



## Dispersione urbana e mobilità sistematica: una macro-analisi delle città italiane

### *Urban sprawl and commuting mobility: a macro-analysis on Italian cities*

Prof. Ing. Umberto UMBERTO PETRUCELLI<sup>(\*)</sup>

**Sommario** - Il nesso di causa-effetto fra alcune caratteristiche insediative delle aree urbane e il tipo di mobilità che ne consegue è intuitivo e la ricerca scientifica ha spesso rilevato relazioni statistiche fra i due fenomeni, senza tuttavia arrivare a definire relazioni quantitative di validità generale.

Questo studio, con riferimento alla maggior parte delle città italiane capoluogo di provincia, analizza a livello macro possibili relazioni fra alcuni indicatori di dispersione ed alcuni parametri rappresentativi della mobilità urbana e sviluppa delle stime orientative sugli effetti che la variazione degli indicatori territoriali selezionati produrrebbe sulla ripartizione modale, ne valuta le conseguenze in termini di minori emissioni di CO<sub>2</sub> e di maggiori ricavi per il trasporto pubblico urbano e propone alcune riflessioni.

L'obiettivo principale del lavoro è contribuire ad individuare e quantificare le relazioni esistenti fra dispersione urbana e mobilità sistematica.

#### 1. Il tema ed i principali riferimenti bibliografici

Come è noto, più la città cresce, più la forma diverge da quella monocentrica per tendere ad uno schema spaziale più complesso costituito di gruppi di addetti e residenti. Evidentemente questo fenomeno assume aspetti e peso differenti nelle diverse realtà urbane variando anche da un paese all'altro e può essere in vario modo sostenuto o contrastato. Pertanto per chi si occupa di trasporti è importante comprendere le conseguenze che esso ha sulla mobilità dei residenti, in particolare sugli spostamenti pendolari casa-lavoro che impegnano mediamente la quantità maggiore del tempo quotidiano dedicato alla mobilità.

L'obiettivo di questo studio consiste nell'analizzare le relazioni fra dispersione urbana e mobilità sistematica. Con il termine "sprawl urbano" si indica, nel seguito, l'insieme delle caratteristiche insediative, riscontrabili nell'ambito dell'abitato, che dà luogo ad aree a bassa densità dell'ambiente costruito e perciò ad una dispersione di residenze ed attività. Nello specifico si è trattato il tema del-

**Abstract** - The cause-effect relationship between certain characteristics of urban settlement areas and the types of mobility that follow is intuitive. Scientific research has often found statistical relationships between the two phenomena, but it did not define quantitative relationships of general validity.

With regard to the majority of Italian provincial capital cities, this study analyses, at the macro-level, possible relationships between certain sprawl indexes and certain parameters that are representative of urban mobility and develops guideline estimates for the effects that the change of selected territorial indexes would have on transport modal split, assesses the consequences in terms of lower CO<sub>2</sub> emissions for the environment and higher revenues for urban public transport, and presents considerations and suggestions.

The main goal of this research is to contribute to the understanding of the relationships between urban sprawl and commuting mobility.

#### 1. Topic and main references

As has been well-documented, the more cities grow, the more the urban landscape transitions from a mono-centric mode and to a complex, spatial pattern of employment and residential clusters. As a consequence, this generally leads to an increase in sprawl because the settlement density, mostly in the peripheral areas, tends to be low, and the latter often discontinuously develops. This phenomenon clearly takes on different aspects and weights in the various urban areas, with differences among countries. Such changes can either be supported or fought. Therefore, it is important for transportation researchers to understand the effects of such transitions on mobility, especially on the issue of commuting to work, which requires most of the time that is spent travelling on a daily basis.

The main goal of this study is to investigate the relation-

<sup>(\*)</sup> Università della Basilicata – Scuola di Ingegneria – Potenza.

<sup>(\*)</sup> Basilicata University – School of Engineering – Potenza.

la diffusione urbana misurata attraverso la distribuzione e la forma delle aree costruite, la densità e la frammentazione dell'ambiente urbano con riferimento alla dinamica insediativa. La mobilità urbana sistematica qui considerata comprende tutti gli spostamenti con origine e destinazione interne alla città, effettuati quotidianamente per raggiungere il luogo di lavoro e tornare a casa.

Gli effetti dell'ambiente costruito sulle scelte di mobilità hanno interessato gli studiosi prevalentemente dagli anni '90 ad oggi. Alcune delle ricerche condotte recentemente sul tema generale delle relazioni fra le caratteristiche insediative del territorio e la mobilità (HANDY et al. [13], ZHANG et al. [30], HONG et al. [14]), hanno fatto riferimento ad ambiti territoriali diversi, spaziando dallo studio dei comportamenti del singolo individuo a livelli via via più aggregati fino all'intero comune o ad un'area regionale. Oggetto di analisi sono state l'influenza, sulla scelta del mezzo di trasporto e sulle distanze percorse, della densità insediativa, della commistione delle destinazioni d'uso, della connettività di rete e dell'attrattività del quartiere. Numerosi studi hanno dimostrato che gli abitanti dei quartieri a più elevata densità e con più varia destinazione d'uso tendono a muoversi di più a piedi e ad usare meno la propria auto (DUNCAN et al., [9]; FRANK et al. [11]). Altri hanno mostrato che una migliore connettività della rete stradale<sup>(1)</sup> urbana ad uso anche dai pedoni, avendo come conseguenza diretta una riduzione dei percorsi anche pedonali da origine a destinazione, dà luogo ad un maggior numero di spostamenti a piedi (CERVERO et al., [7]) e ad un minore uso del mezzo individuale anche se la relazione in questo caso è risultata meno evidente (LECK, [16]).

I problemi riscontrati nella ricerca consistono, oltre che nella difficoltà di reperire i dati necessari, nella presenza di variabili esterne che influenzano il fenomeno studiato e i cui effetti sono difficilmente separabili. Fra le circostanze in grado di influenzare la scelta del mezzo di trasporto, quelle più recentemente evidenziate sono la tendenza ad avvicinare la propria abitazione al luogo di lavoro ed a risiedere in quartieri che offrono un'accessibilità in linea con proprie preferenze in tema di mezzi di trasporto nonché, al contrario, la dissonanza che talvolta si riscontra fra il quartiere di residenza e quello in linea con le proprie preferenze di mobilità. In particolare, se è vero che le caratteristiche insediative e di infrastrutturazione del quartiere influenzano la scelta del mezzo di trasporto è anche vero che la preferenza ad usare un mezzo condiziona non poco la scelta del quartiere in cui abitare, e spinge ad optare, ove possibile, per quartieri in cui è più agevole l'utilizzo del mezzo di trasporto più gradito. In altri termini, coloro che preferiscono utilizzare l'auto privata, tendono a risiedere in zone, generalmente periferiche,

*ship between urban sprawl and commuting mobility. The term urban sprawl here denotes the set of the settling characteristics, within the city limits, that give rise to lower density areas of the built environment and thus to the spread of residences and other activities. Specifically we considered the issue of urban diffusion, evaluated through the distribution and shape of the built areas, with the urban dispersion being measured by the built density and the fragmentation of the built environment with regard to population dynamics. Urban commuting mobility here refers to all trips with origins and destinations that are located within the city, with routes that are travelled daily to reach the workplace and to return home.*

*The effects of the built environment on mobility choices drew the attention of scholars primarily in the 90s. Some of the studies that have recently developed on the topic (HANDY et al., [13], ZHANG et al., [30], HONG et al. [14]) have referred to different geographical areas, ranging from the analysis of individual behaviour, to increasingly aggregated levels, up to entire municipalities or regional areas. The influence on transport mode choice of travelled distances, settlement density, land-use mingling, network connectivity and district attractiveness has been under analysis. Many studies have shown that the inhabitants of higher density areas with more varied land use tend to give rise to more walking and less driving (DUNCAN et al., [9]; FRANK et al., [11]). Other studies have shown that better connectivity of urban road network<sup>(1)</sup> to use ever for pedestrians, because resulting in a reduction of the pedestrian paths too, corresponds to greater walkability (CERVERO et al., [7]) and to a lesser use of individual transport means, even if the relationship in this case was less clear (LECK, [16]).*

*In addition to the difficulty of obtaining the necessary data, the problems that have been found in the research are based on the difficulty in separating external variables from the investigated phenomenon. Among the circumstances that can influence the choice of transport means, those more recently highlighted are the tendency of the people to move their homes near to the workplace and to live in neighborhoods offering accessibility in line with their preferences in terms of transport means. Conversely, another circumstance is the dissonance sometimes found between the neighborhood where people live and that in line with their mobility preferences. In particular, if it is true that the settlement characteristics and neighborhood infrastructure affect the means choice, it is also true that the preference to use a means greatly affects the people choice*

<sup>(1)</sup> La connettività di un grafo si misura con l'indice di connessione, definito come il rapporto tra il numero di archi A ed il numero di nodi N. Detto indice ha valori compresi tra 0 (assenza di connessioni e quindi di archi) ed  $[N \times (N-1)]/N$  (ogni nodo è connesso direttamente, attraverso un arco, a ciascuno di tutti gli altri nodi).

<sup>(1)</sup> The connectivity of a graph is measured with the connection index, defined as the ratio between the number of links L and the number of nodes N. Said index has values between 0 (no connection, and then no link) and  $[N \times (N-1)] / N$  (each node is connected directly, by a link, at each of all other nodes).

meno servite dal trasporto pubblico ma con migliori standard della rete stradale e con più disponibilità di parcheggio; per contro le zone più centrali, con opposte caratteristiche di accessibilità, sono più richieste da coloro che preferiscono spostarsi con i mezzi pubblici o a piedi. Pertanto il comportamento dei residenti nelle scelte di mobilità, oltre che essere conseguenza delle caratteristiche di accessibilità del quartiere, potrebbe essere influenzato da una preferenza a priori per un certo mezzo di trasporto che ha indirizzato la scelta del quartiere in cui risiedere. Tuttavia, poiché quest'ultima scelta è influenzata non poco della distanza dal posto di lavoro e da altri aspetti importanti, quali il prezzo delle abitazioni e la vivibilità complessiva, è frequente il caso in cui il tipo di accessibilità che caratterizza il quartiere non rifletta le preferenze in termini di scelta del mezzo di trasporto dei residenti. Tutto ciò introduce, nel fenomeno delle scelte della mobilità, variabili difficilmente quantificabili ed evidenzia l'esistenza di un rapporto di causalità bidirezionale fra ambiente costruito e scelte di mobilità (MOKHTARIAN e CAO [20]; NÆSS [21]) che comporta errori non trascurabili nello studio delle relazioni di causa – effetto cercate fra urbanistica e mobilità (CAO et al., [5]; SCHWANEN e MOKHTARIAN [24] e [25]), sebbene parzialmente correggibili (ZEGRAS [29]).

Le relazioni fra ambiente costruito e scelte di trasporto negli spostamenti per motivi diversi dal lavoro in Giappone sono state indagate da PARADY et al. [23] rilevando che a più elevate densità insediative corrisponde una maggiore preferenza accordata al trasporto pubblico a discapito dell'automobile. OLARU e CURTIS [22] hanno rilevato che al miglioramento della qualità delle infrastrutture di trasporto ed al potenziamento dell'accessibilità alle attività non residenziali consegue una riduzione degli spostamenti in auto. Altri studiosi hanno invece rivolto l'attenzione agli effetti indotti sull'urbanizzazione dalle infrastrutture di trasporto. In particolare MARTINEZ et al. [18] hanno evidenziato come l'apertura di una stazione di una ferrovia ad alta velocità può contribuire allo sviluppo del quartiere in cui è ubicata. BUDONI [4], dato come acquisito l'aumento di valore dei suoli serviti da linee ferroviarie di trasporto locale, suggerisce di catturare tale valore aggiunto proprio per finanziare queste infrastrutture di trasporto; pertanto analizza potenzialità e limiti delle tecniche e della legislazione in vigore in diversi paesi, fra cui l'Italia, a ciò finalizzate.

Non molti studi hanno trattato lo specifico tema del presente articolo, e cioè le relazioni fra dispersione urbana e mobilità sistematica per lavoro, soprattutto con riferimento alle città medie e piccole. Il problema si presenta in generale abbastanza complesso in quanto la scelta modale è conseguenza delle distanze da percorrere e dell'offerta di infrastrutture e servizi di trasporto. La distanza da percorrere è il risultato dell'ubicazione delle residenze e dei posti di lavoro. Pertanto un decentramento delle residenze e contemporaneamente dei posti di lavoro che non comporti l'allontanamento degli uni dagli altri non genera in linea di principio un allungamento dei percorsi casa – lavoro che anzi, potendosi avvalere di infrastrutture più veloci in quanto esterne al centro urbano, possono anche risultare di durata minore. Naturalmente la dispersione di

*of the neighborhood in which to live, and pushes to opt, where possible, for districts in which it is easier the use their more pleasing transport means. In other words, those who prefer to use private car, tend to live in areas, generally peripheral, poorly served by public transport but with the best standard of the road network and with more availability of parking. Conversely, the most central areas, with opposite characteristics of accessibility, are most in demand by those who prefer to travel by public transport or on foot. Therefore the behavior of the inhabitants in the mobility choices, as well as being a consequence of the accessibility features of the neighborhood, could be affected by an a priori preference for a certain mode of transport that has addressed the choice of the neighborhood in which to live. However, since the latter choice is influenced not just the distance from the workplace and other important aspects, such as the price of housing and the overall livability, it is frequently the case in which the kind of accessibility that characterizes the district does not reflect the preferences in terms of transport means choice of residents. All this introduces, in the phenomenon of mobility choices, difficult to quantify variables and highlights the existence of a two-way causal relationship between the built environment and mobility choices (MOKHTARIAN and CAO [20]; NÆSS [21]) which involves considerable errors in the study of cause - effect relationships between urbanism and mobility (CAO et al., [5]; SCHWANEN and MOKHTARIAN [24] and [25]), although these errors are partially correctable (ZEGRAS [29]).*

*The relationships between the built environment and transport choices in mobility for reasons other than work in Japan were investigated by PARADY et al. [23], who noted that, in higher density settlements, a preference for public transport at the expense of car is detected. OLARU AND CURTIS [22] found that improving the quality of transport infrastructure and the strengthening of accessibility for non-residential activities achieves a reduction in car trips.*

*Other researchers instead focused their attention to the effects of urbanization on transport infrastructure. Particularly, MARTINEZ et al. [18] showed that the opening of an high-speed railway station can contribute to develop the neighborhood where it is located. BUDONI [4], since acquired as the increase in value of land served by local transport railway lines, suggests to capture that added value just to finance these transport infrastructure. Therefore he analyzed the potential and limitations of the techniques and the legislation to this aim in force in several countries, including Italy.*

*Few studies investigated the specific topic of this paper, which is the relationship between urban sprawl and commuting to work, especially within medium and small cities. The problem is generally complex because the modal choice is a consequence of the involved distances and the provision of infrastructure and transport services. The travel distance is measured from the residence location to*



residenti ed addetti rende più difficile predisporre un'offerta di trasporto pubblico efficace e quindi presumibilmente orienta la domanda di mobilità verso il trasporto privato. Diversamente il decentramento e la dispersione nelle periferie limitata alle sole residenze o ai soli posti di lavoro aumenta presumibilmente la distanza degli spostamenti per lavoro. In ogni caso è certo che il fenomeno presenta nel tempo una certa tendenza al riequilibrio, dal momento che spinge almeno parte dei lavoratori ad avvicinare la propria residenza al luogo di lavoro.

Sul tema specifico oltre vent'anni fa GORDON et al. [12], dal confronto dei dati censuari del 1985 con quelli del 1980, con riferimento alle 20 maggiori città americane, rilevarono il paradosso consistente nella riduzione dei tempi medi di viaggio negli spostamenti pendolari per lavoro, o al più nella loro invarianza, a fronte di una congestione stradale generalmente aumentata. Per di più detti tempi di viaggio tendevano ad essere minori nelle città che avevano avuto una rapida crescita nel periodo o che presentavano una struttura a bassa densità insediativa. Gli autori avanzarono diverse ipotesi per spiegare il paradosso rilevato. Fra queste, la rilocalizzazione suburbana intervenuta nelle residenze e/o nei luoghi di lavoro finalizzata proprio ad una riduzione dei tempi di viaggio negli spostamenti casa-lavoro, riduzione ottenuta anche grazie all'utilizzo di infrastrutture più veloci e meno congestionate.

Gli effetti del decentramento dell'occupazione sugli spostamenti per lavoro sono stati trattati anche da CERVERO et al. [6] che cercarono di chiarire se, ed in che misura, la rilocalizzazione degli addetti agli uffici, dal centro della città alla periferia, incide sulle abitudini di spostamento dei lavoratori. Attraverso una indagine su 320 impiegati che prima lavoravano nel centro di S. Francisco e che poco prima avevano visto il loro posto di lavoro trasferito in periferia, rilevarono che le distanze percorse per recarsi a lavoro erano rimaste essenzialmente invariate mentre la velocità media era diminuita. Tuttavia il cambiamento maggiore si è riscontrato nella scelta del mezzo di trasporto che si è orientata prevalentemente dal trasporto pubblico all'auto privata. Inoltre coloro i quali sono rimasti a risiedere a San Francisco diventando pendolari all'inverso stanno peggio mentre quelli che hanno spostato la loro residenza fuori città godono di un'accessibilità molto maggiore.

CRANE and CHATMAN [8], sulla base dei dati rilevati nel periodo 1985-1997 dall'American Housing Survey, hanno verificato, per le aree metropolitane degli USA, che la decentralizzazione degli addetti verso la periferia, cioè l'aumento dello sprawl, ha comportato mediamente una riduzione della durata degli spostamenti pendolari in quanto ha sostanzialmente avvicinato al luogo di lavoro i lavoratori (che evidentemente risiedevano per la maggior parte in zone periferiche). Gli stessi autori tuttavia mettono in guardia dalla possibilità di generalizzare il risultato evidenziando che tale riduzione è limitata al tempo di viaggio (probabilmente perché il decentramento permette di utilizzare infrastrutture più veloci e le residenze nelle città degli U.S.A. sono molto decentrate) e non interessa la lunghezza dello spostamento e che comunque gli spostamen-

*and the working place location. Therefore, the decentralization of residences and jobs that do not involve additional distance between them does not in principle generate an increase of a home-work path; on the contrary, making use of faster infrastructure that is external to the city centre, they can also be of shorter time and distance. Of course the dispersion of residents and workers makes it more difficult to provide effective public transit, and thus such dispersion presumably directs the mobility demand toward private transport. Unlike the decentralization and dispersal to the suburbs, which is restricted to residences or only employees presumably increases the distance of travel for work. In any case it is certain that the phenomenon presents over time a certain tendency to rebalance because it drives at least some of the workers to move their residences nearer to the work place.*

*On the specific topic, GORDON et al. [12], in a comparison of auto commuting trip durations from the 1985 American Housing Survey with data from the 1980 census, for the twenty largest metropolitan areas, observed a paradox that consisted of the decrease or invariance of the commuting average trip time against traffic congestion, that has generally worsened. Moreover, these trip times tended to be lower in cities that experienced rapid growth and/or had low-density structures. The authors advanced some hypotheses to explain the observed paradox. Among these, the suburban location adjustment that is made by households and businesses and aim to reduce commuting times using faster and less congested infrastructures.*

*The effects of the decentralization of employment on commuting were studied by CERVERO et al. [6] who sought to establish whether and to what extent the relocation of office workers from a downtown location to a suburban location affect commuting behaviour. From a survey of 320 former downtown San Francisco workers who now work in the suburbs, they found that the average distance travelled remains essentially unchanged and that the average commuting speed declines. The most dramatic change was the switch from public transit to private auto commuting. Furthermore, the workers who remained in San Francisco as inverse commuters are worse off, whereas those who moved their residences out of the city are much better off in terms of transportation access.*

*In the basis of data that were detected by the American Housing Survey for the years between 1985 and 1997 in U.S. metropolitan areas, Crane and Chatman [8] found that more suburbanized employment leads to more sprawl, with shorter average commutes due to the shorter distance between workers and workplaces (most of the former evidently living in suburban areas). However, the authors warn of the possibility of generalizing the results, highlighting that this reduction with regard to travel time (probably because decentralization allows the use of faster infrastructure and because residences in US cities are widespread) and does not affect travel length; however, non-work trips increase in*

ti per motivi diversi dal lavoro aumentano in numero e lunghezza. Comunque gli autori evidenziano la complessità del fenomeno che tra l'altro risente del progressivo adattamento delle residenze da parte di molti lavoratori che tendono ad avvicinarsi al luogo di lavoro.

VANDERSMISSEN et al. [28] hanno cercato di individuare fattori spaziali e sociali responsabili dei cambiamenti intervenuti fra il 1977 ed il 1996 negli spostamenti per lavoro in Québec City, un'area metropolitana Canadese di medie dimensioni. Sulla base di un sondaggio somministrato ad un campione di popolazione essi hanno sviluppato un modello disaggregato della durata dello spostamento ed hanno verificato che, nel caso esaminato, una volta fissati i modi di viaggio ed i fattori sociali chiave, il cambiamento da una forma urbana monocentrica ad una dispersa è responsabile dell'incremento del tempo di viaggio negli spostamenti pendolari per lavoro.

L'esame di quanto i modelli di pendolarismo riflettono la corrispondente struttura spaziale urbana è stato svolto da SOHN [26] con riferimento alla Regione Metropolitana di Seul, negli anni 1987, 1990 e 1995. A tale scopo egli ha derivato e combinato, in un modello gravitazionale adattato, le variabili locazionali per l'origine e la destinazione del pendolarismo. I risultati hanno rivelato una tendenza alla dispersione sia per l'occupazione che per i residenti occupati ed anche che la distribuzione degli occupati è coerente tra i due modelli di distribuzione mentre la distribuzione dei residenti occupati non lo è. I risultati, inoltre, sembrano mostrare che i pendolari non sempre considerano la minimizzazione della distanza del viaggio come fattore primario nella scelta della loro residenza, del loro luogo di lavoro o anche dei percorsi del pendolarismo anche se comunque gli occupati tendono a gravitare intorno ai luoghi di lavoro. In sostanza, benché sia innegabile la tendenza degli occupati a cercare in prossimità dei luoghi di lavoro i servizi di cui necessitano per vivere (negozi, servizi sanitari, attività ricreative ed altro) oltre che, ove possibile, a trasferirvi la residenza, tuttavia la scelta della zona in cui risiedere sembra essere influenzata da più fattori. Questa scelta, infatti, pur annoverando fra gli obiettivi la minimizzazione dei percorsi casa-lavoro (in termini di tempi di porta a porta più che di lunghezza), deve necessariamente tenere conto, spesso in misura rilevante, di altre caratteristiche del quartiere in cui abitare che attengono all'accessibilità, al costo degli immobili, alla disponibilità di servizi e ai livelli di inquinamento e di vivibilità della zona.

ZOLNIK [31], avvalendosi di micro-dati rilevati nel 2001 dal National Household Transportation Survey relativamente agli individui e di micro-dati su varie misure della dispersione per le aree metropolitane, ha stimato con modelli multilivello<sup>(2)</sup> tempi e distanze degli spostamenti per

number and length. Further, the authors underscore the complexity of the phenomenon that, among other things, is influenced by the progressive adaptation of residences by many workers who tend to move closer to their work place.

VANDERSMISSEN et al. [28] tried to identify the spatial and social factors that are responsible for the changes in work trips between 1977 and 1996 in Quebec City, which is a medium-sized Canadian metropolitan area. On the basis of a survey of a large sample, they developed a disaggregate model of trip duration and verified that the shift from a monocentric to a dispersed form is responsible, in the examined area, for increasing commuting time.

An analysis on how well the commuting patterns reflect the corresponding urban spatial structure was developed by SOHN [26], with reference to the Seoul Metropolitan Region in 1987, 1990 and 1995. For this purpose, he derived and combined, in an adjusted gravity model, locational variables for commuting trip origin and destination. The results revealed a trend of dispersion for both employment and employed residents and that the distribution of employment was consistent between the two distribution patterns, while the distribution of employed residents was not. Furthermore the results appear to reveal that commuters may not always consider trip distance minimization to be the primary factor in deciding their residential location, workplaces or even commuting routes and that employers tend to spatially gravitate to their work place. Essentially, although the tendency of employers to look for the services they need (shops, health services, recreational activities, and more) in the vicinity of the workplace as well as, where possible, to live there is undeniable, however, the choice of the area in which to live seems to be influenced by several factors. This choice, in fact, while counting among the objectives to minimize the paths to work (in terms of door-to-door time rather than length), must necessarily take into account, often significantly, the other characteristics of the neighborhood pertaining to accessibility, price of real estate, availability of services and level of pollution and livability.

Using micro-data from the 2001 National Household Transportation Survey for individuals and micro-data on various measures on sprawl for metropolitan areas, ZOLNIK [31] estimated, by multilevel models<sup>(2)</sup>, time and distance for a sample of private-vehicle commuters. He found that employment decentralization is associated with shorter commuting time. However, the amount of variation in commuting times that is associated with employment sprawl is minimal, and thus the benefit is negligible. The results also

<sup>(2)</sup> I modelli di regressione multilivello analizzano i dati con differenti aggregazioni permettendo di portare in conto l'interdipendenza fra i livelli di aggregazione. Nello specifico ZOLNIK [31] ha utilizzato modelli a due livelli che considerano i dati a livello sia di famiglia (micro-dati) che di Area statistica metropolitana - MSA (macro-dati), essendo le MSA negli USA ripartizioni territoriali a fini statistici comprendenti ciascuna una o più città.

<sup>(2)</sup> The multilevel regression models analyze data with different combinations and so allow to take into account the interdependence between the levels of aggregation. Specifically, ZOLNIK [31] used two-level models considering data at both the household (microdata) that the Metropolitan Statistical Area - MSA (macro data), being the MSA, in US, territorial divisions for statistical purposes, each comprising one or more cities.

un campione di pendolari che utilizzano l'auto propria. Egli ha trovato che il decentramento degli occupati è associato ad una riduzione dei tempi per questo tipo di spostamenti in auto. Comunque la somma della variazione dei tempi di viaggio conseguente alla dispersione dei posti di lavoro è piccola e di conseguenza il beneficio è trascurabile. I risultati suggeriscono inoltre che le persone adattano la loro residenza all'interno dell'area metropolitana in modo da mantenere un tempo ragionevole negli spostamenti pendolari casa-lavoro in auto.

AXISA et al. [2] hanno studiato l'influenza di alcune caratteristiche della popolazione sulla distanza del pendolarismo all'interno del bacino di gravitazione lavorativo di Toronto in Canada. Avvalendosi dei dati 2006 del Census of Canada Master File, gli autori hanno rilevato, fra gli altri risultati, che lo sviluppo della periferia, cioè lo sprawl urbano, tende ad allungare le distanze del pendolarismo.

Meno numerosi sono gli studi condotti sulle città europee che si caratterizzano generalmente per la presenza di un nucleo centrale abbastanza esteso e che solo a decorrere dagli anni '80 hanno subito processi di decentramento di rilievo. Per esempio TRAVISI et al. [27], attraverso un indice di impatto della mobilità, hanno analizzato empiricamente le dinamiche della dispersione urbana e delle caratteristiche degli spostamenti. Essi hanno rilevato che, durante il periodo 1981-1991 nel quale la dispersione è sensibilmente aumentata in Italia, l'impatto del pendolarismo nelle città italiane esaminate è cresciuto del 27% e a questo incremento è corrisposto un marcato trasferimento verso la motorizzazione privata ed una riduzione dell'uso del trasporto pubblico.

ALPKOKIN et al. [1], avvalendosi di dati relativi alla città di Istanbul per il 1985 ed il 1997, hanno messo a punto una procedura, verosimilmente applicabile a molte grandi città dei paesi sviluppati, per identificare i gruppi di occupati e le loro dinamiche e stimare gli impatti sugli schemi di pendolarismo (lunghezza degli spostamenti, zonizzazione della destinazione degli occupati, funzioni di preferenza e scelta modale) per ciascun sub-centro identificato. Essi hanno anche comparato i cambiamenti in Istanbul con quelli di San Francisco, Los Angeles e Chicago tratti da altri studi. Fra l'altro, essi hanno avuto conferma che più la struttura multicentrica della città diviene dominante e più aumentano la lunghezza ed il numero degli spostamenti in auto.

In sintesi la letteratura sembra generalmente concordare su un aumento dell'uso del mezzo privato e delle distanze percorse negli spostamenti intra-urbani all'aumentare della dispersione di residenze ed attività. Tuttavia l'aumento delle distanze percorse non sempre emerge in maniera netta dai diversi studi proprio per la difficoltà di tener conto di fenomeni che nel lungo periodo portano ad un parziale riavvicinamento di residenze ed attività.

Il presente lavoro di ricerca è stato finalizzato a mettere in luce ed analizzare possibili relazioni fra alcune variabili descrittive della forma urbana ed alcune caratteristiche della mobilità sistematica per lavoro e studio, con origine e destinazione entrambe interne alla città. La ri-

*suggest that individuals adjust their location within metropolitan areas to maintain reasonable private-vehicle commuting times.*

*AXISA et al. [2] studied the influence of certain population features of the commuting distance within the commuter shed of Toronto in Canada. Using the data from the 2006 Census of Canada Master File, they found, among other results, that the growth in the periphery, i.e., the urban sprawl, lead to longer commuting distances.*

*There are fewer studies on European cities with large urban cores, and only in contexts that experienced relevant decentralization processes in the 80s. For instance, TRAVISI et al. [27], using a mobility impact index, empirically analysed the dynamics of the urban sprawl and the characteristics of the trips. They showed that, during the decade from 1981 to 1991 in which the sprawl in Italy increased significantly, the impact of commuting in the examined Italian cities increased by up to 37%, and this increment matched a marked shift towards private motorized travel modes and a reduction in the use of public transit.*

*ALPKOKIN et al. [1], using the available data of the city of Istanbul for 1985 and 1997, built a practical utility, that is likely suitable for many large cities of the developed world, to identify employment clusters and their dynamics and to assess the impacts on commuting patterns (trip length, employment destination zonal, preference function and mode share) for each type of identified sub-centre. The authors also compare the changes in Istanbul to those that are found in San Francisco, Los Angeles and Chicago taken from other research. Inter alia, they found that the more a multi-centric structure becomes dominant, more and longer trips are likely to occur.*

*In summary, the literature generally seems to agree on an increase in the use of private vehicles and the distances traveled in the intra-urban journeys with increasing dispersion of houses and activities. However, the increase of distances does not always emerge in a net manner from the different studies for the difficulty to take account of phenomena which, in the long run, lead to partially move houses towards activities.*

*This research aims to highlight and analyse the possible relationships between some of the descriptive variables of the urban form and some of the features of commuting to work with origin and destination inside the city. The study uses a large sample (approximately 70%) of the provincial capitals of Italy, i.e., cities of different sizes with similar territorial roles and therefore similar levels of supplied local services. Most mobility and population data are taken from the last population census (ISTAT, [15]) while other data on transport supply and demand are derived from the Fondazione Caracciolo [10], and the values of the dispersion indicators were taken from BONOMO et al. [3]. To study these relationships we developed single and multivariate, linear and not linear regressions, and we calibrated statistical*



cerca prende in esame un campione molto ampio (circa il 70%) dei capoluoghi di provincia d'Italia, cioè città di diverse dimensioni che hanno però in comune il ruolo territoriale svolto e quindi il livello dei servizi territoriali offerti. La maggior parte dei dati sulla mobilità e sulla popolazione sono tratti dall'ultimo Censimento della Popolazione (ISTAT, [15]) mentre altri dati sulla domanda e sull'offerta di trasporto sono derivati da Fondazione Caracciolo [10] ed i valori degli indicatori di dispersione sono presi da BONOMO et al. [3]. Per lo studio delle relazioni suddette si sono sviluppate delle regressioni ad una e più variabili, lineari e non, e si sono calibrati dei modelli statistici in grado di rappresentare quantitativamente le relazioni più significative. I risultati sono discussi e ed interpretati alla luce delle attuali conoscenze per contribuire a comprendere i fenomeni analizzati. Infine, utilizzando alcune delle relazioni individuate, si è sviluppata una stima degli effetti che una maggiore concentrazione delle aree urbanizzate in ciascun capoluogo potrebbe produrre in termini di minore uso dell'auto privata e quindi di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e di aumento della domanda e dei ricavi del trasporto pubblico.

L'articolo è così organizzato. Dopo il presente paragrafo 1, dedicato alla definizione del tema trattato ed al richiamo ai principali riferimenti bibliografici in materia, il paragrafo 2 tratta delle variabili scelte per rappresentare i due fenomeni messi in relazione e cioè la distribuzione delle aree urbanizzate sul territorio comunale e la mobilità sistemica interna. Le relazioni emerse dalle regressioni fra le diverse variabili rappresentative dei due fenomeni e la relativa interpretazione sono riportate nel paragrafo 3 insieme ad una possibile modellizzazione delle relazioni più significative. Nel paragrafo 4, utilizzando alcuni dei modelli proposti, si sviluppa una stima degli effetti, sulla mobilità, di una riduzione della dispersione delle aree urbanizzate e delle conseguenze di tali effetti sull'ambiente e sul trasporto pubblico. Infine alcune considerazioni sulla ricerca e sulla policy sono espone nel paragrafo 5.

## 2. Le variabili descrittive del territorio e della mobilità

Come primo passo si sono individuate le variabili rappresentative dei fenomeni da mettere in relazione, scegliendole in base alla rappresentatività e alla disponibilità di dati al livello di disaggregazione dello studio.

Il fenomeno mobilità è stato descritto attraverso le variabili che esprimono la scelta modale fra le alternative di offerta di trasporto disponibili (e cioè numero di spostamenti con il mezzo pubblico, con il mezzo privato e spostamenti non motorizzati, ciascuno rapportato al totale degli spostamenti) e attraverso l'indice di mobilità per gli spostamenti considerati (e cioè pendolari per lavoro e studio interni a ciascun capoluogo, rapportati al numero di abitanti). La lunghezza degli spostamenti non è stata considerata poiché non rilevata sistematicamente in Italia. Le variabili individuate sono in grado di misurare la dimensione del pendolarismo depurata dalla dimensione insediativa della città. Comunque, è da considerare che, come

*models that are suitable to quantitatively represent the most significant relationships. The results are discussed and interpreted in light of the current knowledge, to facilitate an understanding of the analysed phenomena. Finally, using some of the identified relationships, we assessed the effects that could be produced by a higher concentration of the urban areas in each city in terms of the reduced use of private cars which would thus reduce CO<sub>2</sub> emissions and generate an increase in the demand for and the return of public transport.*

*The paper is divided as follows. After the present Section 1, which dedicated to the definition of the subject matter and to recall the main bibliographical references, Section 2 presents the variables that have been chosen to represent the two correlated phenomena, i.e., the urban sprawl and commuting. The relationships that are derived from regressions between the variables that represent the two phenomena and their interpretation are given in Section 3, together with a possible modelling of the most significant relationships. In Section 4, using some of the models, we assess the effects of an urban sprawl reduction on mobility and the consequences of these effects on the environment and public transit. Finally, some suggestions for research and policy are provided in Section 5.*

## 2. Territory and mobility variables

*As a first step we have identified the variables that are representative of the relevant phenomena, choosing them according to their representativeness and the availability of data at the disaggregation level of the study.*

*The main characteristic of mobility that we want to study is the transport mode. Therefore, mobility is described through variables that measures the modal choice between available transport supply chances (i.e., the number of trips by public transport, by private vehicles and by non-motorized means, each related to the total commuting trips) and through the mobility index of the considered journeys (i.e., commuting to work and school in each capital, related to the number of inhabitants). The length of the trips was not considered because it is not systematically detected in Italy. The identified variables are able to measure the size of commuting purified by the settlement size of the city. However, should be noted that, as drawn from the literature, the phenomena of urban dispersion and decentralization do not always nor in the same way affect the length and time of trips but nearly always affect the modal choice, thus increasing the use of private vehicles. Therefore, the change in modal split is the most relevant result of the urban sprawl on mobility.*

*Moreover, the modal split affects polluting emissions and in turn is influenced by the index of motorization and the public transit supply as well as the size of the city and the differences in height that must be overcome. The motor-*

emerso dalla letteratura, i fenomeni di dispersione e decentralizzazione urbana non sempre e non allo stesso modo influenzano la lunghezza e il tempo dei viaggi ma quasi sempre influenzano la scelta modale con un aumento dell'uso di veicoli privati. Pertanto la variazione della ripartizione modale è il principale risultato dello sprawl urbano sulla mobilità. Peraltro la scelta modale influenza la produzione di emissioni inquinanti e a sua volta è influenzata dall'indice di motorizzazione e dall'offerta di trasporto pubblico nonché dall'estensione della città e dai dislivelli da superare. L'indice di motorizzazione (autovetture circolanti /1.000 abitanti) è una conseguenza diretta del reddito e i due parametri sono una misura rispettivamente della disponibilità del mezzo privato e della propensione ad utilizzarlo, atteso che tale alternativa modale è generalmente più costosa. Tuttavia l'indice di motorizzazione può produrre effetti diversi e contrastanti sulla ripartizione modale. Per un verso infatti, la disponibilità dell'automobile favorisce la scelta del mezzo proprio. Per altro verso, un numero maggiore di autovetture disponibili ed il loro conseguente maggiore uso incrementa la congestione sulla rete stradale urbana con effetti negativi sui tempi di viaggio che possono giocare a favore della scelta del trasporto pubblico, soprattutto qualora questo risulti efficace. L'offerta di trasporto pubblico pro-capite fornisce la misura di quanto l'alternativa al mezzo privato sia presente e di conseguenza efficace nel soddisfare le esigenze di mobilità anche in termini di orario.

Fra le variabili insediative del territorio si sono utilizzate, oltre alla popolazione residente nel comune, anche la superficie e l'altitudine del centro principale essendo sottinteso che un valore più elevato di questo parametro denota una città a quota più alta a cui corrispondono dislivelli maggiori (sia all'interno del nucleo principale, sia fra i diversi nuclei) che certamente rendono più faticosi gli spostamenti con mezzi non motorizzati. Il fattore età media è stato trascurato in quanto non molto diverso fra centri urbani che ricoprono ruoli territoriali simili (tutti capoluoghi di provincia). La diffusione degli insediamenti nell'ambito del territorio comunale (sprawl urbano) è misurata con più indicatori descritti più avanti. Ciò perché non esiste una variabile in grado di rappresentare da sola il fenomeno caratterizzato da molteplici aspetti.

I valori degli indicatori della ripartizione modale sono stati ricavati attraverso elaborazioni condotte a partire dai file ISTAT del pendolarismo per lavoro e studio rilevato in occasione del 15° Censimento (ISTAT [15] - in tabella 1 i valori medi per i consumi esaminati) che, come è noto, sono gli unici dati sulla mobilità disponibili, rilevati in modo omogeneo per l'intero territorio nazionale. Il non aver potuto tener conto anche della mobilità non sistematica e per motivi diversi da lavoro e studio limita certamente le possibilità di generalizzazione dei risultati trovati, dal momento che quest'ultimo tipo di domanda, poiché meno rigida, è certamente più sensibile alle caratteristiche del territorio e del sistema di trasporto.

I dati sull'offerta di trasporto pubblico urbano nei capoluoghi di provincia esaminati sono tratti dallo studio della Fondazione Caracciolo [10].

*ization rate (car per / 1,000 inhabitants) is a direct consequence of income, and these parameters are, respectively, an indirect measure of the availability of private vehicles and the willingness to use them because such transport is generally more expensive. However, the motorization rate can produce different and conflicting effects on the modal split. On the one hand, a greater availability of cars can increase their use. On the other hand, a greater number of available owned cars and their consequent increase in use increases congestion on urban road networks with negative effects on travel times, which that can work in favour of public transport choice, especially if the transport is effective. The public transport supply per capita provides a measure of alternatives to private vehicles and it can therefore be effective in meeting mobility needs in terms of time.*

*Among the variables of the territory settlements that we included, in addition to the resident populations in the municipalities, with the surface and the altitude of the main centre being understood as have the higher value of this parameter, which indicates a higher altitude that corresponds to major differences in city height of (both within the core and between the different conurbations). This will certainly make movement with non-motorized transport more strenuous. Furthermore,, in principle, the major height differences cause longer trips due to the limitations of slope that must be accommodated by road networks. In summary, altitude affects the choice of transport mode, which makes for longer and more tiring trips. The average age factor has not been included as there is not a great deal of difference among the urban centres that cover similar territorial roles (all provincial capitals). The dispersion of the settlements within the municipal area (urban sprawl land) is measured by several indicators that are described below. This is because there is no single variable that is capable of representing phenomena that are characterized by multiple aspects.*

*The values of the modal split indicators were obtained through processing that was conducted the ISTAT files of commuting to work and school surveyed in the 15th census (ISTAT [15] - average values for the considered cities are in table 1) which, as is commonly known, are the only data that are available on mobility to be detected in a uniform manner for the entire national territory. The inability to take into account the non-systematic mobility for reasons other than work and school certainly limits the possibilities for generalizations of the results. In fact, this type of mobility, because it is less rigid, is certainly more sensitive to the characteristics of territory and transport systems.*

*Data on the supply of urban public transit in the provincial capitals are drawn from the Study of the Fondazione Caracciolo [10].*

*The considered Italian provincial capital cities (69 on a total of 110) are: Alessandria, Ancona, Aosta, Arezzo, Asti, Bari, Benevento, Bergamo, Bologna, Bolzano, Brescia, Brindisi, Cagliari, Campobasso, Caserta, Catania, Catanzaro,*



Sono stati considerati i seguenti capoluoghi di provincia (69 sul totale di 110): Alessandria, Ancona, Aosta, Arezzo, Asti, Bari, Benevento, Bergamo, Bologna, Bolzano, Brescia, Brindisi, Cagliari, Campobasso, Caserta, Catania, Catanzaro, Como, Cosenza, Ferrara, Firenze, Foggia, Forlì, Genova, L'Aquila, La Spezia, Latina, Lecce, Livorno, Lucca, Matera, Messina, Milano, Modena, Monza, Napoli, Novara, Olbia, Padova, Palermo, Parma, Perugia, Pesaro, Pescara, Piacenza, Pistoia, Pordenone, Potenza, Prato, Ragusa, Ravenna, Reggio Calabria, Reggio Emilia, Rimini, Roma, Salerno, Sassari, Savona, Siracusa, Taranto, Terni, Torino, Trento, Treviso, Trieste, Udine, Venezia, Verona, Vicenza (valori medi in tabella 2).

In prima battuta si sono tentate tutte le possibili correlazioni fra coppie di variabili per testare l'esistenza di possibili legami statistici ed eventuale collinearità. Successivamente si sono trascurate le variabili risultate meno rappresentative dei fenomeni analizzati, come descritto nel paragrafo 3.

Como, Cosenza, Ferrara, Florence, Foggia, Forlì, Genoa, L'Aquila, La Spezia, Latina, Lecce, Livorno, Lucca, Matera, Messina, Milan, Modena, Monza, Naples, Novara, Olbia, Padova, Palermo, Parma, Perugia, Pesaro, Pescara, Piacenza, Pistoia, Pordenone, Potenza, Prato, Ragusa, Ravenna, Reggio Calabria, Reggio Emilia, Rimini, Rome, Salerno, Sassari, Savona, Siracusa, Taranto, Terni, Turin, Trento, Treviso, Trieste, Udine, Venice, Verona, Vicenza (average values in table 2).

In the first instance we tried all of the possible correlations between pairs of variables to test the existence of possible statistical and collinearity ties. Subsequently, we neglected variables that were found to be less representative of the analysed phenomena, as described in section 3.

The set urban sprawl indexes were taken from Bonomo et al. (2014) [3], and they measure different aspects of sprawl, as described below. Their impact on the modal split

TABELLA 1 – TABLE 1

Abitanti, superficie, altitudine, ripartizione modale e indice di mobilità degli spostamenti interni al comune per i capoluoghi di provincia considerati – media e deviazione standard dei valori (elaborazioni dei dati Istat – Censimento pop. [15])  
*Municipal inhabitants, surface, altitude, income, modal split and mobility rate of the internal trips for the sample of Italian provincial capitals – average and standard deviation of the values (processing from Istat - Italian Institute of Statistics) data of 2011 population census [15]*

	Abitanti <i>Inhabitants</i>	Superficie <i>Surface</i> (km <sup>2</sup> )	Quota del capoluogo <i>Capital</i> altitude (m)	Reddito pro cap. <i>Income</i> p.c. (Euro)	Indice di mobilità (spost./ab./giorno) <i>Mobility rate</i> (trips/inhab/day)	Modal split <i>Modal split</i>		
						Pubbl./tot. <i>Public/total</i>	Privato/totale <i>Private/total</i>	Non motor/tot <i>Non motor/tot</i>
Media <i>Average</i>	231.687	204	127	25.723	0,15	0,19	0,48	0,33
Deviazione standard <i>Standard deviation</i>	391.180	194	185	2.616	0,03	0,07	0,13	0,11

TABELLA 2 – TABLE 2

Tasso di motorizzazione, offerta e domanda di trasporto pubblico nella maggior parte dei comuni capoluogo di provincia – media e deviazione standard dei valori (Fonte: Fondazione Caracciolo [10])  
*Motorization rate, supply and demand of public transport in the most of Italian provincial capitals - average and standard deviation of the values (Source: Fondazione Caracciolo, [10])*

	Tasso di motorizzazione (auto/1000 ab.) <i>Motoriz. rate</i> (cars/1000.inhab)	Offerta di trasp. pubbl. (ML.seats.km) <i>PT supply</i> (ML.seats.km)	Domanda di trasp. pubbl. valori assoluti (ML.pass/anno) <i>PT demand absolute values</i> (ML.pass/year)	Domanda di trasp. pubbl. valori relativi (pass.veic/ab.) <i>PT demand relative values</i> (pass.veic/inhab)	Domanda/offerta di trasp. pubbl. valori assoluti (pass/posti.km) <i>PT demand/supply absolute value</i> (pass/seats.km)	Domanda/offerta di trasp. pubbl. valori relativi (pass/ab./posti.km) <i>PT demand/supply relative value</i> (pass/inhab./seats.km)
Media <i>Average</i>	112	1,170	56.6	112	32,098	0,24
Deviazione standard <i>Standard deviation</i>	125	3,351	198.0	125	16,149	0,15

Gli indicatori di dispersione insediativa utilizzati sono stati tratti da BONOMO et al. [3] per la maggior parte delle città capoluogo di provincia e di seguito descritti. Il loro impatto sulla ripartizione modale è intuitivo dato che, sia la distribuzione e la forma delle aree costruite, sia la densità edilizia condizionano la lunghezza ed il tempo degli spostamenti pendolari nonché l'efficacia del trasporto pubblico.

La diffusione urbana è valutata, attraverso la distribuzione e la forma delle aree costruite, con i due indicatori di seguito.

- *Largest Class Patch Index (LPCI)* esprime, in termini percentuali, il rapporto fra la superficie del poligono più esteso fra quelli disegnati dalle aree costruite e la superficie costruita complessiva e rappresenta un indicatore di compattezza che per le città considerate varia fra 20% e 98% raggiungendo valori più elevati lì dove si presenta una maggiore concentrazione delle aree edificate all'interno dei confini urbani e quindi si realizza un uso più intensivo del suolo.
- *Residual Mean Patch Size (RMPS)* fornisce, in ettari, la superficie media dei poligoni delle aree costruite, con esclusione del poligono maggiore e permette di valutare la dimensione media delle aree costruite al di fuori del polo urbano principale fornendo una misura del livello di diffusione del tessuto urbano.

La misura della dispersione urbana si basa sul parametro della densità del costruito i cui valori rilevati sono stati suddivisi per individuare tre classi di densità (alta, media e bassa). Sulla base di tale classificazione delle aree si sono costruiti tre indicatori:

- *Edge Density (ED)*, rapporto, espresso in metri / ettari, fra il perimetro complessivo delle aree a bassa densità e la superficie di tutte le aree edificate, a bassa media e alta densità, interne ai confini comunali; i valori più alti si raggiungono di solito in città discontinue con processi di dispersione insediativa.
- *Low Density Areas (LDA)*, rapporto fra la superficie delle aree a bassa densità e la superficie comunale; fornisce una misura dell'incidenza della superficie interessata da fenomeni di dispersione (sprawl); i valori calcolati sono compresi fra 0,09 (Savona) e 0,71 (Latina).
- *Urban Sprawl (US)*, rapporto tra la superficie complessiva delle aree a bassa densità e la superficie complessiva di tutte le aree edificate (a densità bassa ed alta) ricadenti nel territorio comunale; è una misura dell'incidenza delle aree disperse sul complesso delle aree costruite.

Infine una valutazione della frammentazione delle aree edificate sul territorio attraverso le dinamiche della popolazione è espressa dal Dynamic Sprawl Index (DSI) che misura la variazione nel tempo dell'area costruita rapportata all'incremento della popolazione. In un arco di tempo, in presenza di una popolazione stabile, non ci dovrebbe essere incremento di occupazione di suolo che, se invece avviene, denota la presenza di fenomeni di dispersione. In generale l'incremento di suolo occupato dovrebbe

*is intuitive because both the distribution and shape of the built areas and the overall built density affect the length and time of the commuting trips and the effectiveness of the public transit.*

*The urban diffusion is evaluated, through the distribution and shape of the built areas, by the two indexes below.*

- *Class Largest Patch Index (LPCI)* expresses, by percentage, the relationship between the surface of the largest polygon among those that are drawn from the built-up areas and the overall built-up area. It is an index of compactness, which varies for the considered cities between 20% and 98%, and it reaches the higher values where there is a greater concentration of the built environment within the city limits and subsequently where there is a more intensive use of the soil.
- *Residual Mean Patch Size (RMPS)* provides, in hectares, the average size of the polygons of the built-up areas, with the exception of higher polygon, and allows for the evaluation of the average size of the built-up areas outside of the main urban centre and provides a measure of the level of spread of the urban fabric.

*The measure of urban dispersion is based on the built density whose detected values were divided to identify three classes of density (high, medium and low). Based on this classification of areas we built three indexes:*

- *Edge Density (ED)*, ratio, in meters / hectares, among the total perimeter of low density areas and the surface of all of the built-up areas, low-medium and high density, which are internal to the municipal boundaries; the highest values are reached usually in discontinuous cities with urban dispersion.
- *Low Density Areas (LDA)*, the relationship between the surface of the low-density areas and the municipal area. It provides a measure of the incidence of the area that is affected by dispersion phenomena; the calculated values are between 0.09 (Savona) and 0.71 (Latina).
- *Urban Sprawl (US)*, the ratio between the whole surface of low density areas and the surface of all of the built-up areas (low and high density) that fall within the municipality. It is a measure of the incidence of areas that are scattered across all of the built-up areas.

*Furthermore, an assessment of the built environment fragmentation, taking into account the population dynamics, is expressed by Dynamic Sprawl Index (DSI), which measures the change over time of the built environment as it relates to population. In a span of time, in the presence of a stable population, there should be no increase in the occupation of soil. If such a dispersion occurs, that would indicate the presence of dispersion phenomena. In general the increase of occupied soil should be proportional to the increase of the population; divergence from such a proportional increased would suggest a leakage phenomenon. The*

be essere proporzionale all'aumento della popolazione affinché non si rilevino fenomeni di dispersione. L'arco di tempo considerato per il calcolo di questo indicatore è relativo al periodo 2000-2012.

Gli indicatori sopra descritti sono sintetizzati nella tabella 3. I valori calcolati per la maggior parte dei capoluoghi di provincia, tratti da BONOMO et al. [3], sono raccolti nella tabella 4.

## 3. Lettura di alcune relazioni fra caratteristiche urbane e mobilità

### 3.1. Considerazioni sulle correlazioni sviluppate

La tabella 5 riporta i coefficienti di determinazione di tutte le correlazioni fra coppie delle variabili considerate.

È da premettere che le relazioni statistiche rilevate, che emergono da un'analisi di correlazione fra una variabile del territorio ed una sociologica o della mobilità, risultano sempre deboli, in linea con quanto avviene generalmente nelle analisi territoriali, atteso che i fenomeni sociali e della mobilità sono complessi e legati a numerose variabili che possono avere una influenza anche maggiore rispetto alle caratteristiche insediative del territorio. Essenzialmente per questo motivo (ed anche perché si tratta di una prima scrematura delle variabili da considerare nelle analisi successive) non si sono sviluppati test statistici di significatività che, in presenza di fenomeni governati da molte variabili qui non prese in considerazione, forniscono risultati poco attendibili arrivando spesso a valutare come non significative variabili che, invece, lo sono senza dubbio a livello intuitivo. Perciò, in prima battuta, si è letta la correlazione fra coppie di variabili attraverso i valori del coefficiente di determinazione ( $R^2$ ) con riferimento a valori di soglia, necessariamente solo orientativi, individuati sulla base delle considerazioni che seguono ed ovviamente mantenuti bassi per tener conto della complessità dei fenomeni studiati. Valori del coefficiente di determinazione ( $R^2$ ) uguali o superiori a 0,1 (evidenziati in giallo) denotano già una presumibile relazione statistica che diventa più probabile per valori superiori a 0,3 (in verde) per diventare poi, in linea di principio, poco significativa per valori superiori a 0,5. Infatti un  $R^2$  molto alto è indicativo di una scarsa sensibilità del fenomeno espresso dalla variabile dipendente ad altre variabili diverse quell'unica con cui è stato posto in relazione e ciò, per quanto detto prima, è molto difficilmente riscontrabile nella realtà. Pertanto questa situazione rende probabile la presenza di fenomeni di collinearità fra le variabili messe in relazione, il che significa che tali variabili misurano aspetti non dissimili del fenomeno. Situazioni di questo tipo si riscontrano fra alcuni degli indicatori di dispersione utilizzati (per esempio ED ed US, LCPI ed US) che evidentemente descrivono lo stesso fenomeno. In altri casi, un  $R^2$  relativamente alto conferma l'esistenza di una relazione intuitiva come accade fra la popolazione e la superficie comunale o fra il reddito e l'indice di motorizzazione. Altri valori elevati di  $R^2$  testimoniano l'esistenza prevedibile di relazioni che però rivelano poi, in andamento ben diverso da come si ci

period that is considered for the calculation of this index is from 2000 to 2012.

The above described indexes are summarized in table 3. The calculated values for most of the set of provincial capitals, which is taken from BONOMO et al. (2014) [3], are collected in table 4.

## 3. Analysis of the relationship between urban characteristics and mobility

### 3.1. Remarks on the developed correlations

Table 5 shows the determination coefficients of all of the correlations between pairs of variables. It should be noted that the statistical relationships emerging from a correlation analysis between a territory variable and a sociological or mobility variable are always weak (in line with what is generally the case in the territorial analysis), given that social phenomena and mobility are complex and linked to many variables that may have an even greater influence over the settlement characteristics of the territory. Essentially for this reason (and also because this is a first screening of the variables to be considered in the subsequent analyzes) we did not develop statistical tests of significance that, in the presence of phenomena governed by many variables here not taken into account, provide unreliable results often coming to assess how insignificant variables that on the contrary are undoubtedly significant at an intuitive level. Therefore, in the first instance, we read the correlation between pairs of variables through the values of the coefficient of determination ( $R^2$ ) with respect to threshold values, necessarily only approximations, identified on the basis of the following considerations and obviously kept low to account the complexity of the phenomena studied. Values of the determination coefficient ( $R^2$ ) that are greater than or equal to 0.1 (highlighted in yellow) indicate a presumable statistical relationship such that it becomes more likely that values that are above 0.3 (in green) will then become, in principle, not significant for values that are greater than 0.5. In fact, a very high  $R^2$  indicates a poor sensitivity of the phenomenon to variables other than that which has been placed in relationship, which, as noted above, is very difficult to find in reality. Therefore, this situation makes it likely that the presence of phenomena of collinearity between the variables will be made in connection, which means that these variables measure not-dissimilar aspects of the phenomenon. Situations of this type are found between some of the indicators of dispersion that are used (for example, ED and US, LCPI and US), which clearly describe the same phenomenon. In other cases, a relatively high  $R^2$  confirms the existence of an intuitive relationship as it is between the population and the municipal area or between income and the rate of motorization. Other high values of  $R^2$  prove the existence of predictable relationships, but they reveal a trend that is very different from what we would expect. This is a case of the in-



TABELLA 3 – TABLE 3

Indicatori della diffusione, frammentazione e dispersione urbana  
*Index of urban diffusion, fragmentation and dispersion*

Scope	INDEX	Formula	Meaning	Function
Analysis of built area distribution and shape	Largest class Patch Index (LCPI)	$LCPI = A_{p.max} / A_{build-up}$ <p>Rate between the area of the largest built polygon and the whole built area (%)</p>	It measures the city consistency, by the surface of the central core compared with the all built surface	Decreasing with the diffusion (therefore increasing with consistency) of the urban fabric
	Residual Mean Patch Size (RMPS)	$RMPS = \sum A_{res.po.} / N_{res.pol.}$ <p>Average wideness of the built areas polygons with the exclusion of the largest polygon (ha)</p>	It measures the diffusion of built areas outside the central core, by the average wideness; it is the level of diffusion of the urban fabric	Increasing with the diffusion of the urban fabric
Assessment of built density	Edge Density (ED)	$ED = \sum P_{edge.pol} / N_{Total.edge}$ <p>Rate between the perimeter of the built area (or sum of the perimeters of the built areas polygons) and the surface of the whole built area. (m/ha)</p>	It measures the built density; it indicates the fragmentation of urban edges (interface between built and not-built areas); it analyses the border of city transformation	Increasing with the lack of uniformity in the urban borders (low values of ED = compact city or well-defined urban center)
	Low density areas (LDA)	$LDA = A_{low.dens} / A_{mun}$ <p>Rate between low density areas and the whole municipal area</p>	It indicates the surface concerned by dispersion inside the municipal territory	Increasing with the raise of the municipal area concerned by dispersion phenomenon
	Urban sprawl (US)	$US = A_{low.dens} / A_{build.up}$ <p>Rate between the whole surface of low density areas and the whole surface of all built areas (low and high density areas) inside the municipal territory</p>	It measures the density of the discontinuous areas related to the municipal area; it quantifies the rate of built area concerned by the dispersion phenomenon	Increasing with the raise of the built area concerned by dispersion phenomenon
Estimate of the built areas fragmentation related to population dynamics	Dynamic sprawl index (DSI)	$DSI = \frac{\left\{ A_{build.up[t+n]} - A_{build.up[t]} \cdot \left( \frac{Pop_{[t+n]}}{Pop_{[t]}} \right) \right\}}{A_{build.up[t]}} \cdot 100$ <p>Change over time of the built area related to population increase.            Where:            [t] = first year of the period            [t+n] last year of the period            A<sub>build.up</sub> = built area inside the municipal territory (km<sup>2</sup>);            Pop = total municipal inhabitants.</p>	It measures the increase of built area related to the population variation or else how much a built area change is consistent with the population change.	At existing population, the index increases with the raise of the soil occupation

TABELLA 4 – TABLE 4

Valori degli indicatori di diffusione, frammentazione e dispersione urbana (Fonte: BONOMO et al., 2014, [3])  
 Values of the urban diffusion, fragmentation and dispersion indexes (Source: BONOMO et al., 2014, [3])

	Distribuzione e forma delle aree costruite <i>Built distribution and shape</i>			Densità del costruito <i>Built density</i>		Frammentaz. aree edificate rapportata alle dinamiche della popolazione <i>Built area fragmentation related to population dynamics</i>
	LCPI (%) <i>Largest Class Patch Index</i>	RMPS (ha) <i>Residual Mean Patch Size</i>	ED (m/ha) <i>Edge Density</i>	LDA (ratio) <i>Low Density Areas</i>	US (ratio) <i>Urban Sprawl</i>	DSI (2000-12) <i>Dynamic Sprawl index</i>
Valore minimo <i>Min. value</i>	20,8 (Catanzaro)	1,2 (Monza)	163,4 (Brescia)	0,1 (più città)	0,1 (Napoli)	6,1 (Ragusa)
Valore massimo <i>Max. value</i>	98,8 (Brescia, Savona)	24,2 (Pordenone)	583,4 (Pistoia)	0,7 (Latina)	0,9 (più città)	650,9 (Milano)
Media <i>Average</i>	74,5	7,6	332,5	0,3	0,6	10,6
Deviazione standard <i>Standard deviation</i>	20,4	4,7	106,4	0,1	0,2	7,1

TABELLA 5 – TABLE 5

Coefficienti di determinazione ( $R^2$ ) delle regressioni semplici effettuate  
 Determination coefficients ( $R^2$ ) of the simple regressions

	Popolazione Inhabitants	Superficie Surface	Altitudine Altitude	Reddito Income	Indice di motor. Motoriz. ratio	Offerta TP /ab. PT Supply /inhab.	LCPI	RMPS	ED	US	Dynamic sprawl	Ind. Mobilità Mobility ratio	Pubblico / Totale Public / Total	Privato / Totale Private / Total	Not Motor/Tot.
Popolazione Inhabitants	-	0,452	0,127	0,192	0,466	0,758	0,128	0,128	0,300	0,290	0,014	0,045	0,321	0,182	0,039
Superficie Surface		-	0,012	0,271	0,125	0,208	0,369	0,139	0,175	0,338	0,035	0,005	0,054	0,100	0,186
Altitudine Altitude			-	0,036	0,019	0,040	0,065	0,011	0,099	0,065	0,045	0,050	0,007	0,105	0,183
Reddito Income				-	0,373	0,476	0,228	0,048	0,236	0,236	0,018	0,025	0,025	0,334	0,223
Indice di motor. Motoriz. ratio					-	0,58	0,213	0,059	0,317	0,261	0,058	0,008	0,52	0,482	0,155
Offerta TP /ab. PT Supply /inhab.						-	0,458	0,204	0,424	0,421	0,021	0,026	0,011	0,393	0,110
LCPI							-	0,453	0,482	0,640	0,012	0,030	0,026	0,213	0,213
RMPS								-	0,051	0,100	0,002	0,008	0,007	0,033	0,026
ED									-	0,74	0,014	0,023	0,110	0,361	0,289
US										-	0,053	0,019	0,051	0,275	0,289
Dynamic Sprawl											-	0,007	0,087	0,073	0,086
Ind. mobilità Mobility ratio												-	0,063	0,055	0,061
Pubblico / Totale Public / Total													-	0,285	0,001
Privato / Totale Private / Total														-	0,73
Non Motor./ Tot.															-

**Legenda dei colori attribuiti agli indicatori:** Grigio: caratteristiche insediarie; Celeste: indicatori di sprawl; Rosso acceso: offerta di trasporto pubblico; Rosso chiaro: indici di mobilità. **Legenda dei colori attribuiti ai valori assunti dagli indicatori:** Bianco: presumibile assenza di correlazione (valore troppo basso); Giallo: correlazione debole; Verde chiaro: buona correlazione; Verde scuro: correlazione forte (probabili fenomeni di multi-collinearità).

**Colour Legend of indexes:** Grey: settlement characteristics; Light blue: sprawl indexes; Bright red: public transit supply; Soft red: mobility indexes. **Colour Legend of numerical values:** White: presumable absence of correlation (value too low); Yellow: weak correlation; Light green: good correlation; Dark green: strong correlation (probable multi-collinearity phenomena).

aspetterebbe. È il caso dell'incidenza dell'indice di motorizzazione sulla scelta modale: come discusso più avanti, la maggiore disponibilità del veicolo individuale spinge verso la scelta del trasporto pubblico anziché verso l'uso dello stesso mezzo, come ci si potrebbe immaginare. Più attese anche se non scontate sono le relazioni trovate fra popolazione e quantità di trasporto pubblico erogato per abitante, e fra la popolazione e l'indice di motorizzazione. Entrambe sono probabilmente spiegabili attraverso il reddito che è più alto nelle città più popolate e meno disperse e rende possibile sia l'acquisto di un maggior numero di veicoli da parte dei cittadini, sia un'offerta di trasporto pubblico più massiccia da parte del comune le cui disponibilità finanziarie crescono con quelle dei suoi residenti.

L'analisi dell'andamento delle relazioni emerse è sviluppata nei punti successivi.

## 3.2. Caratteristiche generali insediative e della mobilità

Il primo risultato che emerge è l'assenza di correlazione dell'indice di mobilità sistematica per lavoro e studio (spostamenti/ab./giorno) con qualsiasi caratteristica insediativa relativa all'intero comune, quale la popolazione, la superficie o il reddito pro-capite nonché con tutti gli indicatori di sprawl. Ciò conferma che questo tipo di mobilità, a differenza di quanto probabilmente accade per quella non sistematica e con finalità diverse da lavoro e studio, deriva essenzialmente da necessità che non trovano un legame né nella dimensione comunale, né nella disponibilità economica dei singoli cittadini e neanche nella distribuzione di residenze e luoghi di lavoro sul territorio. È evidente infatti che il numero di spostamenti quotidiani effettuati con qualsiasi mezzo e lungo qualsiasi itinerario per recarsi al lavoro dipende soltanto dal tipo di lavoro svolto e non da fattori socio economici o di insediamento del territorio almeno per città che presentano un ruolo territoriale simile come è il caso delle città capoluogo di provincia qui considerate.

Allo stesso modo è stato possibile rilevare che il numero di abitanti nel comune non influisce sulla scelta di mezzi non motorizzati per effettuare gli spostamenti sistematici interni per lavoro e studio, mentre favorisce la scelta del trasporto pubblico (fig. 1) a discapito quindi del trasporto privato e non della mobilità dolce che ha ben definiti e limitati campi di impiego. La relazione trovata, di tipo logaritmico, si spiega facilmente con la sensibile differenza di costo fra trasporto privato e pubblico che caratterizza gli spostamenti più lunghi, tipici delle città maggiori, nonché con la sensibile presenza, in queste ultime, di sistemi di trasporto su sede propria in grado di competere in attrattività con l'automobile.

La scelta del trasporto pedonale o ciclabile trova una sfumata correlazione con la superficie comunale ( $R^2 = 0,186$  – fig. 2) e presenta un andamento decrescente prima velocemente e poi sempre più lentamente a conferma dei limiti di questo modo che è generalmente accettato solo per distanze molto contenute.

*Incidence of the motorization rate on modal choice: as discussed below, the increased availability of an individual vehicle pushes towards the choice of public transport rather than using the same means, as we might imagine. The relationships between the population and the amount of public transport that is supplied per inhabitant and between the population and the motorization rate are more expected although not obvious. Both are probably explained by income that is higher in the most populous cities and makes it possible both for citizens to purchase a greater number of vehicles and to supply more massive public transport system by the municipality whose financial resources increase with those of the inhabitants.*

*The analysis of the emerging relationship is developed in the following paragraphs.*

## 3.2. General characteristics of territory and mobility

*The first result is the lack of correlation of the systematic mobility for work and study index (travel / inhab. / day) with any settlement characteristic of the whole town, such as the inhabitants, the surface or the income pro-capita, as well as with all sprawl indexes. What emerged confirms that this type of mobility, which is probably unlike the non-systematic and different purposes of same from work and the one that is under study essentially derives from the need that are not affected by either the size of the municipality or the disposable income of the individuals, neither by the distribution of inhabitants and workplaces on the territory. It 'obvious that the number of daily trips made by any means and along any route to get to work only depend on the type of work done and not by socio-economic factors or land settlement at least for cities that have a similar territorial role as the provincial capital cities considered here.*

*Similarly we detected that the number of inhabitants in the municipality does not affect the choice of non-motorized means to carry out systematic trips for work and study inside the city, while it favours the choice of public transport (fig. 1) at the expense of private transport. The found logarithmic relationship is easily explained by the sensitive difference in cost between private and public transport that characterizes the longer trips, which is typical of major cities, as well as by the meaningful presence in the latter of transport systems on its own runway, which can compete with a car for attractiveness.*

*The choice of pedestrian or bike transport has a nuanced relationship with the municipal surface ( $R^2 = 0.186$  – fig. 2), with a trend before descending quickly and then more slowly to confirm the limits of this mode, which is generally accepted only for short distances.*

*The inversely proportional correlation that is found between the altitude of provincial capital and the choice of non-motorized transport (fig. 3), which is more expected, al-*



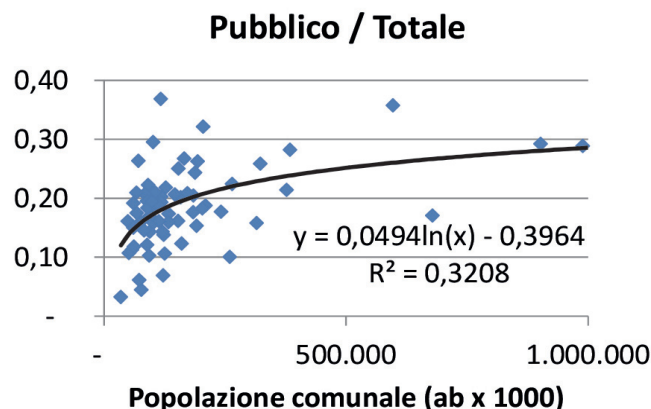


Fig. 1 - Utilizzo del trasporto pubblico in funzione della dimensione insediativa della città.

Fig. 1 - Number of city inhabitants and use of public transport.

Correlazione decisamente attesa, sebbene bassa, è quella di tipo inversamente proporzionale rinvenuta tra altitudine del comune capoluogo e scelta del trasporto non motorizzato (fig. 3) a riprova della sensibilità di questa alternativa modale ai dislivelli. Prevedibile la relazione sufficientemente forte emersa fra reddito medio e indice di motorizzazione ( $R^2 = 0,46$  – fig. 4) che conferma la necessità di redditi più elevati per sostenere gli alti costi fissi derivanti dalla proprietà di più auto in famiglia.

La disponibilità del veicolo dimostra condizionare sensibilmente la ripartizione modale sebbene in maniera diversa da come ci si potrebbe attendere. Infatti, al crescere dell'indice di motorizzazione e cioè della disponibilità del mezzo privato, il suo utilizzo per gli spostamenti urbani, anziché aumentare, decresce a favore prevalentemente della pedonalità e della bicicletta e in misura minore a favore del trasporto pubblico (fig. 5). Ciò trova una probabile motivazione in evidenti problemi di congestione che la stessa presenza delle auto provoca ma non è da sottovalutare l'influenza di un fattore indiretto da ricercarsi nella dimensione della città (proporzionalmente alla quale crescono il reddito e l'indice di motorizzazione) e di

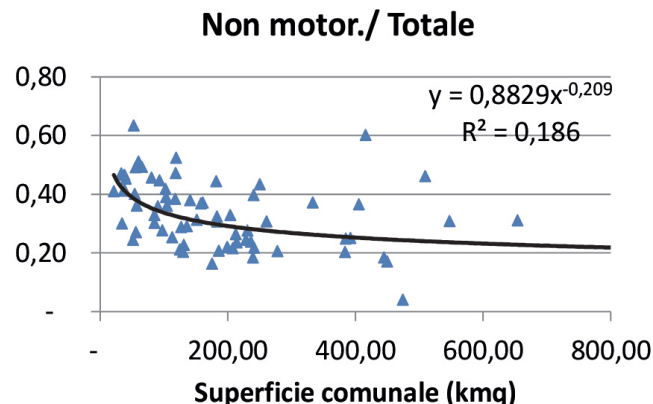


Fig. 2 - Mobilità non motorizzata in funzione della estensione del comune.

Fig. 2 - Municipal surface and non-motorized mobility.

though low, proves the sensitivity of this transport mode to the difference of height. The strong enough relationship emerged between average income and motorization index ( $R^2 = 0.46$  – fig. 4) which is predictable and confirms that you need more higher income to support the high fixed cost resulting from the ownership of more cars in the family.

The availability of a vehicle significantly affects the modal split although differently from the way in which one might expect. In fact, with the growth of the motorization rate and that the availability of private vehicles, their use for urban trips, decreases (rather than increases) mainly in favour of walkability and bicycles and to a lesser extent in favour of public transport (fig. 5). This has a likely motivate on in obvious congestion problems that is caused by the presence of a car (which is more sensitive in the larger cities), but we must not underestimate the influence of an indirect factor to be found in the size of the city (in proportion to which income and motorization rate grow) and consequently the greater length of trips increases the cost of travel by car.

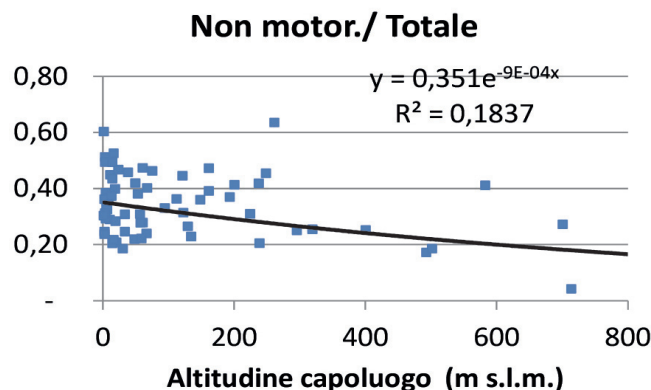


Fig. 3 - Mobilità non motorizzata in funzione della dimensione insediativa del capoluogo.

Fig. 3 - Capital altitude and non-motorized mobility.

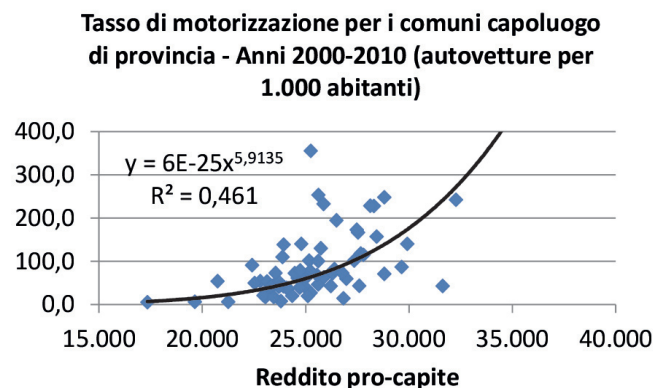


Fig. 4 - Indice di motorizzazione in funzione del reddito pro-capite.

Fig. 4 - Per capita income and motorization rate.

conseguenza nella maggiore lunghezza degli spostamenti che rende “più pesante” il costo del viaggio in auto.

Più sfumate (quindi con  $R^2$  più bassi) si presentano le relazioni fra reddito pro-capite e ripartizione modale (fig. 6). Anche in queste l'andamento rilevato è inatteso: l'aumento del reddito spinge a scegliere le modalità dolci ed il mezzo pubblico anziché l'automobile, più costosa, pur essendo l'indice di motorizzazione crescente con lo stesso reddito. La motivazione è da ricercarsi, oltre che in una consapevolezza ambientale “più matura” attribuibile presumibilmente all'utente a reddito più alto (nell'ipotesi che il valore più alto sia conseguenza di un livello culturale più elevato), prevalentemente in un effetto indiretto della congestione e della migliore offerta di trasporto pubblico di solito presenti nelle città di maggiori dimensioni dove si registrano i redditi più elevati.

### 3.3. Dispersione urbana, mobilità e trasporto pubblico

Maggiore attenzione è stata posta nella ricerca ed interpretazione di relazioni statistiche fra alcuni parametri della mobilità e del trasporto pubblico, da un lato, e gli indici di diffusione, frammentazione e dispersione urbana, dall'altro. Ciò al fine di indagare gli effetti della forma della città sulle scelte di trasporto dei suoi abitanti. A tal proposito è opportuno sottolineare che alcuni degli indici insediativi scelti non presentano sostanziali correlazioni con i parametri utilizzati per descrivere la mobilità. In particolare nessuna correlazione accettabile è stata trovata fra l'indice di motorizzazione, la domanda di trasporto pubblico (valori medi negli anni 2000-2010), misurata in termini assoluti (passeggeri/anno) e relativi (passeggeri/anno/abitante), l'offerta di trasporto pubblico nella città (milioni di posti.km), la ripartizione modale, da un lato, e il Dynamic Sprawl Index (DSI) dall'altro che pertanto sembra non avere nessuna influenza sul fenomeno mobilità, come pure il Residual Mean Patch Size (RMPS) e il Low Density Areas (LDA). La causa di ciò è presumibilmente ricercabile, più che in una ridotta significatività degli indicatori, nelle difficoltà di calcolo che è stato effettuato in modo elettronico su basi cartografiche dagli autori della

*Relationships (fig. 6) between income per capita and modal split are more nuanced (thus with lower  $R^2$ ). Even in these relationships, detected trends are unexpected: the increase in income leads to the choice of non-motorized and public transport instead of cars, which is more expensive, while the motorization rate grows with the same income. The motivation is to be found, as well as in “more mature” environmental awareness, which is presumably attributable to users with the highest income (assuming that the highest income is the consequence of a higher cultural level), mostly in an indirect effect of congestion and in a better public transport supply as is usually found in larger cities where there are higher incomes.*

### 3.3. Urban Sprawl, mobility and public transport

More attention has been paid to the research and interpretation of the statistical relationships between certain parameters of mobility and public transport, on the one hand, and the diffusion, fragmentation and urban sprawl indexes, on the other. This approach is designed to investigate the effects of the shape of the city on the transportation choices of its residents. In this regard it should be noted that some of the chosen settlement indexes have no substantial correlation with the parameters that are used to describe the mobility. In particular no acceptable correlation was found between the motorization rate, the demand for public transport (average values in the years from 2000 to 2010), measured in absolute terms (passengers / year) and in relative terms (passengers / year / inhabitant), the supply of public transport in the city (million seats.km), the modal split, on the one hand, and the Dynamic Sprawl Index (DSI) on the other hand. This last aspect thus seems to have no influence on mobility as well as on the residual mean patch size (RMPS) and the Low Density Areas (LDA). The cause of this is probably more than in a lack of significance of the indexes, the difficulties in the calculation that was electronically made, based on maps, by the authors of the source from which the values were taken. In fact, the automatic techniques of settlement detection, using GIS, carries in itself a

**Influenza dell'indice di motorizzazione sulla ripartizione modale**

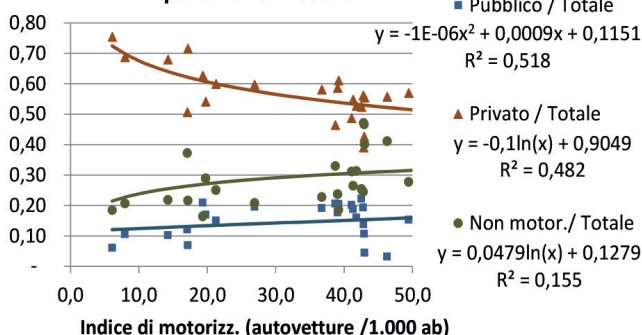


Fig. 5 - Ripartizione modale e indice di motorizzazione.  
Fig. 5 - Motorization rate and modal split.

**Influenza del reddito sulla ripartizione modale**

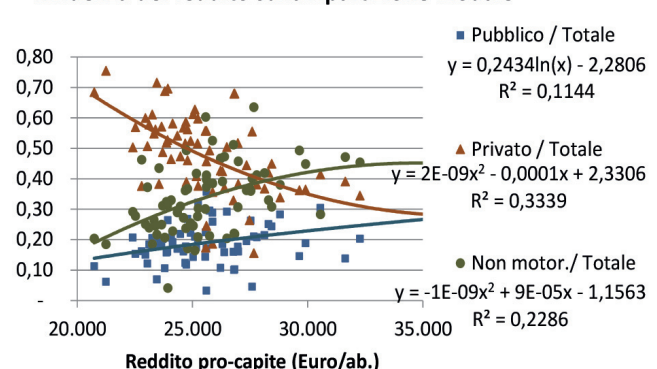


Fig. 6 - Ripartizione modale e reddito pro-capite.  
Fig. 6 - Per-capita income and modal split.

fonte dalla quale i valori sono stati tratti. Infatti la rilevazione automatica tramite tecniche GIS degli insediamenti di ogni punto del territorio porta in sé una certa approssimazione, evidentemente migliorabile con sistemi GIS finalizzati, che tuttavia non inficia la validità della metodologia qui esposta e dei risultati complessivi ottenuti, soltanto in qualche caso indeterminati o poco convincenti.

I valori di  $R^2$  più alti, secondo i criteri esposti nel paragrafo 3.1, (anche superiori a 0,3) si riscontrano nelle correlazioni fra gli indici di domanda e di offerta di trasporto collettivo e gli indicatori Edge Density (ED) (figg. 7 e 8) e Urban Sprawl (US) (figg. 9 e 10) mentre ancora accettabili, sebbene più deboli ( $R^2$  compreso fra 0,1 e 0,2), quelle con l'indicatore Largest Class Patch Index (LCPI) (figg. 11 e 12).

Dai diagrammi si evidenzia che ED e US incidono negativamente sia sulla domanda che sull'offerta di trasporto pubblico. Quanto emerso si può leggere così: l'aumentare del peso in termini di numero e di superficie delle aree esterne rispetto al nucleo urbano principale e quindi

certain approximation (obviously improvable with finalized GIS systems) which however does not affect the validity of the methodology set out here and the overall results obtained that are, only in some cases, indeterminate or unconvincing.

Higher values of  $R^2$ , according to the criteria outlined in the section 3.1, (even above 0.3) are found in the correlation between public transit demand and supply indexes and edge density (ED) (figs 7 and 8) and Urban Sprawl (US) indexes (figs 9 and 10), while still acceptable, and although weaker ( $R^2$  comprised between 0.1 and 0.2), the relationships with the Class Largest Patch Index (LCPI) indicator (figs 11 and 12).

From the diagrams we note that ED and US have a negative effect on both the demand and the supply of public transport. The findings can be read as follows: the increase of weight in terms of number and surface of the areas outside of the urban centre, and thus the reduction of the overall density of the built environment on the municipality, makes it more difficult to subsidize an effective network of public

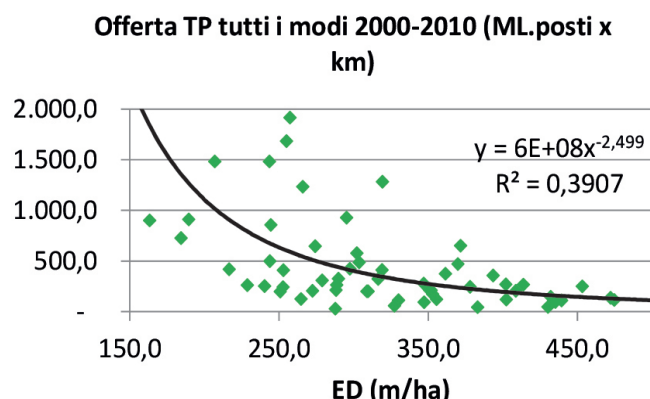


Fig. 7 - Offerta di trasporto pubblico urbano in relazione al Edge Density (ED).

Fig. 7 - Edge Density (ED) and urban public transport supply.

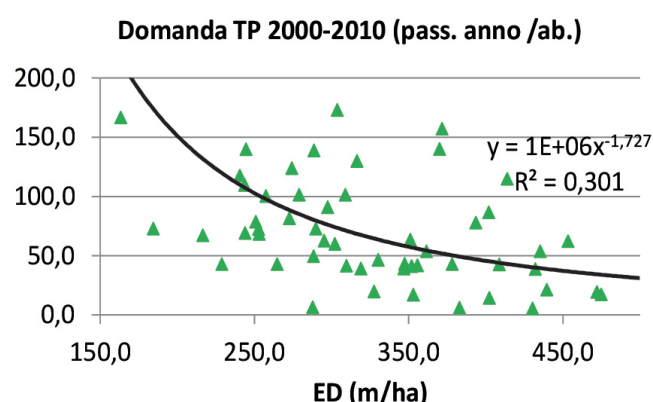


Fig. 8 - Domanda di trasporto pubblico urbano in relazione al Edge Density (ED).

Fig. 8 - Edge Density (ED) and urban public transport demand.

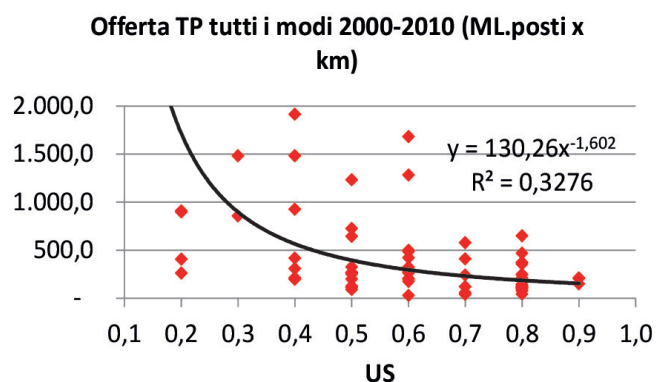


Fig. 9 - Offerta di trasporto pubblico in relazione al Urban Sprawl (US).

Fig. 9 - Urban Sprawl (US) and urban public transport supply.

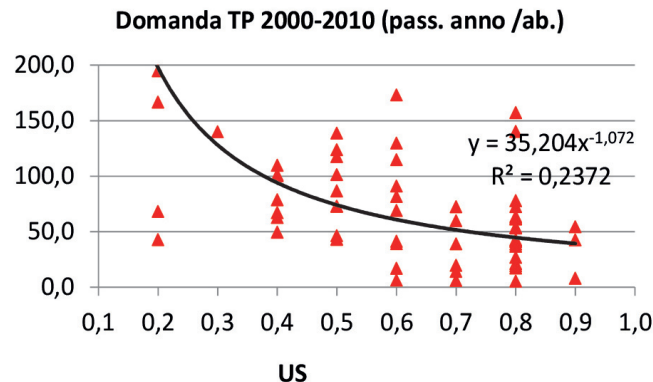


Fig. 10 - Domanda di trasporto pubblico in relazione al Urban Sprawl (US).

Fig. 10 - Urban Sprawl (US) and urban public transport demand.



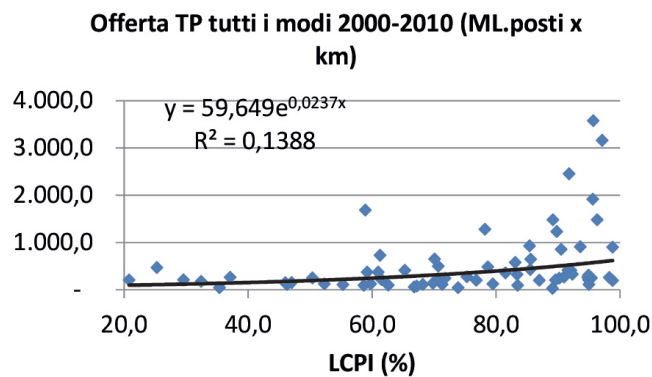


Fig. 11 - Offerta di trasporto pubblico in relazione al Largest Class Patch Index (LCPI).

Fig. 11 - Largest Class Patch Index (LCPI) and urban public transport supply.

la riduzione della densità complessiva del costruito sull'area comunale rende più difficile sostenere economicamente una rete di trasporto pubblico efficace, per via delle maggiori percorrenze necessarie a parità di frequenze. Ciò costringe a ridurre l'estensione dell'area servita e soprattutto il numero di corse giornaliere con conseguente minore possibilità di venire incontro alle esigenze di orario e di percorso dell'utenza che quindi propende per il trasporto privato. D'altra parte la maggiore incidenza delle aree esterne e/o ad urbanizzazione diffusa notoriamente rende più lunghi e meno agevoli gli spostamenti a piedi, componente essenziale della mobilità su mezzo pubblico, riducendo la distanza di rifiuto dalla fermata e quindi contraendo l'utenza. Ne consegue la riduzione dell'offerta. In altri termini si può dire che, a numero di abitanti invariato, se l'estensione della città cresce riducendosi la densità insediativa, il servizio di trasporto pubblico si trova costretto ad aumentare le percorrenze e quindi i costi, in presenza di una domanda invariata (gli abitanti sono gli stessi), con conseguente riduzione del rapporto ricavi/costi, cosa difficilmente sostenibile dai bilanci comunali. In alternativa, per mantenere questo rapporto costante, si è costretti a lasciare invariate le percorrenze che, in presenza di una maggiore estensione della città, obbliga, o a non servire alcune aree (di solito quelle più periferiche), oppure ad estendere la copertura del servizio anche a queste ultime ma ridurre le frequenze su tutte le linee. Entrambe queste soluzioni, che comportano una riduzione delle aree urbane coperte oppure delle frequenze delle corse (sebbene consentano di mantenere invariate le percorrenze), si traducono in una perdita di quell'utenza che, o non è più raggiunta dal trasporto pubblico perché trasferitasi in aree periferiche non servite, o non trova più, in una offerta a frequenza ridotta, la risposta, in termini di orario, alle proprie esigenze di mobilità. La riduzione di domanda costringe poi a ridurre l'offerta del servizio per evidenti esigenze di bilancio.

Gli stessi indicatori ED, US e LCPI sono stati messi in relazione all'indice di motorizzazione ottenendo coefficienti di correlazione dello stesso ordine di grandezza di quelli

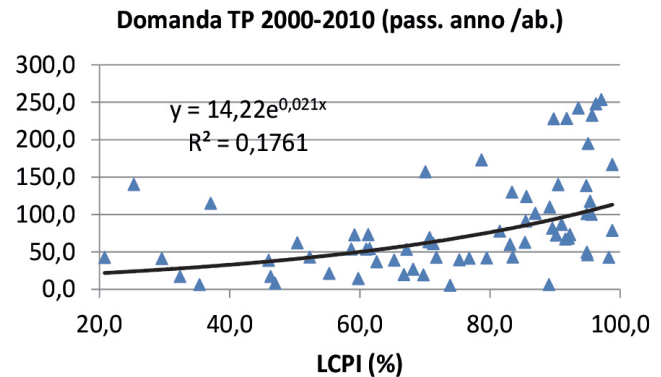


Fig. 12 - Domanda di trasporto pubblico in relazione al Largest Class Patch Index (LCPI).

Fig. 12 - Largest Class Patch Index (LCPI) and urban public transport demand.

transport because of the greater mileage that is required for equal frequencies. This entails the reduction of the size of the served area and especially the number of rides per day, so that the transport service has less ability to meet the time and location needs of the user and accordingly the latter favours private transport. On the other hand, the higher incidence of the external and / or urban sprawl areas makes it notoriously long and less easy to walk (that is an essential part of trips by public transport) thus reducing the rejected distance from the bus stop and then reducing the users and, consequently, the reduction in supply. In other words we can say that, in the same number of inhabitants, if the extension of the city grows reducing the settlement density, the transit service is forced to raise the mileage and therefore costs, albeit in the presence of an unchanged demand (the people are the same). This results in a reduction of the revenues / costs ratio, that is difficult to support in municipal budgets. Alternatively, in order to maintain constant this rate, one is constraint to leave unchanged the mileage which, in the presence of a greater extension of the city, forces, or not to serve some areas (usually those more peripheral), or to extend the service coverage also in the latter but to reduce the frequencies of all the lines. Both of these solutions, which entail a reduction in covered urban areas or in the racing frequencies (although permitting it to maintain unchanged the mileage), resulting in a loss of that users who, or are no longer reached by the public transport, or find the reduced frequency supply no longer satisfying their mobility needs in terms of time. Then the lowering of transport demand entails a reduction of the service supply, for obvious budgetary reasons.

The same indicators ED, US and LCPI have been related to the motorization rate and obtain correlation coefficients of the same order of magnitude as those that are observed in the relationship between the demand and supply of transport (figs 13, 14 and 15). Of course the interpolating curves are less than linear, and so they denote an increase in the motorization rate that is gradually less sensitive to the growth of the values of the indicators of dispersion. Notwithstanding the very strong relationship between the motorization

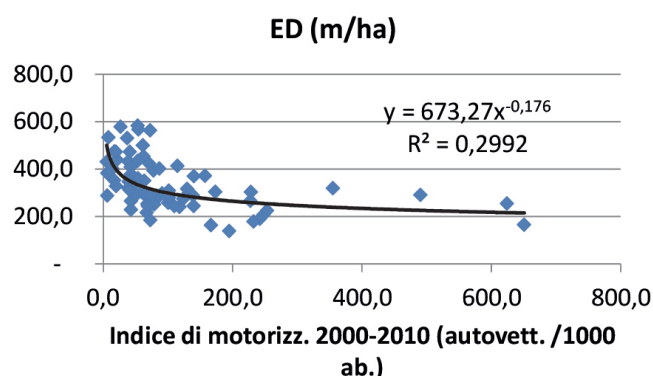


Fig. 13 - Edge Density (ED) ed indice di motorizzazione.  
Fig. 13 - Motorization rate and Edge Density (ED).

rilevati nelle relazioni con la domanda e l'offerta di trasporto collettivo (figg. 13, 14 e 15). Naturalmente le curve interpolanti sono meno che lineari denotando incrementi del tasso di motorizzazione via via meno sensibili al crescere dei valori degli indicatori di dispersione. Nonostante sia presumibile che l'abitare in aree a scarsa urbanizzazione e quindi, per quanto detto sopra, poco servite dal trasporto pubblico rappresenti un incentivo all'acquisto dell'automobile, tuttavia i diagrammi delle figg. 13, 14 e 15 sembrano dimostrare il contrario. È evidente, pertanto, che il forte legame fra reddito ed indice di motorizzazione, di cui si è già parlato, condiziona la disponibilità di autovetture molto più di quanto non faccia il tipo di urbanizzazione che peraltro si è dimostrata non essere slegata dal reddito.

La regressione fra i diversi indicatori della dispersione territoriale e quelli rappresentativi della ripartizione modale conferma la non rilevanza sulla mobilità dei parametri LDA (Low Density Area) e DSI (Dynamic Sprawl Index). Invece i parametri RMPS (Residual Mean Patch Size), ED (Edge Density) e US (Urban Sprawl) presentano un legame con la scelta del mezzo negli spostamenti interni al comune ( $R^2$  è intorno a 0,3), più sfumata per quanto attiene al mezzo pubblico e/o alla pedonalità ( $R^2$  più bassi). Si vedano in proposito i diagrammi delle figg. 16, 17, 18 e 19.

Quanto emerso evidenzia una influenza dei fenomeni di diffusione, frammentazione e dispersione urbana più marcata sull'uso dell'auto privata piuttosto che sul trasporto pubblico o sulla pedonalità. La scelta di questi ultimi due modi di trasporto è più influenzata rispettivamente dalla efficacia del servizio e dalle distanze e dislivelli da superare. In sintesi si può affermare che, negli spostamenti cittadini, il numero aggiuntivo di utenti del mezzo privato conseguenti alla maggiore incidenza dei fenomeni di sprawl urbano provengono dal trasporto pubblico e dalla pedonalità in proporzioni da caso a caso dipendenti dalle caratteristiche specifiche di ciascuna delle due alternative abbandonate.

### 3.4. Una possibile modellizzazione del fenomeno

Con riferimento al campione dei capoluoghi di provincia considerati e agli spostamenti sistematici in ambito ur-

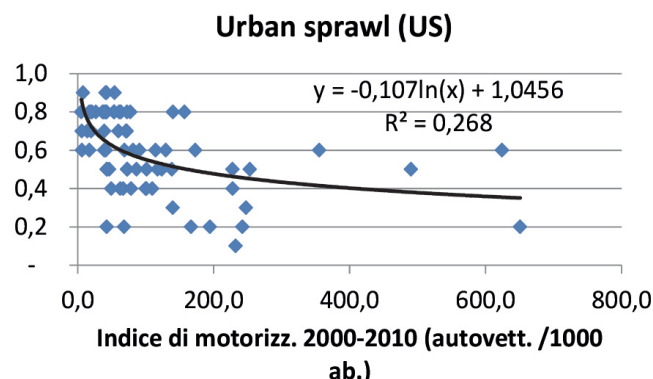


Fig. 14 - Urban Sprawl (US) ed indice di motorizzazione.  
Fig. 14 - Motorization rate and Urban Sprawl (US).

rate and the income that is discussed above, it is likely that living in Urban Sprawl areas and therefore, as mentioned, under-served by public transport, represents an incentive to purchase a car however diagrams in figs 13, 14 and 15 seems to prove otherwise. It's clear, therefore, that the strong relationship between income and motorization index, of which it was already spoken, observation car availability much more than it does the type of urbanization, which incidentally proved to be not separated from the income.

The regression between the different indicators of territorial dispersion and those of the modal split confirms the irrelevance of the mobility of the parameters LDA (Low Density Area) and DSI (Dynamic Sprawl Index). Instead parameters RMPS (Residual Mean Patch Size), ED (Edge Density) and US (Urban Sprawl) have a relationship with the choice of means in municipal travel ( $R^2$  is approximately 0.3) and a more nuanced link with public transport and / or pedestrian traffic ( $R^2$  lower). These are described in the diagrams of figs 16, 17, 18 and 19.

The findings show a more pronounced influence of diffusion fragmentation and urban sprawl phenomena on the use of private transport rather than public transit or pedestrian traffic. The choice of these two last modes is influenced, respectively, by the effectiveness of the service and

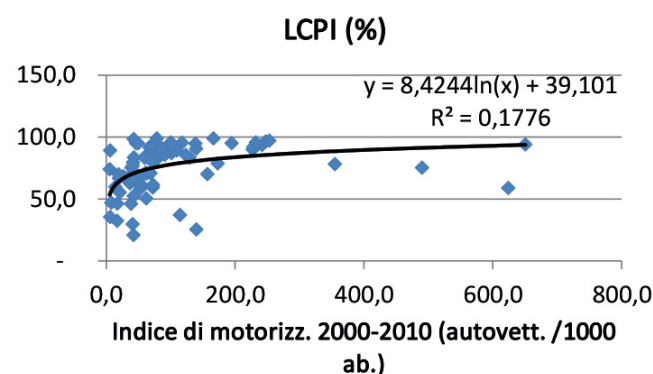


Fig. 15 - Largest Class Patch Index (LCPI) e indice di motorizzazione.

Fig. 15 - Motorization rate and Largest Class Patch Index (LCPI).

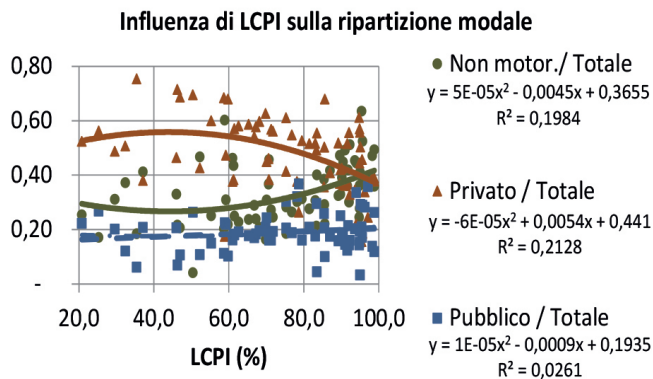


Fig. 16 - Ripartizione modale e Largest Class Patch Index (LCPI).

Fig. 16 - Largest Class Patch Index (LCPI) and modal split.

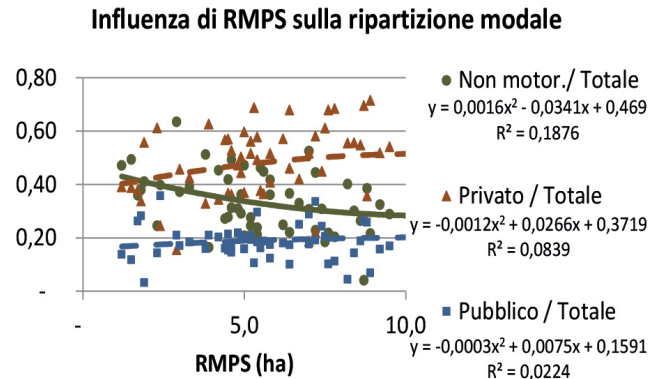


Fig. 17 - Ripartizione modale e Residual Mean Patch Size (RMPS).

Fig. 17 - Residual Mean Patch Size (RMPS) and modal split.

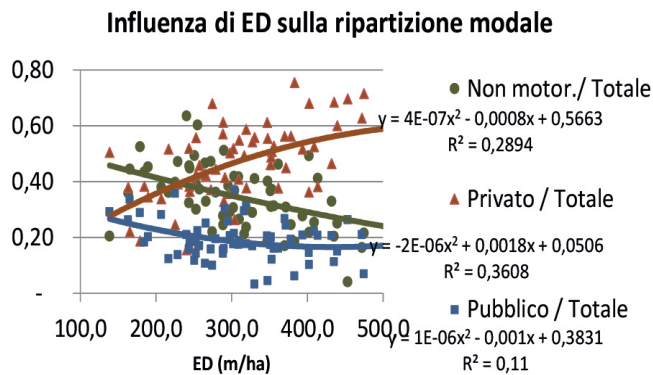


Fig. 18 - Ripartizione modale e Edge Density (ED).

Fig. 18 - Edge Density (ED) and modal split.

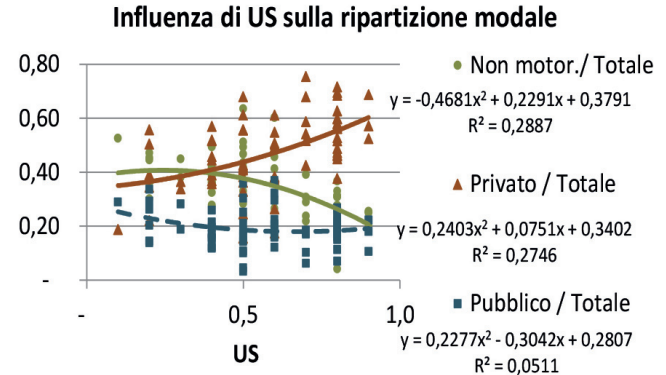


Fig. 19 - Ripartizione modale e Urban Sprawl (US).

Fig. 19 - Urban Sprawl (US) and modal split.

bano, si è cercata la formulazione di modelli statistici aventi come variabile dipendente la l'aliquota di scelta di un mezzo di trasporto sul totale degli spostamenti e come variabili indipendenti quelle caratteristiche insediative e socio economiche che, dalle regressioni a due variabili, hanno dimostrato avere effetti più marcati sulla ripartizione modale. Si sono perciò tentate molteplici regressioni multiple non lineari fra la percentuale di utilizzo del mezzo pubblico, del mezzo privato e del trasporto non motorizzato da un lato e le variabili che hanno mostrato una migliore correlazione con la ripartizione modale dall'altro, e cioè i parametri di dispersione ED, US e LCPI, la popolazione, la superficie comunale, l'altitudine e l'indice di motorizzazione. Nella scelta della formulazione dei modelli fra le tante emerse dalle regressioni effettuate, si è data priorità a quelle che presentano un più elevato coefficiente di determinazione e allo stesso tempo una maggiore semplicità rappresentata da un minor numero di variabili e/o da una variazione lineare di queste ultime, anche a costo di accettare un  $R^2$  talvolta leggermente inferiore. Peraltro si sono abbandonate le espressioni contenenti le variabili US e LCPI in quanto hanno fornito coefficienti di determinazione non maggiori di quelle comprendenti il solo indicatore ED.

distances and height differences to overcome. In summary we can say that, in urban mobility, the number of additional users of private vehicles that follow the higher incidence of the urban sprawl phenomena comes from public transport and walkability in proportions that depend case to case on the specific characteristics of each of the two remaining alternatives.

### 3.4. A possible phenomenon model

With reference to the sample of the provincial capitals and the urban commuting trips, we searched statistical model formulations with, as a dependent variable, the modal split rate (on the total commuting trips) of transport means and, as independent variables, those settlement and socio-economic features that have proved, by the two-variable regression, to more significantly affect the modal split. We therefore tried several multiple nonlinear regressions between the use percentage of public, private and non-motorized transport, on the one hand, and the variables that showed a better correlation with the modal split, on the other hand, including the dispersion parameters ED US and LCPI; the population; the municipal area; the altitude; and



Di seguito sono riportati i modelli selezionati.

Simbologia:

$\frac{Pub.}{Tot}$  = aliquota, sul totale, degli spostamenti su mezzo pubblico (con riferimento ai soli spostamenti sistematici per lavoro e studio effettuati dai residenti all'interno dello stesso comune)

$\frac{Priv.}{Tot}$  = aliquota, sul totale, degli spostamenti su mezzo privato (con riferimento alla stessa tipologia di spostamenti sopra citati)

$\frac{Non.Mot.}{Tot}$  = aliquota, sul totale, degli spostamenti non motorizzati (con riferimento alla stessa tipologia di spostamenti sopra citati)

Sup = superficie del comune in [km<sup>2</sup>]

Alt = altitudine del centro principale del comune in [m] s.l.m.

Im = indice di motorizzazione in [autovetture/ 1.000 abitanti]

ED = Densità del costruito - indicatore di dispersione definito (si veda la tabella 3), come rapporto fra il perimetro [m] e l'area [ha] del costruito.

$$\frac{Pub.}{Tot} = 1,042 \cdot 10^{-3} \cdot Im - 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot Im^2 - 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot ED + 3,51 \cdot 10^{-7} \cdot ED^2 \quad (1)$$

$$\frac{Priv.}{Tot} = -5,5 \cdot 10^{-5} \cdot Im - 0,06901 \cdot \ln(Im) + 7,45 \cdot 10^{-4} \cdot ED - 5,1 \cdot 10^{-7} \cdot ED^2 \quad (2)$$

$$\frac{Non.Mot.}{Tot} = A + B + C + D \quad (3)$$

$$\text{dove: } A = 7,46 \cdot 10^{-5} \cdot Sup + 0,894529 \cdot Sup^{-0,209}$$

$$B = 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot Alt - 1,0517 \cdot e^{-Alt}$$

$$C = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot Im + 5,54 \cdot 10^{-7} \cdot Im^2$$

$$D = -3,4 \cdot 10^{-4} \cdot ED + 5,61 \cdot 10^{-8} \cdot ED^2$$

Detti modelli presentano una buona affidabilità data la dimensione sufficientemente estesa del campione dal quale sono stati tratti. Tuttavia è da considerare che poiché non comprendendo variabili rappresentative di tutti gli altri fenomeni che condizionano la scelta modale e che normalmente servono a definire il costo generalizzato associato alla scelta del mezzo, sono utilizzabili solo in situazioni in cui dette variabili raggiungono i valori mediamente riscontrabili nel campione. Inoltre l'uso dei modelli è limitato ai centri urbani capoluogo di provincia o a questi assimilabili per il ruolo territoriale ricoperto.

L'analisi di regressione sulle variabili contenute nei modelli (1), (2) e (3) proposti è riportata nelle due pagine seguenti.

Come già detto, per costruire i modelli qui proposti solo a titolo esemplificativo, si sono effettuate numerose regressioni, ciascuna con combinazioni diverse delle variabili (prese anche con esponente diverso da 1). Dette variabili sono state scelte tenendo conto della capacità di influire, anche indirettamente, sulla scelta del mezzo di trasporto che è emersa dai risultati delle regressioni semplici riportate in tabella 5 e dagli studi richiamati in bibliografia. Delle tante regressioni se ne è selezionata una per ciascun indicatore di ripartizione modale (mezzo pubblico/totale, mezzo privato/totale, spostamenti non motorizzati

the motorization rate. In the choice of the formulations of the models among the many emerged from the regressions, priority was given to those with a higher coefficient of determination and at the same time greater simplicity represented by a smaller number of variables and/or by a linear variation of the latter, even if it means accepting a R<sup>2</sup> that is sometimes slightly lower. Afterwards, we have discarded expressions that contain the variables US and LCPI as they provided coefficients of determination that are not greater than those that only comprise the indicator ED.

The selected models follow.

Symbols:

$\frac{Pub.}{Tot}$  = rate, on the total, of the trips by public transport (with reference only to commuter trips to work and the study of the citizens inside their own municipal area)

$\frac{Priv.}{Tot}$  = rate, on the total, of the trips by private motorized means (with reference to the same type of trips cited above)

$\frac{Non.Mot.}{Tot}$  = rate, on the total, of non-motorized trips (with reference to the same type of trips cited above)

Sup = surface of the municipal area [km<sup>2</sup>]

Alt = altitude, above sea level, of the municipal main centre, [m]

Im = motorization rate [cars/ 1000 inhabitants]

ED = Edge density – dispersion index, defined above as the rate between the perimeter [m] and the surface [ha] of the built area (see the table 3).

$$\frac{Pub.}{Tot} = 1,042 \cdot 10^{-3} \cdot Im - 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot Im^2 - 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot ED + 3,51 \cdot 10^{-7} \cdot ED^2 \quad (1)$$

$$\frac{Priv.}{Tot} = -5,5 \cdot 10^{-5} \cdot Im - 0,06901 \cdot \ln(Im) + 7,45 \cdot 10^{-4} \cdot ED - 5,1 \cdot 10^{-7} \cdot ED^2 \quad (2)$$

$$\frac{Non.Mot.}{Tot} = A + B + C + D \quad (3)$$

$$\text{Where: } A = 7,46 \cdot 10^{-5} \cdot Sup + 0,894529 \cdot Sup^{-0,209}$$

$$B = 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot Alt - 1,0517 \cdot e^{-Alt}$$

$$C = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot Im + 5,54 \cdot 10^{-7} \cdot Im^2$$

$$D = -3,4 \cdot 10^{-4} \cdot ED + 5,61 \cdot 10^{-8} \cdot ED^2$$

These models have good reliability given the sufficiently large size of the sample from which they were taken. However, it should be noted that because they do not comprise the representative variables of all of the other phenomena that affect the modal split, among which those phenomena that act on the generalized cost that is associated with the choice of the means, are usable only in situations where the not-comprised variables reach the average values that are found in the sample. In addition, the use of the models is limited to provincial capital urban centres or other comparable for the territorial covered role.

The regression analysis on the variables that are included in the proposed models (1), (2) and (3) returned the results reported in the two following pages.

Statistics of regression	
Multiple R	0,738971
Square R	0,546078
Correct square R	0,517708
Standard error	0,048553
Observations	69

## VARIANCE ANALYSIS

	dof	SQ	MQ	F	Significance F
Regression	4	0,181501	0,045375	19,24834	1,95E-10
Residue	64	0,150871	0,002357		
Total	68	0,332371			

		Factors	Standard error	Stat t	Significance value	< 95%	> 95%	< 95%	> 95%
Intecepts		0,112105	0,065322	1,71618	0,090966	-0,01839	0,242601	-0,01839	0,242601
Variable 1	<b>Im</b>	0,001042	0,000157	6,621942	8,53E-09	0,000727	0,001356	0,000727	0,001356
Variable 2	<b>Im^2</b>	-1,2E-06	2,48E-07	-4,79953	9,92E-06	-1,7E-06	-7E-07	-1,7E-06	-7E-07
Variable 3	<b>ED</b>	-0,00014	0,000337	-0,42675	0,670997	-0,00082	0,00053	-0,00082	0,00053
Variable 4	<b>ED^2</b>	3,51E-07	4,43E-07	0,791807	0,431398	-5,3E-07	1,24E-06	-5,3E-07	1,24E-06

Modello 1 - Model 1

Statistics of regression	
Multiple R	0,738291
Square R	0,545073
Correct square R	0,51664
Standard error	0,092875
Observations	69

## VARIANCE ANALYSIS

	dof	SQ	MQ	F	Significance F
Regression	4	0,661443	0,165361	19,170506	2,09E-10
Residue	64	0,55205	0,008626		
Total	68	1,213493			

		Factors	Standard error	Stat t	Significance value	< 95%	> 95%	< 95%	> 95%
Intecepts		0,592524	0,1623	3,650781	0,0005279	0,268291	0,916756	0,268291	0,916756
Variable 1	<b>Im</b>	-5,5E-05	0,000164	-0,33605	0,7379335	-0,00038	0,000272	-0,00038	0,000272
Variable 2	<b>Ln(Im)</b>	-0,06901	0,023678	-2,91437	0,0049055	-0,11631	-0,0217	-0,11631	-0,0217
Variable 3	<b>ED</b>	0,000745	0,000646	1,152433	0,2534297	-0,00055	0,002036	-0,00055	0,002036
Variable 4	<b>ED^2</b>	-5,1E-07	8,47E-07	-0,59691	0,552671	-2,2E-06	1,19E-06	-2,2E-06	1,19E-06

Modello 2 - Model 2

Statistics of regression	
Multiple R	0,693364
Square R	0,480754
Correct square R	0,411521
Standard error	0,086677
Observations	69

VARIANCE ANALYSIS

	dof	SQ	MQ	F	Significance F
Regression	8	0,417358	0,05217	6,944021	1,95E-06
Residue	60	0,450774	0,007513		
Total	68	0,868132			

		Factors	Standard error	Stat t	Significance value	< 95%	> 95%	< 95%	> 95%
Intecepts		1,161326	0,861284	1,348366	0,182609	-0,5615	2,88415	-0,5615	2,88415
Variable 1	<b>Sup.</b>	7,46E-05	9,68E-05	0,771106	0,44367	-0,00012	0,000268	-0,00012	0,000268
Variable 2	<b>Sup.^-0,209</b>	0,894529	0,29338	3,049042	0,003413	0,307681	1,481377	0,307681	1,481377
Variable 3	<b>Alt</b>	-0,00086	0,000593	-1,45305	0,15142	-0,00205	0,000325	-0,00205	0,000325
Variable 4	<b>e^Alt.</b>	-1,0517	0,863081	-1,21854	0,22779	-2,77811	0,674723	-2,77811	0,674723
Variable 5	<b>Im</b>	-0,00014	0,000284	-0,47662	0,635361	-0,0007	0,000433	-0,0007	0,000433
Variable 6	<b>Im^2</b>	5,54E-07	4,47E-07	1,238897	0,220208	-3,4E-07	1,45E-06	-3,4E-07	1,45E-06
Variable 7	<b>ED</b>	-0,00034	0,000639	-0,52593	0,600878	-0,00161	0,000942	-0,00161	0,000942
Variable 8	<b>ED^2</b>	5,61E-08	8,3E-07	0,06764	0,946297	-1,6E-06	1,72E-06	-1,6E-06	1,72E-06

Modello 3 - Model 3

zati / totale) sulla base della migliore correlazione fra variabili indipendenti e variabile dipendente e del minimo numero di variabili indipendenti considerate.

Si rileva innanzitutto che i tre modelli così ricavati per rappresentare la scelta, rispettivamente del mezzo pubblico (modello 1), del mezzo privato (modello 2) e della mobilità non motorizzata (modello 3), presentano un diverso numero di variabili. In particolare, per descrivere il fenomeno della scelta dei primi due tipi di mezzo di trasporto sono sufficienti due sole variabili (sebbene ciascuna presa con due potenze diverse), e cioè una di tipo socio-economico (l'indice di motorizzazione) e l'altra rappresentativa della dispersione del territorio insediato. Il modello di scelta del trasporto non motorizzato, per raggiungere un coefficiente di correlazione accettabile, deve invece contenere anche le variabili superficie del comune e altitudine (pure queste prese con potenze anche diverse da 1). Ciò conferma, quanto noto per altri versi, che questo tipo di scelta risente in modo sensibile dei dislivelli e delle distanze da superare e pertanto è fortemente penalizzata sia nelle città collinari, sia in città caratterizzate da una marcata dispersione insediativa o sprawl a cui consegue, come emerso dalla letteratura, un aumento della lunghezza degli spostamenti, fatti salvi i fenomeni di riavvicinamento di residenze e servizi ai luoghi di lavoro in grado di attenuare le conseguenze dello sprawl soltanto nel lungo periodo.

As already said, to build the models, here proposed only by way of example, we made many regressions, each with different combinations of variables (also with exponent different from 1). The variables were chosen taking into account the capacity to influence, even indirectly, the choice of transport means emerging from the results of simple regressions reported in table 5 and from studies mentioned in the bibliography. Among the many regressions, we selected one for each of the modal split indicator (public transport / total, private transport/ total, non-motorized trips / total) based on the best correlation between independent variables and the dependent variable and the minimum number of independent variables considered.

It notes first that the three models thus obtained to represent the choice, respectively, of public transport (model 1), the private vehicle (model 2) and non-motorized mobility (model 3), present a different number of variables. In particular, to describe the phenomenon of the choice of the first two types of transport means only two variables are sufficient (although each set with two different exponents), namely a socio-economic one (the motorization index) and the other representative of the settled territory dispersion. The model of choice of non-motorized transport, to reach an acceptable correlation coefficient, must instead contain also the municipality surface and altitude variables (as well



Si nota ancora che i risultati del test “t” di Student sulla significatività delle variabili scelte non fornisce risultati incoraggianti. Ciò tuttavia è difficilmente imputabile ad una mancata sensibilità della scelta del mezzo di trasporto allo sprawl, atteso che tale sensibilità è stata verificata dalla letteratura scientifica oltre che essere intuitiva, ma trova probabile motivazione in due fattori diversi. Il primo consiste nella difficoltà di rappresentare aspetti territoriali complessi e articolati quali le caratteristiche insediative di una città attraverso alcuni semplici parametri numerici che per loro natura colgono solo uno dei molteplici aspetti che caratterizzano la distribuzione delle residenze e delle attività nell’ambito urbano, e da cui dipendono certamente la lunghezza ed i tempi degli spostamenti interni e la scelta del mezzo di trasporto. Ne consegue la necessità che la ricerca metta a punto batterie di indicatori che siano in grado di definire in modo univoco le specifiche caratteristiche insediative del territorio con particolare riferimento a quelle che maggiormente incidono sulla mobilità. Il secondo fattore attiene al metodo di calcolo degli indicatori insediativi utilizzati: la fonte da cui tali valori sono stati tratti specifica che il calcolo, di tipo automatico, è basato su tecniche GIS in grado di riconoscere automaticamente il livello e la tipologia insediativa per ogni punto del territorio esaminato. E’ presumibile pertanto che dette tecniche necessitino di essere affinate per risultare affidabili in applicazioni specifiche di calcolo di determinati indicatori di dispersione.

#### 4. Valutazione di alcuni scenari

Si è voluto infine calcolare quali potrebbero essere le conseguenze, sulla ripartizione modale della mobilità, di una diversa entità dei fenomeni di diffusione, frammentazione e dispersione urbana nei capoluoghi esaminati, rappresentata di volta in volta dagli indicatori che hanno dimostrato una correlazione più forte con i fenomeni della mobilità e cioè ED (Edge Density) ed US (Urban Sprawl). Si sono costruiti quindi due scenari ipotetici, uno che contempla la riduzione del 50% dell’indice ED e l’altro la stessa percentuale di riduzione di US. Il primo, atteso il significato dell’indice ED (rapporto fra perimetro ed area del costruito), implica una maggiore densità complessiva della città a cui conseguono in linea di principio spostamenti più brevi. Il secondo comporta una edificazione in cui le aree individuate a bassa densità presentano una incidenza minore, rispetto alla situazione attuale rilevata, sull’insieme di tutte le aree edificate sul territorio comunale, con conseguenze sulla mobilità simili all’altro scenario. La finalità è quella di stimare in ciascuno scenario la variazione attesa, rispetto alla situazione attuale, del numero di spostamenti effettuati con il mezzo privato e con il trasporto pubblico e le conseguenze in termini di riduzioni delle emissioni di CO<sub>2</sub> e di maggiori introiti tariffari per il servizio di trasporto pubblico.

La stima della ripartizione modale è stata ricavata applicando le migliori funzioni interpolanti che emergono

*these taken with exponent also different from 1). This confirms, as known in other respects, that this kind of choice is affected significantly of height differences and the distances to be overcome and therefore is strongly penalized both in the hilly city, both in cities characterized by a marked settled dispersion or sprawl. In fact, these features, as it emerged from the literature, result in an increased length of trips, without prejudice to the phenomena of rapprochement of residences and services to workplaces that can mitigate the consequences of sprawl only in the long run.*

*We note again that the results of the Student “t” test on the significance of the chosen variables does not provide encouraging results. However, this is hardly to attribute to a lack of sensitivity, to the sprawl, of the transport means choice, since that sensitivity has been verified by scientific literature as well as being intuitive, but it is likely caused by two different factors. The first is the difficulty of representing complex and articulated territorial aspects, such as settlement characteristics of a city, through some simple numerical parameters which, by their nature, capture only one of many aspects that characterize the distribution of residences and activities in urban area, and which certainly affect the length and timing of the urban trips and the choice of transport means. It follows the need that the research should develop batteries of indicators that are able to uniquely define the settlement characteristics of the territory, with particular reference to those that have the greatest impact on mobility. The second factor relates to the calculation method of settlement indicators used: the source from which those values are derived specifies that the calculation, of automatic type, is based on GIS techniques that can automatically recognize the level and type of settlement for each point the examined territory. It is therefore presumed that such techniques require to be refined to be reliable in some applications of calculating specific dispersion indexes.*

#### 4. Evaluation of certain scenarios

*Finally we wondered what the consequences might be on the modal split of mobility, of a different amount of diffusion, fragmentation and urban sprawl phenomena in the considered capitals, represented by the indexes that showed a stronger correlation with the mobility, that is ED (Edge Density) and US (Urban Sprawl). So we built two scenarios, one that contemplates a 50% reduction of the ED and the other the same percentage reduction of US. The first because the meaning of the index ED (ratio between the perimeter and area of the built) implies a greater overall density of the city that in principle has, as a result, shorter trips. The second involves a building in which, compared to the detected current situation, the identified areas of low density have a lower incidence on the set of all of the built-up areas throughout the municipality, with consequences on mobility that are similar to another scenario. The purpose is to estimate the expected change in each scenario compared to the*

dalle regressioni ad una sola variabile indipendente, fra ciascuna delle due variabili territoriali ED e US e la quota di spostamenti che avvengono rispettivamente con mezzo proprio e con mezzo pubblico. Tuttavia, nello scenario che comporta la riduzione del 50% di ED si è preferito usare funzioni logaritmiche (anziché polinomiali), che, sebbene manifestino un  $R^2$  leggermente più basso rispetto ad altre formulazioni, rispondono meglio all'interno dell'intervallo di variazione dei valori rilevati per lo stesso indicatore<sup>(3)</sup>. Per la stima si è preferito utilizzare modelli ad una sola variabile, anziché i modelli più complessi precedentemente presentati con le formulazioni (1), (2) e (3), perché, volendosi valutare l'effetto della sola variazione dello sprawl, l'utilizzo di questi ultimi modelli avrebbe comportato una inutile complicazione per la presenza di variabili aggiuntive il cui valore è stato considerato costante negli scenari analizzati.

Pertanto le relazioni utilizzate per la verifica degli scenari, scelte fra i risultati delle numerose regressioni effettuate, sono:

$$\frac{Pub.}{Tot} = -0,062 \cdot \ln(ED) + 0,5481 \quad (4)$$

$$\frac{Priv.}{Tot} = 0,2442 \cdot \ln(ED) - 0,9296 \quad (5)$$

$$\frac{Pub.}{Tot} = 0,2277 \cdot US^2 - 0,3042 \cdot US + 0,2807 \quad (6)$$

$$\frac{Priv.}{Tot} = 0,2403 \cdot US^2 + 0,0751 \cdot US + 0,3402 \quad (7)$$

In dettaglio si è ricavata la variazione della scelta modale come differenza fra la quota stimata con la funzione interpolante per lo scenario ipotizzato (caratterizzato da valori di ED ridotti del 50%) e quella stimata utilizzando la stessa funzione con riferimento allo scenario attuale caratterizzato dai valori misurati di ED. La variazione di aliquota modale ottenuta è stata moltiplicata per il numero di spostamenti giornalieri sistematici per lavoro e studio rilevati dall'Istat nell'ultimo Censimento, per ottenere il numero di spostamenti giornalieri dello stesso tipo in diminuzione o in aggiunta, rispettivamente per il mezzo privato e per quello pubblico. I dati assunti per le variabili esterne interessate sono raccolti nella tabella 6.

I risultati, sintetizzati nelle tabelle 7 e 8, raggiungono valori che, se pure complessivamente importanti per l'insieme dei capoluoghi esaminati, non appaiono tuttavia rilevanti se rapportati alla popolazione interessata. Ciò consente di affermare che gli effetti della dispersione urbana sulla mobilità non sembrano pesanti in termini economici, sebbene presentino riflessi importanti per la qualità della vita dei residenti e per l'ambiente cittadino. Infatti la variazione ipotizzata per ED (l'indicatore che produce gli effetti maggiori sulla ripartizione modale) dà luogo ad una diminuzione degli utenti del trasporto privato ed un aumento di quelli del trasporto pubblico negli spostamenti urbani che mediamente si attestano rispettivamente al -17% ed a +4% a cui conseguono un rispar-

current situation, in the number of trips by private vehicles and public transport, and the consequences in terms of reductions in CO<sub>2</sub> emissions and higher fare revenues for the public transport service.

To appraise the modal split in the two scenarios we used the best interpolating functions that emerged from the simple regressions, between each of the two territorial variables, ED and US, and the share of trips both by private and public means. However, in the scenario that entails the reduction of 50% of ED, we preferred to use logarithmic functions (rather than polynomial) that, although it obtains an  $R^2$  slightly lowest compared to the polynomial one, responds better within the interval of variation of the detected values for the same index<sup>(3)</sup>. To estimate that, we preferred to use models with a single variable, rather than the more complex ones presented previously with the formulations (1), (2) and (3), because, wanting to evaluate the effect only of sprawl variation, the use of these latter models would involve an unnecessary complication for the presence of additional variables whose value has been considered constant in the analyzed scenarios.

Therefore, the relationships that we used to verify the scenarios, set among the results of many regressions, are:

$$\frac{Pub.}{Tot} = -0,062 \cdot \ln(ED) + 0,5481 \quad (4)$$

$$\frac{Priv.}{Tot} = 0,2442 \cdot \ln(ED) - 0,9296 \quad (5)$$

$$\frac{Pub.}{Tot} = 0,2277 \cdot US^2 - 0,3042 \cdot US + 0,2807 \quad (6)$$

$$\frac{Priv.}{Tot} = 0,2403 \cdot US^2 + 0,0751 \cdot US + 0,3402 \quad (7)$$

In detail, we provided the variation of the modal choice as the difference between the share that is estimated by the interpolating the function for the assumed scenario, which is characterized by reduced values of ED and US at 50%, and the share that is estimated using the same function with reference to the current scenario characterized by the observed values of ED and US. The change that is obtained in a modal split was multiplied by the number of daily commuters trips to work and study that were reported by Istat (the Italian Institute of Statistics) in the last census, to obtain the number of daily trips of the same type in decline or in addition, respectively, for private and public transport. The data that are used for the involved external variables are summarized in table 6.

The results, which are summarized in tables 7 and 8, report values that, although they are of overall importance for the set of the examined cities, do not appear to be significant when they are compared to the involved population. This allows us to say that the effects of urban sprawl on mobility do not seem to be heavy in economic terms, although they present important consequences for the quality of life for residents and the city environment. In fact the variation that

<sup>(3)</sup> Alle relazioni (4), (5), (6) e (7) sopra riportate corrisponde un  $R^2$  pari rispettivamente a 0,27; 0,34; 0,21; 0,28.

<sup>(3)</sup> To the relations (4), (5), (6) and (7) given above corresponds to an  $R^2$  respectively equal to 0.27; 0.34; 0.21; 0.28.

TABELLA 6 – TABLE 6

Valori di alcuni parametri assunti nelle stime riguardanti la mobilità riferite ai due scenari territoriali (elaborazioni su dati tratti da Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti [19] e Legambiente [17])  
Values assumed for the involved parameters in the mobility assessment related to the two territory scenarios (based on data of Italian Ministry of Infrastructures and Transports, [19] and of Legambiente, [17])

Coeff. occupaz. Auto Load factor of cars	Lungh. media spostamenti <sup>(*)</sup> Average length of urban trips <sup>(*)</sup>	Costo marg. auto/ km Marginal cost of cars	Tariffa TP/ viaggio Average fare of public transport	Emiss. CO <sub>2</sub> /auto x km CO <sub>2</sub> emission/car x km	Valore CO <sub>2</sub> mercato emissioni CO <sub>2</sub> value on the carbon market
pass./auto pass./car	km	€/km	€	g/km	€/t
1,3	3	0,15	0,8	200	7
<div><div><sup>(*)</sup> La lunghezza media degli spostamenti, specifica per ciascuna città, è stata ricavata dalla formula: <math display="block">L_i = \frac{Lm \cdot (P_i)^{1/4} \cdot (S_i)^{1/4}}{(Pm)^{1/4} \cdot (Sm)^{1/4}} \quad (8)</math><p>dove Li, Pi, ed Si sono rispettivamente la lunghezza media dello spostamento, la popolazione e la superficie del comune dell'iesima città mentre Lm, Pm ed Sm rappresentano i valori medi delle stesse grandezze calcolati per i capoluoghi considerati.</p></div><div><sup>(*)</sup> The average length of the trips, for each city, was deduced by the formulas: <math display="block">L_i = \frac{Lm \cdot (P_i)^{1/4} \cdot (S_i)^{1/4}}{(Pm)^{1/4} \cdot (Sm)^{1/4}} \quad (8)</math><p>where Li, Pi, and Si are respectively the average length of the trip, the population (number of inhabitants) and the surface for the municipal area of the i<sup>th</sup> city, while Lm, Pm ed Sm are the average values of the same variables computed for the considered capital.</p></div></div>					

TABELLA 7 – TABLE 7

Conseguenze complessive dello scenario di riduzione del 50% del parametro ED (Edge Density)  
Overall impact of the scenario involving the reduction of ED (Edge Density) at 50%

	ED differenza ED difference	Variazione della ripartizione modale (differenza) <i>Modal split change (difference)</i>			Conseguenze sul trasporto privato <i>Impact on private transport</i>				Conseguenze sul trasporto pubblico <i>Impact on public transit</i>	
		Pubbl./ totale <i>Public/ total</i>	Privato/ totale <i>Private/ total</i>	Non-mot./ totale <i>Non-mot./ total</i>	Percorrenza risparmiata <i>Saved mileage</i>	Costo marginale risparmiato <i>Saved marginal cost</i>	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate <i>Saved CO<sub>2</sub> emissions</i>	Valore emissioni di CO <sub>2</sub> evitate <i>Value of CO<sub>2</sub> emissions</i>	Utenti aggiuntivi <i>Acquired users</i>	Incasso aggiuntivo <i>Additional revenue</i>
	(m/ha)				ML auto.x.km/anno <i>ML car.x.km/year</i>	ML Euro/anno <i>ML Euro/year</i>	t x 1000/anno <i>t x 1000/year</i>	Euro x 1000/anno <i>Euro x 1000/year</i>	ML N°/anno <i>ML N°/year</i>	ML Euro/anno <i>ML Euro/year</i>
Totale <i>Overall</i>					336.6	50.5	67.3	471	26.9	21.5
Media <i>Average</i>	-166.26	+4%	-17%	+13%	4.9	0.7	1.0	6.8	0.4	0.3
Dev. Standard <i>Std. Deviation</i>	53.19	0.00	0.00	0.00	15.8	2.4	3.2	22.1	0.7	0.5
Valore min. <i>Minimum</i>	-291.70	+4%	-17%	13%	0.3	0.04	0.06	0.4	0.07	0.06
Valore max. <i>Maximum</i>	-69.30	+4%	-17%	13%	126.8	19.0	25.3	177.5	4.7	3.8

mio annuo di 50,5 ML€/anno sul costo marginale del trasporto e di 67.000 t/anno sulle emissioni di CO<sub>2</sub> nonché un incremento dei ricavi tariffari del trasporto pubblico di 21,5 ML€/anno. Questi valori sono riferiti complessivamente ai circa 70 capoluoghi di provincia esaminati e crescerebbero notevolmente se la stima venisse estesa anche ai capoluoghi trascurati in questo lavoro e agli altri comuni non capoluogo di una certa dimensione. Inoltre

is assumed for ED (the indicator that produces greater effects on modal split) results in a decrease of the users of private transport and an increase of those of public transport in urban journeys that, on average, were -17% and +4%, respectively. This results in an annual savings of 50.5 million €/ year on the marginal cost of transportation and 67,000 t/year on CO<sub>2</sub> emissions as well as an increase in fare revenues for the public transport of 21.5 million €/year. These



TABELLA 8 – TABLE 8

Conseguenze complessive dello scenario di riduzione del 50% del parametro US (Urban Sprawl)  
*Overall impact of the scenario involving the reduction of US (Urban Sprawl) at 50%*

US differenza US difference  (m/ha)	Variazione della ripartizione modale (differenza) <i>Modal split change (difference)</i>			Conseguenze sul trasporto privato <i>Impact on private transport</i>				Conseguenze sul trasporto pubblico <i>Impact on public transit</i>	
	Pubbl./ totale <i>Public/ total</i>	Privato/ totale <i>Private/ total</i>	Non-mot./ totale <i>Non-mot./ total</i>	Percorrenza risparmiata <i>Saved mileage</i>	Costo marginale risparmiato <i>Saved marginal cost</i>	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitate <i>Saved CO<sub>2</sub> emissions</i>	Valore emissioni di CO <sub>2</sub> evitate <i>Value of CO<sub>2</sub> emissions</i>	Utenti aggiuntivi <i>Acquired users</i>	Incasso aggiuntivo <i>Additional revenue</i>
				ML auto.x.km/anno <i>ML car.x.km/year</i>	ML Euro/anno <i>ML Euro/year</i>	t x 1000/anno <i>t x 1000/year</i>	Euro x 1000/anno <i>Euro x 1000/year</i>	ML N°/anno <i>ML N°/year</i>	ML Euro/anno <i>ML Euro/year</i>
Totale <i>Overall</i>				118.2	17.7	23.6	160.0	16.3	13.1
Media <i>Average</i>	-0.29	+2%	-9%	7%	1.7	0.3	0.3	2.4	0.2
Dev. Standard <i>Std. Deviation</i>	0.10	0.01	0.05	0.06	5.7	0.9	1.1	8.0	0.4
Valore min. <i>Minimum</i>	-0.45	0%	-18%	-1%	0.08	0.01	0.02	0.1	-0.007
Valore max. <i>Maximum</i>	-0.05	3%	-1%	18%	47.8	7.2	9.6	66.9	3.6

una stima completa dovrebbe tenere conto anche degli spostamenti non sistematici e per motivi diversi da lavoro e studio che possono incidere sul totale per oltre il 50% e per i quali, come già accennato, non esistono dati omogenei estesi almeno ai capoluoghi di provincia. È infine da tener presente che l'indisponibilità di dati omogenei sulla lunghezza degli spostamenti non ha permesso di analizzare gli effetti dei fenomeni di dispersione urbana su questo importante aspetto della mobilità che evidentemente incide sul consumo di carburante e quindi sulle emissioni ma anche sulla possibilità di muoversi a piedi o in bici. D'altra parte non sono trascurabili le conseguenze favorevoli legate all'incremento di questo tipo di mobilità (che fa registrare un sensibile aumento negli scenari analizzati) sulla vivibilità dell'ambiente urbano e sulla salute dei cittadini.

5. Indicazioni per la ricerca e la politica urbanistica

La mancanza di correlazione risultante fra alcuni degli indicatori insediativi scelti e la mobilità lascia supporre una non sufficiente rappresentatività di tali indicatori e/o una tecnica di calcolo, utilizzata dalle fonti bibliografiche da cui sono tratti, non sufficientemente raffinata da fornire valori rappresentativi della realtà. Infatti è intuitivamente difficile accettare che le caratteristiche insediative misurate attraverso gli indicatori anzidetti possano non aver influenza sui fenomeni della mobilità presi in considerazione. È pertanto opportuno che la ricerca metta a punto indicatori sufficientemente affidabili in grado di descrivere in termini quantitativi le caratteristiche insediative del territorio e della città in particolare. Inoltre è ne-

values refer to the set of approximately 70 examined provincial capitals (on a total number of 110), which would grow considerably if the estimate were extended to all of the Italian capitals and other non-capital municipalities of a certain size. In addition a complete estimate should take into account the unsystematic mobility for reasons other than work and study trips that may affect the total mobility to more than 50% and for which unfortunately, as already mentioned, there are no consistent data that have been extended at least to the provincial capitals. Finally it is notable that the lack of homogeneous data on the length of the trips has not allowed us to analyse the effects of the urban dispersion phenomena on this important aspect of mobility, which obviously affects fuel consumption and thus emissions but also the possibility to move on foot or by bike. On the other hand, favourable consequences with regard to the increase in this last type of mobility (which registered a significant raise in the built scenarios) on the liveability of the urban environment and on people's health are not negligible.

5. Guidelines for research and policy

The resulting lack of correlation between some of the selected settlement indexes and mobility suggests that they are not representative enough and / or that the bibliographic sources from which they are taken does not use a sufficiently refined calculation technique to provide representative values of reality. It is intuitively difficult to accept that the settlement characteristics that are measured by the aforementioned indexes could not have an influence on the considered features of mobility. It is therefore appropriate that the research should develop sufficiently reliable indica-

cessario approfondire le relazioni fra questi indicatori e quelli che descrivono la mobilità. In particolare bisognerà quantificare gli effetti che i fenomeni di dispersione insediativa, soprattutto urbana, producono sulla scelta del mezzo e sulla lunghezza degli spostamenti. Quest'ultima, come è noto, presenta importanti riflessi sui consumi energetici e sulle emissioni, nonché sul fabbisogno standard di trasporto pubblico ma anche indirettamente sul mezzo di trasporto utilizzato.

Sulla base di quanto emerso dalla letteratura del settore e dal presente studio si ha conferma che le conseguenze sulla mobilità dovute ai fenomeni di dispersione urbana consistono essenzialmente nell'allungamento degli spostamenti e nella riduzione dell'efficacia del trasporto pubblico che, per sua natura, incontra oggettive difficoltà a servire efficacemente e con costi accettabili una domanda diffusa. Da ciò deriva un maggior utilizzo del mezzo privato a discapito del mezzo pubblico e della mobilità non motorizzata. Pertanto uno degli obiettivi strategici della legislazione urbanistica dovrebbe consistere nello scoraggiare la dispersione urbana limitando il consumo di suolo e promuovendo il recupero, il ripristino ed il riuso del patrimonio edilizio esistente che, tra l'altro, presenta generalmente densità insediative ragguardevoli. Ciò, se va anche nella direzione di una riduzione dei costi interni ed esterni della mobilità, non implica tuttavia in sé una risposta adeguata alle esigenze di spostamenti. Infatti non bisogna trascurare che la città antica, o comunque di non recentissima costruzione, non dispone di spazi idonei a garantire un utilizzo generalizzato dell'auto privata senza conseguenti alti costi ambientali e di congestione e, d'altra parte, la disponibilità del mezzo privato ci ha ormai abituato a livelli elevati di confort e di possibilità di spostamento neanche ipotizzabili con il trasporto pubblico, tanto più se di tipo tradizionale. Dunque il recupero del costruito va affiancato alla realizzazione di infrastrutture e servizi di trasporto pubblico di tipo non convenzionale e/o su sede propria che possano offrire servizi con caratteristiche più vicine al trasporto privato ma che non presentino gli inconvenienti di quest'ultimo. In sintesi la scelta fra nuova urbanizzazione e recupero dell'esistente dovrebbe sempre quantificare e tener conto dei costi della mobilità conseguenti alla dispersione insediativa prodotta dalla prima alternativa e dei costi di un potenziamento dell'accessibilità basata sul trasporto pubblico, in particolare sui sistemi di trasporto non convenzionali, necessari nella seconda alternativa.

### Ringraziamenti

Questa ricerca è stata condotta nel quadro del progetto 'Smart Basilicata' (contratto n. 6386 - 3, 20 luglio 2016). Smart Basilicata è stato approvato dal Ministero italiano dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR Avviso n.84 / Ric 2012, PON 2007-2013 del 2 marzo 2012) ed è stato finanziato con il Fondo di coesione 2007-2013 della Regione Basilicata.

*tors, which are able to quantitatively describe the characteristics of the territory and the city, in particular, the settlement. It must also deepen the relationship between these indexes and those that describe mobility. In particular the research needs to quantify the effects that are produced by the phenomena of urban sprawl on the choice of the transport means and on the length of trips. The latter, as is known, has a major impact on energy consumption and emissions, on the standard requirement of public transport but also indirectly on the means of transport that is used.*

*Based on the findings of the literature in the field and of this study, it is confirmed that the consequences on mobility due to urban sprawl consist essentially in the extension of trips and a reduction of the effectiveness of public transport which, by its nature, meets objective difficulties to serve effectively and with acceptable costs a widespread demand. This leads to a greater use of private vehicles at the expense of public transport and non-motorized mobility. Therefore, one of the strategic objectives of the planning legislation should be to discourage urban sprawl by limiting the use of land and promoting the recovery, restoration and reuse of existing buildings that, among other things, generally present considerable settlement density. Even if it goes in the direction of a reduction of the internal and external costs of mobility, this does not in itself imply an appropriate response to the mobility needs. In fact we must not neglect that the old or at least not recently built city has no suitable space to ensure the massive use of private cars without consequent high environmental and congestion costs. However, the availability of private vehicles has accustomed us to high levels of comfort and of ability to make flexible changes that are not even conceivable by public transport, especially with traditional modes of public transport. So the built restoration shall be accompanied by the construction of infrastructures for non-conventional and / or on its own runway public transport services, which are able to offer services with characteristics that are closer to private transport but which do not have the drawbacks of the latter. In short, the choice between the new development and the restoration of the existing settlements should always quantify and take into account the cost of mobility that results from the urban sprawl that is generated by the first alternative and the cost of an expansion of accessibility that is based on public transport, in particular on non-conventional transport systems, which are necessary in the second alternative.*

### Acknowledgements

*This research was carried out in the framework of the project 'Smart Basilicata' (Contract n. 6386 - 3, 20 July 2016). Smart Basilicata was approved by the Italian Ministry of Education, University and Research (Notice MIUR n.84/Ric 2012, PON 2007-2013 of 2 March 2012) and was funded with the Cohesion Fund 2007-2013 of the Basilicata Regional authority.*

## BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] ALPKOKIN P., CHEUNG C., BLACK J. and HAYASHI Y. (2008), *"Dynamics of clustered employment growth and its impacts on commuting patterns in rapidly developing cities"*, Transportation Research Part A, 42, 427-444.
- [2] AXISA J.J., SCOTT D.M., NEWBOLD K.B. (2012), *"Factors influencing commute distance: a case of study of Toronto's commuter shed"*, Journal of Transport Geography, 24, 123-129.
- [3] BONOMO R., DI STEFANO R., PERINI P., RICCI V., VITA L. (2014), *"Qualità dell'Ambiente urbano"*, X rapporto ISPRA - cap. 2 Suolo e Territorio, par. 2.14\_La cartografia geologica delle grandi aree urbane italiane: Benevento, L'Aquila e Viterbo, Technical Report, dicembre 2014.
- [4] BUDONI A. (2014), *"Catturare il valore del suolo per sviluppare reti di trasporto locale su ferro / Capturing land value to develop local rail network"*, Ingegneria Ferroviaria, 5, 431-459.
- [5] CAO X., MOKHTARIAN P.L. and HANDY S.L. (2009), *"Examining the Impacts of Residential Self-Selection on Travel Behavior: A Focus on Empirical Findings"*, Transport Reviews: A Trans-national Trans-disciplinary Journal, 29(3), 359-395.
- [6] CERVERO R., LANDIS J. (1991), *"Suburbanization of jobs and journey to work"*, Scholarship, University of California, <http://escholarship.org/uc/item/29p3n2wf>
- [7] CERVERO R., SARMIENTO O.L., JACOBY E., GOMEZ L.F. and NEIMAN A. (2009), *"Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogotá"*, International Journal of Sustainable Transportation, 3, 203-226.
- [8] CRANE R. and CHATMAN D. (2002), *"Traffic and sprawl: evidence from U.S. commuting, 1985 to 1997"*, Proceedings of the Colloquium on "Sprawl in Western Europe and United States", Chateau del la Bretesche, Massillac, France, July 2002.
- [9] DUNCAN M.J., WINKLER E., SUGIYAMA T., CERIN E., DU TOIT L., LESLIE E. and OWEN N. (2010), *"Relationships of land use mix with walking for transport: do land uses and geographical scale matter?"*, Journal Urban Health, 87(5), 782-95.
- [10] Fondazione Filippo Caracciolo, 2013, *"Muoversi meglio in città per muovere l'Italia – Analisi e proposte per un progetto di mobilità urbana"*, [http://www.aci.it/fileadmin/documenti/notizie/Eventi/Studio\\_ACI\\_Fondazione\\_Caracciolo\\_su\\_mobilita\\_urbana.pdf](http://www.aci.it/fileadmin/documenti/notizie/Eventi/Studio_ACI_Fondazione_Caracciolo_su_mobilita_urbana.pdf)
- [11] FRANK L.D., SALLIS J.F., CONWAY T.L., CHAPMAN J.E., SAELENS B.E. and BACHMAN W. (2006), *"Many Pathways from Land Use to Health: Associations between Neighborhood Walkability and Active Transportation, Body Mass Index, and Air Quality"*, Journal of the American Planning Association, 72(1), 75-87.
- [12] GORDON P., RICHARDSON H.W., and JUN M.J. (1991), *"The commuting paradox evidence from the top twenty"*, Journal of the American Planning Association, 57:4, 416-420.
- [13] HANDY S.L., CAO X. AND MOKHTARIAN P. (2005), *"Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California"*, Transportation Research Part D, 10, 427-444.
- [14] HONG J., SHEN Q., and ZHANG L. (2014), *"How do built-environment factors affect travel behavior? A spatial analysis at different geographic scales"*, Transportation, 41, 419-440).
- [15] ISTAT (Istituto nazionale di statistica Italiano) 2011, *"15° Censimento della popolazione del 2011"*, [http://www.istat.it/storage/cartografia/matrici\\_pendolarismo/matrici\\_pendolarismo\\_2011.zip](http://www.istat.it/storage/cartografia/matrici_pendolarismo/matrici_pendolarismo_2011.zip)
- [16] Leck E. (2006), *"The Impact of Urban Form on Travel Behavior: A Meta-Analysis"*, Berkeley Planning Journal, 19(1), pp. 37-58.
- [17] Legambiente, 2013. *"Le automobili riscaldano il pianeta"*, [http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/Dossier\\_AutoCO2\\_0000000887.pdf](http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/Dossier_AutoCO2_0000000887.pdf)
- [18] MARTINEZ F., PAGLIARA F., TRAMONTANO A. (2013), *"Valore edonico dell'accessibilità relativo agli immobili ad uso residenziale: processo di offerta casuale ed applicazione ad un nuovo collegamento ferroviario / Hedonic value of accessibility on residential properties: random bidding foundation and application to new rail track"*, Ingegneria Ferroviaria, 12, 1047-1061.
- [19] Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (MIT), (2014), *"Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici"*, Conto Nazionale Trasporti 2013-2014, Roma - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A. [http://www.mit.gov.it/mit/mop\\_all.php?p\\_id=24349](http://www.mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=24349)
- [20] MOKHTARIAN P.L. and CAO X. (2008), *"Examining the impacts of residential self-selection on travel behavior: A focus on methodologies"*, Transportation Research Part B: Methodological, 42(3), 204-228.
- [21] NÆSS P. (2009), *"Residential Self-Selection and Appropriate Control Variables in Land Use: Travel Studies"*, Transport Reviews: A Trans-national Trans-disciplinary Journal, 29(3), 293-324.
- [22] OLARU D., CURTIS C. (2015), *"Designing TOD precincts: accessibility and travel patterns"*, 6-26.



- [23] PARADY G.T., CHIKARAISHI M., TAKAMI K., OHMORI N., HARATA N. (2015), "On the effect of the built environment and preferences on non-work travel: Evidence from Japan", *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 15 (1), 51-65.
- [24] SCHWANEN T., AND MOKHTARIAN P.L. (2005), "What affects commute mode choice: neighborhood physical structure or preferences toward neighborhoods?", *Journal of Transport Geography*, 13(1), 83-99.
- [25] SCHWANEN T., and MOKHTARIAN P. L. (2005), "What if you live in the wrong neighborhood? The impact of residential neighborhood type dissonance on distance traveled", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(2), 127-151.
- [26] SOHN J. (2005), "Are commuting patterns a good indicator of urban spatial structure?", *Journal of Transport Geography*, 13 (4), 306-317.
- [27] TRAVISI C.M., CAMAGNI R., NIJKAMP P. (2010), "Impacts of urban sprawl and commuting: a modelling study for Italy", *Journal of Transport Geography*, 18, 382-392.
- [28] VANDERSMISSEN M.H., VILLENEUVE P., and THÉRIAULT M. (2003), "Analyzing changes in urban form and commuting time", *The Professional Geographer*, 55:4, 446-463.
- [29] ZEGRAS C. (2010), "Neighborhoods, street, and nonmotorized travel: evidence from baby boomers living in age-restricted active adults' communities", *Transportation Research Board*, 10-1406.
- [30] ZHANG L., HONG J.H., NASRI A. and SHEN Q. (2012), "How built environment affects travel behavior: A comparative analysis of the connections between land use and vehicle miles traveled in US cities", *Journal of transport and land use*, 5(3), 40-52.
- [31] ZOLNIK E.J. (2011), "The effect of sprawl on private-vehicle commuting outcomes", *Environment and Planning A*, 43, 1875-1893.

## ISOTRACK Le soluzioni che contano per il ferroviario

**ISOTRACK**, la divisione trasporti di **Isoil Industria S.p.A.** dispone di una vasta gamma di strumentazione per risolvere qualsiasi problema di misura e controllo.



*La nostra gamma di prodotti per il settore ferroviario comprende:*

- Pick up
- Generatori e Sensori di velocità
- Sensori Radar
- Indicatori di velocità
- Registratori Statici d'Eventi (Scatola Nera)
- Display Multifunzione
- Sistemi di Videosorveglianza sui veicoli
- Misuratori di pressione, temperatura, portate e livello
- Barriere e Sensori ad infrarosso per la chiusura automatica delle porte

Vi aspettiamo presso:  
HALL 2 - Stand 691

**EXPO Ferroviaria 2017**  
dal 3 al 5 ottobre 2017

AZIENDA CON SISTEMA  
DI GESTIONE QUALITÀ  
CERTIFICATO DA DNV GL  
= ISO 9001 =

Cinisello B. - Mi (Italy)  
tel. +39 02660271  
www.isoil.com  
isotrack@isoil.it

**ISOIL**  
INDUSTRIA

**Le soluzioni che contano**