

## IMPATTI TERRITORIALI DELLE MODALITÀ DI TRASPORTO INNOVATIVE

Fulvio Silvestri<sup>1</sup>, Pierluigi Coppola<sup>2</sup>

### SOMMARIO

Negli ultimi anni è cresciuto considerevolmente l'interesse per la mobilità urbana, non solo per l'aumento delle esternalità negative generate dai trasporti, ma soprattutto perché le recenti innovazioni tecnologiche stanno offrendo soluzioni particolarmente efficaci proprio nei contesti urbani. Nello specifico, l'introduzione di mezzi a guida autonoma potrebbe cambiare radicalmente lo scenario consentendo, da una parte, un miglioramento e una diffusione più capillare del servizio pubblico, e dall'altra, l'implementazione di politiche di controllo e moderazione dell'uso dei veicoli individuali su aree estese del territorio più densamente urbanizzato (e congestionato), senza il rischio di ridurre l'accessibilità e creare esclusione sociale.

Il presente studio si propone di valutare, attraverso un sistema di modelli di interazione Trasporti-Territorio, gli impatti sulla domanda di mobilità e sull'uso del suolo, derivanti dall'attuazione di misure volte al potenziamento dei servizi di trasporto pubblico e alla restrizione dell'utilizzo dei veicoli privati. Il caso di studio analizzato è rappresentato dall'area urbana di Roma. Diversi scenari di sviluppo della città sono stati simulati e confrontati attraverso un insieme di indicatori di sostenibilità economica, ambientale e sociale.

I risultati mostrano che con il miglioramento dei servizi di trasporto collettivo, combinato a ZTL e aree pedonali diffuse su larga scala, è possibile ottenere non solo una significativa diversione modale (*modal shift*) verso alternative di trasporto più sostenibili, ma anche una limitazione del fenomeno di dispersione urbana (*urban sprawl*).

---

<sup>1</sup> Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa, Via del Politecnico 1, 00133, Roma, e-mail: [fulvio.silvestri@uniroma2.it](mailto:fulvio.silvestri@uniroma2.it) (corresponding author).

<sup>2</sup> Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa, Via del Politecnico 1, 00133, Roma, e-mail: [coppola@ing.uniroma2.it](mailto:coppola@ing.uniroma2.it).

## 1. Introduzione

Dal 2007 l'Unione europea persegue un obiettivo molto ambizioso, quello di “*conciliare, da un lato, lo sviluppo economico delle città e l'accessibilità del loro territorio e, dall'altro, la qualità di vita e la tutela dell'ambiente*” (Libro Verde, 2007). Successivamente ribadisce l'importanza della pianificazione di lungo periodo della mobilità sostenibile (Libro Bianco, 2011) e con la pubblicazione delle linee guida “*Developing and implementing a Sustainable Urban Mobility Plan*” (Eltis, 2014) impone alle Amministrazioni locali di dotarsi di un nuovo strumento: il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS).

Tale rinnovato interesse, per la pianificazione della mobilità, deriva dalla consapevolezza che occorre ripensare l'offerta di trasporto alla luce del cambiamento sociale e demografico in atto (UN, 2016) (UN, 2017), delle nuove sensibilità e criticità ambientali (Ricardo-AEA, 2014), e soprattutto della trasformazione digitale e tecnologica delle infrastrutture e dei veicoli. I sistemi di trasporto potrebbero risultare, nel giro di breve tempo, inadeguati a soddisfare la domanda che non solo crescerà, ma diventerà più complessa ed esigente, e richiederà standard di qualità e servizi di trasporto personalizzati (cfr. Figura 1).

La recente crescita della domanda di servizi di mobilità personalizzati sta sfidando la supremazia di autoveicoli e motoveicoli di proprietà nella mobilità moderna. Possedere un veicolo privato sembra non essere più strettamente necessario in alcune aree urbane e gli utenti, in particolare quelli delle nuove generazioni, sono più interessati ad avere accesso ai servizi di mobilità piuttosto che a possedere un mezzo di trasporto tutto proprio (Cohen & Kietzmann, 2014). Per i *provider* di servizi di trasporto questi cambiamenti rappresentano delle grandi opportunità per attrarre nuovi clienti.

D'altra parte, l'industria è pervasa da un'innovazione radicale che potrebbe cambiare profondamente la mobilità così come la conosciamo oggi. Le nuove *Information and Communication Technologies* (ICT) stanno favorendo la digitalizzazione anche nella ben consolidata industria dei trasporti, stimolando un'ottimizzazione delle reti di trasporto, una migliore utilizzazione delle infrastrutture e una mobilità senza soluzione di continuità (*door-to-door*). Contestualmente stanno entrando nel mercato nuovi attori, i quali offrono nuove forme di mobilità e tentano di modificare le abitudini degli utenti, proponendo loro servizi di trasporto alternativi a quelli individuali. Si tratta di innovativi modelli di business che prevedono l'integrazione dei servizi di mobilità, che attualmente sono offerti in maniera frammentata da una vastità di operatori diversi, in un unico aggregatore di servizio (Kamargianni & Matyas, 2017) (Audouin & Finger, 2017).

Figura 1 - I driver del cambiamento esterno ed interno.



Fonte: elaborazione propria

È opinione diffusa che i trasporti del futuro saranno più puliti, efficienti e sicuri grazie al contributo dell'*electric mobility* e della *sharing mobility*, e alla diffusione di veicoli innovativi dotati delle più alte funzioni di *automazione*, *connettività* e *cooperazione* (Alonso Raposo *et al.*, 2017). La penetrazione nel mercato dei veicoli elettrici comporterà notevoli benefici dal punto di vista della sostenibilità ambientale, per la riduzione localizzata delle emissioni di gas serra e degli agenti inquinanti. D'altro canto, la graduale introduzione di mezzi di trasporto a guida connessa e automatica consentirà di incrementare la sicurezza; e non si escludono vantaggi anche per la qualità dell'aria, per un consumo più efficiente dell'energia.

Ma l'aumento delle prestazioni dei veicoli potrebbe non bastare per risolvere i problemi del traffico urbano, anzi qualcuno sostiene che li potrebbe aggravare, a causa del maggior numero di spostamenti indotti (Atkins, 2016) (Here, 2016). In aggiunta, rispetto all'obiettivo europeo della diversione modale dall'auto al trasporto pubblico (Libro Bianco, 2011), l'incremento dell'offerta di servizi (politiche di tipo *pull*) e le misure di restrizione o di *pricing* dell'uso della auto (politiche di tipo *push*) sono risultate in molti casi inefficaci: le prime in quanto richiedono ingenti risorse economiche e lunghi tempi di attuazione (ad esempio per la realizzazione di nuove metropolitane e tramvie); le seconde perché spesso sono state viste come una barriera all'accesso (e in alcuni casi uno strumento di esclusione sociale) per i segmenti sociali meno abbienti.

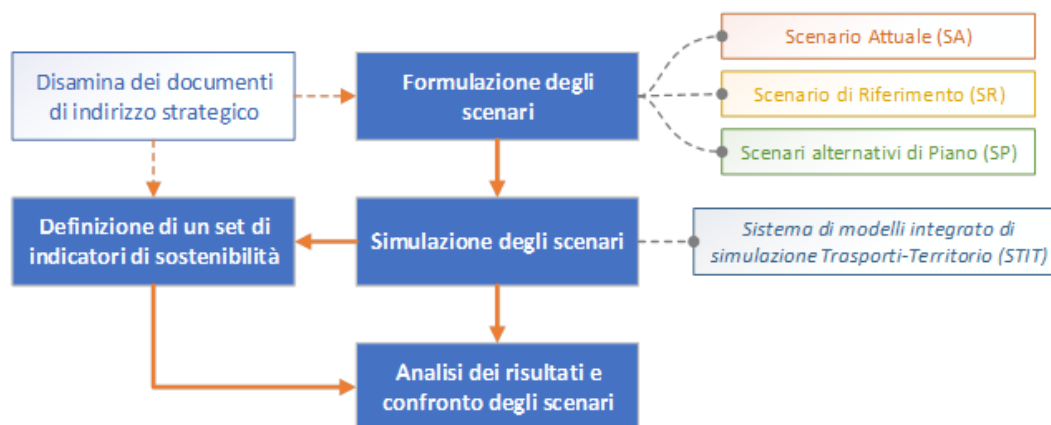
Occorre esplorare, tuttavia, la possibilità di implementare politiche avanzate di gestione e controllo della domanda di mobilità (*Travel Demand Management*, *TDM*) alla luce delle nuove opportunità offerte dalla tecnologia.

## 2. Obiettivi del lavoro e approccio metodologico

Le nuove tecnologie, ed in particolare l'introduzione di mezzi a guida autonoma e connessa, potrebbero cambiare lo scenario della mobilità urbana, consentendo, da una parte, una progettazione più capillare dei servizi di trasporto collettivo a costi di esercizio contenuti, e dall'altra l'implementazione di politiche di limitazione dell'uso dell'autovetture su aree diffuse della città.

Il presente studio si propone di valutare, attraverso un sistema di modelli di interazione Trasporti-Territorio, i potenziali impatti di tali politiche, sulla domanda di mobilità e sulla distribuzione spaziale della popolazione e delle imprese. Il caso di studio analizzato è rappresentato dall'area urbana di Roma.

Figura 2 - Le attività previste dal metodo di studio.



Fonte: elaborazione propria

Il lavoro è articolato nelle seguenti fasi (cfr. Figura 2):

1. individuazione dello scenario futuro di riferimento, attraverso la disamina degli strumenti di pianificazione vigenti e dei documenti di sviluppo dell'area di studio;
2. costruzione degli scenari futuri di analisi, in funzione delle diverse ipotesi di sviluppo del sistema dei trasporti;

3. simulazione degli scenari per mezzo di un *sistema di modelli integrato di simulazione Trasporti-Territorio* (Coppola & Nuzzolo, 2011), che riproduce il comportamento dei residenti, dei soggetti economici e degli utenti del sistema di trasporto dell'area di studio;
4. analisi dei risultati e confronto tra gli scenari, mediante un set di indicatori di sostenibilità economica, ambientale e sociale.

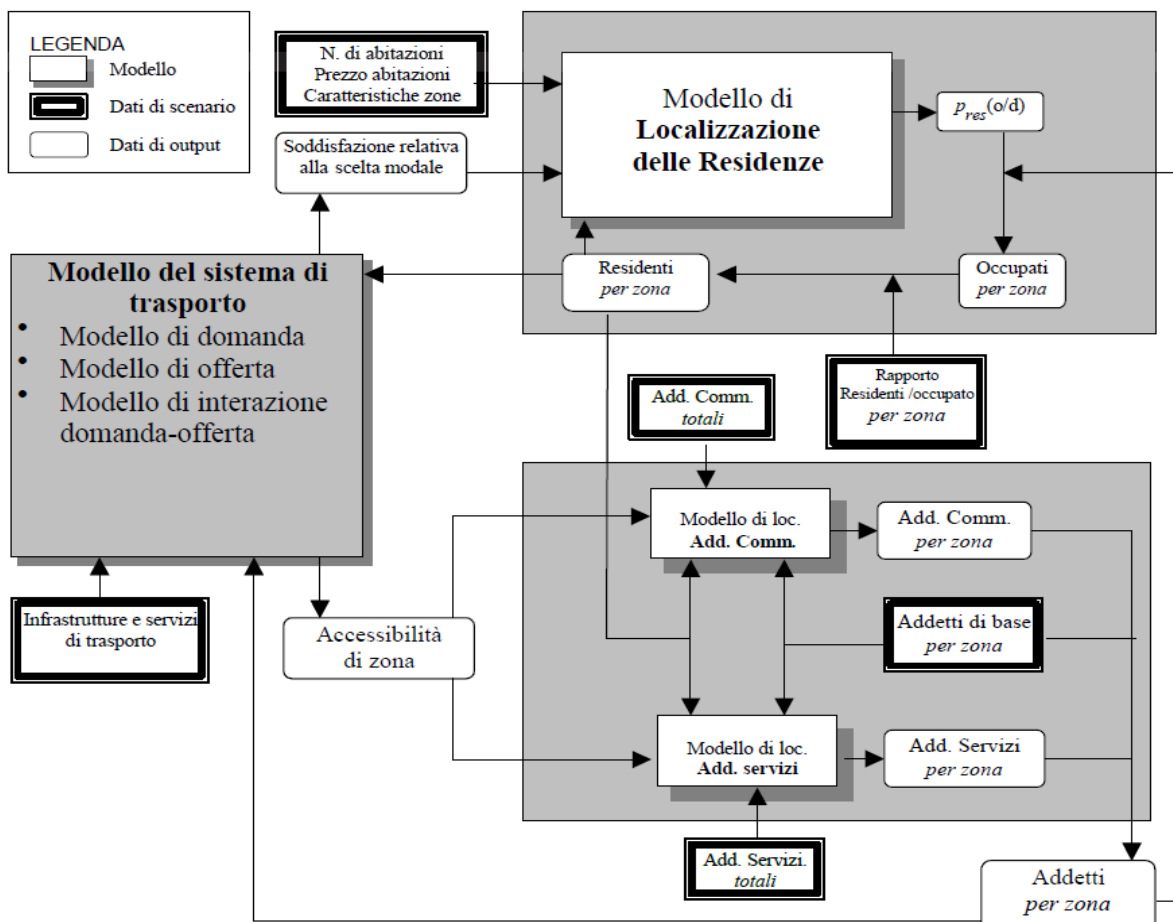
### 3. Framework teorico

Il *sistema di modelli integrato di simulazione Trasporti-Territorio (STIT)* utilizzato per la valutazione degli impatti di politiche di controllo della domanda di mobilità e dell'uso del suolo, messo a punto nell'ambito del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale "*Sustainable Urban Mobility*" (SUM, 2014), si basa su un sistema di modelli comportamentali che simulano:

- le scelte di viaggio degli individui;
- le scelte della zona di residenza della popolazione;
- le scelte di localizzazione nell'area di studio delle imprese al commercio e ai servizi.

L'interazione reciproca tra le scelte di mobilità e le scelte localizzative è simulata attraverso un modello di equilibrio stocastico che, risolto attraverso un algoritmo iterativo di tipo *MSA*, fornisce la configurazione del sistema Trasporti-Territorio in cui le variabili sono mutuamente coerenti. La rappresentazione schematica del sistema di modelli proposto è riportata in Figura 3, dove sono evidenziate le interazioni tra i diversi sottosistemi (modello del sistema di trasporto, modello di localizzazione delle residenze, modello di localizzazione delle attività economiche) e le rispettive variabili d'ingresso e d'uscita.

Figura 3 - Il sistema di modelli integrato di simulazione Trasporti-Territorio (STIT).



Fonte: PRIN Sustainable Urban Mobility (SUM, 2014).

### 1. 1. Il modello di localizzazione delle residenze

Il modello di localizzazione delle residenze definisce la distribuzione spaziale dei residenti negli scenari futuri di analisi, per ciascuna zona di traffico dell'area di studio. Il numero di residenti in ogni zona  $\mathbf{o}$ ,  $\mathbf{Res}(\mathbf{o})$ , può essere calcolato attraverso la probabilità di risiedere nella generica zona  $\mathbf{o}$ ,  $\mathbf{P}_{res}(\mathbf{o})$ , che dipende da molteplici fattori, quali il reddito, la condizione professionale, il numero di persone in famiglia, e altro.

Nel modello si ipotizza che i soggetti che scelgono la localizzazione della residenza siano gli occupati, ovvero i lavoratori residenti nell'area di studio. Questi sono suddivisi, in base alla condizione professionale, in due classi socioeconomiche  $\mathbf{i}$ : **OCCa**, occupati di condizione professionale alta (dirigente, quadro, libero professionista); **OCCb**, occupati di condizione professionale medio-bassa (impiegato, artigiano, lavoratore autonomo, altri).

Nel caso più generale in cui le residenze vengano scelte anche in funzione del luogo di lavoro, la probabilità che il generico occupato appartenente alla categoria  $\mathbf{i}$  che lavora nella zona  $\mathbf{d}$ , risieda nella zona  $\mathbf{o}$  è data da:

$$\mathbf{P}_{res}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}) = \sum_{\mathbf{d}} \mathbf{P}_{res-cond}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d}) \cdot \mathbf{P}_{lav}^{\mathbf{i}}(\mathbf{d}) \quad [1]$$

dove:

- $\mathbf{P}_{res-cond}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d})$ , è la probabilità che il generico residente della categoria  $\mathbf{i}$  risieda in  $\mathbf{o}$  condizionata al fatto di lavorare nella zona  $\mathbf{d}$ ;
- $\mathbf{P}_{lav}^{\mathbf{i}}(\mathbf{d})$ , è la probabilità assoluta di lavorare nella zona  $\mathbf{d}$  per il generico residente della categoria  $\mathbf{i}$ .

La probabilità condizionata,  $\mathbf{P}_{res-cond}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d})$ , si può calcolare utilizzando un *modello di utilità aleatoria* (Cascetta, 2001). Si assume cioè che il generico occupato  $\mathbf{i}$  sia un decisore razionale che nello scegliere la propria zona di residenza consideri tutte le alternative a disposizione ed associ a ciascuna di queste un'utilità,  $\mathbf{U}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d})$ , ovvero una misura della convenienza di localizzare la propria residenza in una data zona, e scelga l'alternativa (ovvero la zona) che massimizza tale utilità.

L'utilità  $\mathbf{U}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d})$  è una variabile aleatoria scomponibile nella somma di due aliquote: l'utilità sistematica,  $\mathbf{V}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d})$  che rappresenta il valore medio dell'utilità percepita da tutti gli utenti della categoria  $\mathbf{i}$ , ed un residuo aleatorio  $\boldsymbol{\varepsilon}_0$ . Nell'ipotesi che i residui aleatori siano *distribuiti identicamente e indipendentemente* secondo una *variabile di Gumble* di parametro  $\alpha$  unitario e valore atteso nullo, la probabilità condizionata  $\mathbf{P}_{res-cond}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d})$  può essere calcolata con il *modello Logit*:

$$\mathbf{P}_{res-cond}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d}) = \frac{\exp[\mathbf{V}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}|\mathbf{d})]}{\sum_{\mathbf{o}'} \exp[\mathbf{V}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}'|\mathbf{d})]} \quad [2]$$

Sulla base di un campione di interviste realizzato nell'area urbana di Roma è stato possibile specificare e calibrare una funzione di utilità sistematica per le due categorie socioeconomiche considerate. Questa è data dalla combinazione lineare di diversi attributi mediante coefficienti  $\boldsymbol{\beta}$  relativi a:

- una variabile *dummy*, **Intra**( $\mathbf{o}, \mathbf{d}$ ), che vale 1 se le zone  $\mathbf{o}$  e  $\mathbf{d}$  appartengono alla stessa macrozona **STATISTICA** e 0 altrimenti;
- una variabile, **x**( $\mathbf{o}$ ), che misura il grado di affollamento delle abitazioni nella zona  $\mathbf{o}$ , calcolata come rapporto tra i residenti, **Res**( $\mathbf{o}$ ), ed i mq di civili abitazioni della zona  $\mathbf{o}$ , **mq**( $\mathbf{o}$ );
- il logaritmo del numero di abitazioni (espresso in migliaia) nella zona  $\mathbf{o}$ , **Ln\_ab**( $\mathbf{o}$ );
- un indice di edilizia popolare presente nella zona  $\mathbf{o}$ , **IACP**( $\mathbf{o}$ ), calcolato mediante il rapporto tra il numero di abitazioni dell'*Istituto Autonomo Case Popolari* e il totale delle abitazioni nella zona  $\mathbf{o}$ ;
- una variabile *dummy* del prestigio della zona, **Pres**( $\mathbf{o}$ );
- il prezzo medio a mq degli immobili nella zona  $\mathbf{o}$ , **Pmq**( $\mathbf{o}$ );
- la variabile di soddisfazione relativa alla scelta modale,  $\mathbf{Y}_{lav}^{\mathbf{i}}(\mathbf{o}, \mathbf{d})$ .

Nello specifico, la funzione del grado di affollamento delle abitazioni ha la seguente espressione:

$$x(o) = \left( \frac{Res(o)}{mq(o)} \right)^\alpha \quad [3]$$

in cui  $Res(o)$  e  $mq(o)$  sono rispettivamente i residenti ed i metri quadrati di civili abitazioni della zona  $o$ , e la costante  $\alpha$ , calibrata esogenamente rispetto agli altri parametri del modello, è pari a 1.88.

La variabile di soddisfazione si definisce, invece, come il valore atteso della massima utilità percepita associata ad un determinato contesto di scelta per il decisore  $i$ . In questo caso la dimensione di scelta considerata è la scelta del modo di trasporto degli occupati  $i$  per recarsi a lavoro nella zona  $d$  a partire dalla zona  $o$ .

Il modello di scelta del luogo di lavoro fornisce la probabilità assoluta di lavorare nella zona  $d$  per il generico residente della categoria  $i$ ,  $P_{lav}^i(d)$ . Nel modello proposto si assume che laddove esista un'offerta di posti di lavoro questa sia completamente saturata.

Pertanto la probabilità assoluta di lavorare nella generica zona  $d$ , per gli occupati della categoria  $i$ , è data da:

$$P_{lav}^i(d) = \frac{Add_{tot}^i(d)}{ADD_{tot}^i} \quad [4]$$

dove:

- $Add_{tot}^i(d)$ , è il numero degli addetti, appartenenti alla categoria  $i$ , totali (somma su tutti i settori macroeconomici) della zona  $d$ ;
- $ADD_{tot}^i = \sum_d Add_{tot}^i(d)$  il numero di addetti totali della stessa categoria  $i$  nell'intera area di studio.

Nota la probabilità che il generico occupato della categoria  $i$  scelga di risiedere nella zona  $o$ ,  $P_{res}(o)$ , è possibile banalmente risalire alla distribuzione spaziale del numero degli occupati della categoria  $i$  in ogni zona  $o$ ,  $occ^i(o)$ , una volta noto il numero totale di occupati dell'area di studio per ogni categoria  $i$ ,  $Occ^i$ :

$$occ^i(o) = \left[ \sum_d P_{res-cond}^i(o|d) \cdot \frac{Add_{tot}^i(d)}{ADD_{tot}^i} \right] \cdot Occ^i \quad [5]$$

e da questo attraverso il rapporto tra numero di residenti e numero di occupati della generica zona,  $k(o)$ , è possibile risalire al numero di residenti per zona:

$$Res(o) = k(o) \cdot \sum_i occ^i(o) \quad [6]$$

Nell'ipotesi di sistema chiuso, in cui per ogni categoria  $i$  presente nell'area di studio, il numero totale di occupati è uguale al numero totale di addetti,  $ADD^i = Occ^i$ , risulta:

$$occ^i(o) = \sum_d P_{res-cond}^i(o|d) \cdot Add_{tot}^i(d) \quad [7]$$

e quindi il numero di residenti nella generica zona  $o$  è dato da:

$$Res(o) = k(o) \cdot \sum_i \sum_d P_{res-cond}^i(o|d) \cdot Add_{tot}^i(d) \quad [8]$$

## 2. 1. Il modello di localizzazione delle attività economiche

Per quanto riguarda la simulazione della distribuzione urbana delle attività produttive, in accordo con il principio dell'accessibilità, questa è legata alla convenienza che le imprese hanno nel localizzarsi in luoghi prossimi ai centri di input e output della produzione, ovvero quei luoghi che, a parità di altre condizioni consentono un aumento del profitto aziendale dovuto alla riduzione del costo di trasporto. Così come nel caso della localizzazione delle residenze, le imprese possono essere considerate dei decisori razionali che massimizzano la propria utilità.

I modelli di localizzazione delle attività economiche a spazio discreto, forniscono la distribuzione delle attività nell'area di studio, misurata attraverso il numero di addetti per ogni settore economico e nelle singole zone  $d$  dell'area di studio  $Add^a(d)$ .

Anche in questo caso è possibile introdurre la probabilità di localizzare una certa attività  $a$  (ad esempio un'attività commerciale o uno studio professionale, ...) in una generica zona  $d$ ,  $p^a(d)$ , da cui, noto il numero totale di addetti nel generico settore d'attività  $a$ ,  $ADD^a$ , si ottiene il numero di addetti per zona mediante la relazione:

$$Add^a(d) = p^a(d) \cdot ADD^a \quad [9]$$

Si suppone che un soggetto privato (un imprenditore, un'azienda, ...) che debba scegliere di localizzare la propria attività economica  $a$  (un negozio, uno studio professionale, ...) nella generica zona  $d$ , sia un decisore razionale, il cui obiettivo è quello di massimizzare una funzione d'utilità. Se si assume che la funzione d'utilità associata a ciascuna alternativa di scelta (vale a dire la zona in cui localizzare l'attività) è una *variabile aleatoria identicamente ed indipendentemente distribuita* secondo una *variabile di Gumble*, la probabilità di localizzare l'attività  $a$  nella zona  $d$  è calcolata con il *modello Logit*:

$$p^a(d) = \frac{\exp[V_d^a]}{\sum_{d'} \exp[V_{d'}^a]} \quad [10]$$

dove  $V_d^a$  è l'utilità sistematica (ovvero il valore atteso dell'utilità) relativa alla localizzazione dell'attività di tipo  $a$  nella zona  $d$ .

Tale utilità sistematica di localizzare un'attività nella zona  $d$  è combinazione lineare di attributi che tengono conto:

- delle prestazioni del sistema dei trasporti ovvero dell'accessibilità (passiva e attiva) della zona;
- di attributi d'attrattività di zona, quali il numero di residenti e il numero di addetti di base presenti della zona stessa;
- da variabili ombra che tengono conto in maniera approssimata delle caratteristiche del quartiere a cui la zona appartiene.

## 3. 1. Il modello del sistema di trasporto

Il sistema dei trasporti è modellizzato mediante i tradizionali modelli *ad aliquote parziali* che, per una data configurazione del sistema delle attività urbane (distribuzione dei residenti e degli addetti nelle zone dell'area di studio) forniscono le stime delle matrici Origine-Destinazione per modo di trasporto e per motivo dello spostamento. Queste, mediante i modelli di offerta e di interazione domanda-offerta, consentono la stima dei flussi sugli elementi del sistema di offerta e, quindi, il calcolo delle prestazioni sulle reti di trasporto (tempi e costi medi sulle relazioni OD).

Quindi il sistema di modelli per la simulazione della domanda di mobilità permette di stimare le matrici origine-destinazione (nell'ora di punta  $h$  del giorno medio feriale) relative agli utenti  $d_{od}^e(s, h, m)$ , della

categoria socioeconomica  $e$ , che, partendo dalla zona di residenza  $o$ , si recano nella zona  $d$ , per il motivo  $s$ , utilizzando il modo di trasporto  $m$ :

$$d_{od}^e(s, h, m) = n^e(o) \cdot m^e(s) \cdot p^e(h|os) \cdot p(d|osh) \cdot p(m|oshd) \quad [11]$$

dove:

- $n^e(o)$ , è il numero d'utenti della categoria socioeconomica  $e$  (ad esempio gli occupati, gli studenti, ...) residenti nella zona  $o$ ;
- $m^e(s)$ , è l'*indice di mobilità*, o livello di domanda, e fornisce il numero medio giornaliero di spostamenti di sola andata, per il motivo  $s$ , compiuti da un utente della categoria  $e$ ;
- $p^e(h|os)$ , è il *modello di emissione*, o modello di generazione, e fornisce la probabilità che un utente della categoria  $e$ , che si sposta per il motivo  $s$ , compia almeno uno spostamento nell'ora di punta  $h$ ;
- $p(d|osh)$ , è il *modello di distribuzione* e fornisce la probabilità che un utente, residente nella zona  $o$  si sposti nell'ora di punta  $h$  verso la destinazione  $d$  per il motivo  $s$ ;
- $p(m|oshd)$ , è il *modello di scelta modale* e fornisce la probabilità che un utente, che si sposta dalla zona  $o$  verso la destinazione  $d$ , per il motivo  $s$ , nell'ora di punta  $h$ , utilizzi il modo  $m$ .

L'ordine della sequenza dei sotto-modelli corrisponde ad un'ipotesi sull'ordine secondo il quale le diverse scelte di viaggio vengono fatte dall'utente e quindi su come queste si influenzano reciprocamente (Cascetta, 2009).

In sintesi, il sistema di modelli restituisce quindi in output:

- La *distribuzione spaziale della popolazione*, suddivisa in cinque categorie socioeconomiche d'utenti individuate, coerentemente con la classificazione Istat, in base al tipo di attività svolta: Occupato di condizione professionale alta (**OccAlto**); Occupato di condizione professionale bassa (**OccBasso**); Studente di scuola media superiore e d'istituti professionali (**StudSup**); Studente universitario (**StudUni**); Altro d'età maggiore di 14 anni (**Altro**).
- La *distribuzione spaziale delle attività produttive*, distinta in base alla tipologia di lavoratori: Addetti al commercio (**AddCom**); Addetti ai servizi privati (**AddSerPri**); Addetti base ai servizi pubblici (**AddBaSerPub**); Addetti all'università (**AddUni**); Addetti alle scuole (**AddSc**).
- La *matrice Origine-Destinazione degli spostamenti* per motivo dello spostamento (**Lavoro**, **Studio**, **AltriMotivi**) e per modalità di trasporto utilizzata (**Auto**, **Moto**, **TP**, **Piedi**).

#### 4. Applicazione al caso studio

L'area di studio corrisponde geograficamente alla porzione di territorio delimitata dai confini comunali della città di Roma. Per ricostruire uno scenario tendenziale di sviluppo del tessuto urbano e del sistema di trasporto, si è fatto riferimento in particolar modo ai seguenti elaborati di indirizzo strategico:

- Il **Piano Regolatore Generale (PRG)**, approvato con deliberazione del Consiglio Comunale del 12 febbraio 2008, n. 18, che definisce il sistema delle infrastrutture di trasporto in una visione di stretta integrazione fra politiche urbanistiche e politiche della mobilità in un'ottica di lungo periodo;
- Il **Piano Strategico per la Mobilità Sostenibile (PSMS)**, approvato con deliberazione del Consiglio Comunale del 16 marzo 2010, n. 36, il quale conferma il quadro infrastrutturale del PRG vigente;
- I documenti preparatori alla redazione del **Piano Regionale della Mobilità, dei Trasporti e della Logistica (PRMTL)**, elaborati tra il 2013 ed il 2014 per la Regione Lazio;



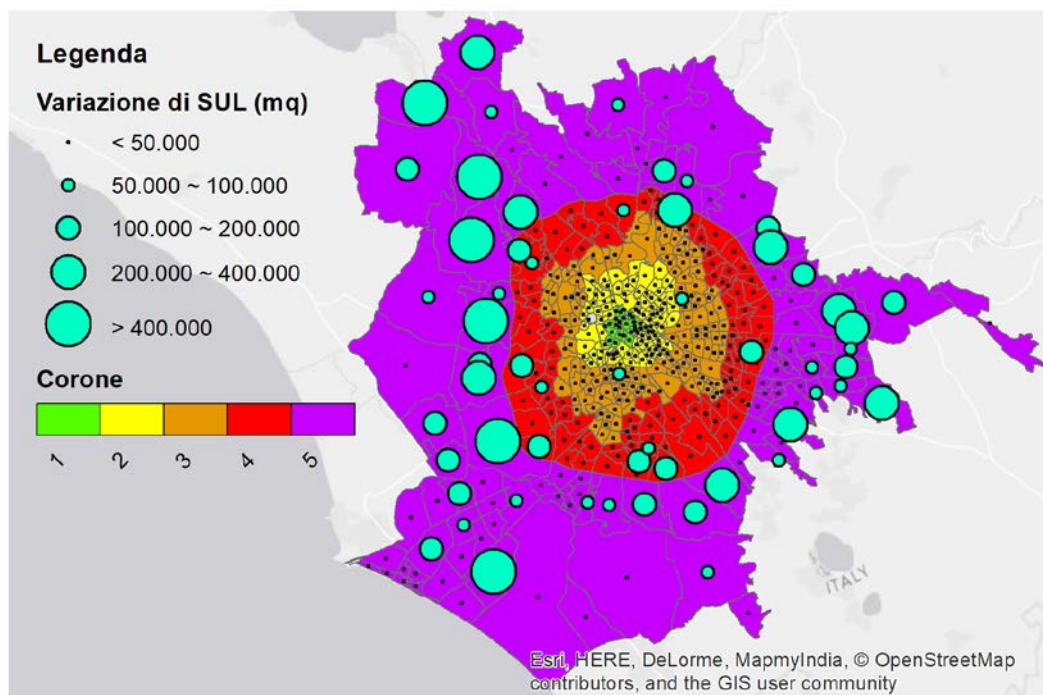
- Il **Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU)**, approvato con deliberazione dell'Assemblea Capitolina del 16 aprile 2015, n. 21, che mira all'ottimizzazione del sistema di trasporto esistente e alla regolazione della domanda di spostamento, fornendo dunque degli indirizzi per interventi gestionali, più che infrastrutturali, nel breve-medio periodo;
- I documenti preliminari alla redazione del **Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS)**, elaborati tra il 2016 ed il 2017 per Roma Capitale.

Il contenuto di tali piani ha permesso l'individuazione dello *Scenario di Riferimento* e la formulazione di possibili *scenari futuri di analisi*.

Lo **Scenario di Riferimento** è uno scenario futuro di lungo periodo, con orizzonte temporale al 2030, in cui si considera un aumento della popolazione fino a circa 3 milioni di residenti (STATUS, 2016), il completamento degli *interventi sullo stock immobiliare* proposti dal Piano Regolatore Generale, e la realizzazione delle infrastrutture cosiddette *opere invarianti*.

Il PRG prevede un aumento di *Superficie Utile Lorda a destinazione residenziale (SUL)* di circa il 12% rispetto allo Scenario Attuale, per un totale di 11.642.183 m<sup>2</sup> di nuove abitazioni. Gli interventi sullo stock immobiliare si concentrano principalmente nelle zone esterne al Grande Raccordo Anulare, difatti circa l'80% delle nuove residenze verranno realizzate nella corona più esterna (cfr. Figura 4). In tale corona si realizza, dunque, un incremento di circa il 46,5% di SUL residenziale rispetto allo Scenario Attuale, corrispondente a circa 113.000 nuovi alloggi (considerando una superficie media delle nuove abitazioni di 84 m<sup>2</sup>). Variazioni significative nel sistema insediativo si verificano anche nella quarta corona dove è previsto un incremento, rispetto allo Scenario Attuale, pari a circa il 10% di nuova SUL residenziale. Nelle tre corone centrali, all'opposto le variazioni di SUL risultano essere decisamente più contenute ed inferiori all'1%.

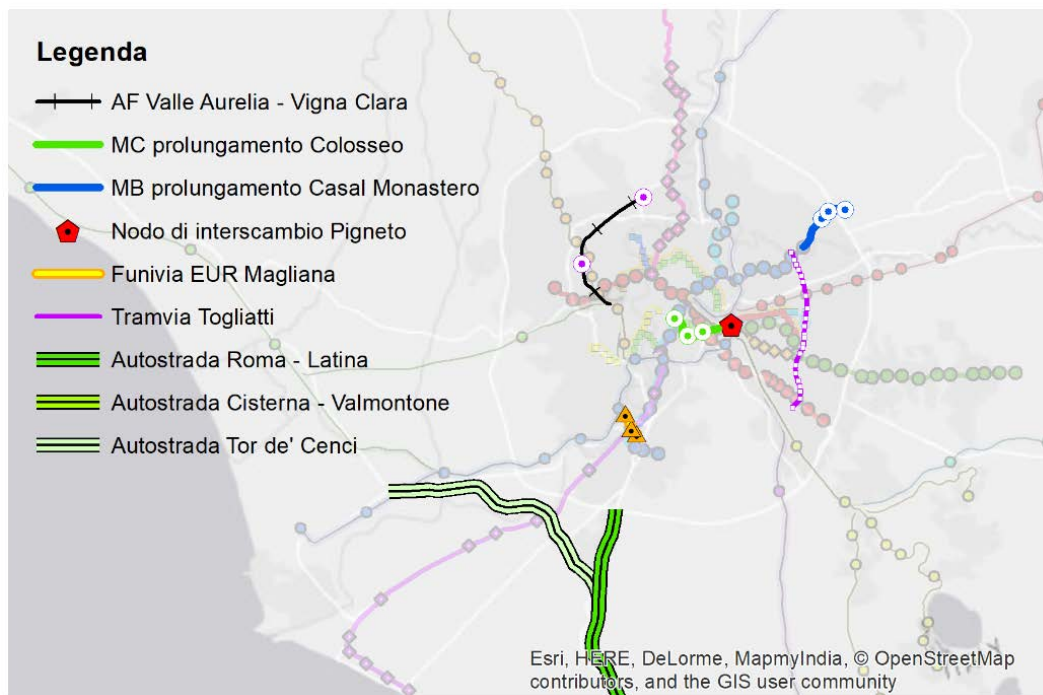
*Figura 4 - Cartografia degli interventi sullo stock immobiliare previsti dal PRG.*



Fonte: elaborazione propria

Per quanto concerne gli interventi sul sistema di trasporto, non sono stati considerati tutti gli interventi previsti dai diversi piani e programmi elaborati, sia a livello comunale che regionale (PSMS, 2009) (PRMTL, 2014) (PGTU, 2015) (PUMS, 2017), bensì solo quelli che più realisticamente saranno portati a compimento entro il 2030 e/o che avranno un impatto positivo più rilevante sul sistema d'offerta di trasporto (cfr. Figura 5). Da qui in avanti tali progetti infrastrutturali scelti verranno detti *opere invarianti*.

*Figura 5 - Cartografia degli interventi infrastrutturali "opere invarianti".*

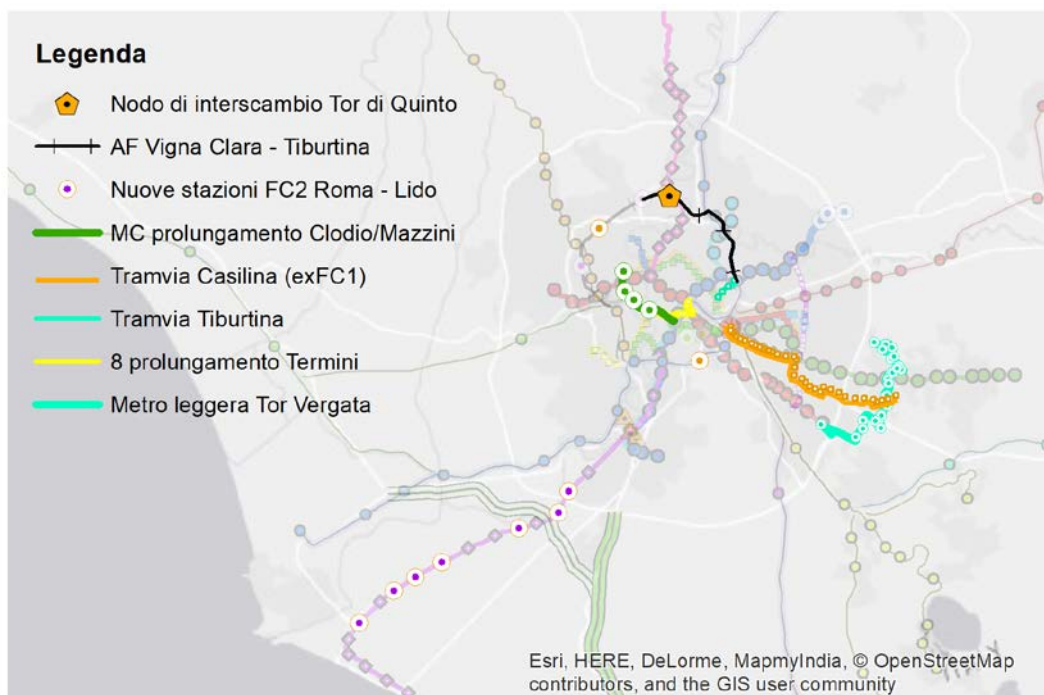


Fonte: elaborazione propria

Si noti che i progetti infrastrutturali per il potenziamento dell'offerta di trasporto pubblico sono previsti, a differenza degli interventi sullo stock immobiliare, esclusivamente nell'area comunale interna al GRA.

Negli **scenari futuri di analisi** sono stati presi in considerazione ulteriori progetti infrastrutturali, volti al potenziamento del trasporto rapido di massa, che si ritengono necessari per la risoluzione delle criticità di alcune zone dell'area di studio (cfr. Figura 6).

*Figura 6 - Cartografia degli ulteriori interventi infrastrutturali*

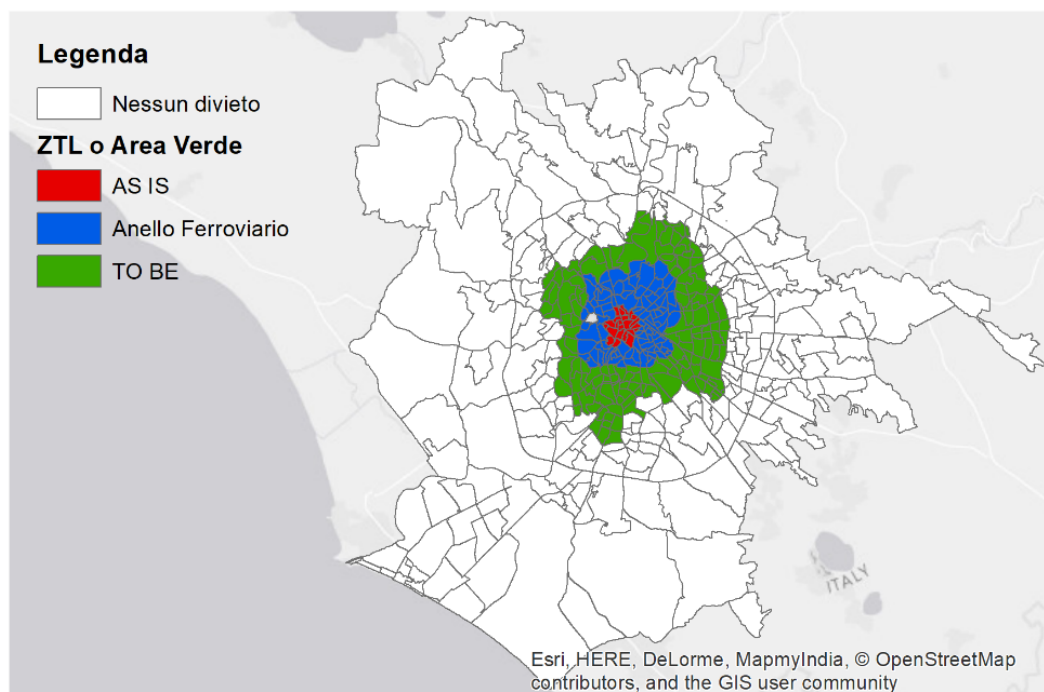


Fonte: elaborazione propria

Si ipotizza inoltre la diffusione capillare di *veicoli elettrici, a guida autonoma e condivisi* che comprenderanno sia *driverless bus/minibus* che *driverless car condivise*, con conseguenti forti miglioramenti in termini di disponibilità e di livello di servizio del trasporto collettivo.

L'avvento delle nuove tecnologie apre alla possibilità di interventi gestionali spinti, ma altrettanto ambiziosi, in termini di regolazione della domanda di trasporto. In particolare, sono stati presi in esame gli effetti di due differenti politiche di moderazione del traffico di veicoli privati: la *Zona a Traffico Limitata (ZTL)* e la *Car-Free Area (CFA)*. La prima prevede esclusivamente il divieto per gli spostamenti in ingresso in tale aree con le automobili, mentre la seconda estende le limitazioni a motoveicoli e ciclomotori ed inoltre anche agli spostamenti in uscita. Si considerano diversi livelli di estensione superficiale dell'area soggetta a controllo. I possibili ampliamenti sono rappresentati in Figura 7, in cui l'area AS IS si riferisce alla ZTL attualmente in vigore nel centro storico di Roma, l'area AF considera l'area interna all'Anello Ferroviario ed infine l'area TO BE costituisce una più estesa porzione del territorio densamente urbanizzato e a tratti congestionato, potenzialmente oggetto di limitazione al traffico.

*Figura 7 - Cartografia degli interventi di regolazione del traffico veicolare.*



*Fonte:* elaborazione propria

Gli scenari futuri di analisi sono stati formulati secondo una logica che prevede una combinazione delle suddette diverse tipologie di intervento. Ciò ha condotto alla costituzione degli scenari futuri di analisi che è possibile individuare dagli eventuali incroci della matrice degli interventi di Figura 8. In questo elaborato si riportano esclusivamente i risultati delle simulazioni degli scenari evidenziati in verde.

Figura 8 - Matrice degli interventi e degli scenari oggetto di simulazione.

INTERVENTI DI REGOLAZIONE DEL TRAFFICO VEICOLARE PRIVATO						
ZONA A TRAFFICO LIMITATO (ZTL)			CAR FREE AREA (CFA)			
(<= divieto alle auto, solo in ingresso)			(<= divieto a auto e moto, in ingresso e in uscita)			
AS IS	AF	TO BE	AS IS	AF	TO BE	
(= corona 1)	(= cor. 1, 2)	(= cor. 1, 2, 3)	(= corona 1)	(= cor. 1, 2)	(= cor. 1, 2, 3)	
INTERVENTI TECNOLOGICI E INFRASTRUTTURALI	PRG + opere invarianti	Scenario di Riferimento				
	PRG + opere invarianti + ulteriori infrastrutture	INFR_ZTL_ASIS	INFR_ZTL_AF			
	PRG + opere invarianti + ulteriori infrastrutture					
	Diffusione di ITS e modalità di trasporto innovative	ITS_ZTL_ASIS	ITS_ZTL_AF	ITS_ZTL_TOBE	ITS_CFA_ASIS	ITS_CFA_AF

Fonte: elaborazione propria

## 5. Risultati

La simulazione dello Scenario di Riferimento mostra un aggravarsi del fenomeno di diffusione incontrollata della popolazione (*urban sprawl*): i residenti, rispetto allo Scenario Attuale, diminuiscono nelle prime quattro corone mentre aumentano del 30,8% nella quinta corona (cfr. Tabella 2). Il modello stima dunque che quasi un terzo della popolazione di Roma (931.498 su 2.991.562 abitanti), risiederà fuori dal Grande Raccordo Anulare.

Tabella 1 - Distribuzione spaziale di occupati e addetti nello Scenario di Riferimento.

Area	Popolazione	Occupati di reddito alto	Occupati di reddito basso	Addetti	Addetti Servizi Privati	Addetti Commercio
1 <sup>a</sup> corona	57.036	9.981	19.409	114.901	55.504	11.100
2 <sup>a</sup> corona	432.994	55.175	152.731	395.979	204.162	36.974
3 <sup>a</sup> corona	977.188	89.536	362.974	370.590	154.320	54.150
4 <sup>a</sup> corona	592.845	58.644	234.694	260.337	101.070	37.700
5 <sup>a</sup> corona	931.498	81.692	371.933	294.963	117.232	65.651
Totale	2.991.562	295.028	1.141.741	1.436.769	632.288	205.576

Fonte: elaborazione propria

Tabella 2 - Variazione di occupati e addetti nello Scenario di Riferimento, rispetto allo Scenario Attuale.

Area	Popolazione	Occupati di reddito alto	Occupati di reddito basso	Addetti	Addetti Servizi Privati	Addetti Commercio
1 <sup>a</sup> corona	-17,9%	-18,6%	-10,6%	-3,7%	-8,6%	-9,1%
2 <sup>a</sup> corona	-4,5%	-2,2%	-6,1%	+0,5%	-1,7%	-1,4%
3 <sup>a</sup> corona	-5,3%	-3,3%	-6,3%	+1,9%	+2,6%	-5,8%
4 <sup>a</sup> corona	-2,3%	+6,8%	-4,6%	-2,4%	-4,4%	-14,8%
5 <sup>a</sup> corona	+30,8%	+21,5%	+33,2%	+24,6%	+41,2%	+42,6%
Totale	+4,1%	+4,1%	+4,1%	+4,1%	+4,1%	+4,1%

Fonte: elaborazione propria



Tali variazioni non sono affatto riconducibili all'aumento demografico, poiché questo nel complesso è pari limitatamente al 4,1%. Questa osservazione è confermata anche dal *metodo di ripartizione di Holdren* (Beck *et al.*, 2003) (cfr. Tabella 3), il quale mostra che lo sprawl è attribuibile per il 35% alla crescita della popolazione, e di conseguenza per la restante parte, il 65%, alla crescita del consumo di suolo pro capite (o diminuzione della densità di popolazione).

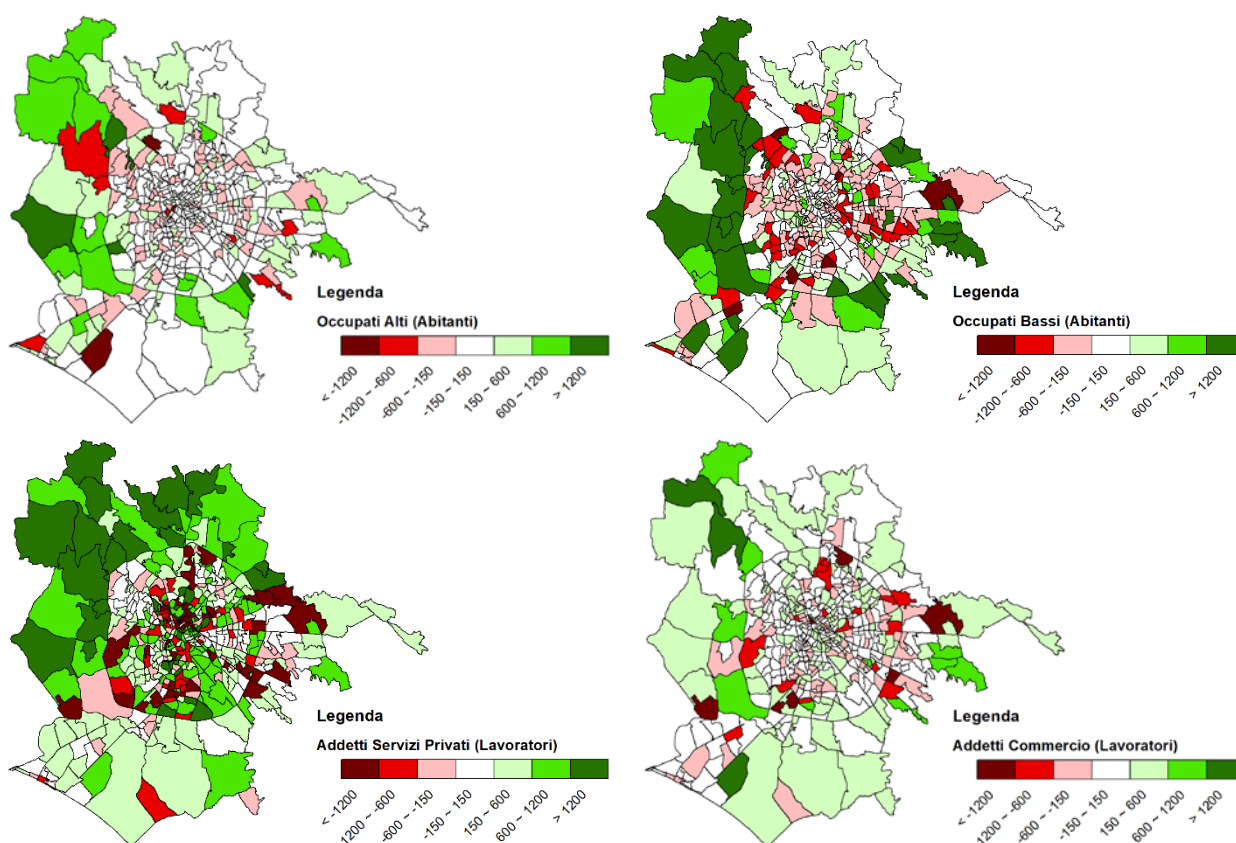
*Tabella 3 - Applicazione del metodo di ripartizione di Holdren allo Scenario di Riferimento, rispetto allo Scenario Attuale.*

Scenario	SUL	Popolazione	SUL procapite		
ATTUALE	97.136.842	2.873.976	33,80		
RIFERIMENTO	108.779.025	2.991.562	36,36		
	$g_A$	$g_P$	$g_a$	$S_P$	$S_a$
MODELLO DI HOLDREN	0,1132	0,0401	0,0731	35%	65%

Fonte: elaborazione propria

In Figura 9 si osserva una tendenza della popolazione a diffondersi in particolare nel quadrante Ovest della città, a causa prevalentemente dell'aumento della disponibilità di nuova Superficie Utile Lorda residenziale.

*Figura 9 - Cartografia delle variazioni di occupati e addetti nello Scenario di Riferimento, rispetto allo Scenario Attuale.*



Fonte: elaborazione propria

La medesima tipologia di analisi è stata condotta anche sugli scenari di sviluppo alternativi. Per brevità di trattazione si riporta per esteso solamente ciò che avviene nello scenario "ITS\_ZTL\_TOBE" (cfr. Tabella 4, Tabella 5). In questo specifico scenario, in cui si prevede la diffusione capillare dei veicoli di nuova generazione e l'estensione della ZTL fino alla terza corona, è possibile notare che il fenomeno di dispersione

della popolazione si riduce. L'area soggetta a misure di regolazione del traffico si dimostra, infatti, fortemente attrattiva di residenti (cfr. Figura 10)

Tabella 4 - Distribuzione spaziale di occupati e addetti nello scenario “ITS\_ZTL\_TOBE”.

Area	Popolazione	Occupati di reddito alto	Occupati di reddito basso	Addetti	Addetti Servizi Privati	Addetti Commercio
1 <sup>a</sup> corona	<b>60.699</b>	10.803	20.421	<b>115.517</b>	55.746	11.473
2 <sup>a</sup> corona	<b>478.686</b>	55.495	173.850	<b>403.769</b>	209.135	39.792
3 <sup>a</sup> corona	<b>1.020.333</b>	88.135	385.712	<b>375.742</b>	156.674	56.950
4 <sup>a</sup> corona	<b>577.253</b>	59.839	225.841	<b>258.804</b>	99.725	37.512
5 <sup>a</sup> corona	<b>854.591</b>	80.757	335.917	<b>282.937</b>	111.008	59.850
Totale	<b>2.991.562</b>	295.028	1.141.741	<b>1.436.769</b>	632.288	205.576

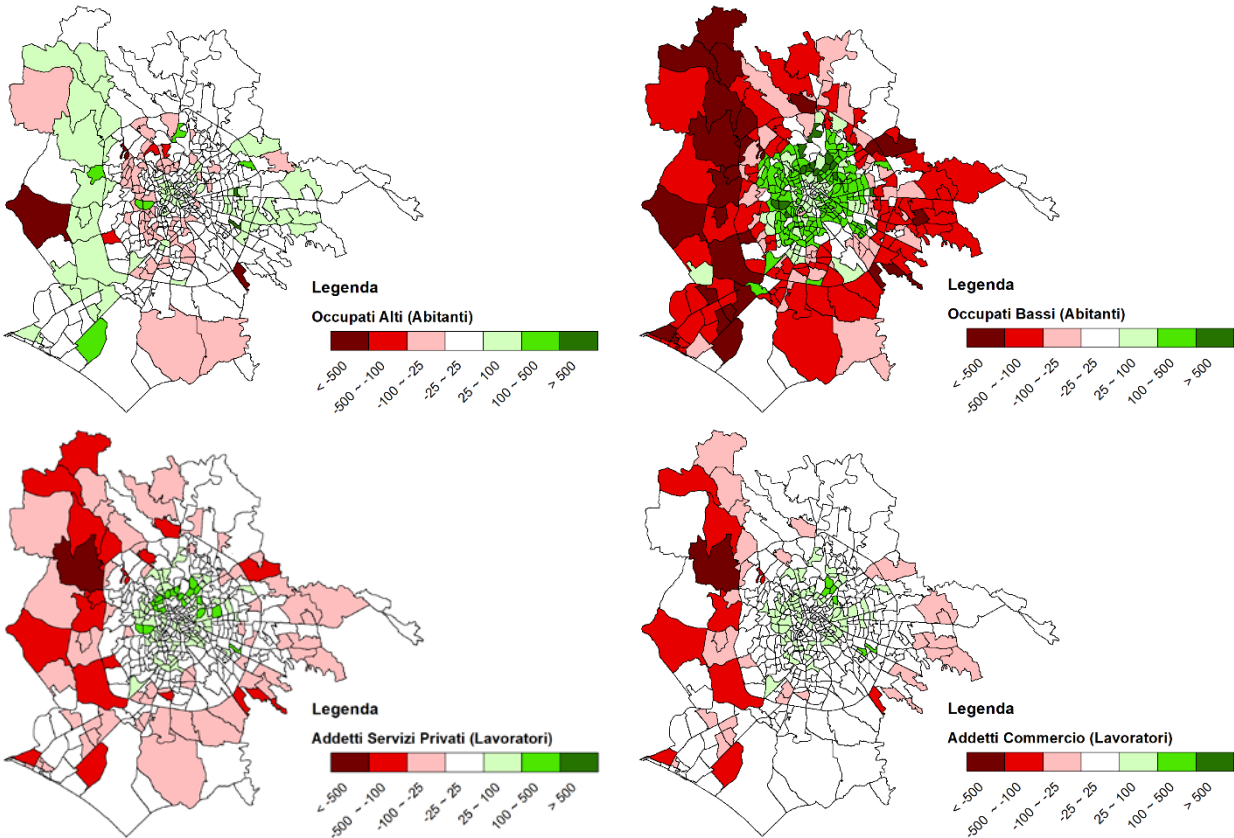
Fonte: elaborazione propria

Tabella 5 - Variazione di occupati e addetti nello scenario “ITS\_ZTL\_TOBE”, rispetto allo Scenario di Riferimento.

Area	Popolazione	Occupati di reddito alto	Occupati di reddito basso	Addetti	Addetti Servizi Privati	Addetti Commercio
1 <sup>a</sup> corona	<b>+6,4%</b>	+8,2%	+5,2%	<b>+0,5%</b>	+0,4%	+3,4%
2 <sup>a</sup> corona	<b>+10,6%</b>	+0,6%	+13,8%	<b>+2,0%</b>	+2,4%	+7,6%
3 <sup>a</sup> corona	<b>+4,4%</b>	-1,6%	+6,3%	<b>+1,4%</b>	+1,5%	+5,2%
4 <sup>a</sup> corona	<b>-2,6%</b>	+2,0%	-3,8%	<b>-0,6%</b>	-1,3%	-0,5%
5 <sup>a</sup> corona	<b>-8,3%</b>	-1,1%	-9,7%	<b>-4,1%</b>	-5,3%	-8,8%
Totale	<b>0,0%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	0,0%	0,0%

Fonte: elaborazione propria

Figura 10 - Cartografia delle variazioni di occupati e addetti nello scenario “ITS\_ZTL\_TOBE”, rispetto allo Scenario di Riferimento.

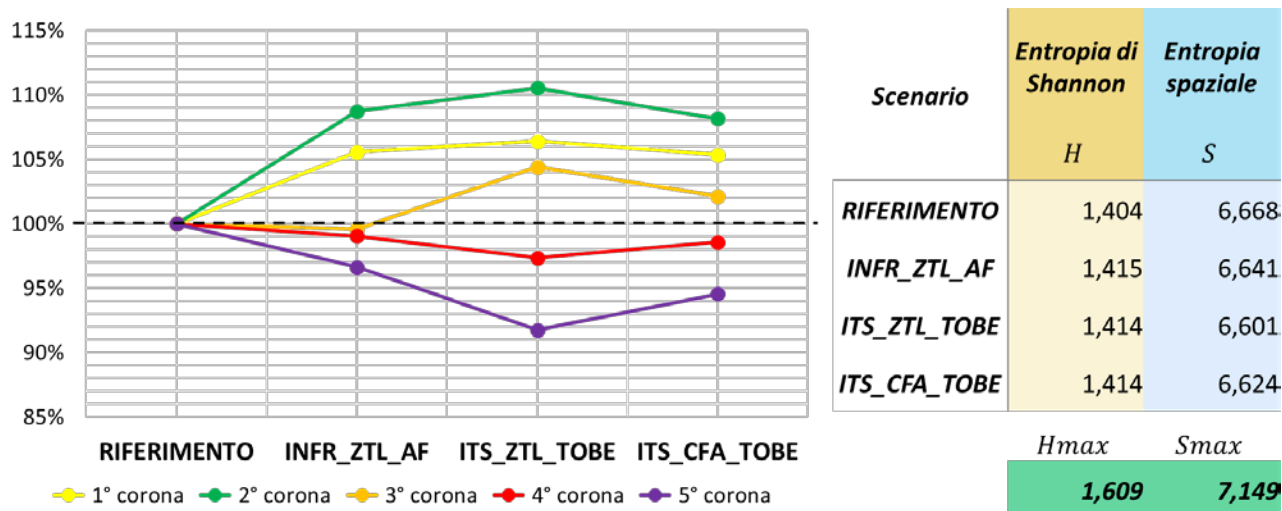


Fonte: elaborazione propria

Il confronto diretto di tutti e quattro gli scenari oggetto di simulazione permette di comprendere meglio le dinamiche insediative e le alterazioni della domanda di mobilità (cfr. Figura 11).

Relativamente agli impatti che si hanno sull'uso del suolo, emerge che negli scenari futuri di analisi vi è una riduzione della densità di popolazione della quarta e della quinta corona, in favore delle corone centrali. Vale a dire che la diffusione incontrollata della popolazione sul territorio si riduce significativamente, rispetto a quanto si verifica nello Scenario di Riferimento. Questa ipotesi è validata anche dall'analisi dell'*entropia di Shannon*, la quale dimostra che rispetto allo Scenario di Riferimento la distribuzione della popolazione è più uniforme negli scenari alternativi, poiché crescono i residenti della prima e della seconda corona. L'*entropia spaziale* (Batty, 1974), invece, dimostra che rispetto allo Scenario di Riferimento, la distribuzione della densità di popolazione è meno uniforme negli scenari alternativi, perché aumenta la densità di popolazione nelle corone centrali ovvero quelle che presentavano già dei valori più alti.

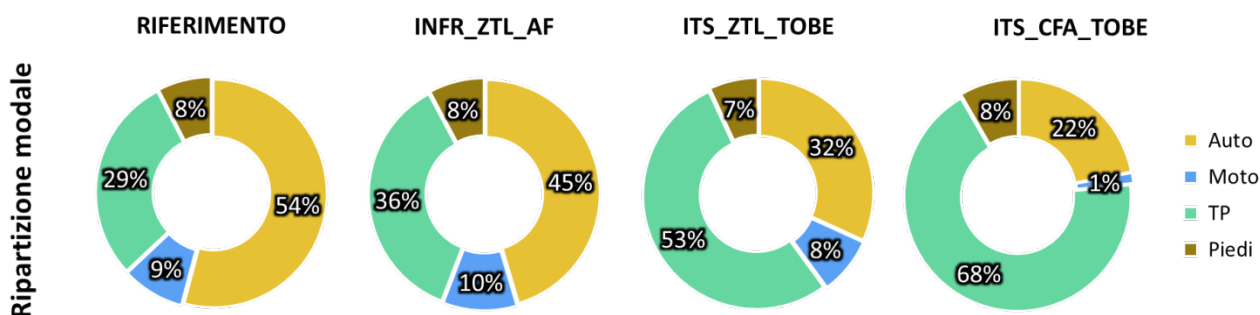
Figura 11 - Indicatori di diffusione urbana incontrollata della popolazione (urban sprawl).



Fonte: elaborazione propria

Per quanto riguarda la domanda di mobilità, si osserva che (cfr. Figura 12): nello scenario "INFR\_ZTL\_AF", in cui si prevedono esclusivamente interventi infrastrutturali, i veicoli privati permangono la modalità di trasporto più utilizzata, anche nell'ipotesi di estensione della Zona a Traffico Limitato (ZTL) all'intera area delimitata dall'Anello Ferroviario; negli altri due scenari alternativi, in cui si prevede inoltre la diffusione capillare di servizi di car-sharing a guida autonoma, anche in zone a bassa densità di domanda, l'utilizzo dell'auto passa dal valore di riferimento del 54%, al 32% o 22% a seconda che si implementi una ZTL o una Car Free Area, estesa fino alla terza corona.

Figura 12 - Ripartizione modale negli scenari oggetto di simulazione.



Fonte: elaborazione propria

È proprio in questi scenari, infine, che si notano i migliori risultati in termini di sostenibilità ambientale, con riduzioni dei consumi energetici e delle emissioni di CO<sub>2</sub> tra il 43 ed il 54% (cfr. Tabella 6).

Tabella 6 - Indicatori di sostenibilità ambientale.

Scenario	Percorrenze veicoli-km	Consumi energetici GJ	Emissioni di CO <sub>2</sub> t	Variazione %
RIFERIMENTO	3.562.479	16.459	312	-
INFR_ZTL_AF	3.003.994	13.879	263	-15,7%
ITS_ZTL_TOBE	2.026.092	9.361	178	-43,1%
ITS_CFA_TOBE	1.643.584	7.593	144	-53,9%

Fonte: elaborazione propria

## 6. CONCLUSIONI

Il sistema di modelli integrato STIT ha consentito, attraverso la simulazione delle interazioni Trasporti-Territorio, l'analisi di diversi scenari di sviluppo della città di Roma. Lo Scenario di Riferimento è stato definito sulla base delle indicazioni del Piano Regolatore Generale del 2008 e dell'offerta programmatica di trasporto. Il PRG prevede una intensa espansione dello stock immobiliare, attraverso la disponibilità di nuova *Superficie Utile Lorda residenziale*, soprattutto nelle zone periferiche dell'area comunale. Le opere infrastrutturali per il potenziamento dei servizi di mobilità non sembrano andare nella stessa direzione e risultano, ad ogni modo, inadeguate a sostenere lo sviluppo di interi quartieri in aree poco accessibili con servizi di trasporto rapido di massa.

La simulazione dello Scenario di Riferimento mostra un aggravarsi del fenomeno di *urban sprawl* ed evidenzia la tendenza della popolazione a diffondersi nelle corone più esterne, in particolare nel quadrante Ovest, mentre le attività produttive permangono nell'area interna al GRA e nelle zone periferiche del quadrante Nord. Sotto tali condizioni aumentano le distanze tra luoghi di residenza e luoghi di lavoro, il che favorisce una mobilità orientata all'utilizzo dell'auto (*car-oriented*), con conseguente aumento delle percorrenze (*veicoli-km*) e delle emissioni inquinanti.

Nello scenario futuro di analisi in cui si prevedono ulteriori interventi infrastrutturali, volti a migliorare l'accessibilità e a ridurre il costo generalizzato dello spostamento, il fenomeno di *sprawl* urbano subisce apparentemente un lieve rallentamento. Tuttavia, l'analisi degli indicatori di sostenibilità dimostra che non si ha una sostanziale riduzione delle esternalità negative generate dai trasporti. I veicoli privati permangono la modalità di trasporto più utilizzata, anche ipotizzando l'estensione della Zona a Traffico Limitato (ZTL) all'intera area delimitata dall'Anello Ferroviario.

Invece, negli scenari di analisi in cui si ipotizza uno sviluppo diffuso delle nuove tecnologie, avviene una modifica profonda delle caratteristiche della mobilità urbana. La diffusione capillare di servizi di *car-sharing* a guida autonoma incentiva un più intenso utilizzo del trasporto collettivo, anche in zone a bassa densità di domanda, e consente l'implementazione di politiche di controllo della domanda molto spinte, quali ad esempio l'istituzione di una ZTL o di una Car Free Area, estesa fino alla terza corona. In questi scenari si rilevano i migliori progressi in termini di ripartizione modale: l'utilizzo dei veicoli di proprietà (auto e moto) passa dal valore di riferimento del 54%, al 32% con la ZTL e al 22% con la Car Free Area. Dal punto di vista dell'uso del territorio, si osserva, inoltre, che l'estensione dell'area soggetta a misure di regolazione del traffico risulta nuovamente attrattiva per i residenti: lo *sprawl* urbano si arresta e la città tende a compattarsi. Le simulazioni mettono infine in evidenza alcuni risultati notevoli in termini di sostenibilità ambientale: i consumi energetici si riducono del 43% nello scenario con la ZTL e del 54% in quello con la Car Free Area; le tonnellate di CO<sub>2</sub> risparmiate sono circa 130 con la ZTL e quasi 170 con la Car Free Area.

In conclusione, dunque, il miglioramento dei servizi di trasporto collettivo combinato con Zone a Traffico Limitato e aree pedonali diffuse su larga scala, permette non solo una significativa diversione modale dai veicoli privati verso modalità di trasporto più sostenibili, ma anche una limitazione del fenomeno di espansione urbana incontrollata.



## 7. Bibliografia

- Alonso Raposo, M., Ciuffo, B., Makridis, M., & Thiel, C. (2017). The r-evolution of driving: from Connected Vehicles to Coordinated Automated Road Transport (C-ART). *Part I: Framework for a safe & efficient Coordinated Automated Road Transport (C-ART) system*. EUR 28575 EN, doi:10.2760/225671.
- Atkins. (2016). Research on the Impacts of Connected and Autonomous Vehicles (CAVs) on Traffic Flow. *Stage 2: Traffic Modelling and Analysis Technical Report*. UK, Department for Transport.
- Audouin, M., & Finger, M. (2017). What role for public authorities in the development of Mobility-as-a-Service? *The Helsinki case*. European Transport Conference 2017.
- Batty, M. (1974). Spatial Entropy. *Geographical Analysis*, 6: 1–31. doi:10.1111/j.1538-4632.1974.tb01014.x.
- Beck, R., Kolankiewicz, L., & Camarota, S. (2003). Outsmarting Smart Growth. *Population growth, immigration, and the problem of sprawl*. ISBN 1-881290-44-1.
- Cascetta, E. (2001). Transportation Systems Engineering. *Theory and Methods*. doi:10.1007/978-1-4757-6873-2, Springer.
- Cascetta, E. (2009). Transportation Systems Analysis. *Models and Applications*. doi:10.1007/978-0-387-75857-2, Springer.
- Cohen, B., & Kietzmann, J. (2014). Ride on! Mobility Business Models for the Sharing Economy. *Organization & Environment*. doi:10.1177/1086026614546199.
- Coppola, P., & Nuzzolo, A. (2011). Changing accessibility, dwelling price and the spatial distribution of socioeconomic activities. *Research in Transportation Economics*, vol. 31, p. 63-71. doi: 10.1016/j.retrec.2010.11.009.
- Eltis. (2014). Guidelines. *Developing and implementing a Sustainable Urban Mobility Plan*. European Local Transport Information Service, Commissione europea.
- Here. (2016). How autonomous vehicles could relieve or worsen traffic congestion. HERE Technologies - SBD Automotive.
- Kamargianni, M., & Matyas, M. (2017). The Business Ecosystem of Mobility as a Service. 96th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, Washington DC, 8-12 January 2017.
- Libro Bianco. (2011). Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti. *Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile*. COM(2011) 144 definitivo, SEC(2011) 359 definitivo, SEC(2011) 358 definitivo, SEC(2011) 391 definitivo, Commissione europea.
- Libro Verde. (2007). Verso una nuova cultura della mobilità urbana. COM(2007) 551 definitivo, SEC(2007) 1209, Commissione europea.
- PGTU. (2015). Piano Generale del Traffico Urbano. *dalle Regole ai Sistemi*. Roma Capitale - Assessorato Trasporti e Mobilità.
- PRMTL. (2014). Piano Regionale della Mobilità, dei Trasporti e della Logistica. *AREMOL. Scenari e visione preliminari alla stesura del PRMTL*. Regione Lazio - Agenzia Regionale per la Mobilità.
- PSMS. (2009). Piano Strategico per la Mobilità Sostenibile. *Linee di indirizzo*. Comune di Roma - Assessorato alle Politiche della Mobilità.
- PUMS. (2017). RSM. Punti fermi per il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile. *Interventi prioritari per il miglioramento della rete del trasporto pubblico e la rete stradale di Roma Capitale*. Agenzia Roma Servizi per la Mobilità.
- Ricardo-AEA. (2014). Update of the Handbook on External Costs of Transport. *Final Report*. Commissione europea.
- STATUS. (2016). Scenari Trasportistici e Ambientali per un Trasporto Urbano Sostenibile. *La pianificazione dei trasporti nell'area metropolitana di Roma*. Roma Servizi per la Mobilità.
- SUM. (2014). Sustainable Urban Mobility. Report 2.1 - Azioni integrate Trasporti-Territorio per la sostenibilità. *Il modello matematico d'interazione Trasporti-Territorio*. Linee guida per la mobilità sostenibile nelle aree urbane. PRIN 2009.
- UN. (2016). The World's Cities in 2016 - Data Booklet. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/392)*. ISBN 978-92-1-151549-7.
- UN. (2017). World Population Ageing 2017 - Highlights. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/397)*. ISBN 978-92-1-151551-0.

## ABSTRACT

The potential offered by advanced technology allows today (and increasingly it will in future) to implement effective travel demand management (TDM) policies to improve the quality of urban mobility. This is particularly true for those cities that often suffer from congestion problems and poor air quality.

In the past, the problem of diverting car trips towards Public Transport (PT) modes has been addressed through increasing integrated PT services (“pull” policies) and by access restriction and/or pricing policies for private cars (“push” policies). The impacts of such policies have in some cases been effective, but have been limited by economic and social constraints. In fact, due to limits imposed generally by operating costs, PT services cannot be so capillary and frequent, to be more convenient than driving by car. On the other hand, the implementation of pricing policies limiting access by car to areas and streets is seen as unfair, since it might create unequal accessibility opportunities, and in some cases segregation of those (less advantages) population segments that cannot afford to own a private car or to pay for taxi.

It is widely believed that the advent of new technologies (and in particular of autonomous driving vehicles) will profoundly change the urban mobility scenario. In particular, Public Transport and car-sharing services could face a significantly reduction of operating costs, allowing widespread distribution of services at affordable prices (also in areas with low-demand density).

In the literature, preliminary studies show the potential impacts of autonomous-driving vehicles on urban mobility, both on the supply of urban mobility services and on the demand sides. However, it is not yet clear what impact the new supply of PT services (including car-sharing) and some disruptive TDM policies (e.g. widespread “free-car” zones) could have on economic growth and urban sprawl.

The new challenges for decision-makers and researcher in this domain would be that of identifying what policies to put in place in order to avoid that the technological shift did result, on the one hand, in increasing travel distances and mobility levels, and, again, in more congestion, and, on the other hand, in more dispersed land-consuming cities.

This paper presents the results of a research aimed at testing the sustainability of future integrated land use and transport scenarios, including increasing diffusion and capacity of Public Transport and car-sharing solutions combined with TDM policies, with an application to the urban area of Rome.

To this aim a system of Land-Use Transport Interaction (LUTI) models has been applied to understand interdependence of key planning variables such as travel behaviour, transport supply, jobs and inhabitants location. The models represent the behaviour of both dwellers and transport users and how they react to changing conditions. A set of indicators has also been defined to systematically test and compare alternative future scenario and to assess to what extent different policies achieve sustainability in terms of transport performances and environmental impacts.

Preliminary results show that migration of population and activities out of “free-car” zones (however extended) is limited to certain segments of population and economic activities. Overall, a reduction of congestion and urban sprawl could actually be achieved by extensive TDM policies accompanied by widespread car-sharing and PT services.