analyse, in eine einzige Umgebung zu integrieren. Nach Bartelme (2000) verkörpern die Geoinformationssysteme ein logisches Konzept nach welchem das verantwortliche Personal die technischen und methodischen Komponenten anwendet und organisiert, um die räumlichen Informationen zu verwalten, zu analysieren und zu verbreiten.

Die Planung der Transportsysteme ist eine bereits traditionelle Aufgabe der Verkehrsingenieure, trotzdem haben die Forschungsaktivitäten im Bereich der Problemanalysen im Verkehr in den letzten Jahren bemerkenswert zugenommen. Jedoch fehlt für entstehende grosse Datenmengen oft ein Instrument das die Verwaltung und Visualisierung ermöglicht, ein Aspekt der die Forschung behindert. In dieser Dissertation wurde genau dieses Argument angegangen, die Themen der Modellierung und der Visualisierung der Daten wurden behandelt, weil man sie als wichtige Elemente für eine korrekte Analyse und Interpretation der Informationen betrachtet.

Es wurden einige grundlegende Problematiken welche die Verkehrsflüsse betreffen analysiert, vor allem der dynamisch-zeitlichen Aspekt des Phänomens. In diesem Zusammenhang wurden Geoinformationssysteme als Lösung vorgeschlagen und gebraucht. Somit wurde erneut ihre Effizienz, bei der numerischen Analyse, bei der Visualisierung und bei der Fähigkeit verschiedene Aspekte zu kombinieren, demonstriert.

Die Dissertation ist in fünf Kapitel strukturiert. Die ersten beiden sind vor allem beschreibend, während die folgenden drei Kapitel einige praktische Beispiele schildern, wo die Geoinformationssysteme einen Beitrag zur Analyse und Visualisierung der Verkehrsdaten leisten konnten.



Für den praktischen Teil der Dissertation wurde die Schweiz als Gebiet ausgewählt. Die Gründe dafür basieren auf der Zusammenarbeit mit dem Institut für Verkehrstechnik an der ETH Zürich (IVT) und aus der Möglichkeit ihre Daten zu nutzen. Ein anderer Aspekt der diese Wahl unterstützt ist durch die Eigenschaften der Schweiz (urbaner, periurbaner und interurbaner Kontext) mit ihrer Infrastruktur und ihrem Relief gegeben, welche für das „Phänomens Verkehr“ repräsentativ sind. Diese Charakteristiken machen, dass die entwickelten Verfahren auch in anderen geografischen Gebieten anwendbar sind.

Das erste Kapitel gibt einen Überblick über die aktuelle Verkehrssituation in der Schweiz, beschreibt die wichtigsten Charakteristiken und zeigt die Zonen der höchsten Verkehrskonzentration auf, mit dem Zweck die während dieser Arbeit zu entwickelnden Anwendungen einzugrenzen und in einen Zusammenhang zu bringen.

Das zweite Kapitel beschreibt die Charakteristiken und die wichtigsten Komponenten der Geoinformationssysteme, von der Modellierung der Daten bis zur Funktion der Analyse, mit Bezug zum Verkehrsbereich und mit speziellem Augenmerk auf die Thematiken der folgenden Kapitel.

In den nachfolgenden Kapiteln wurden drei passende Themen gewählt, um das Potenzial des GIS im Verkehrsbereich aufzuzeigen.

Im dritten Kapitel wurden die Aspekte der Modellierung und Visualisierung der Verkehrsinformationen vertieft. Dabei wurden einige für die dynamische und statische Visualisierung entwickelte Methoden beschrieben, welche die tägliche Mobilität darstellen.

Im vierten Kapitel wird ein Überblick über die Verkehrsinformationsangebote gegeben und ein Ansatz über das dynamische „routing“ beschrieben, welches für die Aktualisierung in Echtzeit der Schweizer Daten entwickelt wurde.

Schlussendlich wird im fünften Kapitel ein Verfahren präsentiert, welches die Realisation der sogenannten Zeitkarten ermöglicht. Dabei wird eine Kartenserie für die Schweiz hergestellt, welche das „Zusammenrücken“ des Landes von 1950 bis heute darstellt. Auch werden die dafür gebrauchten Daten und das mathematische Modell für das nötige „rescaling“ beschrieben.





abstract

GIS MODELLING AND VISUALIZATION FOR DYNAMIC PROCESSES IN TRAFFIC NETWORKS

Over the last decades, mobility and traffic have become themes of great concern. In Switzerland, as throughout the European Community, the road capacity has reached in some points its limits. The risk of congestion is increasingly tangible and concrete, seriously affecting the security and performance of the road networks. It is therefore crucial to analyze the transport system in order to find appropriate solutions for its planning.

Planning means analyzing the demand of displacement and consequently structuring the offer (infrastructure and services) to meet the users' needs. The interventions may be different in nature and it might emerge, as demand continues to rise, that the construction of new infrastructure is not the only answer. The transport system needs an optimization process that contributes to fluidify traffic and ensures good accessibility. These results can be obtained, alongside the construction of new infrastructure, thanks to the improvement of existing ones, by organizing and synchronizing the offer of public and private transport systems, and/or through the definition of tariffs and timetables to be implemented in the public service.

It is important to recall that travelling stems from the need of individuals to carry out activities in places located differently in the territory (work, study, entertainment, etc.),

-
-
-
-
-

and situated other than in the place of origin. The need of displacement occurs in the form of traffic and can be formally defined as the number of users, with certain characteristics, utilizing the service offered by a transport system in a prefixed referenced period of time.

As suggested by the definition itself, while simplifying partially the phenomenon, the demand for displacement and the subsequent traffic flows are characterized by the place of origin and destination (spatial peculiarity), by time interval reference (temporal peculiarity), displacement reasons and by the number and classes of users (socio-economic characterization).

The various aspects related to the demand of displacement and traffic flows have suggested and determined a thorough analysis of potential applications and related benefits of Geographic Information Systems (GIS) in the sector of transport. In this context, we recall how GIS technology is able to combine in a single environment, the most common operations related to the use of a database (questions, statistical analysis) with the benefits of spatial analysis. According to Bartelme (2000), *“GIS are a logical concept based on which the responsible staff uses and organizes the technical and methodological components to manage, analyse and disseminate information with spatial reference”*.

Although planning transport systems is a traditional task related to transport engineering, in recent years many research issues related to traffic have constantly to develop at a rapid pace. However, the enormous amount of data produced and the lack of an instrument which allows the management and the visualization, often reduces the usefulness of many studies. In this thesis work this topic was addressed, by dealing with issues as modelling and visualization of data, and by considering them valuable elements for a proper analysis and interpretation of the information.

Some key issues concerning traffic flows were analyzed, focusing on the temporal-dynamic aspect of the phenomenon. In this context, GIS have been proposed and used as a problem-solving tool, demonstrating once again their effectiveness in numerical analysis, in visualization and their ability to combine and to benefit from both aspects. During the work, the interest to better understand the used tools was further developed, both from a technical point of view and through their use in potential applications.

The thesis work is divided into five chapters. The first two are mainly descriptive, while the remaining three chapters show some practical examples where GIS have been able to bring their contribution to the analysis and visualization of traffic flow data.

For the application part of the thesis the Swiss context was chosen. The reasons were partly due to the collaboration with the Institute of Transport Planning of the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich (IVT) and partly to the data availability offered. Another aspect that has encouraged and suggested this option was the fact that the Swiss territory, with its infrastructure and its orography, provides a significant representation of the traffic phenomenon, as well as a wide variety of contexts (urban, sub-urban and inter-



urban). These features mean that the applications developed in this frame can be adopted in other geographical contexts.

The first chapter presents an overview of the current traffic situation in Switzerland, defining its main characteristics and identifying the areas of greatest concentration in order to frame and contextualize the applications developed in this work.

The second chapter describes the characteristics and main components of a GIS referencing to the transports sector, as data modelling and the description of data analysis functions, focusing on the theme explored in the remaining chapters.

In the following application-focused chapters three issues, likely to demonstrate the potential use of GIS in the transport sector, have been chosen.

Chapter three takes a closer look to the data modelling and data visualization aspects of information concerning traffic flow, illustrating some methods developed to visualize static and dynamic data related to daily mobility.

Chapter four carries out an overview on infomobility services, describing a dynamic routing approach designed to update traffic data in real time for the Swiss reality.

Finally, chapter five presents an application developed to create so-called time maps, discussing the construction of a series of maps produced for Switzerland which testimony/document the “shrinkage” of the country from 1950 to today. The data and the mathematical model used for the rescaling are described therein.