



Accessibilità territoriale e dinamiche d'uso delle infrastrutture stradali: un approccio alla pianificazione integrata

Territorial accessibility and dynamics in road infrastructures use: an integrated planning approach

Dott. Ing. Cristiana PICCIONI^()*

SOMMARIO – Nell'ambito degli studi inerenti le interazioni trasporti-territorio, la vastissima letteratura di riferimento propone numerosi modelli finalizzati all'analisi delle relazioni tra il sistema di mobilità e la domanda ed offerta di suolo. Tuttavia, rispetto alla moltitudine di ricerche ed applicazioni disponibili, solo sporadicamente il concetto di accessibilità è stato associato ad interventi di realizzazione o manutenzione della rete stradale. Recenti studi hanno modellizzato tale fenomeno, esaminando l'evoluzione nell'uso delle infrastrutture viarie in relazione alla distribuzione degli investimenti sui singoli archi, anche alla luce di alcune dinamiche territoriali. Il presente lavoro, traendo spunto proprio da tali ricerche, ne utilizza l'approccio metodologico - opportunamente rivisto e calibrato su un'area di studio provinciale - e propone una tecnica d'implementazione volta a "far dialogare" i sub-modelli che lo compongono, al fine di individuare possibili relazioni tra la distribuzione delle differenti attività sul territorio e le dinamiche d'uso della rete stradale che su di questo insiste. Vengono formulate, infine, alcune considerazioni circa possibili margini di applicabilità del modello ad una rete di trasporto multimodale.

1. Premessa

Le dinamiche d'uso del suolo e le configurazioni territoriali che ne conseguono sono innegabilmente connesse al livello di accessibilità che, a sua volta, si estrinseca attraverso lo sviluppo di infrastrutture e servizi di trasporto. Interventi significativi sull'offerta di trasporto conducono, infatti, a nuove scelte localizzative, determinando una variazione nella distribuzione territoriale delle attività socio-economiche e residenziali. Tali dinamiche innescano, inevitabilmente, un processo di modifica della domanda di mobilità, la cui struttura originaria viene ridefinita in termini di entità e caratteristiche rilevanti [1] (fig. 1).

SUMMARY – Regarding studies about transport and land-use interactions, there is a great amount of literature which proposes several models aimed at investigating the relations between mobility system and land demand and supply. Within such analyses and related applications, however, only sporadically the concept of accessibility has been associated to interventions in the realizations and/or maintenance of road networks. Some recent studies modelling this phenomenon have analyzed the evolution in the use of road infrastructures according to the distribution of investments on their links, considering also some territorial dynamics. The present study, stemmed from these researches, uses their methodological approach - appropriately reviewed and calibrated on a provincial study area - and proposes a technique of implementation aimed at integrating the sub-models which compose the logical architecture, in order to identify possible relations between the territorial distribution of different activities and the related dynamics in the use of road network. At the end, some considerations about further application of the model to a multimodal public transport network are proposed.

1. Introduction

Land use dynamics and related territorial settlements are strictly linked to the accessibility level which, in turn, is fulfilled through the development of transport infrastructures and services. Important interventions on transport supply lead to new location choices producing variations in the territorial distribution of the social-economical and residential activities. Such dynamics cause, inevitably, a modification process regarding the mobility demand, where its original structure is redefined in terms of entity and relevant features [1] (fig. 1).

Furthermore, the accessibility improvements can increase and/or enhance the economical and commercial potentiality of the areas interested in infrastructural interven-

^(*) "Sapienza" Università di Roma, DICEA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale - Area Trasporti.

^(*) "Sapienza" Università di Roma, DICEA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale - Area Trasporti.

Il miglioramento dell'accessibilità, oltre ad incrementare e/o valorizzare il potenziale economico e commerciale delle aree interessate da interventi infrastrutturali, concorre a sviluppare la coesione territoriale e ad ampliare le opportunità di scambio e di equità sociale [2]. A proposito dell'importanza assunta dai criteri di sostenibilità economica e sociale si sottolinea che, nel quinquennio 2001-2006, si è avuto un aumento medio dell'accessibilità alle aree metropolitane europee⁽¹⁾, che ha favorito per il 13,1% la modalità ferro-tramviaria e per il 7,4% la modalità stradale [3]. In tali dati si riscontra l'attuale tendenza ad investire prevalentemente nello sviluppo di sistemi di trasporto su ferro, in ragione delle migliori prestazioni in termini di bilancio globale di efficienza - ovvero considerando i minori costi esterni connessi ai consumi energetici, alle emissioni inquinanti ed al tasso di incidentalità - rispetto alla modalità stradale.

2. Interazioni tra uso del territorio e sviluppo infrastrutturale

Il presente lavoro trae origine dallo studio dei principali strumenti⁽²⁾ di supporto all'analisi delle interazioni trasporti-territorio [1]; strumenti con i quali si indagano le influenze che il sistema dei trasporti determina sul territorio e sulle componenti del sistema delle attività ivi presenti. Da tale analisi, alla cui base vi è l'approfondimento delle diverse trattazioni teoriche (geografia economica, interazione spaziale, utilità casuale) [4] nonché i principali modelli di pianificazione integrata⁽³⁾ da queste derivati [5], [6], [7], è emerso che l'accessibilità e la caratterizzazione delle diverse attività - la cui dislocazione concorre a definire la configurazione della domanda di trasporto - sono parametri rilevanti in tutti gli schemi di modellizzazione, ovvero prescindendo dal livello di disaggregazione e dalla relativa complessità [8].

⁽¹⁾ Espressa in termini di densità di rete ovvero km di rete/superficie.

⁽²⁾ Noti come *modelli di interazione trasporti-territorio*, schematizzano ed interpretano i fenomeni localizzativi (nuove attività produttive, residenziali, commerciali, etc.) e la conseguente domanda di mobilità originata dalle dinamiche d'uso del suolo.

⁽³⁾ Sono numerosi i modelli trasporti-territorio nei quali l'accessibilità è un parametro discriminante per lo sviluppo delle dinamiche localizzative; si citano i modelli *Dortmund* (WEGENER, 1982a,b; 1986; WEGENER et al., 1991), *Meplan* (ECHENIQUE, 1994) e *Tranus* (DE LA BARRA, 1989), *Catlas* (ANAS, 1982), *Metrosim* (ANAS et al., 1994), *CUF-2* (LANDIS e ZHANG, 1998) ed *UrbanSIM* (Waddel et al., 2000).



Fig. 1 - Relazioni causa - effetto tra sistema dei trasporti e territorio [1]. *Transport and land use: cause - effect relations [1].*

tions also by developing the territorial cohesion and amplifying the opportunities of exchange and social equity [2]. As an example, in the five years 2001-2006, there was an increase of accessibility of the European metropolitan areas⁽¹⁾ by 13,1% regarding rail and by 7,4% regarding road transport [3]. It can be seen that the tendency to develop mainly forms of rail-based transport, which allow better performances in terms of efficiency global balance - that is to say minor external costs related to energy consumption, pollutant emissions and accident rate - compared to road transport.

2. Interactions between land use and infrastructural development

This document stems from the study of the main support tools⁽²⁾ to the analysis of the land use and transport interactions [1], tools which are used to investigate the influences that the transport system determine on the territory and on the components of the activities placed on it.

This analysis, based on the in-depth examination of the theoretical approaches [4] (economic geography, spatial interactions, random utility) and the related integrated planning models⁽³⁾ [5], [6], [7], showed that the accessibility as well as the characterization of the different ac-

⁽¹⁾ Expressed in terms of network density (km of network divided by km² of land surface).

⁽²⁾ Called *Land-use and Transportation Interaction models*, they allow to outline and understand location phenomena (new residential, commercial, productive activities, etc.), deriving from accessibility improvements as well as the mobility demand resulting from land use dynamics.

⁽³⁾ In the vast literature reference as well as in current practices, there are several integrated planning models where accessibility is always a discriminating parameter with respect to location dynamics, as follows: *Dortmund* (WEGENER, 1982a,b; 1986; WEGENER et al., 1991), *Meplan* (ECHENIQUE, 1994) and *Tranus* (DE LA BARRA, 1989), *Catlas* (ANAS, 1982), *Metrosim* (ANAS et al., 1994), *CUF-2* (LANDIS e ZHANG, 1998) ed *UrbanSIM* (WADDEL et al., 2000).

Rispetto alla moltitudine di studi e ricerche inerenti tale ambito vi è, però, una disponibilità limitata di modelli e casi applicativi nei quali il concetto di accessibilità territoriale è associato ad interventi di realizzazione e/o manutenzione della rete di trasporto. Diversi studi condotti in tal senso a partire dagli anni '80 hanno contribuito a rafforzare la convinzione che il ruolo degli investimenti infrastrutturali, soprattutto in aree già servite da una rete stradale primaria, non fosse sufficiente ad instaurare un rapporto esclusivo di causa-effetto con lo sviluppo economico locale. Per contro, studi condotti in alcune cittadine statunitensi nell'arco di un trentennio hanno evidenziato la forte correlazione tra lo sviluppo di uno schema di direttrici viale, tangenziali e radiali, e la crescita economica di tali aree [9]. In un'ottica di lungo periodo, comunque, interventi progettuali e manutentivi sulle infrastrutture di trasporto determinano effetti rilevanti sugli assetti territoriali [10] che, a loro volta, possono indurre, nel breve periodo, variazioni significative nella domanda di mobilità.

Si sottolinea, comunque, l'importanza di tener conto di alcuni limiti insiti nello sviluppo di strumenti per l'analisi delle interazioni trasporti-territorio, presumibilmente imputabili all'esistenza di numerose ipotesi di lavoro e di vincoli, la cui logica non è sempre facilmente replicabile al variare del contesto di riferimento. Vi è, inoltre, l'oggettiva difficoltà nell'interpretare le configurazioni insediative ad ampia scala, alla luce della contestuale espansione delle reti di trasporto. Alcuni recenti studi volti all'analisi di tale fenomeno [11] hanno tentato di affrancarsi dalle complessità sopra esposte indirizzando, al contempo, l'attenzione sui parametri descrittivi dell'evoluzione delle infrastrutture stradali (capacità e livello di servizio) in funzione della distribuzione territoriale delle attività. Un'interessante ricerca [12], inoltre, partendo da un modello classico di assegnazione dei flussi di traffico sulla rete, ha introdotto quale ulteriore elemento gli *"agenti indipendenti"*, intesi come decisori locali che, in funzione dei ricavi derivanti dai diritti d'uso dell'infrastruttura, scelgono di investire o meno sugli archi della rete. I risultati di tale analisi hanno indicato alcuni possibili caratteri evolutivi di un reticolo viario, rispetto al quale gli interventi sui singoli archi sono decisi in modo completamente autonomo [13]. A partire da tale contributo, ulteriori studi [14][15] hanno approfondito l'analisi con l'intento di esaminare se alcune dinamiche d'uso del territorio possano rinforzare o neutralizzare la struttura gerarchica delle reti stradali; il tutto proponendo un'architettura logica che integra l'accessibilità territoriale con le dinamiche della domanda di mobilità e gli investimenti sulla rete di trasporto.

Prendendo spunto da questi ultimi studi, nel presente lavoro se ne è utilizzato l'approccio metodologico - opportunamente rivisto e calibrato sull'area della Provincia di Rimini - in ragione del fatto che offre l'opportunità di applicare un originale strumento di indagine. Al fine di contenere le inevitabili complessità insite in un approccio di tipo multimodale, il modello qui proposto è stato considerato nella sua struttura originaria, ovvero riferito ad un sistema stradale dedicato alla mobilità individuale.

activities - whose territorial distribution contributes to define the transport demand - are relevant parameters in all the models, regardless of their disaggregation level and relative complexity [8].

Compared to the several studies and analyses concerning this research field, there is although a limited availability of models and applications where the concept of land accessibility is associated to interventions in the construction and/or maintenance of transport networks. Several studies performed starting from the beginning of the '80s have demonstrated that the role in infrastructural investments, especially in areas with a primary road network, were not sufficient to produce an exclusive cause-effect relation with the local economical developments. On the contrary, studies performed in some American towns over a period of thirty years, have showed a strong correlation between the development of the road access schemes (circumferential and radial) and the economical growth of such areas [9]. In a long period scenario, however, the interventions on the transport network determine important effects on the territorial configurations [10] which can imply, also in a short period, significant variations of mobility demand.

To this end, it is important to underline some limits in the development of land use and transport interaction models, which are presumably related to the complexity of the integrated planning tools, based on the existence of several work hypothesis and constraints, where its logic is not always easily repeated to different environmental contexts. Furthermore, there is an objective difficulty in defining the settlements configuration on a wide scale, according to the transport network expansion.

Some recent studies aimed at analysing such phenomena [11] have overcome the above-mentioned difficulties focussing their attention on the relevant descriptive parameters related to the evolution of road schemes (capacity and level of service) according to the land activities distribution. An interesting research [12] has investigated the possible integration between the dynamics of road network development and the features of urban areas. Such an analysis, starting from a classical model of traffic flow assignment, introduces as a further element the *"independent agents"* that are local decision-makers who choose whether to invest or not on the single road links according to the revenues derived from links use toll. The outcomes showed some evolving features of a road network, taking into account that the interventions on single links are based on autonomous decisions [13].

Starting from this contribution, further studies [14][15] aimed at investigating whether some dynamics in land use can reinforce or neutralize the hierarchical structure of the networks, by proposing a logical architecture which integrates the accessibility with the mobility demand and the investments on the road links.

On the basis of such studies, in the present analysis the methodological approach was used - appropriately reviewed and calibrated on the Province of Rimini - because

L'intento è, comunque, quello di consolidarne la metodologia e la tecnica di simulazione per poi ipotizzare futuri margini di applicabilità del modello ad una rete di trasporto collettivo, su gomma e ferro.

3. L'approccio metodologico

La metodologia impiegata riconduce espressamente al modello Signal⁽⁴⁾ [15], nel quale il processo decisionale circa la scelta localizzativa delle attività commerciali e residenziali è associato a strategie di investimento sull'infrastruttura viaria. Tali strategie, basate sulle stime dei flussi veicolari⁽⁵⁾, sottendono un'ottica di gestione autonoma (*agenti indipendenti*) di singole tratte stradali, la cui percorrenza è soggetta all'esazione di un *pedaggio*. Ciò significa considerare ogni arco come elemento singolo, indipendente dalla rete di appartenenza, nei riguardi del quale l'obiettivo del gestore locale è quello di massimizzarne il profitto, disgiunto dal perseguimento del beneficio sociale e dell'efficienza a livello di rete.

L'architettura logica si compone di tre sub-modelli denominati, rispettivamente, *modello di trasporto*, *modello degli investimenti* sulla rete e *modello di accessibilità ed uso del territorio*. Si precisa che i singoli sub-modelli qui adottati presentano una struttura semplificata rispetto alla pratica corrente; ciò conferisce all'applicazione un carattere prevalentemente esemplificativo consentendo, al tempo stesso, di focalizzare l'attenzione sulle relazioni funzionali alla base dell'intera procedura e sul meccanismo di integrazione tra le differenti componenti (fig. 2).

Il *Modello di trasporto* è articolato secondo la classica sequenza⁽⁶⁾ dei modelli di generazione/attrazione, distribuzione ed assegnazione dei flussi ad una rete stradale (adottando un modello di assegnazione a costi d'arco indipendenti dai flussi), nel primo dei quali il numero degli spostamenti *OD* generati/attratti da ciascuna zona, è stato assunto proporzionale ai rispettivi attributi di generazione/attrazione definiti attraverso la totalità dei residenti e degli addetti ivi presenti. Nel modello di distribuzione degli spostamenti $T_{ij} = A_i B_j O_i D_j \cdot e^{-\theta_{ij}}$, espresso con la classica espressione gravitazionale, il tempo di percorrenza presente nella funzione di impedenza $e^{-\theta_{ij}}$, è qui calcolato come somma di tre contributi:

it provides the opportunity of applying an original model. In order to limit the inevitable complexity of a multimodal approach, the model here proposed was considered in its original structure that is referred to road systems (private mobility). The intention, however, is to consolidate the methodology and the implementation technique in order for its future study related to its application to a multimodal public transport network.

3. The methodological approach

The methodology specifically leads to the Signal⁽⁴⁾ model [15], in which decision-making process about the location choice of commercial and residential activities is associated to investments strategies on road infrastructures. Such strategies, based on traffic flows estimates⁽⁵⁾, assume an autonomous management of single road links (*autonomous agents*) where the covered distance is subject to a toll payment. This stands for considering every link as single element, independent to the belonging network, in respect of which the manager aims at maximizing its profit, detached by social benefit and efficiency at network level.

The logic architecture is based on three sub-models called, respectively, transport model, investments model and accessibility and land use model. It is important to notice that the adopted sub-models are simplified compared to current practices; this gives a connotation of example but, at the same time, focuses the interest on the functional relations of the whole procedure and on the mechanisms of integration among sub-models (fig. 2).

The *Transport models* is articulated according to the classical sequence⁽⁶⁾ of generation/attraction, distribution and assignment of traffic flows on a mono-modal network (by adopting an assignment model with link costs independent from flows). Within the first model the number of OD generated/attracted trips by every zone has been assumed proportional to related attributes of generation/attraction, which are defined by the total number of inhabitants (residents) and employees present there. In the trips distribution model $T_{ij} = A_i B_j O_i D_j \cdot e^{-\theta_{ij}}$ expressed by gravitational formula, travel time that is in the impedance function $e^{-\theta_{ij}}$, is here calculated as sum of the contributions, as follows:

⁽⁴⁾ Sviluppato per un'ipotetica area metropolitana di 400 km² e con una densità abitativa di 1000 abitanti/km².

⁽⁵⁾ Attraverso i modelli di assegnazione, previa la definizione della matrice OD (costruita a partire da dati statistici e corretta con rilievi "in situ") ed estrazione del grafo della rete di trasporto stradale. A tal proposito si veda la descrizione del caso applicativo.

⁽⁶⁾ Strumenti universalmente noti con il nome di "modelli di domanda a quattro stadi" (cfr. ORTUZAR e WILLIUMSEN, 1994; FERRARI, 1996; CANTARELLA 2001; CASCETTA, 2006). A partire da una data configurazione territoriale e nota l'offerta di trasporto, tali modelli stimano, nello spazio e nel tempo, la domanda di mobilità ed i livelli di accessibilità delle singole zone, simulandone gli effetti prodotti in relazione alle caratteristiche del sistema dei trasporti.

⁽⁴⁾ Developed for a hypothetical metropolitan area of 400 km² and with a population density of 1.000 inhabitants/km².

⁽⁵⁾ Starting from OD matrix (derived from Istat data and corrected by on site traffic surveys) and after having extracted the road network graph, the assignment models allow to estimate the links loaded on the network. To this end, see the description of the proposed application.

⁽⁶⁾ Tools well-known as "four-step demand models" (see ORTUZAR e WILLIUMSEN, 1994; FERRARI, 1996; CANTARELLA 2001; CASCETTA, 2006). Starting from a territorial scheme and observing the transport supply, these models forecast, in space and in time, the mobility demand and the accessibility levels of the single zones, simulating the effects produced in relation to the transport system features.

$$t_{ij} = \begin{cases} \sum_a \delta_{i,j}^a t_a + t_{m,i} + t_{m,j} & \text{con } i \neq j \\ t_{m,i} & \text{con } i = j \end{cases}$$

Il primo addendo rappresenta il tempo (costo) dello spostamento interzonale calcolato come somma dei costi d'arco t_a che compongono il cammino minimo per spostarsi dal centroide origine al centroide destinazione. Gli altri due contributi esprimono, invece, i costi degli spostamenti intrazonali⁽⁷⁾ $t_{m,i}$ e $t_{m,j}$ nelle zone origine e destinazione ed includono alcune voci che incidono sul tempo di viaggio ed aumentano al crescere della densità d'uso del territorio⁽⁸⁾. In tale contesto, definiti G_i e \bar{G} , rispettivamente, il numero totale delle attività nella zona i -esima ed il numero medio di tali attività nell'intera area di studio, i tempi intrazonali vengono espressi in funzione del peso insediativo totale - inteso, di fatto, come una sorta di "attrito" che riduce la velocità dello spostamento - a partire da un tempo intrazonale t_m^0 costante per tutte le zone:

$$t_{m,i} = t_m^0 \left[1 + \left(\frac{G_i}{\bar{G}} \right)^2 \right]$$

Il *Modello di investimento* è costituito da tre sub-modelli descritti qui di seguito. In particolare, il *sub-modello dei ricavi* determina gli introiti derivanti dal pedaggio⁽⁹⁾ degli elementi della rete, riferiti ad un prestabilito periodo di tempo. Dati due archi orientati (a) e (b), aventi medesima direzione e lunghezza ($l_a = l_b$), al fine di garantirne il mantenimento delle stesse condizioni operative, si assume che vengano gestiti come un unico collegamento. Fissata la tariffa τ per unità di percorrenza e stimati, dal modello di assegnazione, i flussi f_a ed f_b che insistono sui rispettivi archi, si desumono i proventi totali relativi ad ogni collegamento bidirezionale:

$$R_{a+b} = \tau \cdot l_a (f_a + f_b)$$

⁽⁷⁾ Nei tradizionali modelli di pianificazione dei trasporti, l'impedenza intrazonale è inclusa nei costi degli archi (connettori) che collegano i nodi centroidi con la rete di base.

⁽⁸⁾ Ad es. i percorsi pedonali per uscire dalle abitazioni/uffici e raggiungere l'autovettura (in strada o garage), i tragitti in auto alla ricerca di un parcheggio nella zona di destinazione, etc.

⁽⁹⁾ Poiché nella realtà italiana non sarebbe realistico ipotizzare un pedaggio per l'uso della rete provinciale; la tariffazione è stata qui intesa quale forma di compensazione dei costi esterni del trasporto (cfr. paragrafo 4.2 e 4.3).

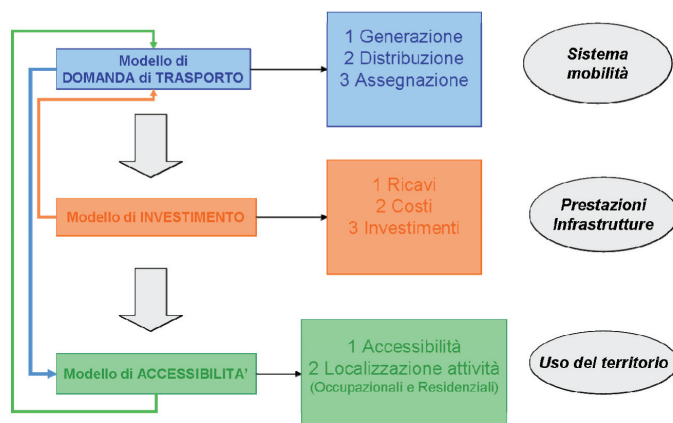


Fig. 2 - Schema logico: integrazione dei tre sub-modelli [1]. Logic scheme: sub-models integration.

$$t_{ij} = \begin{cases} \sum_a \delta_{i,j}^a t_a + t_{m,i} + t_{m,j} & \text{con } i \neq j \\ t_{m,i} & \text{con } i = j \end{cases}$$

First term represents the link time (cost) of the inter-zone trip which is calculated as sum of link costs t_a composing the minimum path to travel from the centroid origin to the centroid destination. Further two terms are referred to intra-zone travel costs⁽⁷⁾ $t_{m,i}$ and $t_{m,j}$ within the origin and destination zones; they include some element which affect travel time and, also, increase according to the land use density⁽⁸⁾. In such context, defined G_i and \bar{G} , respectively, the total number of activities in the i zone and the average number of such activities included in the whole study area, the intra-zone times are calculated as function of the settlement total weight - that is as a sort of "friction" reducing travel speed - starting from an intra-zone time t_m^0 constant for every zone:

$$t_{m,i} = t_m^0 \left[1 + \left(\frac{G_i}{\bar{G}} \right)^2 \right]$$

The *Investment model* consists of the three following sub-models. In details, the revenues sub-model estimates gains derived from road links toll⁽⁹⁾, referred to a specific

⁽⁷⁾ In the classical transport planning models, the intra-zone impedance is included in the costs of links connecting the centroid nodes with the basic network.

⁽⁸⁾ i.e. walkable paths to exit from house/office and to get to car park (on street or garage), car travel to search for parking in the destination zone, etc.

⁽⁹⁾ As in Italian context it would not be realistic to introduce toll for use of provincial road network, in the simulation model, such a fee has been considered as a form of compensation of external costs of transport (cf. sec. 4.2 and 4.3).

Il *sub-modello dei costi* determina gli oneri necessari per garantire il mantenimento delle prestazioni dell'arco ed evitare, quindi, scadimenti del livello di servizio. Tali costi dipendono dalle caratteristiche progettuali dell'arco (classe funzionale, lunghezza, etc.) e dai flussi che vi insistono⁽¹⁰⁾. Nell'ipotesi che gli archi orientati abbiano la stessa capacità in entrambe le direzioni ($C_a = C_b$), il costo di manutenzione del collegamento⁽¹¹⁾ si esprime nel modo seguente:

$$S_{a+b} = l_a \cdot C_a^{\sigma_2} (f_a^{\sigma_1} + f_b^{\sigma_1})$$

Il *sub-modello d'investimento* assume che il decisore spenda per un dato tronco bidirezionale, nel periodo di riferimento, tutto il guadagno disponibile; sottraendo ai ricavi i relativi costi di manutenzione si ottiene la somma da destinare all'investimento:

$$\Delta F_{a+b} = R_{a+b} - S_{a+b}$$

Laddove i proventi superano i costi, i primi vengono investiti per espandere la capacità degli archi subordinati; viceversa, gli archi i cui introiti non siano insufficienti a coprire i costi operativi non divengono oggetto di manutenzione⁽¹²⁾. Nella strategia di investimento adottata, quindi, la capacità dell'arco al periodo $k+1$ è funzione degli introiti e dei costi relativi al precedente periodo k (con ρ fattore correttivo di riduzione della capacità):

$$C_a^{k+1} = C_a^k \left(\frac{R_{a+b}^k}{S_{a+b}^k} \right)^\rho$$

Il *Modello di accessibilità ed uso del territorio* analizza, a partire da ogni zona origine, le opportunità offerte dall'accessibilità agli insediamenti economico-commerciali ($A_{i,E}$) e residenziali ($A_{i,P}$) presenti nelle zone di destinazione e fruibili, attraverso l'uso della rete stradale, a fronte del superamento di un'impedenza⁽¹³⁾ - in termini di tempo - per compiere lo spostamento:

$$A_{i,E} = \sum_{j=1}^J E_j \cdot e^{-\theta_{ij}} \quad A_{i,P} = \sum_{j=1}^J P_j \cdot e^{-\theta_{ij}}$$

⁽¹⁰⁾ Le spese di manutenzione per gli archi più trafficati sono maggiori rispetto a quelle per le strade meno frequentate.

⁽¹¹⁾ Essendo σ_1 e σ_2 i fattori correttivi dei costi di manutenzione, in relazione alla classe funzionale degli archi ed al traffico che vi insiste.

⁽¹²⁾ Verosimilmente vi sarà un graduale degrado delle prestazioni di tali archi che, nel tempo, verranno abbandonati dall'utenza.

⁽¹³⁾ θ indica il grado con cui l'accessibilità zonale diminuisce all'aumentare del costo generalizzato del trasporto.

time period. Given two oriented links (a) and (b) having the same direction and length ($l_a = l_b$), in order to assure equal operating conditions, it is assumed they are managed as a single connection. Fixed rate τ for unit distance and estimated, by assignment model, the f_a and f_b link flows, it is possible to calculate the total revenues for every bi-directional connection:

$$R_{a+b} = \tau \cdot l_a (f_a + f_b)$$

The costs model estimates the needed burden in order to preserve links performances also avoiding reductions in level of service. Such costs depend on design features (functional class, length, etc) as well as on loaded flows.⁽¹⁰⁾ Assuming that the oriented links have the same capacity in both directions ($C_a = C_b$), maintenance costs of whole connection is as follows⁽¹¹⁾:

$$S_{a+b} = l_a \cdot C_a^{\sigma_2} (f_a^{\sigma_1} + f_b^{\sigma_1})$$

The investment model assumes, for every bi-directional link, to spend all the gained amount within the reference time period. The amount to be allocated for the investment is reached by subtracting the link maintenance costs to the related revenues:

$$\Delta F_{a+b} = R_{a+b} - S_{a+b}$$

Whereas revenues are major than costs, the gain is used for improving capacity of interested links; vice versa links scarcely used, where profits are insufficient to cover operating costs, are not considered as object of intervention⁽¹²⁾. In the investment strategy, therefore, the link capacity at $k+1$ time is function of gains and costs related to the previous k period (being ρ an adjustment factor in capacity variability estimation):

$$C_a^{k+1} = C_a^k \left(\frac{R_{a+b}^k}{S_{a+b}^k} \right)^\rho$$

The *Accessibility and land use model*, starting from an origin zone, analyzed the opportunities provide by economical-commercial ($A_{i,E}$) and residential ($A_{i,P}$) settlements in the destination zones. Such activities are accessible by using road network against the overcoming of impedance⁽¹³⁾ in terms of travel time:

⁽¹⁰⁾ This implies major maintenance costs for links loaded by important traffic flows compared to less busy links.

⁽¹¹⁾ σ_1 and σ_2 are correction factors of links maintenance costs, according to the road functional class and traffic flows.

⁽¹²⁾ Following a gradual degradation in links performances, with time, they will be likely not used anymore by users.

⁽¹³⁾ Term θ shows how the zone accessibility decreases respect to an increase of the generalized transport cost needed to reach it.

essendo E e P , rispettivamente, la popolazione di occupati e residenti. Al variare delle configurazioni di accessibilità, determinate da modifiche nell'uso della rete viaria, il modello stima le distribuzioni delle diverse attività sul territorio, assumendone costante il numero complessivo. In tale contesto, diviene importante considerare anche le forze che entrano in gioco nella definizione delle dinamiche insediative ovvero ad una *forza centripeta*, che attrae la localizzazione di residenze ed imprese vicino ad attività similari, si contrappone una *forza centrifuga* che induce coloro che lavorano a scegliere la propria residenza in luoghi non eccessivamente edificati. L'assunto è, quindi, quello per cui chi ha un'occupazione desidera vivere vicino al proprio luogo di lavoro ma non in zone densamente popolate. Viceversa, le scelte localizzative di tipo imprenditoriale ricadono sui siti che presentano una buona accessibilità ad entrambe le realtà, in ragione del fatto che ogni residente riveste, potenzialmente, il duplice ruolo di risorsa aziendale e cliente del sistema commerciale. Per le imprese, inoltre, la scelta di insediarsi in aree dotate di un buon mix funzionale, generalmente, si rivela vantaggiosa.

Tutto ciò premesso, si può esplicitare la forma funzionale delle dinamiche localizzative delle imprese. Con essa si stima l'utilità di una zona ad attrarre attività occupazionali, calcolata come combinazione lineare dell'accessibilità rispetto alle opportunità lavorative ($A_{i,E}$) e residenziali ($A_{i,P}$). In tale funzione l'addittività dei due termini (e la scelta di λ che, compreso tra $0 \leq \lambda \leq 1$, può attenuare o meno l'importanza dell'accessibilità residenziale) sottolinea quanto entrambe le componenti di accessibilità potenzino l'utilità zonale per le attività imprenditoriali, evidenziando l'esistenza di una forza centripeta che ne influenza la distribuzione territoriale. Una volta calcolata la funzione utilità si determina, quindi, l'utilità media unitaria \bar{U}_E :

$$U_{i,E} = A_{i,E} + \lambda A_{i,P} \quad \Rightarrow \quad \bar{U}_E = \frac{\sum_{j=1}^J (U_{j,E} \cdot E_j)}{\sum_{j=1}^J E_j}$$

Nel successivo periodo $k+1$ l'afflusso, e quindi la conseguente re-distribuzione delle attività occupazionali in una data zona, sarà proporzionale alla differenza tra l'utilità media della totalità delle imprese presenti nella zona e l'utilità media unitaria (con γ coefficiente descrittivo del grado di utilizzazione del territorio):

$$\frac{E_i^{k+1} - E_i^k}{E_i^k} = \gamma (U_{i,E}^k - \bar{U}_E^k)$$

In modo analogo si esplicita la forma funzionale delle dinamiche residenziali, considerando la contrapposizione tra forza centripeta e centrifuga descritta in precedenza. Più precisamente, introdotto il parametro μ per tener con-

$$A_{i,E} = \sum_{j=1}^J E_j \cdot e^{-\theta_{ij}}$$

$$A_{i,P} = \sum_{j=1}^J P_j \cdot e^{-\theta_{ij}}$$

where E and P are, respectively, the employees and inhabitants population. Varying the accessibility schemes, influenced by changing in road network use, such a model estimated the land distributions of these activities, assuming their sum invariable in time. In such a context it is important to take into account forces that play a role in defining settlements dynamics. In fact, given a centripetal force which attract the locations of residential and firms activities close to similar activities, this is resisted by a centrifugal force which induce workers to choose their residence away from densely populated sites. Therefore, the assumption is, as follows: workers prefer living close to their job places but not in densely populated areas. Vice versa, the business-related location choices favour sites provided by a good accessibility to both residential and employment activities, because each inhabitant potentially covers the double role of human resource and customer of productive and economic system. Furthermore, for companies' business the choice to place their location within areas provided with a good functional mix it proves to be a profitable solution.

Therefore, the functional form of the business location dynamics can be explained, by which the utility of a zone in attracting the work-related activities can be estimated, calculating the linear combination of accessibility to job ($A_{i,E}$) and living ($A_{i,P}$) opportunities. In such function, the additivity of two terms (and the choice of λ which, comprises between 0 and 1, can increase or not the residential accessibility) stresses how both accessibility components influence the zone utility of business activities, also highlighting the centripetal force role. Once the utility function has been calculated, it is possible to determine the unit average utility \bar{U}_E , as follows:

$$U_{i,E} = A_{i,E} + \lambda A_{i,P} \quad \Rightarrow \quad \bar{U}_E = \frac{\sum_{j=1}^J (U_{j,E} \cdot E_j)}{\sum_{j=1}^J E_j}$$

In the next $k+1$ period, flows and the consequent re-distribution of job activities at zone level, will be proportional to the difference between the average utility related to the whole business activities included in the zone and the unit average utility (being γ a descriptive coefficient related to the land-use level):

$$\frac{E_i^{k+1} - E_i^k}{E_i^k} = \gamma (U_{i,E}^k - \bar{U}_E^k)$$

In the same way it is possible to explicit the descriptive functions of residential activities, according to the above-described centripetal and centrifugal forces contrast. In

to dei prezzi edonici⁽¹⁴⁾, si determina l'utilità rispetto a tali attività e, successivamente, l'utilità media unitaria residenziale \bar{U}_p :

$$U_{i,p} = A_{i,E} - \mu A_{i,p} = \bar{U}_p = \frac{\sum_{j=1}^J (U_{j,p} \cdot P_j)}{\sum_{j=1}^J P_j}$$

La combinazione lineare della differenza tra l'utilità media residenziale totale e l'utilità media unitaria, esprime la redistribuzione delle attività residenziali al periodo $k+1$:

$$\frac{P_i^{k+1} - P_i^k}{P_i^k} = \gamma(U_{i,p}^k - \bar{U}_p^k)$$

Indicando, infine, con $G_i = E_i + P_i$ la totalità delle attività presenti nella zona i -esima e con \bar{G} il valore medio relativo all'intera area, per quanto finora detto, è possibile stimare i valori zonali di G_i^{k+1} :

$$G_i^{k+1} = E_i^{k+1} + P_i^{k+1}$$

Tali valori, calcolati sia a livello di zona che di area, andranno nuovamente ad alimentare il modello di trasporto e, quindi, il modello degli investimenti, reiterando l'intera procedura.

4. L'applicazione del modello di pianificazione integrata trasporti-territorio

4.1. Il contesto di studio: la Provincia di Rimini

La provincia è suddivisa in 20 Comuni e si estende per 534,81 km²; il Comune di Rimini, la cui città è capoluogo di provincia, ha una densità abitativa di 1034 ab./km², un valore quasi doppio rispetto alla media provinciale. La rete stradale provinciale (fig. 3), oltre alla SS 9 "Via Emilia" ed alla SS 72 verso lo Stato di S. Marino, include l'autostrada A14 "Adriatica" e la SS 16 "Adriatica", entrambe direttrici fondamentali per le relazioni interne al sistema litoraneo e per quelle di scambio con le aree esterne [16].

In particolare, la SS 16 "Adriatica", in origine progettata come arteria di attraversamento esterna alle aree urbanizzate, nel tempo è stata incorporata nel sistema insediativo divenendo un asse viario di caratteristiche pressoché urbane, interessato anche da intensi flussi di traffico

details, given the μ parameter to take into account the hedonic prices⁽¹⁴⁾, it is possible to calculate the utility of residential activities and, therefore, the unit average utility related to such activities, as follows:

$$U_{i,p} = A_{i,E} - \mu A_{i,p} = \bar{U}_p = \frac{\sum_{j=1}^J (U_{j,p} \cdot P_j)}{\sum_{j=1}^J P_j}$$

Linear combination of the difference between the total residential average utility and the unit average unit, provides the re-distribution of the new residential choices in $k+1$ period:

$$\frac{P_i^{k+1} - P_i^k}{P_i^k} = \gamma(U_{i,p}^k - \bar{U}_p^k)$$

In conclusion, after having introduced $G_i = E_i + P_i$ as the total amount of activities included in the i zone and \bar{G} the average value referred to the whole area, it is possible to estimate the G_i^{k+1} zone value:

$$G_i^{k+1} = E_i^{k+1} + P_i^{k+1}$$

Such values, that are calculated at zone and area level, will feed again the transport model and, therefore, the investment model, allowing to reiterate the whole procedure.

4. The application of the integrated land use and transport planning model

4.1. The study area: the Province of Rimini

The Province of Rimini is divided in 20 Municipalities and it is 534,81 km² wide; the city of Rimini is provincial capital and the related Municipality has a 1034 inh./km² population density; this value is double than average at provincial level. Besides SS 9 "Via Emilia" and SS 72 towards S. Marino State, the provincial road network (fig. 3) comprises the A14 "Adriatica" highway and the SS 16 "Adriatica" that are both essential axes for connections included in the coastal mobility system as well as for relations of exchange with the external areas [16].

In particular, the SS 16 "Adriatica" at the beginning designed as crossing road axes outer of urbanized areas,

⁽¹⁴⁾ Partendo dall'assunto che l'individuo acquisti un immobile in funzione di una serie di attributi (accessibilità, grandezza, tipologia, silenziosità, etc.), i modelli edonici definiscono differenti curve di domanda attraverso le differenti combinazioni di tali attributi.

⁽¹⁴⁾ Starting from the assumption that people buy a property according to a set of attributes (accessibility, size, typology, environmental context, etc.), the hedonic models define different demand curves by combining such attributes in diverse ways.

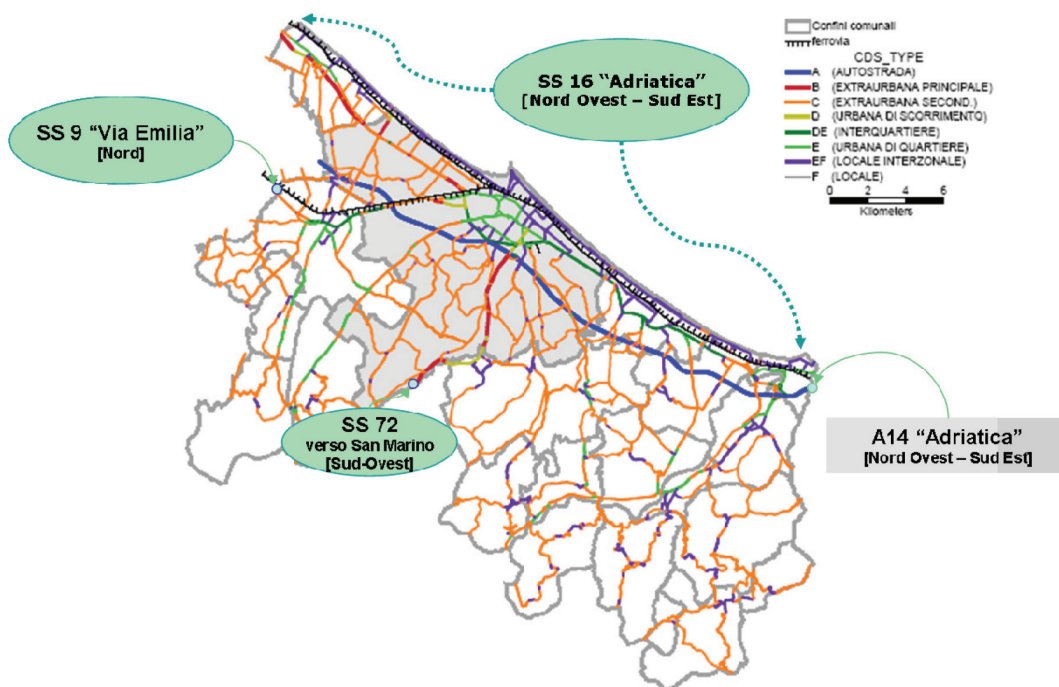


Fig. 3 - Provincia di Rimini: grafo della rete stradale e classificazione funzionale delle strade [1].
Province of Rimini: road network graph and roads functional classification [1].

locale. La rete comprende, inoltre, strade extraurbane secondarie (classe C; 1000 veicoli/ora)⁽¹⁵⁾ che, in prossimità dei maggiori centri comunali, divengono strade urbane di quartiere (classe E; 800 veicoli/ora); la viabilità lungo la costa è costituita nella sua totalità da strade locali interzonali (classe EF; 600 veicoli/ora). Nell'area interna al Comune di Rimini la viabilità di accesso, radiale rispetto alla circonvallazione (SS 16), è composta prevalentemente da strade urbane di quartiere.

In riferimento alla domanda di mobilità, la Provincia di Rimini include alcuni dei poli balneari più frequentati della riviera romagnola, ed è proprio in ragione della vocazione turistica del territorio che i flussi veicolari fanno registrare sostanziali differenze tra estate ed inverno. Durante i mesi estivi, infatti, si riscontra un aumento del traffico sull'intera rete provinciale e, in particolare, sulle principali direttrici di attraversamento ed ingresso alla città di Rimini, solitamente soggette a fenomeni di congestione sia in prossimità del centro storico che lungo la tratta costiera. Nel periodo invernale, invece, le maggiori criticità si registrano in entrata al casello autostradale Rimini Sud, nei

during the years has been included in the urban settlement becoming, thus, a main arterial with almost urban features and also subject to local traffic congestion. Road network includes sub-urban secondary roads (C class, 1000 vehicles/hour)⁽¹⁵⁾ that, close to the major municipality center, become district roads (E class, 800 vehicles/hour); roads along the coast consist in main local roads (EF class, 600 vehicles/hour). Within the Rimini Municipality the access network, which is radial respect to the bypass (SS 16), is mainly composed of district streets.

For what concerns incoming and outgoing traffic, as the study area includes some of the most crowded seaside poles of the Romagna coast, so important differences between summer and winter traffic flows are marked. On one hand, during summer season there is a flow increase on the whole network with particular reference to main crossing and access roads to Rimini city; here frequent traffic jam conditions are marked close to the historical centre as well as along the coast links. On the other hand, in the winter period major criticalities

⁽¹⁵⁾ La classe e la portata di servizio fanno riferimento alla classifica funzionale delle strade (cfr. Codice della Strada).

⁽¹⁵⁾ Road class and capacity are referred to the functional classification in the Highway Code.

tratti urbani della SS16 con funzione di circonvallazione e nelle vie di accesso al centro storico del capoluogo.

4.2. La contestualizzazione delle ipotesi di lavoro

Al fine di contestualizzare le ipotesi funzionali al processo di simulazione, ovvero:

1. la gestione autonoma delle singole tratte viarie (*agenti indipendenti*);
2. l'imposizione di una tariffa a fronte della percorrenza (*pedaggio*);

appare utile fare alcune premesse al riguardo.

Nel contesto italiano, l'ipotesi riguardante gli "*agenti indipendenti*" trova riscontro nei meccanismi che sottendono la gestione delle infrastrutture stradali alle diverse scale territoriali. Nella Provincia di Rimini, infatti, in seguito al decentramento amministrativo⁽¹⁶⁾, la rete viaria ha assunto la configurazione di un *sistema a competenze multiple*, la cui gestione è demandata a differenti attori, e più precisamente:

- l'Anas gestisce le direttrici di importanza nazionale, rilevanti per la viabilità provinciale, quali la SS9 *Via Emilia* e la SS16 *Adriatica* (circa 60 km);
- l'Amministrazione Provinciale gestisce le arterie provinciali e le strade ricevute da Anas a seguito del decentramento (circa 300 km);
- le Amministrazioni comunali gestiscono le strade urbane (circa 2.290 km).

Il passaggio della gestione agli ambiti di competenza dei singoli Enti Locali, ha comportato il trasferimento delle responsabilità per la realizzazione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, oltre a quelli per l'adeguamento e l'ammodernamento delle strade. In tale panorama si inserisce, verosimilmente, l'assunto che la Provincia ed i Comuni, nel valutare gli interventi da realizzare sulle tratte di propria competenza, conducano il processo decisionale in modo autonomo - quindi completamente disgiunto da strategie alle diverse scale territoriali - e prescindendo dall'inserire il singolo intervento in un contesto sistemico di rete.

In riferimento al "*pedaggio*", il termine identifica una qualunque forma di esazione di un contributo monetario, a fronte della possibilità di percorrere tratte e/o porzioni di rete viaria che insistono su una prestabilita area. Tale strategia, diffusa in alcune realtà urbane europee ed internazionali (*road pricing*), è finalizzata a stabilire - attraverso un sistema flessibile di incentivi e vincoli - il riequilibrio della ripartizione modale a favore del trasporto collettivo tentando, al contempo, di ridurre le situazioni di

are at the Rimini South incoming highway toll plaza, along SS 16 urban bypass and on the streets accessing at Rimini urban centre.

4.2. The contextualization of working hypotheses

With the aim to put in the study context the hypotheses at the basis of the simulation model, which are:

1. autonomous management of single road links (autonomous agents);
2. a fee for link travelling (road toll);

it could be useful to make some premises about it.

First of all, in the Italian scenery, the autonomous agent assumption finds confirmation in the mechanism of road network management at different territorial scales. In fact, as a result of administrative decentralization⁽¹⁶⁾, the Rimini provincial road network has assumed the configuration of a *system of multiple competences*, where management is delegated to different actors, as follows:

- Anas (*Azienda Nazionale Autonoma delle Strade Statali*) manages the main national axes relevant also for the provincial road network, as SS 9 *Via Emilia* and SS 16 *Adriatica* (about 60 km);
- Province of Rimini manages both the main provincial arterials and the roads received from Anas after the decentralization process (about 300 km);
- Municipalities manage the urban roads links which insist on their territory (about 2.290 km).

Such management step has produced changes in responsibility for road maintenance operations as well as for safety standard upgrading and renewal interventions. In this context, it is likely that the Province and Municipalities, during the assessment of road works to be made on their own links, lead the decision-making process in an autonomous way - so completely disconnected from strategies to different scale - and, then, they do not consider a single link intervention from a systemic point of view.

Concerning road toll, such term identifies collection of toll derived from vehicular travelling on specific road links or paths. Such strategy, applied in some European and international realities, aims at establishing - through a flexible system of incentives and constraints - a re-balance of modal split in favour of public transit trying, at the same time, to reduce congestion and/or peaks of traffic [17]. Within extra-urban environments, the main international experiences are generally referred to tolls im-

⁽¹⁶⁾ Avvenuto in attuazione del D.L.vo. n. 112/98: *Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali* (capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59; G.U. n. 92/1998; S. O. n. 77).

⁽¹⁶⁾ This is an implementation of D.L.vo n. 112/98: *Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali* (law 15.03.1997, n. 59; G.U. n. 92/1998 S.O. n.77).

congestione e/o i picchi di traffico veicolare individuale [17]. In ambito extra-urbano, le principali esperienze internazionali si riferiscono prevalentemente all'imposizione di pedaggi per la percorrenza di tratte autostradali e/o l'uso di particolari opere civili⁽¹⁷⁾, con la finalità di garantire l'ammortamento dei costi di costruzione, manutenzione ed esercizio di tali opere (o di altre appartenenti allo stesso ambito territoriale). Recentemente sono state formulate alcune ipotesi riguardo la possibile estensione del pedaggio in ambito extra-urbano⁽¹⁸⁾ ovvero l'introduzione di tale strumento per limitare gli spostamenti in aree protette aumentando, in tal modo, la quota parte di costi percepiti da coloro che utilizzano l'autovettura privata⁽¹⁹⁾. Vi è, infine, la possibilità, non del tutto remota, che l'attuale sistema di tariffazione venga rivisto e che la normativa di settore (leggi dello Stato, delibere CIPE) contempli l'adeguamento dei pedaggi autostradali⁽²⁰⁾ alle effettive risorse monetarie allocate per la realizzazione e la gestione delle infrastrutture.

4.3. La tecnica applicativa

Al fine di far "dialogare" i tre sub-modelli - *accessibilità, trasporto ed investimenti* - è stata sviluppata una tecnica di implementazione (fig. 4), le cui peculiarità sono essenzialmente riconducibili alla possibilità di:

- controllare per singole fasi la logica che sottende le relazioni funzionali tra la distribuzione territoriale delle attività, le dinamiche nell'uso degli archi stradali e l'allocatione degli investimenti;

posed by Infrastructure Manager to travel along highways and/or use specific civil works⁽¹⁷⁾ with the aim of covering construction, maintenance and operating costs of these infrastructures (or others belonging to the same territorial environments). Recently, there have been hypotheses regarding the possibility to extend toll within the extra-urban road network⁽¹⁸⁾ or introduce it with the aim to limit car travels in protected areas, so by increasing some costs perceived by those using private transport⁽¹⁹⁾. There is also a real possibility that the present toll fees system is re-examined so that the related laws (State laws and CIPE decisions) introduces adequate highway tolls⁽²⁰⁾ to the effective monetary resources needed for construction, management and maintenance of the infrastructures.

4.3. The applicative technique

In order to integrate the three sub-models - *accessibility, transport and investments* - an implementation technique has been developed (fig. 4), where its peculiarities deal essentially with the possibility of:

- monitoring the single steps of logic at the basis of functional relations among the location of activities on the territory, the dynamics in the use of road links and the consequent distribution of investments;
- making a simulation procedure that can be repeated easily in different contexts⁽²¹⁾.

To apply the accessibility and transport models, starting

⁽¹⁷⁾ Tunnel, ponti di accesso, etc. (ad es. *Liefkenshoek* tunnel in Belgium, *Oresund* and *Storebaelt* in Danimarca, *M6* nel Regno Unito).

⁽¹⁸⁾ In Italia, nei primi mesi del 2008 il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti formulò l'ipotesi di imporre "sovrapedaggi" su alcune tratte di competenza Anas (G.R.A. di Roma, la Firenze - Siena, la Tolentino - Civitanova e l'Ascoli Piceno - S. Benedetto del Tronto) e "diritti d'uso" su 18 strade extraurbane, al fine di finanziare parte dei lavori delle linee ferroviarie AV (fonte: *Il Sole 24Ore*, 26.03.2008, n. 84). Il tema, ritornato di attualità nell'estate 2010, è in discussione con un Disegno di Legge che, se approvato, comporterà a partire dalla seconda metà del 2011 l'introduzione di un pedaggio su oltre 1.300 km di rete stradale italiana.

⁽¹⁹⁾ La Provincia di Bolzano, per limitare il sovraccarico della rete stradale nei mesi estivi, ha proposto l'introduzione di una tariffa per la circolazione delle auto su alcuni passi montani (*Passo Gardena*, *Passi dal Sella al Pordoi*, di interesse di Trentino e Veneto).

⁽²⁰⁾ Il pedaggio autostradale è calcolato moltiplicando la tariffa unitaria (per auto/moto è compresa tra 0,054 e 0,064 a seconda che siano tratte in pianura o montagna) - maggiorata del sovrapprezzo a beneficio di Anas (cfr. Legge Finanziaria 2007) - per i km percorsi. Si computano: distanza tra caselli, km di svincoli, bretelle di adduzione e tratte libere prima/dopo il casello (costruite e gestite dalla concessionaria). Vi sono, poi, alcuni "Sistemi Aperti" (ad es. A8 Milano - Laghi, A12 Roma - Civitavecchia) in cui il pedaggio, indipendentemente dai km, è calcolato sulla base di una percorrenza convenzionale (fonte: Società Autostrade).

⁽¹⁷⁾ Tunnels, access bridges, etc. (i.e. *Liefkenshoek* tunnel in Belgium, *Oresund* and *Storebaelt* in Denmark, *M6* in UK).

⁽¹⁸⁾ In Italy, in the first months of 2008, the Minister of Infrastructures and Transport hypothesized to impose extra-toll in some links belonging to Anas (G.R.A. of Rome, Firenze - Siena, Tolentino - Civitanova and Ascoli Piceno - S. Benedetto del Tronto) and "right of use" in 18 extra-urban roads, in order to fund part of the HS railway lines works (source: *Il Sole 24Ore*, 26.03.2008, n. 84). The topic, was brought-up during summer 2010, is being in discussed with a Law Plan which, if approved, will introduce road toll over 1.300 km of Italian network, as from the second half of 2011.

⁽¹⁹⁾ In order to limit congestion problems in some tourist routes during the summer months, the Province of Bolzano proposed the introduction of a fee for travelling on some mountain roads (*Gardena Pass*, *Pass from Sella to Pordoi*, of interest for Trentino and Veneto).

⁽²⁰⁾ Road toll is calculated by multiplying the unit fee (for car/scooter the rate is between 0.054 and 0.064 depending on whether roads are in the plain or mountain) - by adding an extra-fee as an additional benefit for Anas (see Legge Finanziaria 2007) - for the travelled distance (km). This considers distance between toll plazas, highway junctions and ramp length and free-entrance links before/after the toll plaza (built and managed by who holds the road concession). There are, also "Open Systems" (i.e. A8 Milan - Lakes, A12 Rome - Civitavecchia) where road toll, which is independent from kilometres, is calculated on the basis of a conventional travelled distance (source: Società Autostrade).

⁽²¹⁾ Based on the contemporary use of the Transcad planning software and Excel work-sheet macro application.

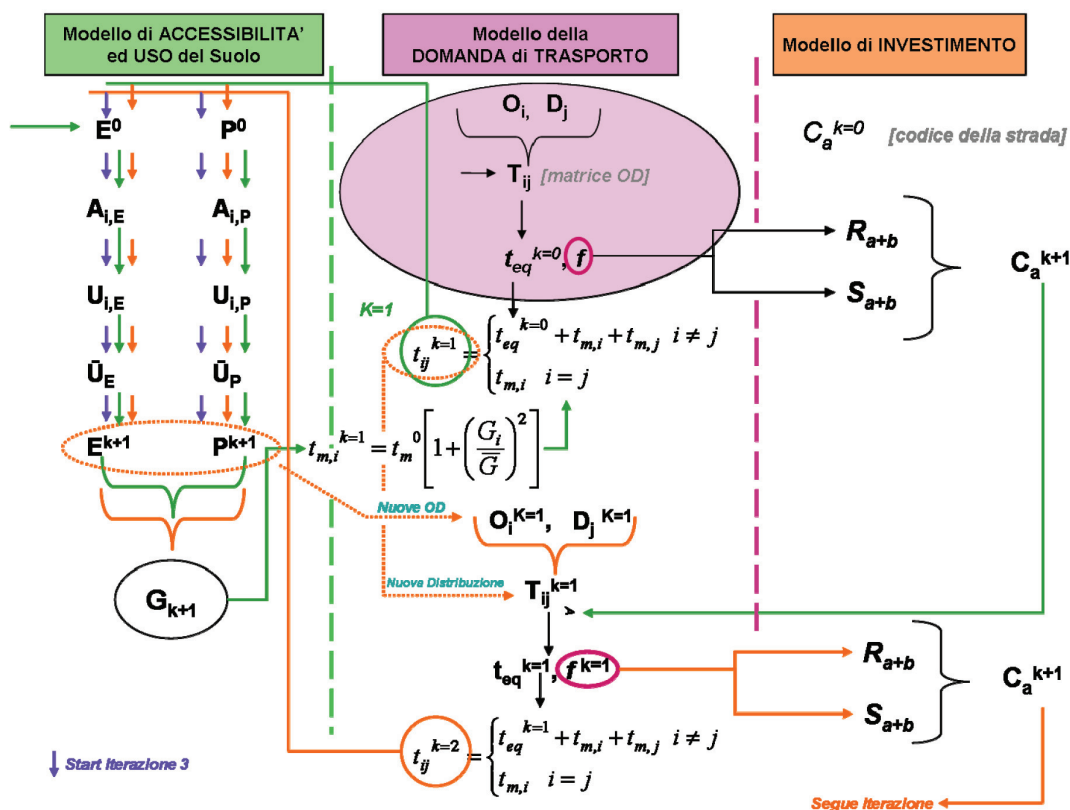


Fig. 4 - Schematizzazione della tecnica applicativa [1]. The implementation technique [1].

- realizzare un procedura di simulazione che possa essere replicata agevolmente in diversi contesti⁽²¹⁾.

Ai fini dell'applicazione dei modelli di accessibilità e di trasporto, a partire dalla zonizzazione⁽²²⁾ dell'area provinciale, e determinato il numero di addetti e residenti presenti in ogni zona (dati Istat), l'analisi territoriale è stata condotta calcolando i relativi valori di accessibilità $A_{i,E} = A_{i,E}(E_p, \theta, t_{ij})$ e $A_{i,P} = A_{i,P}(P_p, \theta, t_{ij})$ e di utilità zonale $U_{i,E} = U_{i,E}(A_{i,E}, A_{i,P}, \lambda)$ e $U_{i,P} = U_{i,P}(A_{i,E}, A_{i,P}, \mu)$ nonché i valori medi di utilità rispetto alle tipologie di attività $\bar{U}_E = (U_{j,E}, E_j)$ e $\bar{U}_P = (U_{j,P}, P_j)$.

⁽²¹⁾ Basata sull'uso congiunto di strumenti ampiamente diffusi, quali il software di pianificazione Transcad ed un foglio di calcolo Excel.

⁽²²⁾ Considerato il frazionamento del territorio in celle censuarie (cfr. Istat) e tenendo conto delle principali arterie stradali e degli elementi di discontinuità (ferrovie, idrovie, etc.), l'area di studio è stata suddivisa in *zone di traffico*, sulla base di caratteristiche territoriali omogenee, sia in termini di attività insediate che di presenza di servizi ed infrastrutture.

from zoning⁽²²⁾ of the Provincial area and once the number of employees and residents have been determined in each zone, the territorial analysis has been performed by calculating the relative values of accessibility $A_{i,E} = A_{i,E}(E_p, \theta, t_{ij})$ and $A_{i,P} = A_{i,P}(P_p, \theta, t_{ij})$ and of zone utility $U_{i,E} = U_{i,E}(A_{i,E}, A_{i,P}, \lambda)$ and $U_{i,P} = U_{i,P}(A_{i,E}, A_{i,P}, \mu)$ as well as the average values of utility related to the activities typology $\bar{U}_E = (U_{j,E}, E_j)$ and $\bar{U}_P = (U_{j,P}, P_j)$. With these values, therefore, the territorial re-distribution of work $E_i^{k+1} = E_i^k(\bar{U}_E^k, U_{i,E}^k, E_p^k, \gamma)$ and residential $P_i^{k+1} = P_i^k(\bar{U}_P^k, U_{i,P}^k, P_p^k, \gamma)$ activities in the following $k+1$ period as well as the localization of the total number of activities in the single zones $G_i = G_i(E_i^{k+1}, P_i^{k+1})$ have been calculated. To this end, the values of utility parameter $\lambda = 1$ and of land use coefficient $\gamma = 1 \times 10^{-6}$ derive from literature.

⁽²²⁾ Considering the division of area in census tracts (coherent with Istat data) and taking into account the main road axes as well as discontinuity elements (railways, inland waterways, etc.), the study area has been subdivided in *Traffic Zones*, on the basis of homogeneous features both in terms of residential and infrastructure patterns as well as services provision).

($U_{j,p}$, P_j). Con questi si è, quindi, stimata la redistribuzione territoriale delle attività occupazionali $E_i^{k+1} = E_i^k (\bar{U}_{i,p}^k, U_{i,p}^k, E_p^k, \gamma)$ e residenziali $P_i^{k+1} = P_i^k (\bar{U}_{i,p}^k, U_{i,p}^k, P_p^k, \gamma)$ nei successivi periodi $k+1$ nonché la dislocazione delle attività totali $G_i = G_i(E_i^{k+1}, P_i^{k+1})$ nelle singole zone. I valori dei parametri di utilità $\lambda = 1$ e $\mu = 1$ e del coefficiente di utilizzo del territorio $\gamma = 1 \times 10^{-6}$ sono stati desunti da letteratura.

Nel *modello di trasporto*, quale input per la prima iterazione, è stato introdotta la stima dei flussi veicolari ed i tempi all'equilibrio $t_{ij,eq}$ derivati da una prima assegnazione sul grafo stradale⁽²³⁾. A questi sono stati, poi, sommati i contributi dei due tempi intrazonali ($t_{m,i}$ e $t_{m,j}$) i cui valori, a meno di un tempo base $t_m^0 = 4$ minuti, sono scaturiti dal calcolo della redistribuzione delle attività totali G_i^{k+1} e dai relativi valori medi zonali.

I tempi di percorrenza t_{ij} così determinati sono divenuti nuovi dati di input, infatti:

- nel *modello di accessibilità*: l'aumento dei tempi necessari a compiere lo spostamento, indicativo di una modifica dell'accessibilità territoriale, ha influenzato l'utilità della scelta localizzativa, inducendo nel tempo, una redistribuzione delle differenti attività E_i^{k+1} e P_i^{k+1} sul territorio. La riallocazione di tali attività ha comportato anche la variazione della configurazione interna delle singole zone di traffico, della quale si è tenuto conto nella fase iterativa di ridefinizione della generazione/attrazione degli spostamenti;
- nel *modello di trasporto*: i tempi di percorrenza hanno alimentato la funzione di impedenza⁽²⁴⁾ del modello di distribuzione, determinando una nuova matrice OD degli spostamenti (T_{ij}) rispetto alla quale è stata effettuata una successiva assegnazione dei flussi sulla rete di trasporto.

A partire dalla nuova configurazione di accessibilità e di distribuzione delle attività e stimati i flussi di equilibrio f_a e f_b (output del modello di trasporto), questi ultimi sono stati inseriti quali input nel *modello degli investimenti*, al fine di stimare i ricavi $R_{a+b} = R_{a+b}(\tau, l, f_a, f_b)$ ed i costi di manutenzione $S_{a+b} = S_{a+b}(l, C, f_a, f_b, c_1, c_2)$ dei singoli archi l .

Più precisamente, nel *modello dei ricavi*, poiché pensava di introdurre una tariffa di tipo autostradale per l'uso

In the transport model, the first input was the estimation of traffic flows and equilibrium time $t_{ij,eq}$ which derived from a first assignment on the road graph⁽²³⁾. To the latter the contributions of the two intra-zone times ($t_{m,i}$ and $t_{m,j}$) where their values, having chosen a base time $t_m^0 = 4$ minutes, have been obtained by the calculation of the re-distribution of the total activities G_i^{k+1} and by the related average zone value.

The travel times t_{ij} so determined have become new inputs for the relative sub-models, in fact:

- in the *accessibility model*: the increase of travel time needed to cover the required distances, which indicates a modification of territorial accessibility, influenced the local choice utility. This causes a re-distribution of different activities E_i^{k+1} e P_i^{k+1} . Since such re-allocation produced also the variation of the internal configuration of the single traffic zone, this has been taken into account in the iterative phase to redefine trips generation/attraction;
- in the *transport model*, travel time have "fed" the impedance function of the distribution model⁽²⁴⁾, defining a new OD matrix (T_{ij}) with which a new flows assignment on road graph was carried out.

Starting from a new pattern of accessibility and distribution of activities and estimated the equilibrium flows f_a and f_b (output of transport model), these flows have been introduced as input in the investment model with the aim to estimate revenues $R_{a+b} = R_{a+b}(\tau, l, f_a, f_b)$ and maintenance costs $S_{a+b} = S_{a+b}(l, C, f_a, f_b, c_1, c_2)$ of the single l links.

More precisely, in the revenues model, as thinking of introducing a sort of toll for extra-urban and main urban roads would not have been realistic, toll was introduced as a form of compensation⁽²⁵⁾ of the negative externalities caused by transport (pollution and noise exposure, congestion, accidentality and greenhouses gas effect). The quantification of such costs⁽²⁶⁾ assumes, however, that

⁽²³⁾ The basic network (graph) has been selected considering the total number of road links used by cars, in one or both directions, included in the Provincial area. For each oriented link, the equivalent flow has been determined, expressed as linear combination of flows of different vehicular components, previously homogenised in a proper way (car/light-vehicle = 1, motorcycle/moped = 0,25; heavy-vehicle = 2). The assignment was conducted according to a deterministic equilibrium model, in which the demand is distributed on the network according to the 1st Principle of Wardrop "For each OD couple, the equilibrium cost of used links is equal and it is minor or the same of the equilibrium cost of each non-used link" (cfr. CASCETTA, 2006).

⁽²⁴⁾ The ϵ coefficient of the gravitational model was calibrated by the least square method.

⁽²⁵⁾ Currently, the compensatory factors are related to additional fiscal charge on fuel and insurance premium.

⁽²⁶⁾ cf. Archives OCSE on taxation with environmental aims (toll of 15 €/cent/passenger-km) and the following projects: EC (1999), *ExternE Externalities of Energy*, Directorate XII, Science, R&D; EC (2000), *NewExt - New elements for the assessment of external costs from energy technologies*, DG Research; UNITE (2003) - *Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency*.

⁽²³⁾ Le infrastrutture rilevanti sono state selezionate includendo la totalità dei tronchi stradali percorribili da autoveicoli, in uno o entrambi i sensi di marcia, compresi nel confine provinciale. Per ciascun arco orientato è stato determinato il flusso equivalente, espresso come combinazione lineare dei flussi delle differenti componenti veicolari opportunamente omogeneizzate (auto = 1; moto/scooter = 0,25; camion = 2). L'assegnazione è stata condotta secondo un modello di equilibrio deterministico, in cui la domanda si ripartisce sulla rete secondo il 1° principio di Wardrop: "per ciascuna coppia OD, il costo di equilibrio dei percorsi utilizzati è uguale, e risulta minore o uguale al costo di equilibrio di ogni percorso non usato" (cfr. CASCETTA, 2006).

⁽²⁴⁾ Il coeff. ϵ del modello gravitazionale è stato calibrato con il metodo dei minimi quadrati.

delle strade statali extraurbane e/o di scorrimento non sarebbe stato realistico, il pedaggio è stato qui inteso quale forma di compensazione⁽²⁵⁾ delle esternalità negative derivanti dal trasporto (inquinamento atmosferico ed acustico, congestione, incidentalità, gas serra), considerando che la quantificazione di tali oneri⁽²⁶⁾ implica che questi siano di gran lunga superiori al costo chilometrico del pedaggio autostradale, poiché contemplano i costi sociali ed ambientali. Stante tale premessa, il parametro τ è stato assunto pari a 20 €/cent/veicolokm, considerato un costo di 13 €/cent/passeggerokm ed un tasso di occupazione medio di 1,5 passeggeri/veicolo.

Nel modello di costo, i parametri correttivi delle spese inerenti la manutenzione sono stati calibrati sulla base del costo annuale di manutenzione di un'infrastruttura viaria che, per strade extraurbane⁽²⁷⁾, principali e secondarie, si attesta su un valore medio di 4.500 - 5.750 €/km. Per quanto appena detto, i valori attribuiti a tali parametri sono rispettivamente: $\sigma_1 = 0,04$ e $\sigma_2 = 0,05$.

Tramite il modello di investimento sono stati, poi, stimati i valori di capacità degli archi nei periodi successivi. Per il coefficiente correttivo della capacità si è scelto il valore $\rho = 0,020$ con il quale si ottengono variazioni sufficientemente realistiche⁽²⁸⁾. Poiché la modifica delle caratteristiche prestazionali degli archi condiziona l'offerta e la domanda di trasporto (un'assegnazione all'equilibrio al periodo $k+1$ determina flussi e tempi differenti rispetto al periodo k) di questo se ne è tenuto conto sommando ai tempi derivanti dall'assegnazione, un contributo funzione del flusso d'arco e del relativo ricavo, quest'ultimo rapportato al valore monetario del tempo π (assunto di 10 €/ora): $t_a = t_{eq} + [(R_d/\pi) \cdot (f_a)^{-1}]$.

4.4. I risultati della simulazione

I risultati relativi ad una prima redistribuzione territoriale delle attività, il cui orizzonte temporale è stato assun-

these are much higher than road toll per kilometre because they include also the social and environmental costs. In view of what has been described so far, τ parameter was chosen equal to 20 €/cent/vehicle-km, considering a cost of 13 €/cent/vehicle-km and an occupancy rate of 1,5 passengers/vehicle.

In the cost model, the adjustment parameters of the maintenance costs were calibrated on the basis of the annual maintenance costs of main and secondary extra-urban roads⁽²⁷⁾, which is on average of 4.500 - 5.750 €/km. As aforementioned, the chosen values of such parameters are, respectively, $\sigma_1 = 0,04$ e $\sigma_2 = 0,05$.

Through the investment model, the capacity values of road links, related to following periods, were estimated. For what concern the capacity variation factor, a value of $\rho = 0,020$ was chosen because it provided sufficient realistic changes⁽²⁸⁾. The variation of the link performances influences both the transport supply and demand (an equilibrium assignment to the $k+1$ period determines different flow patterns and times compared to the previous k period), so which was taken into account by adding the equilibrium times to the analytical expression function of link flows and related revenue, this last has been divided by the monetary value of time (having chosen $\pi = 10$ €/hour): $t_a = t_{eq} + [(R_d/\pi) \cdot (f_a)^{-1}]$.

4.4. The outcomes of the simulation process

The results referred to initial land activities distributions, having chosen a two-year time period, underlines a phenomenon of territorial decentralization in favour of hilly areas⁽²⁹⁾ which belong to the inner parts of the Province (fig. 5, in light and dark pink colour).

Once the new activities distribution pattern has been reached, a further traffic flows assignment on the new road graph (modified by the variation of links capacity) has highlighted (fig. 6) major elements interested in the traffic increase (from light blue to green colour) and decrease (from red to mustard yellow colour).

Focusing the attention on the city of Rimini, the results showed the road users' propensity to choose some

⁽²⁵⁾ Attualmente i fattori compensatori sono legati a: carico fiscale addizionale gravante sui carburanti e pagamento dei premi assicurativi.

⁽²⁶⁾ cfr. Archivi OCSE (2001) sulla tassazione con finalità ambientali (pedaggio di 15 €/cent/passeggerokm) ed i progetti: EC (1999), *ExternE Externalities of Energy*, Directorate XII, Science, R&D; EC (2000), *NewExt - New elements for the assessment of external costs from energy technologies*, DG Research; UNITE (2003) - *Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency*.

⁽²⁷⁾ Le spese di manutenzione (ordinaria e straordinaria) includono: rifacimento asfalto, pulizia canalizzazioni per sottoservizi, segnaletica orizzontale/verticale, chiusura buche, riparazioni guard-rail/recinzioni stradali, pulizia di: caditoie/cunette/mano e ciglio stradale, gestione illuminazione (fonte: Regione Piemonte, Provincia di Alessandria, P.T.I. della Piana Alessandrina Novi Ligure-Carpeneto).

⁽²⁸⁾ Incremento medio compreso tra il 2% - 5% al variare della classe funzionale della strada.

⁽²⁷⁾ Costs of maintenance (ordinary and extraordinary) includes: asphalt repair, cleaning of road pipes, vertical and horizontal road signs, holes closure, guard-rail and fences repairs, cleaning of gutters/road pavements and edges, lighting management (source: Regione Piemonte, Provincia di Alessandria, P.T.I. della Piana Alessandrina Novi Ligure-Carpeneto).

⁽²⁸⁾ The average increase is between 2% and 5%, depending on the road functional class.

⁽²⁹⁾ In countertrend, two municipalities sited at the extremities of the waterfront marked an increase of residential activities; in such a case attractiveness of sites likely derives from choice of locating facilities and accommodations dedicated to tourist supply.

to pari ad un biennio, sottolineano un fenomeno di decentramento territoriale a favore delle zone collinari⁽²⁹⁾ della fascia intermedia ed interna (in rosa chiaro e scuro) (fig. 5).

Data la nuova configurazione territoriale, l'assegnazione dei flussi di traffico sul grafo stradale (modificato a seguito delle variazioni delle capacità d'arco), ha evidenziato gli elementi maggiormente interessati dall'aumento (dal celeste al verde) e dalla diminuzione (dal rosso al senape) dei flussi di traffico (fig. 6).

Focalizzando l'attenzione sulla città di Rimini, è emersa la propensione dell'utenza ad utilizzare alcuni accessi alla zona litoranea, preferibilmente strade ortogonali alla linea di costa (in lilla e verde).

In seguito ad interventi sulla rete viaria, i risultati riguardanti il successivo periodo, (fig. 7), hanno mostrato un consolidamento del decentramento territoriale delle attività (dal celeste al verde) ed un graduale spostamento della domanda di localizzazione verso alcune zone collinari (in rosa scuro)⁽³⁰⁾.

Riguardo alle dinamiche d'uso degli elementi viari (figg. 8 e 9), si è delineata una maggiore connotazione gerarchica della rete a favore delle strade radiali di accesso a Rimini città e della direttrice di attraversamento SS16, in direzione Nord. Vi è stato, inoltre, un rafforzamento nell'uso dei collegamenti con alcuni comuni della Comunità Montana⁽³¹⁾.

A complemento dell'analisi è stato calcolato il raggio d'inerzia r (giratore), un indicatore sintetico mutuato dalla meccanica generale con cui stimare la propensione di un insediamento urbano ad attrarre la localizzazione delle diverse attività. Nell'espressione analitica proposta qui di seguito, ad esempio, all'aumentare del valore di r diminuisce l'effetto polarizzatore del capoluogo rispetto alle attività occupazionali:

⁽²⁹⁾ In controtendenza, due comuni ubicati alle estremità della fascia litoranea, registrano un incremento delle attività insediative; in tal caso l'attrattività è presumibilmente originata dalla scelta di ubicarvi strutture ricettive e di ristorazione destinate all'offerta turistica.

⁽³⁰⁾ Tali risultati si possono ricondurre alla presenza, in tali aree, di un'offerta fondiaria/edilizia più conveniente rispetto alle zone costiere.

⁽³¹⁾ Gli esiti della simulazione si sono dimostrati coerenti con alcuni misure infrastrutturali auspiccate, ad es. interventi sulla SS16 Adriatica (risoluzione di criticità sulla variante Rimini-Riccione e nel tratto Rimini Nord-Cattolica), riqualificazione SS258 Marecchiese, messa in sicurezza della SS72 S. Marino (cf. Confindustria, *Le priorità infrastrutturali del sistema industriale dell'Emilia-Romagna*).

access roads to coastal areas that are orthogonal to the seafront (in light violet and green colour).

After investment interventions on specific road links, the results related to the following period (fig. 7) showed a consolidation of the activities decentralization (from light blue to green colour) and a gradual displacement of the demand of location - especially about residential activities - towards some hilly areas⁽³⁰⁾ (dark pink colour).

As far as the dynamics in the road links use (figg. 8 e 9), a major network hierarchy was outlined in favour of radial road for access to the city of Rimini as well as to the SS 16 road crossing main axes, in the North direction. Furthermore, a reinforcement of the use of connections with some municipalities of the Mountain Community was stressed⁽³¹⁾.

In addition to such an analysis, the *radius of inertia* r was calculated; this is a short indicator derived from gen-

⁽³⁰⁾ The results can be ascribed to the existence, in such areas, of a land/buildings supply more affordable than the coastal zones.

⁽³¹⁾ The simulation outcomes have proven to be consistent with some road measures advocated for the Provincial area, as intervention on the SS 16 Adriatica (i.e. removal of some criticalities on the Rimini-Riccione alternative link and along the Rimini Nord-Cattolica link), regeneration of the SS 258 Marecchiese, safety measures on the SS 72 S. Marino (cf. Confindustria, *Le priorità infrastrutturali del sistema industriale dell'Emilia Romagna*).



Fig. 5 - Variazione delle attività sul territorio (periodo k_1) [1]. Redistribution of activities (period k_1) [1].

$$r = \sqrt{\left(I / \sum_{j=1}^n E_j \right)}$$

essendo: $I = \sum_{j=1}^n E_j d_j^2$ il momento d'inerzia; d_j la distanza tra centroide di zona e centro del polo egemone ed E_j il numero di addetti. Analogo discorso vale per le residenze, sostituendo opportunamente il numero di abitanti delle singole zone.

Il calcolo di r , condotto per entrambi i tipi di attività, ed il confronto tra i due periodi di osservazione, ha evidenziato la tendenza di alcuni comuni a sviluppare relazioni biunivoche con la città di Rimini, divenendo di fatto *poli satellite*⁽³²⁾ (fig. 10).

È interessante notare, infine, come i risultati delle simulazioni siano congruenti con l'analisi condotta confrontando i valori effettivi⁽³³⁾ delle "popolazioni temporanee", ovvero di coloro che, per motivi di studio/lavoro, sono presenti durante il giorno all'interno dei singoli comuni. Dall'analisi è emerso come, nel tempo, alcune realtà abbiano assunto o modificato il proprio peso in termini di relazioni territoriali (fig. 11).

5. Conclusioni

Ad integrazione dei risultati descritti nel precedente paragrafo, si propongono alcuni spunti di riflessione scaturiti dall'applicazione del modello. Tale strumento è sviluppato in ottica "user-oriented"; ciò significa che gli utenti, nel preferire alcuni tracciati rispetto ad altri, forniscono all'Amministrazione una sorta di "suggerimento" su quali e quanti archi potenziare. Osservando, inoltre, le dinamiche nell'uso degli archi esistenti in funzione della distribuzione delle attività, è possibile stimare gli elementi con un maggior potenziale, in termini di richiesta di aumento della capacità⁽³⁴⁾, nonché quelli soggetti a conge-

⁽³²⁾ Si notano ad es. gli apprezzabili trend di Coriano e Cattolica (già importanti dal punto di vista delle opportunità lavorative) riguardo la polarizzazione delle residenze; Saludecio manifesta un incremento, seppur lieve, dell'attrattiva per gli insediamenti occupazionali.

⁽³³⁾ Calcolati elaborando i dati dei due censimenti Istat 1991 e 2001.

⁽³⁴⁾ Da realizzare tramite misure di fluidificazione del traffico, miglioramento dello stato della pavimentazione stradale, eliminazione di vincoli/barriere che riducono la sezione della carreggiata, regolamentazione e controllo della sosta lungo le strade, etc.

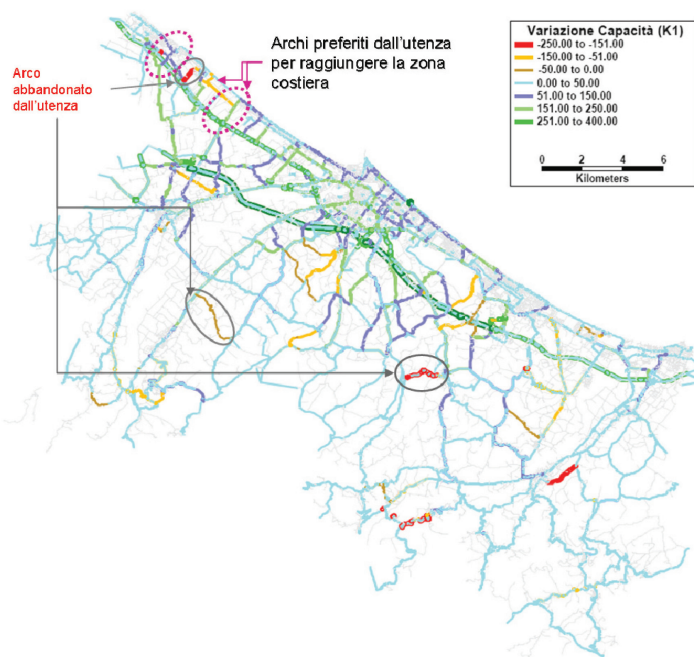


Fig. 6 - Riallocazione della capacità degli archi (periodo k_1) [1]. Reallocation of road links capacity (period k_1) [1].

eral mechanics with which to estimate the role of the urban settlements to attract the location of different activities. In the next analytical expression, as an example, with the increasing of r value, decreases the attractive effect of the main city (Province capital), as regards to job activities:

$$r = \sqrt{\left(I / \sum_{j=1}^n E_j \right)}$$

being: $I = \sum_{j=1}^n E_j d_j^2$ moment of inertia, d_j the distance of the j zone centroid to the centre of the whole area and E_j is the number of employees. The same is for the residents, substituting in an appropriate way the number of inhabitants in the single zones.

The calculation of r , carried out for both types of activities, as well as the comparison between two period of observation showed the tendency of some realities to develop one-to-one type relations with the city of Rimini, becoming their *satellites poles*⁽³²⁾ (fig. 10).

⁽³²⁾ Trends of Coriano and Cattolica (that are important also for job activities) with respect to the polarization of residential activities are noticeable; Saludecio marks a little increase in attractiveness from residential point of view.



Fig. 7 - Redistribuzione delle attività sul territorio (periodo k_2) [1]. *Redistribution of activities (period k_2) [1].*

stione. Ed ancora, individuata la tendenza di alcuni archi ad essere più caricati rispetto ad altri, se ne può prevedere una sorta di manutenzione predittiva in funzione del tasso di percorrenza, al fine di evitare scadimenti del livello di servizio⁽³⁵⁾. Infine, dal trend di richiesta di aumento della capacità emergono ulteriori indicazioni circa l'adeguatezza di alcune tratte viarie agli standard progettuali. Ciò implica che, in ragione degli effettivi flussi di traffico gravanti sui singoli archi, se ne potrebbe valutare lo scostamento tra la classe funzionale assegnata da progetto e la funzione che tali elementi realmente svolgono all'interno della rete.

6. Verso l'implementazione di un modello multimodale

Alla luce degli importanti progressi nel campo delle tecnologie applicate ai sistemi di trasporto collettivo, ed in riferimento all'inserimento di tali sistemi in diversi contesti (nuclei urbani, aree metropolitane policentriche ad insediamento diffuso) [18], nello sviluppo della modellistica si sta rafforzando l'esigenza di indagare il ruolo svolto dai sistemi di trasporto collettivo nel garantire l'*accessibilità localizzata* (ad es. attraverso linee di tram e/o metropolitana) e *diffusa* (ad es. linee ferroviarie regionali, linee AV connesse ai nodi urbani).

⁽³⁵⁾ Rapporto fra il flusso equivalente che insiste su ciascun arco e la capacità dello stesso (cfr. *LoS, Highway Capacity Manual*, 2000).

It is interesting to observe that the simulation results are coherent with the analysis carried out by comparing the effective values⁽³³⁾ of "temporary population" that is to say those who, for work/study purposes, are present during the day within the single municipal areas. The analysis outcomes dealing with the consideration that in years some realities have reached or modified their weight in terms of territorial connections (fig. 11).

5. Conclusions

In order to integrate the results described in the previous paragraph, some interesting points of reflections are proposed. The adopted model is developed through a "user-oriented" point of view, that means that users prefer some road links compared to others and, therefore, suggest which and how many links are to be enhanced.

By observing the dynamics in the use of existing links with respect to the distribution of activities, it is possible to estimate the elements with a major potentiality in terms of demand of capacity increase⁽³⁴⁾ as well as those subjected to congestion. In addition, once the tendency of some links are defined to be more loaded compared to others, it is possible to foresee a sort of predictive maintenance according to the rate of road use, with the aim of avoiding level of service to worsen⁽³⁵⁾.

Finally, the trend of capacity increase demand provides further information about the adequacy of some roads in accordance with design standard. This implies that, depending on the effective traffic flows on the single links, the difference between the design functional class (theoretical) and the function that those elements effectively have within the network, can be assessed.

6. Towards the implementation of a multimodal approach

Due to the important progresses in the field of technologies applied to collective transport systems, and considering the role of such systems [18] in different contexts

⁽³³⁾ They were calculated by elaborating data of the two 1991 and 2001 Istat census results.

⁽³⁴⁾ To obtain through increase of traffic flow fluidity, road pavement improvements, elimination of constraints/barriers reducing the road lane width, regulation and monitoring of parking along roads, etc.

⁽³⁵⁾ The ratio between the equivalent flow which is loaded on each link and the capacity of the link itself.

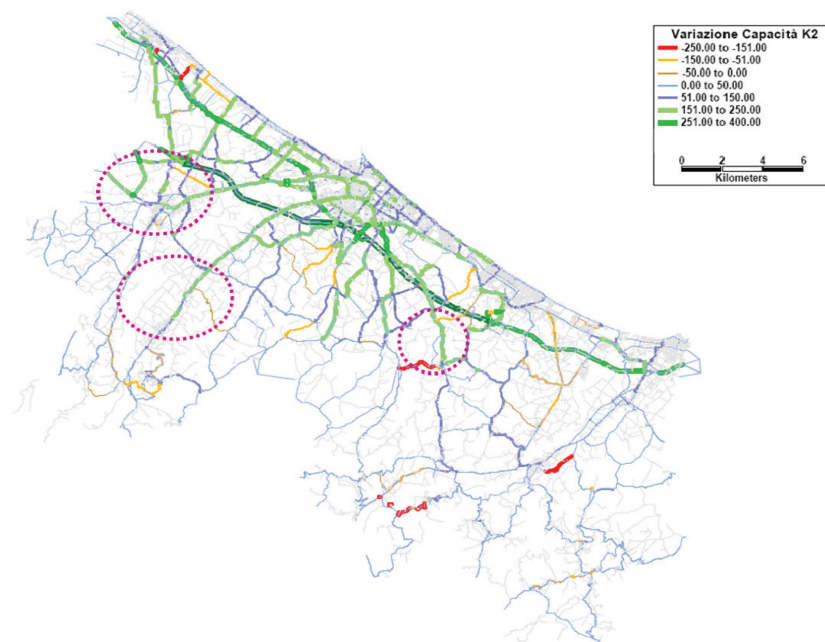


Fig. 8 - Riallocazione della capacità della rete viaria (periodo k_2) [1]. *Reallocation of road links capacity (period k_2) [1].*

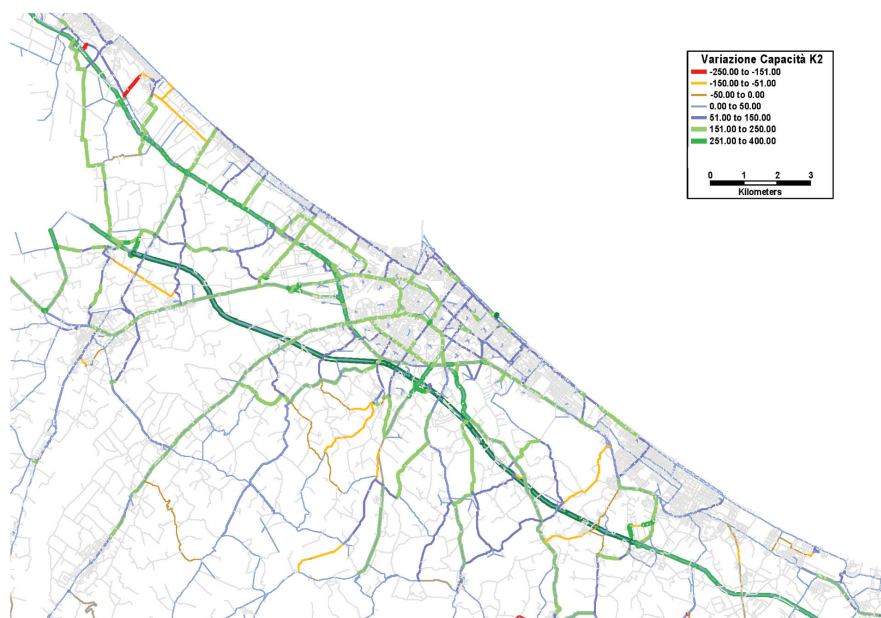


Fig. 9 - Città di Rimini: variazione della capacità della rete viaria (periodo k_2) [1]. *City of Rimini: reallocation of road links capacity (period k_2) [1].*

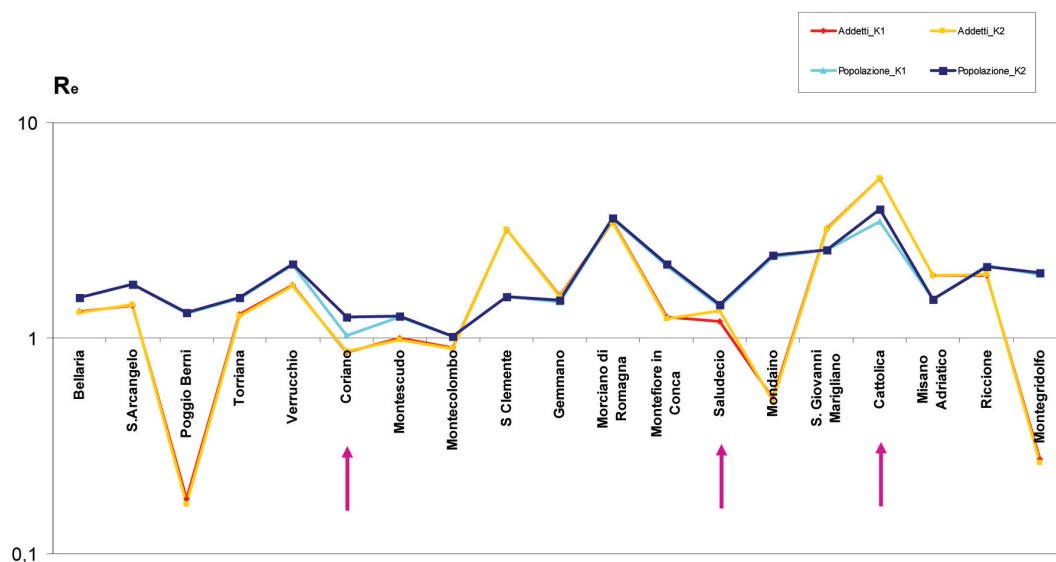


Fig. 10 - Confronto a scala comunale dei valori di r tra due periodi successivi [1]. Comparison at municipal level of r values between two following periods [1].

Da tali considerazioni scaturisce l'orientamento dei futuri sviluppi della ricerca, che saranno indirizzati ad un'implementazione del modello in ottica multimodale. L'intera architettura logica verrà, quindi, ridefinita sulla base di opportune ipotesi di lavoro funzionali alla descrizione dei sistemi di trasporto collettivo⁽³⁶⁾, su ferro e gomma. Le principali linee di sviluppo vengono riassunte qui di seguito.

Il *modello di trasporto* sarà progettato per simulare il funzionamento di sistemi di trasporto collettivo ovvero sistemi *discontinui e non contemporanei* [19], la cui modellizzazione richiede l'individuazione di opportune coordinate spaziali (fermate e stazioni) e temporali (orari schedulati, cadenzati o meno) nonché la definizione di connessioni di ingresso ed egresso dal sistema.

Nel *modello di investimento* verranno introdotte nuove variabili di progetto per tener conto della diversa interpretazione delle funzioni di costo e ricavo rispetto al sistema monomodale. Per i ricavi si farà riferimento, principalmente, agli introiti derivanti dalla vendita dei titoli di viaggio; i costi di manutenzione verranno, invece, allocati prevalentemente in funzione della tipologia di sistema, della lunghezza di tratta, del fattore di carico

(e.g. urban centres, polycentric areas with widespread settlement), in the modelling field the need to investigate how these transport systems can provide *local* (by trolleybus, streetcar and/or subway lines) and *diffuse* (e.g. regional rail lines, HS railways) *accessibility* is increasing.

Starting from these considerations, next steps of such research will be addressed to develop a multimodal approach. The whole model logical architecture will be therefore re-designed on the basis of suitable work hypothesis that will be functional to describe rail-based as well as rubber-tired transit systems⁽³⁶⁾. The main lines of development are below summarized.

The *transport model* will be designed to simulate the transport systems operations, that is to say "non-continuous and non-contemporary systems" [19], which have to be modelled by introducing appropriate spatial (stops and stations) and time (scheduled hours, regular hourly or not) coordinates as well as the definition of access and egress links to the network.

In the *investment model* new design variables will be introduced to taken into account the different meaning of the cost and revenue functions compared to the monomodale system. For what concern revenues, the money from the travel tickets purchase will be mainly consid-

⁽³⁶⁾ Alla cui schematizzazione si perviene attraverso un approccio "per linee" o per "corse" a seconda che si considerino sistemi ad "elevata frequenza e scarsa regolarità" ovvero sistemi a "bassa frequenza ed elevata regolarità" (cf. CASCETTA, 2006).

⁽³⁶⁾ Where modelling occurs through a frequency (lines-oriented service) or a schedule-based (runs-oriented service) approach, depending on whether the transport system has high frequency and scarce punctuality or low frequency and high punctuality (cf. CASCETTA, 2006).

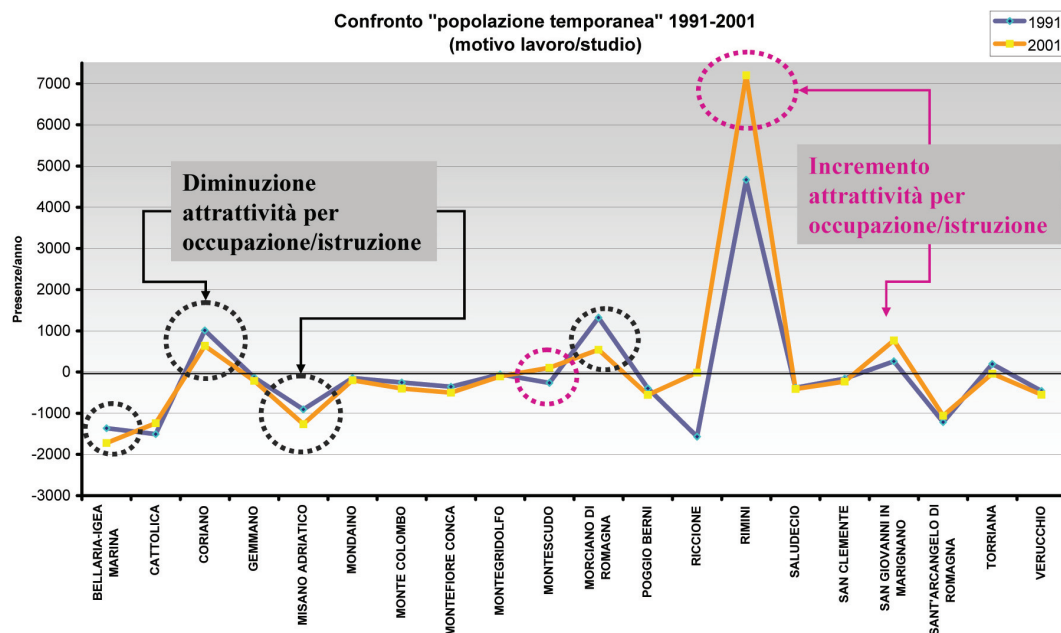


Fig. 11 - Valori di popolazione temporanea: confronto a scala comunale [1]. *Values of temporary population: comparison at local scale [1].*

dei convogli (rapporto tra l'occupazione media dei veicoli e la massima capienza di progetto) nonché della tipologia di sede (propria o promiscua). Tra l'altro, con particolare riferimento ai sistemi operanti su sede promiscua, si analizzerà la possibilità di includere tra le variabili di progetto, oltre alla capacità dell'infrastruttura, le capacità dei differenti sistemi di trasporto nonché la velocità sugli archi della rete (un elemento importante per descrivere, più realisticamente, le dinamiche del sistema della mobilità).

Nel *modello di accessibilità* verrà, infine, valutato l'insediamento di importanti parametri discriminanti per la scelta localizzativa delle attività (prezzo degli alloggi/affitti, esistenza di politiche dedicate ad imprese/famiglie, etc.) nonché l'introduzione di alcune variabili descrittive del livello di edificabilità delle diverse zone e/o del loro grado di consolidamento⁽³⁷⁾.

ered; the maintenance costs, instead, will be allocated according to the system typology, link length, vehicle load factor (the relation between the average occupancy rate of vehicle and its maximum design capacity) as well as the path type (shared or separate rights-of-way). Besides, with particular reference to operating systems on shared way, the possibility of including among design variable, the capacity of different transport systems as well as the speed on road links (an important element to describe more realistically the mobility-related dynamics) will be analyzed.

In the *accessibility model*, the introduction of key parameters addressing the activities location choice (prices of flats/rent, existence of policies dedicated to companies/families, etc.) as well as the introduction of some descriptive variables, according to the buildable land level of the different areas and/or their grade of building consolidation, will be considered⁽³⁷⁾.

⁽³⁷⁾ Al fine di evidenziare le zone interessate da un aumento dei valori fondiari le quali, oltre a divenire oggetto di future edificazioni, potrebbero attrarre nuovi investimenti di capitale per lo sviluppo/potenziamento dell'offerta di trasporto (ad es. prolungamento di linee di metropolitana o ferrovie regionali a servizio di quartieri in fase di edificazione e/o completamento).

⁽³⁷⁾ In order to underline the areas interested in the increase of land values that, besides becoming object of future buildings, can attract new capitals investment for the development/enhancement of transport supply (e.g. increase in length of subway or regional rail lines to connect districts).

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] C. PICCIONI (2009) *Il sistema dei trasporti e le dinamiche d'uso del territorio*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Infrastrutture e Trasporti, XXI ciclo, "Sapienza" Università di Roma.
- [2] T. LITMAN (2011) *Evaluating Transportation Equity, Guidance For Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning*, Victoria Transport Policy Institute.
- [3] European Union (2009) *Territorial dynamics in Europe, Trends in Accessibility*, Territorial Observation n. 2, 11/2009.
- [4] A.G. WILSON (1998) *Land-use/Transport interaction models. Past and future*, Journal of Transport Economist and Policy, n. 32, pp. 3-26.
- [5] H. TIMMERMANS (2003) *The saga of the integrated land use-transport modelling: how many more dreams before we wake up?*, 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne.
- [6] M. WEGENER, a cura di D. A. HENSHER (2004) *Overview of land-use transports models*, Handbook of Transport Geography and Spatial Systems, Elsevier.
- [7] M. ECHENIQUE (2001) *Mobility and space in metropolitan area*, in *Cities for the new Millennium*, Spon Press, London.
- [8] FHWA/FTA (1999) *Land Use Compendium*, U. S. Dept of Transportation, Washington D.C.
- [9] F. SOUTHWORTH (1995) *A Technical Review of Urban Land Use-Transportation Models as Tools for Evaluating Vehicle Travel Reduction Strategies*, Center for Transportation Analysis, U. S. Department of Energy.
- [10] W.B. ZHANG. (2002) *An economic theory of cities*, Springer - Verlag, Berlin.
- [11] D. YAMINS, S. RASMUSSEN e D. FOGEL (2003) *Growing urban roads*, Networks and Spatial Economics, 3, pp. 69-85.
- [12] B. YERRA, D. LEVINSON (2005) *The Emergence of Hierarchy in Transportation Networks*, Annals of Regional Science 39 (3).
- [13] F. HEYLIGHEN, C. GERSHENSON (2003) *The meaning of self-organization in computing*, IEEE Intelligent Systems Proceedings, pp.72-75.
- [14] F. XIE, D. M. LEVINSON (2007) *Jurisdictional control and network growth*, 11th WCTRS Proceedings, Berkeley.
- [15] D. LEVINSON, F. XIE, S. ZHU (2007) *The co-evolution of land use and road networks*, Transportation traffic and theory, edited by Allsop R.E., Bell M.G.H. e Heydecker B.G., Elsevier.
- [16] Provincia di Rimini, Assessorato agli Osservatori Statistici (2009) *Lo scenario demografico provinciale tra nuove tendenze e dinamiche consolidate*; <http://www.provincia.rimini.it>.
- [17] A. MUSSO, C. PICCIONI (2010) *Lezioni di teoria dei sistemi di trasporto*, 2 edizione, Edizioni Ingegneria 2000, Roma.
- [18] A. MUSSO, C. PICCIONI (2004) *Recenti esperienze di metropolitane in grandi aree urbanizzate e prospettive di evoluzione*, Ingegneria Ferroviaria n. 5/2004, pp. 455-468.
- [19] E. CASCETTA (2006) *Modelli per i sistemi di trasporto - Teoria ed applicazioni*, Utet Università.

Sommaire

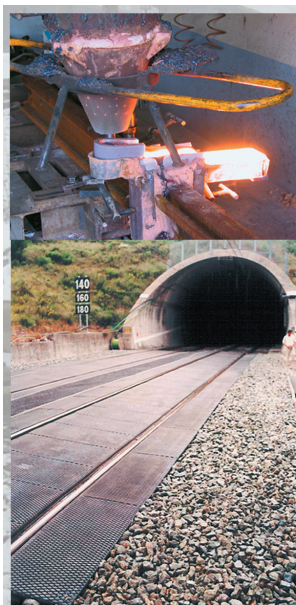
L'ACCESSIBILITÉ TERRITORIALE ET LES DYNAMIQUES DE L'UTILISATION DES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES: UNE APPROCHE À LA PLANIFICATION INTÉGRÉE

Dans le contexte des recherches concertantes les interactions entre transport et territoire, la très vaste littérature de référence propose des nombreux modèles ayant par but à l'analyse des relations entre le système de mobilité, la demande et l'offre de sol. Toutefois, par rapport à la multitude de recherches et d'applications disponibles, seulement parfois le concept d'accessibilité a été associé à des interventions de réalisation ou entretien du réseau routier. Des recherches récentes ont modélisé ce phénomène, en examinant l'évolution dans l'usage des différentes infrastructures en relation à la distribution des investissements sur les arcs simples, aussi en considérations de certaines dynamiques territoriales. L'étude présent s'inspire de telles recherches tout en utilisant l'approche méthodologique - revue et calibrée de façon adéquate sur une zone d'étude provinciale - et il propose une technique d'implémentation fanatisée à faire dialoguer les sous modèles qui le composent, au fin d'établir des possibles relations entre la distribution des différentes activités sur le territoire et les dynamiques d'utilisation du réseau routier qui insiste sur ceci. En conclusion, certaines considérations sont formulées concernant les marges possibles d'applicabilité du modèle sur un réseau de transport multimodale.

Zusammenfassung

GEBIETSZUGÄNLICHKEIT UND DYNAMISCHE INFRASTRUKTURBENUTZUNG.

Viele Modelle gestatten die Analyse der Beziehungen zwischen Transportsystemen und Gebiet-, Strassen- und Trassen Verfügbarkeit. Aber nur selten wurde das Konzept Zugänglichkeit in Beziehung auf Neubau- und Unterhaltungsmaßnahmen verbunden. Neue Forschungen haben dazu gewidmete Modellen realisiert; in diesem Artikel wird das Beispiel eines Bezirks weiter entwickelt. Es werden die Möglichkeiten erwähnt, solche Modelle auch im Fall von Multimodalnetzen zu benutzen.



Tecnologie e soluzioni per l'armamento ferroviario

- Saldatura alluminotermica rotaie
- Attraversamenti stradali Strail® e pedonali Pedestrail®
- Sistemi a rulli per scambi
- Impianti snevamento telecomandati
- Impermeabilizzazioni sottopassi e gallerie
- Consolidamento massicciate - TBB
- Ingrassatore ecologico



THERMIT® ITALIANA S.r.l.

A Member of the Goldschmidt-Thermit Group

Via Sirtori, 11 • 20017 Rho (MI) • Tel. 02 93.18.09.32 • Fax 02 93.50.12.12 • www.thermit.it