PRIMA APPLICAZIONE DI UNA METODOLOGIA DI BACKCASTING PER SCEGLIERE LE TECNOLOGIE DA PRIORITIZZARE UN UNA ROADMAP PER SMART COMMUNITIES

Adriano Alessandrini*e Camilla Baroncelli**

con il supporto scientifico di

Paolo Delle Site***e Francesco Filippi****

*Università degli Studi di Firenze
** ALEPH srl
***Università Niccolò Cusano
**** Sapienza Università di Roma

In collaborazione con Fondazione per la Ricerca e l'Innovazione

Sommario

La presente relazione effettua un primo esercizio di backcasting – mediante analisi dati e simulazioni - sulle tecnologie "smart" a servizio della mobilità nelle smart communities e sulle loro reali possibilità di contribuire ad uno sviluppo sostenibile delle aree urbane e quali politiche siano necessarie a livello locale per indirizzare l'applicazione delle tecnologie verso l'attuazione dei servizi di trasporto che meglio contribuiscono a tale sviluppo sostenibile.

Il backcasting (al contrario del forecasting che si limita a prevedere gli effetti di uno scenario) definisce degli obiettivi che un governo (locale, regionale o nazionale che sia) si prefigge di raggiungere, degli indicatori per misurare tali obiettivi e delle soglie minime per ogni indicatore che definiscano il raggiungimento dell'obiettivo prefisso.

Un'analisi estensiva dovrebbe scegliere varie conurbazioni, definire degli obiettivi sia generali che locali in un processo iterativo con esperti ed autorità locali, definire (con l'aiuto di altri esperti) scenari tecnologici che associano a diversi orizzonti temporali la disponibilità delle diverse tecnologie, declinare tali tecnologie in servizi di trasporto e poi applicare questi servizi nelle varie conurbazioni scelte valutando il raggiungimento o meno degli obiettivi prefissati e proponendo l'applicazione di politiche opportune perché si superino le soglie minime di ogni indicatore.

In questa prima applicazione si sono definiti degli obiettivi (e degli indicatori per misurarli con soglie di successo) presi in base a documenti ufficiali internazionali senza discuterli con nessun decision-maker; gli indicatori sono:

- il consumo energetico per cui l'obiettivo è una riduzione del 50% (e la CO2 prodotta che oggi non cambia tra veicolo elettrico e motore a scoppio perché dato il mix energetico nazionale un veicolo elettrico emette grossomodo la stessa CO2 di un veicolo con motore a combustibili fossili);
- le emissioni di gas nocivi in loco per cui l'obiettivo è l'eliminazione totale;
- la sicurezza (safety) per cui l'obiettivo è una riduzione del 50% del tasso di mortalità in incidenti di mobilità per milione di abitanti;
- il consumo di spazio per cui l'obiettivo è una riduzione del 10% dello spazio usato consumato da veicoli in moto o parcheggiati.

Si sono prese due aree periurbane di un'unica conurbazione (i comuni di Sesto Fiorentino e Bagno a Ripoli della città metropolitana di Firenze) per cui si disponeva di modelli di scelta modale e di interazione domanda/offerta di trasporto

già calibrati, e si sono studiati due possibili servizi di trasporto che applicano tecnologie dell'automazione, dell'elettrificazione e della connessione della mobilità. I due comuni rappresentano due realtà diverse tra loro: Sesto Fiorentino è un comune di circa 50.000 abitanti, concentrati per lo più in un unico centro abitato servito dalla linea ferroviaria, mentre Bagno a Ripoli è un comune di dimensioni minori (circa 25.000 abitanti) diviso tra tre centri abitati di piccole dimensioni e con una buona parte della popolazione sparsa per aree collinari. Entrambi i comuni saranno serviti in futuro da una linea tranviaria di nuova generazione, di collegamento con il centro della città di Firenze. Per ogni area studiata si sono valutati: un servizio di veicolo automatico privato (o eventualmente affittato ad uso individuale tipo taxi automatico) e un servizio collettivo (con veicoli in grado di riposizionarsi automaticamente) di adduzione per le reti di trasporto pubblico principali (tram e treno) esistenti o in fase di realizzazione. Il primo scenario è stato simulato aggiungendo un modo di trasporto privato con caratteristiche del tutto analoghe all'auto privata ma la non necessità di parcheggiare né di costo per il parcheggio. Il secondo scenario, in cui un utente guida un veicolo con altri utenti a bordo e solo in fase di riposizionamento il veicolo è (ove necessario) automatico a bassa velocità, è simulato come un servizio di trasporto pubblico e non si considera la propensione (o meno) degli utenti a condividere un veicolo piccolo e guidato da altri utenti e non da autisti professionisti. I veicoli automatici in ambo gli scenari non hanno vantaggi né svantaggi di capacità o di velocità.

Questi due scenari, in assenza di politiche incentivanti l'utilizzo di soluzioni alternative all'auto privata per l'accesso all'area urbana del capoluogo, hanno dato risultati di modesta entità, non sufficienti a raggiungere gli obiettivi previsti, uno in direzione favorevole al raggiungimento di tali obiettivi, vale a dire di aumento della quota modale pubblica, l'altro in direzione sfavorevole, con un ritorno all'auto privata – per quanto elettrica e automatica. Si è quindi simulata l'attuazione di una politica restrittiva all'accesso dei veicoli privati provenienti dai Comuni studiati al centro cittadino dell'Area Metropolitana (tipo Congestion Charging Area) e lo scenario sui servizi di adduzione ha mostrato delle potenzialità, sebbene siano necessari dei correttivi, mentre quello sui veicoli privati elettrici e automatici (o taxi automatici) ha mostrato di sterilizzare l'effetto delle scelte politiche mantenendo il livello di congestione, corrispondente ad un notevole aumento della quota modale privata incentivata dalla possibilità per i veicoli elettrici automatici di accedere all'area urbana .

Metodologicamente, si è proceduto utilizzando un modello multimodale a 4 stadi dell'ora di punta di un'area metropolitana, concentrandosi su due comuni di cintura di natura diversa, e analizzando 3 distinti scenari

1. lo scenario futuro base, con realizzazione delle infrastrutture e dei servizi già programmati dalle amministrazioni locali (linee tranviarie e di BRT);
2. un sistema di adduzione a chiamata con veicoli di piccola dimensione, presumibilmente in un primo momento con utente driver e successivamente con veicoli a guida automatica, che colleghi in modo più efficace le varie zone con il sistema ferroviario o tranviario;
3. uno scenario con affiancamento dei veicoli privati tradizionali con un sistema diffuso di veicoli elettrici automatici ad uso personale (eventualmente taxi automatici), classificato comunque come modo privato.

Il sistema di adduzione comporta un aumento della quota modale pubblica dai comuni oggetto di analisi di circa il 2% e un incremento rilevante di saliti sui servizi pubblici forti (vale a dire la rete tpl di primo livello: treno, tram e BRT), fino al +47 % su alcune fermate. Questo fenomeno è più rilevante soprattutto quando i servizi collegano centri abitati

marginali rispetto alla rete di TPL di primo livello. Il limite principale che non permette di ottenere risultati più rilevanti in termini di diversione modale sta nel fatto che il sistema di adduzione riesce a innescare un meccanismo di diversione modale a favore del pubblico solo per quelle relazioni che sono raggiunte direttamente dai servizi a cui sono connesse.

Per quanto riguarda il sistema con veicoli individuali a guida automatica, questo risulta utilizzato anche a rete congestionata, ma l'uso del park&ride con interscambio tranviario rappresenta in ogni caso la soluzione più conveniente a livello di costo generalizzato, anche perché garantisce tempi certi di viaggio. In entrambi i casi, la disponibilità di veicoli automatici elettrici comporta un aumento della matrice privata di circa il 4%. Nel caso in cui il capoluogo applichi politiche di restrizione all'accesso dei veicoli privati a cui invece i mezzi del servizio a Guida Elettrica Automatica si sottraessero, i risultati ottenuti per le due realtà studiate sono diverse e dipendono sia dal fatto che le alternative modali disponibili sono diverse (Bagno a Ripoli non ha il treno) sia che il livello di congestione attuale è decisamente maggiore lungo la direttrice di Sesto. In generale, però, l'effetto di riduzione della matrice privata associato nello scenario di riferimento all'introduzione della norma Scudo Verde, viene vanificato dalla presenza di un sistema che non ne è sottoposto, per quanto il suo costo sia maggiore all'uso dell'auto privata, fino ad un valore sostanzialmente quasi doppio della matrice privata nello scenario con Scudo+GEA rispetto a quello con il solo Scudo. Questo risultato è ancora maggiore dove la congestione pre-Scudo Verde era più elevata: lo Scudo Verde, infatti, comporta una diminuzione della congestione nella rete cittadina, dove si riducono quindi i tempi di percorrenza, per cui chi può accedere registra attributi migliori che negli scenari senza Scudo Verde, a favore quindi del privato nel modello di split modale.

Nelle simulazioni sono stati scelti costi e tariffe per questi nuovi servizi in base ad un dimensionamento preliminare dell'offerta in modo che ci sia un pareggio finanziario fra tariffe e costi del servizio ma non è stata fatta un'analisi di sensitività degli effetti della tariffa sulle scelte modali.

I principali risultati ottenuti, in misura coerente per i due Comuni analizzati, possono essere riassunti come segue.

1. L'applicazione delle tecnologie a servizi di adduzione, esclusi dal sistema tariffario integrato ma sostenuti dal pagamento di un contributo per corsa, dà risultati generalmente più favorevoli sebbene non sufficienti a raggiungere gli obiettivi prefissati (pochi punti percentuali di spostamento modale) in particolare:
    a. sottraggono spostamenti prevalentemente ai modi cosiddetti attivi o deboli, vale a dire il modo "piedi" o "bici", e, ove esistente, al TPL di periferia esistente (che andrebbe riorganizzato, in quanto a bassa frequenza e con percorsi di raccolta molto lunghi) con un aumento del consumo energetico per passeggero trasportato;
    b. non inducono uno spostamento modale significativo (se non per poche centinaia di spostamenti sulle migliaia giornaliere) verso il trasporto di massa, ma si limitano a confermare gli utenti che già scelgono il trasporto pubblico almeno in parte; analizzando meglio le relazioni origine-destinazione servite in origine dall'adduzione e per cui si ottiene un effetto di shift modale, si nota che spostamenti ben serviti dal servizio di massa di qualità a destinazione (minori tempi di viaggio come il treno o alta frequenza e regolarità di servizio come il tram) sono più attratti dal TPL e dal TPL+adduzione, mentre non si riesce ad ottenere alcun effetto diversivo su relazioni con destinazioni servite solo dal TPL urbano su gomma classico o scarsamente servite dai servizi pubblici: si dovrebbero quindi investigare gli effetti di un servizio di adduzione capillare in tutta l'area metropolitana per cui gli spostamenti

modali potrebbero essere più consistenti con contributo significativo e positivo agli indicatori di consumo energetico, sicurezza e consumo di spazio; l'indicatore di emissioni è fortemente dipendente dalla tecnologia veicolare scelta;

c. in presenza di una misura restrittiva all'accesso in città con la propria auto (a Firenze è allo studio uno scudo verde che faccia pagare l'ingresso in auto in città a chi risiede nei comuni limitrofi) lo spostamento modale è maggiore, a favore di TPL+adduzione con indicatori tutti più vicini alle soglie desiderate.

2. L'applicazione delle tecnologie di automazione, elettrificazione e connessione ai veicoli privati (o a taxi automatici), in un sistema che sostanzialmente permette all'utente di abbattere i tempi ed i costi di parcheggio e di accedere ad ogni zona dell'area urbana senza restrizioni a fronte di un costo operativo lievemente superiore, non sposta significativamente gli equilibri ma lo fa prevalentemente nella direzione opposta agli obiettivi prefissati:
    a. il nuovo modo di trasporto sottrae utenti al trasporto privato "classico", effettuato quindi con auto di proprietà alimentate per lo più a combustibili fossili, e solo in parte al trasporto pubblico, che per certe destinazioni più centrali continua ad essere la scelta principale eventualmente in combinazione con l'auto privata in una catena di park&ride, per via dei minori tempi di viaggio e costi generalizzati di viaggio. I risultati di questo scenario sono legati soprattutto alle condizioni di congestione della rete urbana, in cui si registrano sia per i veicoli privati classici che per quelli del nuovo sistema tecnologico tempi di viaggio molto superiori a quelli a flusso libero. Gli utenti sottratti al privato consumano la stessa energia e lo stesso spazio ma azzerano le proprie emissioni e hanno un vantaggio di sicurezza (non quantificabile oggi); gli utenti sottratti al TPL aumentano il proprio consumo energetico e di spazio anche se non peggiorano per emissioni nocive e sicurezza;
    b. l'applicazione dello scudo verde, essendo l'ingresso in città gratuito per veicoli elettrici, induce un maggiore spostamento modale dal trasporto privato al nuovo modo con effetti positivi sulle emissioni, ma, non diminuendo la congestione, non libera spazio né migliora a livello energetico. Risulta particolarmente interessante sottolineare come, proprio l'effetto di decongestionamento della rete dovuto alla realizzazione dello Scudo Verde, induca uno shift modale a favore del nuovo servizio a sfavore del pubblico, dal momento che i tempi di percorrenza sulla rete in questo scenario sono ridotti rispetto allo scenario senza Scudo Verde.

Complessivamente le aspettative in termini di sviluppo sostenibile delle smart communities da parte delle tecnologie analizzate nei due servizi di trasporto sono state disattese. Nessuno dei servizi proposti ottiene da solo gli effetti sperati ed anche le politiche applicabili non riescono a garantire il raggiungimento degli obiettivi. Meglio piuttosto favorire l'applicazione delle nuove tecnologie in ottica servizi di trasporto (MAAS), soprattutto nelle aree periferiche e come adduzione alle linee di trasporto principali, ma va investigato l'effetto di un'applicazione capillare su tutto il territorio metropolitano perché l'applicazione a "macchia di leopardo" su certe aree ha effetti positivi minori di quelli sperati e ha importanti controindicazioni come l'attrazione di spostamenti altrimenti fatti a piedi che oltre all'impatto energetico hanno un impatto di lungo periodo sulla salute delle persone.

Automazione ed elettrificazione dei veicoli privati (o taxi automatici) hanno qualche effetto positivo sulle emissioni nocive e ne potrebbero avere a livello di consumi energetici e CO2, qualora il mix energetico nazionale aumentasse la quota di produzione da fonti rinnovabili, ma non hanno alcun beneficio (anzi) su congestione e consumo di spazio e quelli sulla sicurezza non sono al momento quantificabili.

Nuove politiche urbanistiche (tipo l'applicazione della città in 15 minuti) potrebbero ridurre l'esigenza di mobilità e favorire lo sviluppo di servizi di trasporto collettivi e condivisi più efficienti e le tecnologie analizzate potrebbero contribuire significativamente a ridurre gli impatti della mobilità ben oltre le soglie scelte per gli indicatori, tuttavia il processo di revisione urbanistica diverrebbe il principale driver di questo nuovo sviluppo sostenibile urbano e le tecnologie solo dei facilitatori per le stesse.

La roadmap per sviluppo e applicazione di queste tecnologie andrebbe quindi integrata con:

- indicazioni di necessità di incentivazione di servizi di trasporto condivisi (basati sulle ICT) nelle periferie urbane su cui applicare elettrificazione ed automazione (almeno parziale) dei veicoli;
- disincentivazione dell'automobile privata anche fosse elettrica ed automatica;
- la considerazione che i parcheggi di interscambio (specialmente se gratuiti o a basso costo) incentivano possesso ed uso del mezzo privato al di fuori del solo centro metropolitano;
- incentivazione di un processo di revisione della pianificazione urbanistica delle aree metropolitane tese a favorire spostamenti a piedi, con modi dolci e, per distanze più lunghe, modi collettivi e condivisi basati su veicoli elettrici
- incentivazione alla creazione di servizi di noleggi auto localizzati nelle periferie urbane per rendere il possesso dell'auto privata non necessario anche nelle periferie urbane, liberando così spazio urbano.

Questi risultati andrebbero corroborati con:

- una ridefinizione degli obiettivi con quantificazione delle soglie di successo con l'ausilio di esperti ed amministratori locali;
- un'estensione dello studio all'intera area metropolitana per verificare che i risultati attesi dalle simulazioni di due zone siano validati, con tanto di fine tuning delle calibrazioni dei modelli di scelta e analisi di sensibilità alle tariffe applicate (sia per i sistemi oggetti di studio che per la congestion charging area);
- la replica dello studio in altre aree metropolitane con caratteristiche differenti, tramite una metodologia comunque comune e confrontabile;
- una verifica quantitativa dei risultati nelle varie aree.

Indice

Sommario 1

Indice 5

1 Introduzione 7

2 La metodologia semplificata di questa prima applicazione 9

2.1 Definizione degli Obiettivi 9
2.2 Tecnologie e servizi di trasporto investigati 12
2.2.1 L'auto privata elettrica, automatica e connessa 12
2.2.2 Il veicolo collettivo e condiviso elettrico, automatico e connesso armonizzato col TPL 13
3 Preparazione degli scenari per la simulazione 15
3.1 La struttura del modello di previsione della domanda 15
3.2 Scenari di Analisi 19
3.2.1 Modello con servizio di adduzione capillare a chiamata 21
3.2.2 Modello con sistema in sharing di veicoli elettrici a guida automatica (GEA) 24
4 Simulazione degli scenari 27
4.1 Sistema di adduzione a chiamata 27
4.2 Sistema di veicoli a Guida Elettrica Automatica 30
4.3 Scenari rivisti con l'applicazione di una congestion charging nella zona centrale (Scudo Verde) 33
5 I risultati preliminari ottenuti 34
6 Proposta di aggiornamento della roadmap in base a questi primi risultati 36
Allegato A – Metodologia completa proposta 38
Attività 1 - Definizione del futuro desiderabile 38
Attività 2 – Analisi dei PUMS, della letteratura e scelta delle conurbazioni di studio 38
Attività 3 – Declinazione delle visioni con i relativi obiettivi sulle conurbazioni selezionate 38
Attività 4 – Technology forecasting e Technology Assessment 39
Attività 5 – Definizione dei servizi di trasporto disponibili nei due orizzonti temporali in funzione delle tecnologie disponibili e delle conurbazioni 39
Attività 6 – Definizione delle relazioni causa-effetto per il calcolo degli impatti 40
Attività 7 – Definizione di pacchetti di politiche e calcolo degli impatti dei diversi scenari 41
Attività 8 – Verifica del raggiungimento degli obiettivi 41

1 Introduzione

Il Cluster Nazionale sulle smart communities ha definito una roadmap per Smart and Collaborative Mobility che ha un obiettivo strategico suddiviso in sotto-obiettivi ed ha individuato il contributo atteso dalle tecnologie, in essere e di prossima diffusione, al raggiungimento di tale obiettivo.

La roadmap non quantifica le aspettative in termini di impatti attesi, non analizza diversi possibili scenari in cui le stesse tecnologie possono essere applicate con risultati differenti, e non analizza nessun effetto che le politiche possono avere sulla diffusione delle tecnologie e sui loro impatti.

Non tutte le tecnologie e non tutte le differenti applicazioni possibili delle stesse tecnologie hanno gli stessi impatti attesi sulle smart-communities, sul loro sviluppo e sulla sostenibilità del loro sviluppo.

A partire da una proposta lungamente discussa nel cluster che suggeriva una complessa metodologia per includere nella roadmap un'analisi dei possibili scenari di applicazione e diffusione delle nuove tecnologie si è deciso di procedere con un primo passo semplificato nella direzione indicata. In particolare, sono necessarie:

- la costruzione di uno scenario ideale desiderato e condiviso a livello di ogni città e
- la definizione, in una tabella di marcia a ritroso chiamato backcasting, di politiche necessarie perché il progresso tecnologico porti alla concretizzazione degli obiettivi desiderati e non al contrario.

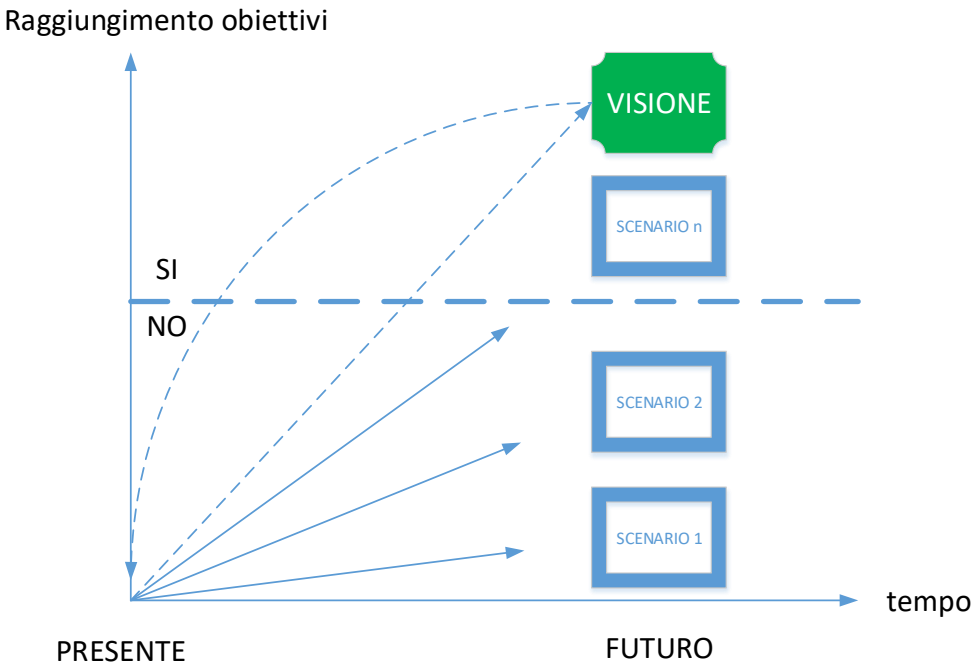


Figura 1 il concetto di Backcasting

Il backcasting, al contrario del forecasting che prevede la valutazione dell'efficacia di diversi scenari, definisce una visione degli obiettivi quantificati attesi e poi individua i percorsi e le scelte (soprattutto politiche) che consentano di raggiungere l'obiettivo prefisso, o quanto meno se non proprio la visione quantomeno uno scenario che superi una "soglia" minima di accettabilità, così come presentato in Figura 1.

La metodologia ideale per un processo di backcasting passa attraverso i seguenti passi (descritti nel dettaglio nell'allegato a).

1. Definizione del futuro desiderabile per le conurbazioni a partire dai 17 obiettivi ONU della nuova Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile e da quelli della Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future – della Commissione Europea.
2. Analisi dei PUMS (Piani Urbani della Mobilità Sostenibile) di diverse realtà urbane con individuazione di diverse realtà (per dimensioni e forme) che abbiano interesse a partecipare alla costruzione di visioni e scenari per il futuro su cui studiare gli effetti delle diverse tecnologie e delle diverse politiche.
3. Declinazione degli obiettivi definiti al punto uno sulle conurbazioni selezionate in modo da quantificare gli indicatori dello scenario futuro ideale da ottenere.
4. Definizione delle tempistiche attese per la maturazione di tre tecnologie chiave (comunicazione; automazione; elettrificazione) in termini di prestazioni disponibili nei diversi anni a venire. In particolare, ci si dovrebbe concentrare su quelle che gli esperti concorderanno essere le prestazioni attese dalle diverse tecnologie negli anni 2030 e 2050.
5. Individuazione delle possibili combinazioni tecnologiche in servizi di trasporto e opportunità di mobilità ed accessibilità anche in funzione delle caratteristiche delle conurbazioni e delle zone delle stesse nonché in funzione di un nuovo paradigma di mobilità che includa gli aspetti urbanistici e sociali oltre a quelli tecnici e tecnologici.

   I servizi di trasporto possibili dipendono dalle prestazioni tecnologiche definite al punto 4, ma anche dalle condizioni di applicazione. Questi servizi saranno diversi a seconda delle zone delle conurbazioni investigate.
6. Definizione e calibrazione di modelli per il calcolo degli impatti delle diverse soluzioni di trasporto nelle diverse conurbazioni studiate.
7. Definizione di pacchetti di politiche che influiscano sulla penetrazione delle diverse soluzioni disponibili al dato momento.
8. Verifica del raggiungimento degli obiettivi dello scenario ideale definito ed analisi di pacchetti alternativi di politiche.

Una siffatta metodologia richiede tempo per l'espletamento dei diversi passi in diverse realtà urbane con il coinvolgimento reiterato di diversi gruppi di esperti ed un notevole impiego di personale specializzato. Si è quindi rimandata un'applicazione ideale ad un prossimo futuro e si è deciso di applicare una metodologia semplificata.

La metodologia semplificata, descritta in dettaglio nel prossimo capitolo, ha previsto la definizione degli obiettivi, la scelta degli indicatori che misurino tali obiettivi e delle soglie minime di successo, non attraverso un processo iterativo che coinvolga esperti di settore ed amministratori locali ma, semplicemente a partire dai documenti internazionali a partire dagli obiettivi dello sviluppo sostenibile delle nazioni unite (UN SDGs - Sustainable Development Goals[1]), dagli obiettivi vincolanti per il 2030 che ogni stato membro ha definito in termini di limiti nazionali alle emissioni[2], gli NDC - Nationally Determined Contributions nazionali[3], le politiche europee, nazionali ed internazionali sulla sicurezza stradale

[1] https://sdgs.un.org/goals
[2] https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-effort-sharing-regulation/
[3] https://www.climate-resource.com/tools/ndcs/countries/ita?version=

come la vision zero[4] e quelle sul consumo di spazio presenti già dalla Roadmap to a Resource Efficient Europe[5]. A questi obiettivi e indicatori collegati sono state associate delle soglie di successo a volte esplicitamente definite a volte meno scelte arbitrariamente sulla base di obiettivi politici; ad esempio il valore delle soglie di CO2 per i cambiamenti climatici è spesso associato alle emissioni pro-capite o per unità di PIL e ottenibile (almeno per la quota parte del trasporto) sia riducendo il consumo energetico legato agli spostamenti sia rendendo legata la generazione di energia alla produzione di CO2. Definizione di obiettivi, indicatori e soglie è oggetto della sezione 2.1 di questo documento.

Si sono quindi scelte le tecnologie per costruire gli scenari da simulare. La principale incertezza è che la tecnologia ha una sua evoluzione ma poi la stessa tecnologia può dare adito a diversi servizi di trasporto che possono contribuire positivamente o meno al raggiungimento degli obiettivi quindi si dovrebbe definire una tabella di marcia che favorisca quelle tecnologie e quelle applicazioni tecnologiche che contribuiscono maggiormente al raggiungimento degli obiettivi e scoraggi lo sviluppo e la diffusione di tecnologie (e servizi e usano quelle tecnologie) che ottengono risultati che non contribuiscano positivamente al raggiungimento degli obiettivi. In questa metodologia semplificata si sono scelte tre tecnologie (elettrificazione, automazione e comunicazione) con cui si sono ideati 2 diversi (e antitetici) servizi di trasporto. Tecnologie e servizi di trasporto considerati sono presentati nel capitolo 2.2.

Il capitolo 3 è dedicato agli scenari da simulare ed alla descrizione di come i modelli già calibrati disponibili siano stati adattati per includere i servizi di trasporto da considerare.

Il capitolo 4 presenta e discute i risultati preliminari ottenuti dalle simulazioni e come l'analisi di dettaglio consenta di estrapolare alcune conclusioni.

Il capitolo 5 propone come riflettere i risultati ottenuti nella roadmap.

La proposta metodologica completa aggiornata è riportata nell'allegato A.

2 La metodologia semplificata di questa prima applicazione

2.1 Definizione degli Obiettivi

Per la definizione degli obiettivi, la scelta degli indicatori che misurino tali obiettivi e delle soglie minime di successo, si sono analizzati i documenti internazionali tra cui su tutti quello che definisce obiettivi dello sviluppo sostenibile delle nazioni unite (UN SDGs - Sustainable Development Goals).

Ognuno di questi obiettivi è corredato di una serie di indicatori che servono a quantificarlo e per alcuni di questi indicatori sono fornite delle aspettative (quasi sempre aggregate) sia dal documento sugli obiettivi vincolanti per il 2030 che ogni stato membro del'Unione Europea ha definito in termini di limiti nazionali alle emissioni sia da quello sugli NDC - Nationally Determined Contributions nazionali.

Dei 17 SDG definiti, ce ne sono 5 direttamente o indirettamente riferiti alle smart-communities e sono i seguenti misurati con relativi indicatori per alcuni dei quali sono anche definite delle soglie.

[4] https://visionzeronetwork.org/about/what-is-vision-zero/
[5] https://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/pdf/working_paper_part1.pdf

SDG 11 Sustainable cities and communities

- 11.2 By 2030, provide access to safe, affordable, accessible and sustainable transport systems for all, improving road safety, notably by expanding public transport, with special attention to the needs of those in vulnerable situations, women, children, persons with disabilities and older persons
    - 11.2.1 Proportion of population that has convenient access to public transport, by sex, age and persons with disabilities
- 11.3 By 2030, enhance inclusive and sustainable urbanization and capacity for participatory, integrated and sustainable human settlement planning and management in all countries
    - 11.3.1 Ratio of land consumption rate to population growth rate
    - 11.3.2 Proportion of cities with a direct participation structure of civil society in urban planning and management that operate regularly and democratically
- 11.6 By 2030, reduce the adverse per capita environmental impact of cities, including by paying special attention to air quality and municipal and other waste management
    - 11.6.2 Annual mean levels of fine particulate matter (e.g. PM2.5 and PM10) in cities (population weighted)
- 11.7 By 2030, provide universal access to safe, inclusive and accessible, green and public spaces, in particular for women and children, older persons and persons with disabilities
    - 11.7.1 Average share of the built-up area of cities that is open space for public use for all, by sex, age and persons with disabilities
    - 11.7.2 Proportion of persons victim of physical or sexual harassment, by sex, age, disability status and place of occurrence, in the previous 12 months
- 11.a Support positive economic, social and environmental links between urban, peri-urban and rural areas by strengthening national and regional development planning
    - 11.a.1 Number of countries that have national urban policies or regional development plans that (a) respond to population dynamics; (b) ensure balanced territorial development; and (c) increase local fiscal space

SDG 7 Affordable Clean Energy

- 7.2 By 2030, increase substantially the share of renewable energy in the global energy mix
    - 7.2.1 Renewable energy share in the total final energy consumption
- 7.3 By 2030, double the global rate of improvement in energy efficiency
    - 7.3.1 Energy intensity measured in terms of primary energy and GDP

SDG 12 responsible consumption and production

- 12.2 By 2030, achieve the sustainable management and efficient use of natural resources
    - 12.2.1 Material footprint, material footprint per capita, and material footprint per GDP
    - 12.2.2 Domestic material consumption, domestic material consumption per capita, and domestic material consumption per GDP

SDG 13 Climate action

- 13.2 Integrate climate change measures into national policies, strategies and planning
    - 13.2.1 Number of countries with nationally determined contributions, long-term strategies, national adaptation plans and adaptation communications, as reported to the secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change
    - 13.2.2 Total greenhouse gas emissions per year

SDG 16 peace justice and strong institutions - Correlato a smartcity e smart communities ma non alla mobilità

- 16.6 Develop effective, accountable and transparent institutions at all levels
- 16.7 Ensure responsive, inclusive, participatory and representative decision-making at all levels

Questi documenti, come si vede esaminando obiettivi, indicatori e soglie proposte quantificano soprattutto gli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra ma lo fanno in maniera aggregata non definendo degli obiettivi specifici per settore ne definendo quale contributo debba venire dal consumo di energia dei diversi settori e quali dall'efficientamento della produzione energetica e dall'incremento della quota di energia prodotta dalle fonti rinnovabili.

Si sono pertanto estratti due obiettivi correlati con consumi ed emissioni che sono:

- la riduzione del consumo energetico pro-capite con una soglia di successo riducendo il consumo di oltre il 50% e
- l'azzeramento delle emissioni nocive in loco o meglio la loro riduzione oltre il 90%

Per la quantificazione di tali indicatori si è considerato che uno spostamento a piedi o in bicicletta non consuma energia; uno spostamento in TPL (o sistema di adduzione assimilato) consuma 0,025 kWh/pkm di energia; uno spostamento in auto privata consuma 0,15 kWh/pkm.

Analogamente per le emissioni prodotte in loco non ne producono spostamenti fatti a piedi, in bicicletta, in TPL elettrico (in futuro tutti i mezzi del TPL possono diventare elettrici) e in veicolo privato elettrico mentre ne producono le autovetture ed i motocicli privati.

Tradizionali obiettivi di sostenibilità della mobilità urbana sono anche il consumo di spazio, per cui esistono da oltre 10 anni degli obiettivi dichiarati a livello europeo di non aumentare lo spazio antropizzato se non a favore di una crescita demografica, e obiettivi di riduzione dell'incidentalità stradale e della mortalità ad essa connessa. Il consumo di spazio, in un paese come l'Italia in stagnazione demografica da decenni grazie all'immigrazione, e altrimenti in decrescita demografica, non è esplicitamente detto che debba conseguentemente ridursi ma certamente non aumentare e si è quindi scelto un target a favore di sostenibilità di diminuzione del 10% dello spazio consumato. Per calcolare lo spazio consumato dalla mobilità si è considerato che uno spostamento in auto privata (con 1,2 passeggeri per veicolo) comporti un consumo di 10 mq per passeggero invece l'analogo spostamento in TPL, a piedi e assimilato comporti un consumo di spazio di 1 mq a passeggero. Per raggiungere una riduzione di almeno il 10% dello spazio consumato dai veicoli serve quindi che almeno l'11,2% degli spostamenti in auto diventino spostamenti in TPL+ servizio di adduzione.

Per quanto riguarda le politiche europee, nazionali ed internazionali sulla sicurezza stradale, è oggi comunemente accettata la vision zero, che stabilisce l'azzeramento delle morti per incidentalità stradale. Il raggiungimento di tale obiettivo (come tutte le singolarità) è impossibile ma si può ambire ad un dimezzamento delle morti per incidentalità stradale. A partire dai dati ISTAT sul tasso di mortalità, nell'area metropolitana di Firenze nel 2020 sono morti 7 pedoni, 2 passeggeri (uno del TPL uno di un'auto) e 25 conducenti. Gli stessi dati mettono in risalto che il 27% degli spostamenti è avvenuto a piedi, il 51% in auto (come conducente e come passeggero) ed il 9% in TPL. Calcolando un tasso di mortalità sulla ripartizione percentuale degli spostamenti muore una persona l'anno ogni 0.5% di quota modale in auto, una ogni 0.27% a piedi e una ogni 0.11% in TPL. Dimezzare la mortalità significa spostare il 30% degli spostamenti verso il TPL con una ripartizione del 39% in TPL e del 21% in auto i morti sarebbero scesi da 27 a 14 lasciando invariati i pedoni.

2.2 Tecnologie e servizi di trasporto investigati

Sebbene ci siano molte tecnologie che possono abilitare servizi di trasporto nuovi e i salti tecnologici rendono difficile fare una previsione di quando queste saranno disponibili sembra che le tre tecnologie principali ad evolvere in maniera repentina e con la capacità di abilitare servizi di trasporto rivoluzionari saranno:

- le comunicazioni (in particolare IoT, 5G e DSRC);
- l'elettrificazione (con batterie sempre più leggere e performanti) - per altro il governo italiano ha inteso seguire la Commissione Europea sulla fine della produzione di autovetture benzina e diesel nel 2035;
- l'automazione (sia per veicoli terrestri che per droni).

Sia con la singola tecnologia che, ancora di più, con la combinazione delle tre, è possibile realizzare servizi di trasporto nuovi e potenzialmente rivoluzionari al punto da cambiare per sempre il volto delle città e non necessariamente in meglio.

Si sono scelti qui solo due dei servizi di trasporto rivoluzionari abilitati dalle tecnologie summenzionate perché sono quelli che sembrano essere i prossimi ad essere tecnologicamente e legalmente fattibili in città e per ognuno si sono simulate nei comuni di prima cintura della città Metropolitana di Firenze, Bagni a Ripoli e Sesto Fiorentino, i cambiamenti comportamentali e le conseguenze locali positive e negative.

2.2.1 L'auto privata elettrica, automatica e connessa

L'auto automatica è in discussione da diversi decenni, la riduzione del costo di certe tecnologie essenziali e l'aumento delle potenze di calcolo dei computer di bordo, l'ha resa oggetto di molta ricerca e ancora più marketing in tempi recenti. Un'auto che possa usare qualsiasi strada senza un conducente a bordo è da molti esperti del settore considerata solo in tempi molto lunghi. Nel frattempo, varie versioni di ausilio alla guida o di guida completamente automatica in ambienti semplificati possono essere realizzate.

In questo esempio si considera semplicisticamente un'auto completamente automatica capace di andare ovunque; magari guidata dall'utente quando questi è a bordo e in completa automazione magari a bassa velocità e su percorsi selezionati quando questi non c'è. Nella simulazione l'interazione tra il veicolo automatico ed il resto del traffico è perfettamente identica a quella di un'auto convenzionale.

Questa è poi elettrica e connessa soprattutto alla rete internet in modo che possa essere chiamata in servizio dall'utente quando serve.

È un'auto di dimensioni normali, che al pari delle altre auto private tende a diventare più grande e perché essendo (almeno in fase iniziale) la tecnologia costosa meglio si adatta a veicoli di fascia alta.

L'utente la usa per andare al lavoro ogni mattina. Si fa accompagnare a lavoro (anche in centro città), l'essere elettrica da all'auto accesso alle zone verdi e a traffico limitato e l'eventuale aggravio di traffico preoccupa meno perché l'utente può lavorare da remoto o fare altro a bordo.

Accompagnato il proprietario al lavoro può andare a parcheggiarsi fuori città, dove conviene, generando potenzialmente traffico di ritorno che però non è stato considerato in simulazione, per poi tornare a prendere il proprietario all'uscita.

È un'auto di grandi dimensioni progettata per viaggi interurbani quindi probabilmente pesante. Ha bisogno di batterie in grado di garantire 400 km di autonomia ma anche in grado di ricaricarsi in pochi minuti. La potenza delle stazioni di ricarica arriverebbe a superare i 200 kW.

A livello locale non si è considerato nessun effetto di fluidificazione del traffico dovuta alla capacità dei veicoli di adattare velocità e comportamento alle condizioni ed alle eventuali comunicazioni con altri veicoli anche perché i reali benefici (sempre che non vengano controbilanciati da un aumento di traffico) si otterrebbero solo con uno completo passaggio all'automazione che escluda convivenza con veicoli manuali. Gli effetti sulla sicurezza dei VRU (Vulnerable Road Users o utenti deboli della strada come pedoni, ciclisti motociclisti e di recente "monopattinisti") andrebbero studiati ma dipenderanno anche dalle scelte infrastrutturali fatte dalla città, un veicolo automatico deve essere sicuro ma i costruttori per non far perdere troppo in prestazioni stanno inserendo alcuni comportamenti meno sicuri tipici dei conducenti umani.

A livello di inquinamento locale c'è assenza di inquinanti emessi dal motore (alcune fonti sostengono aggravi di emissioni di polveri emesse per abrasione dai freni non considerate in questo studio).

I consumi energetici sono considerati analoghi a quelli di veicoli convenzionali.

In un futuro in cui le capacità tecnologiche aumentino non si esclude che tali auto invece che private effettuino un servizio tipo taxi automatizzato a basso costo che dal punto di vista della simulazione sarebbe sovrapponibile a quello privato appena descritto.

2.2.2 Il veicolo collettivo e condiviso elettrico, automatico e connesso armonizzato col TPL

Le auto condivise (o in sharing o parte dei MAAS) sono utilizzabili nei centri cittadini ma molto meno nelle periferie. Nelle periferie la domanda di trasporto è fortemente polarizzata in funzione degli orari con una forte prevalenza della domanda verso il centro cittadino la mattina e viceversa la sera. Già oggi, nonostante le difficoltà di parcheggio in centro ed il traffico, in quelle città in cui siano in funzione servizi di car-sharing a flusso libero che includano almeno un primo livello di periferie si assiste ad una carenza di auto nei centri cittadini la sera ed un eccesso nella giornata ed il viceversa nelle periferie. Dal punto di vista commerciale, per servizi che si rivolgano ad una domanda residuale, la cosa non è gradita (alcuni gestori adottano una politica tariffaria per prevenirla) ma non è nemmeno troppo problematica. Le auto servono in centro di giorno e se possono fare qualche viaggio lungo mattina e sera non è un problema. Tuttavia,

quest'uso dell'auto condivisa è fortemente concorrenziale col trasporto pubblico a cui sottrae utenza e, qualora si trovasse il modo di riposizionare automaticamente le auto vuote, aumentando l'utenza trasportabile a parità di investimenti danneggerebbe il TPL. Le tecnologie dell'automazione oggi sul mercato (sebbene non ancora del tutto legali in Italia) hanno dimostrato di poter spostare veicoli senza conducente a bassa velocità e su percorsi opportunamente studiati, anche condivisi con altri utenti. Sebbene non ancora pronta per un servizio tipo taxi automatizzato sull'intera città, la tecnologia sarebbe sufficiente per realizzare servizi a chiamata di adduzione al trasporto pubblico principale nelle periferie. In pratica per recarsi al centro della città la mattina si prenoterebbe una corsa la sera prima e si avrebbe poi indicazione dall'APP di gestione di dove trovare l'auto da guidare o farsi passare a prendere da un'auto condivisa che vada alla stessa fermata TPL allo stesso orario. In questo modo più utenti diretti verso la stessa fermata condividerebbero la stessa auto con un cliente che guidi e l'auto, lasciata in appositi spazi riservati alla fermata, che sarebbe poi a disposizione di chi arriva dal centro diretto alla periferia oppure si andrebbe a riposizionare automaticamente nelle vicinanze della prossima chiamata da servire. Oltre che per i pendolari con il centro città il servizio consentirebbe anche a chi si sposti all'interno della periferia stessa di farlo facilmente condividendo l'auto verso la fermata TPL per poi magari restare a bordo e guidare fino a destinazione. Nelle ore non di punta i veicoli sarebbero sempre condivisi ma ad uso individuale con il grande vantaggio che qualora non ce ne sia uno disponibile si può sempre chiedere che arrivi automaticamente.

Questo servizio di trasporto userebbe veicoli condivisi, elettrici e connessi ma leggeri (perché pensati per velocità e distanze limitate) potrebbe ricaricarsi in appositi stalli anche per periodi di media durata (diversi minuti) oppure direttamente su strada se i corridoi principali sono attrezzati per la ricarica in movimento. La comunicazione consentirebbe al veicolo di segnalare la propria presenza all'utente e di interagire con la centrale di controllo.

Perché servizi di trasporto del genere abbiano il massimo dell'impatto, ossia attrarre la maggior parte dell'utenza e convincere tutti che anche in periferia si può vivere senza auto di proprietà, si devono predisporre anche altri servizi tipo il noleggio di auto per i week-end oppure la possibilità di usare alcune auto condivise con i propri animali domestici ed attrezzarne altre per i bambini. Tuttavia in questa simulazione gli effetti sul possesso dell'auto non sono stati considerati.

In caso di buona attrazione di utenza, questi servizi consentirebbero a livello locale una diminuzione dei veicoli circolanti con conseguente fluidificazione del traffico. Parimenti ci sarebbe bisogno di minore spazio per parcheggiare i veicoli. Gli spazi recuperati dovrebbero essere destinati ad altra funzione. Il disegno delle infrastrutture, avendo più spazio, potrebbe essere adattato con effetti positivi sulla sicurezza stradale con particolare riferimento ai VRU.

A livello di inquinamento locale si avrebbe un beneficio per assenza di inquinanti emessi dal motore termico.

I consumi energetici decrescerebbero a meno che l'aumentata facilità di trasporto non generi nuova domanda (in questo studio la domanda generata è considerata costante).

.

3 Preparazione degli scenari per la simulazione

L'analisi preliminare degli effetti si avvale di un modello di trasporto a 4 stadi multimodale dell'ora di punta mattutina, costruito con lo scopo di replicare le dinamiche di mobilità di un'area urbana per lo più congestionata, in cui gli utenti possono scegliere tra diverse alternative sia modali che di percorso.

In particolare, è stato scelto come focus il trasferimento sistematico tra i comuni della cintura di un'area urbana metropolitana e il comune capoluogo: tale fenomeno è infatti osservabile in tutte le principali città italiane e comporta ogni giorno lo spostamento di decine di migliaia di persone.

Con riferimento al presente prototipo, l'area oggetto di analisi è quella della città metropolitana di Firenze, in particolare dei comuni di prima cintura di Sesto Fiorentino (49.000 abitanti) e Bagno a Ripoli (25.000 abitanti).

3.1 La struttura del modello di previsione della domanda

Lo studio trasportistico si basa su un modello di trasporto multimodale a 4 stadi dell'ora di punta mattutina del giorno feriale medio; in particolare sono oggetto di indagine e simulazione specifica le componenti privata (su gomma) e pubblica (su ferro e gomma) del trasporto, ma entrano nella catena modellistica anche i modi moto, piede e bici, che hanno una rilevanza non trascurabile nell'indagine delle dinamiche urbane di mobilità.

Le reti di tipo privato, pubblico e pedonale sono state implementate sull'area urbana con sufficiente dettaglio, includendo tutte le linee del tpl su gomma urbano e extraurbano e tutte le strade necessarie agli spostamenti interzonali e all'accesso alla rete di TPL.

Il modello simula entrambe le tipologie di utenza, sistematica e non sistematica. In particolare la prima è oggetto di simulazione tramite i primi tre stadi del modello, calibrato anche in base ad una campagna di interviste di tipo stated preferences, mentre la seconda classe di utenti, più varia nella sua composizione e per definizione composta da spostamenti non regolari e quindi difficilmente classificabili, è stata estrapolata a valle di un processo di correzione matriciale, che si è avvalso di un elevato numero di postazioni di rilievo veicolare e di una campagna di conteggio saliti-discesi alle fermate. Questa scelta si basa sull'assunzione che, una volta calibrata la componente sistematica (casa - scuola/lavoro), che rappresenta la maggior parte degli spostamenti della punta mattutina, il differenziale registrato sulla rete sia costituito dal resto dell'utenza. La classe non sistematica è residuale sui mezzi di trasporto pubblico nell'ora di punta, dato anche il loro affollamento, e ne costituisce invece la base nelle ore di morbida. Questo assunto vale ancora di più in una città come Firenze, dove la componente non sistematica non include solo i movimenti per svago e/o affari, ma anche una considerevole domanda turistica non trascurabile, per quanto minoritaria nell'ora di punta. Tale evidenza è facilmente desumibile dall'andamento orario dei dati di frequentazione dei vari modi, che vedono punte sempre meno evidenti ed un alto tasso di frequentazione (o congestione stradale) anche nelle cosiddette ore di morbida.

L'uso del modello per ogni orizzonte temporale e scenario si basa sui seguenti passi:

- aggiornamento delle variabili socioeconomiche (residenti, addetti) delle diverse zone per gli orizzonti temporali di analisi;
- aggiornamento del grafo privato e pubblico di offerta in termini di infrastrutture, servizi (percorsi di linea, frequenze, regolarità) e capacità;

- applicazione in cascata del modello di generazione e distribuzione;
- applicazione tramite un processo iterativo di cicli di coerenza dei modelli di scelta modale e scelta del percorso, ai fini di minimizzare lo scarto tra iterazioni successive.

Si rende necessaria la strutturazione degli ultimi due stadi in un ciclo iterativo dal momento che al variare della domanda cambiano gli attributi associati a ciascun modo (in particolare il tempo di percorrenza lungo strada e il tempo di ricerca del parcheggio).

Nei paragrafi seguenti è illustrata sommariamente la metodologia di costruzione, calibrazione e validazione del modello, che si basa su processi iterativi successivi. Il risultato è costituito da:

1. **modello di generazione**, dipendente dalla popolazione residente suddivisa per fasce di età, corrispondenti in linea di massima alla popolazione scolastica e lavorativa;

2. **modello di distribuzione di tipo gravitazionale** basato sugli addetti e la distribuzione dei poli scolastici / universitari, corretto per minimizzare gli scarti con la distribuzione ISTAT ed evitare un fenomeno di eccessivo sprawling;

3. **modello di ripartizione modale di tipo Logit** tra i cinque modi piede-bici-moto-auto-pubblico, calibrato sulle interviste all'utenza dell'area metropolitana fiorentina;

4. modelli di scelta del percorso all'equilibrio per la componente privata e a frequenza per la componente pubblica, in grado di ripartire l'utenza tra ferro-gomma e tram.

A questi si aggiunge un **modello misto per l'utenza park&ride**, che inserisce nei percorsi all'equilibrio, il percorso costituito dal tratto stradale + parcheggio + mezzo pubblico. Tale utenza è considerata nella matrice auto fino al cordone e in quella pubblica dal punto di salita sul mezzo pubblico.

L'assegnazione del percorso si basa non sul tempo di percorrenza ma sul concetto di **costo generalizzato**, per cui è necessario associare ad ogni classe di utenza un valore economico del tempo (VOT): questa scelta è motivata dal fatto che nel modello sono implementati anche i costi medi di parcheggio ZCS, dei parcheggi di struttura e dei mezzi pubblici, che influiscono sostanzialmente sulla scelta del mezzo e del percorso.

Tabella 1 - Valore economico del tempo e Costi operativi dei veicoli

Voce	Valore
VOT [euro/h]	11.38
VOC [euro/km]	0.142

L'area si presenta come un sistema socioeconomico multicentrico. I residenti sono sparsi in vari quartieri della città, come Statuto, Novoli, Gavinana e Isolotto, oltre che a Sesto Fiorentino e nel centro storico, dove però il confronto degli ultimi censimenti indica una tendenza allo spopolamento, quanto meno di popolazione residente. Si nota poi come fuori dal centro abitato del capoluogo, vi siano dei nuclei rilevanti: a sud ne è un esempio Grassina (nel comune di Bagno a Ripoli, alle porte del Chianti). In destinazione, oltre al centro storico, dove si concentra la maggior parte degli addetti, si riconoscono in modo distinto il polo di Novoli, di Careggi e dell'Osmannoro, nel comune di Sesto Fiorentino, per la concentrazione di addetti.

Per il Comune di Firenze è possibile risalire alla zona a sosta controllata di appartenenza (ZCS), alla sua tipologia tramite tipo ZCS (disciplinata D, non disciplinata ND), al costo del parcheggio (costo orario ZCS), desunto da quello medio degli

stalli. Il costo del parcheggio è stato attribuito considerando il costo dell'abbonamento mensile del parcheggio in ciascuna ZCS (fonte: www.serviziallastrada.it) ed è stato riportato ad un valore giornaliero considerando 20 giorni lavorativi. Un attributo specifico è definito da ZTL, dal quale è possibile invece capire se la zona appartiene alla zona a traffico limitato (valore 1) oppure no (0). Infine, è stato associato ad ogni zona un numero di stalli di sosta, schematizzati successivamente nell'arco di parcheggio ad essa associata in uscita dalla rete stradale.

Il grafo utilizzato, sia per lo stato attuale che per gli orizzonti temporali futuri, è suddivisibile in tre grandi categorie:

- **privato**, costituito da una selezione di archi della rete stradale della provincia di Firenze. Ha un dettaglio maggiore per il territorio comunale di Firenze mentre la maglia cresce allontanandosi da esso; è tagliato ai confini dell'area metropolitana fiorentina;
- **pubblico**, costituito dai servizi pubblici d'interesse, descritti nel dettaglio per la rete urbana e da una schematizzazione per i servizi extraurbani e ferroviari;
- **pedonale**, perlopiù corrispondente con la rete privata senza le relative limitazioni sui sensi di circolazione.

É necessario sottolineare che il privato ed il pubblico si appoggiano alla rete pedonale e non possono prescindere da questa, che costituisce la via di accesso alle zone: per il privato esiste la possibilità di passare dalla rete privata a quella pedonale tramite gli archi fittizi di parcheggio, che hanno capacità pari agli stalli non riservati ai residenti della zona e costo desunto dal sistema di ZCS sopracitato, ma non è possibile il passaggio inverso. Per il pubblico invece sono ammesse entrambe le direzioni fra grafo pedonale e pubblico.

Fanno parte del grafo privato anche gli archi privati fittizi che rappresentano gli stalli ZCS disponibili in ogni zona e i parcheggi scambiatori

Insieme al completamento della rete tranviaria è necessario implementare le modifiche all'assetto della rete di trasporto pubblico di completamento di ciascuno scenario, tramite gli elementi progettuali di rilievo:

- integrazione tariffaria: nessuna barriera al cambio di mezzo su vettori eventualmente differenti;
- rete TPL urbana sviluppata in modo complementare ed armonico con le linee tram, orientata all'utente e gerarchizzata nei seguenti livelli funzionali:
- linee forti (indistintamente se su ferro o gomma), che connettono funzionalmente i quadranti di Firenze su cui si concentra la domanda di trasporto;
- linee secondarie trasversali, le quali intercettano in più punti la rete principale, fornendo connessioni radiali;
- linee secondarie circolari, per le zone a bassa domanda di mobilità, in grado di connettere le zone periferiche, intercettando in più punti le linee principali senza attraversare il centro;
- linee di ricucitura, a servizio di particolari punti d'interesse dislocate in zone periferiche.
- attestazione dei servizi extraurbani in punti d'intercambio disposti radialmente rispetto al centro città, al fine di ridurre il transito nel centro della città dei mezzi extraurbani in sovrapposizione al servizio urbano;
- inserimento dei parcheggi scambiatori auto-mezzo pubblico di progetto.

Il modello di scelta modale mette a disposizione i seguenti modi alternativi:

- mezzo auto;
- mezzo pubblico;
- motocicli;

- biciclette;
- pedoni.

Per ciascuna delle componenti, l'esplicitazione analitica dell'utilità specifica è la seguente:

$V_{\mathbf{bici}} = \beta_{TEMPO} \cdot t_{BICI} + \beta_{ZCS} \cdot ZTL + \beta_{BICI}$

$V_{\mathbf{auto}} = \beta_{TEMPO} \cdot t_{AUTO} + \beta_{PARK} \cdot c_{PARK} + \beta_{AUTO}$

$V_{\mathbf{moto}} = \beta_{TEMPO} \cdot t_{MOTO} + \beta_{MOTO}$

$V_{\mathbf{piede}} = \beta_{TEMPO} \cdot t_{PIEDE} + \beta_{ZCS} \cdot ZTL$

$V_{\mathbf{pubblico}} = \beta_{TEMPO} \cdot t_{PUBB} + \beta_{TRA} \cdot tra + \beta_{ZCS} \cdot ZTL$

dove:

- β_{TEMPO}: coefficiente specifico relativo al tempo di viaggio con ciascuna alternativa modale*;*
- β_{PARK} : coefficiente specifico relativo al costo del parcheggio c_{PARK};
- β_{ZCS} variabile dummy afferente alla destinazione in ZTL, dove la variabile ZTL vale 1 o 0 a seconda che la destinazione sia una zona ZTL;
- β_{BICI} , $\beta_{AUTO,}$ β_{MOTO} : coefficiente specifico dei vari mezzi;
- β_{TRA}: coefficiente relativo al mezzo pubblico e rappresentativo della lunghezza media a bordo di ogni singolo mezzo, dato dal rapporto tra la lunghezza totale del viaggio con i mezzi pubblici ed il numero di trasbordi: il suo inserimento al posto del numero di trasbordi si basa sul fatto che l'utente che compie un viaggio lungo è maggiormente predisposto ad effettuare un trasbordo rispetto a chi ne effettua uno più corto.

La Tabella 2 riporta i valori dei coefficienti e il risultato per ciascuno del t-test di student.

Tabella 2 - Valori dei coefficienti β

Coefficiente	Valore	t-test
β_{AUTO}	0,5360	27.2
β_{BICI}	-1,9700	-114
β_{MOTO}	-1,0900	-53.3
β_{PARK}	-0,4630	-58.5
β_{TEMPO}	-0,0173	-43.6
β_{ZCS}	0,2700	14.7
β_{TRA}	0,0227	24.5

I tempi di percorrenza ed i costi con i vari modi per ogni Origine-Destinazione vengono calcolati in un processo iterativo che consiste nel calcolo degli attributi, l'applicazione del modello di split, la successiva assegnazione delle matrici modali e il ricalcolo degli attributi da inserire nel modello di split fino a convergenza.

Per quanto riguarda il **modello di scelta del percorso**, l'assegnazione della domanda di trasporto all'offerta avviene in modo separato per componenti, in particolare:

1. assegnazione all'equilibrio della componente privata;

2. assegnazione mista della componente park&ride, estratta dall'assegnazione a frequenza in base al costo generalizzato del percorso tutto auto rispetto a quello auto+TPL;

3.2 Scenari di Analisi

Gli effetti dei sistemi oggetto di analisi sulla ripartizione modale sono stati studiati separatamente per i due comuni origine di analisi, vale a dire Sesto Fiorentino e Bagno a Ripoli: si trovano in fatto in posizione diametralmente opposta rispetto al centro cittadino di Firenze e si ipotizza quindi che l'assetto di ciascun comune non influenzi la situazione nell'altro.

Per ciascun comune sono stati analizzati tre scenari master, indicativamente all'orizzonte temporale 2027:

1. lo scenario futuro base, con realizzazione delle infrastrutture e dei servizi già programmati dalle amministrazioni locali (linee tranviarie e di BRT);
2. un sistema di adduzione a chiamata con veicoli di piccola dimensione, presumibilmente in un primo momento con utente driver e successivamente con veicoli a guida automatica, che colleghi in modo più efficace le varie zone con il sistema ferroviario o tranviario;
3. uno scenario con affiancamento dei veicoli privati tradizionali con un sistema diffuso di veicoli elettrici automatici ad uso personale (eventualmente taxi automatici), classificato comunque come modo privato.

Il primo sistema si configura come un'integrazione del servizio pubblico ed è stato quindi implementato nel grafo pubblico; il secondo, invece, costituisce a tutti gli effetti una modalità di spostamento con veicoli ad uso privato (senza la proprietà del mezzo) ed è quindi stato implementato nel grafo privato.

Come anticipato, i due distinti scenari di analisi di progetto sono implementati a partire dallo scenario base in cui il comune di Sesto Fiorentino e quello di Bagno a Ripoli saranno serviti rispettivamente dalla linea tranviaria T2.2, diretta prosecuzione della linea T2 Libertà-Unità-Peretola, prolungata fino alla piazza del mercato nel centro di Sesto, e dalla linea T3.2, con capolinea fuori dal centro abitato di Bagno a Ripoli, lungo la direttrice di accesso all'area urbana di Firenze.

Per quanto riguarda Sesto Fiorentino, la nuova infrastruttura, già sviluppata a livello di PFTE, garantisce un collegamento tra Sesto e l'area di Novoli, andando a integrare la connessione con il centro cittadino garantita invece dalla linea ferroviaria. Si prevede come anno di realizzazione il 2027, coerentemente con i documenti progettuali.

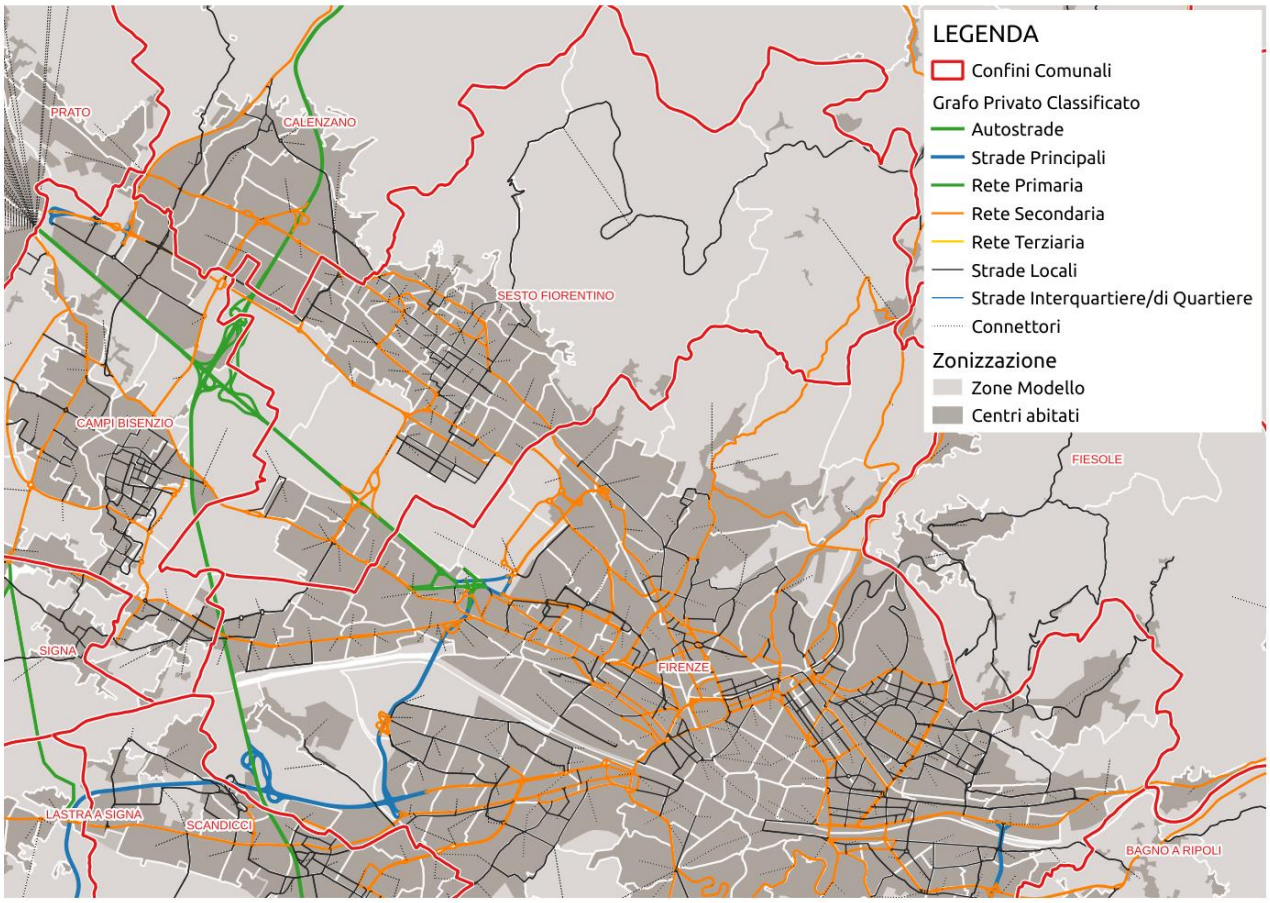


Figura 3.1 Overview del modello dell'area nord-ovest della città e del comune di Sesto Fiorentino(grafo privato)

In questa fase preliminare non è stato possibile modificare il modello di scelta modale per includere il sistema in sharing come modo autonomo, o comunque gerarchizzato nei modi privati disponibili, caratterizzandolo con i relativi attributi di costi e comfort: non sono infatti ancora disponibili dati che permettano la calibrazione di un modello comportamentale specifico, se non mutuando l'utilità del car sharing, che però non è praticamente più disponibile nell'area metropolitana fiorentina. Per questo motivo, si è lasciato allo stadio di scelta del percorso il compito di ripartire la domanda tra le alternative disponibili, sia per quanto riguarda i servizi pubblici che l'offerta privata.

L’abitato di Sesto Fiorentino è stato suddiviso in 92 zone, clusterizzate a partire dalle sezioni censuarie ISTAT; ogni zona è rappresentata nel grafo del modello dal proprio nodo centroide, situato in posizione baricentrica per le zone densamente abitate o, altrimenti, in posizione centrale sull’abitato effettivo.

Per quanto riguarda Bagno a Ripoli, si sono dettagliati in zona di dimensione paragonabile alle sezioni di censimento gli abitati di Bagno a Ripoli (sede del capolinea della tranvia ai margini del centro abitato), di Grassina, dove è prevista una fermata del BRT, e di Antella, non servita direttamente da BRT ma distante 1,5 km dalla fermata più vicina.

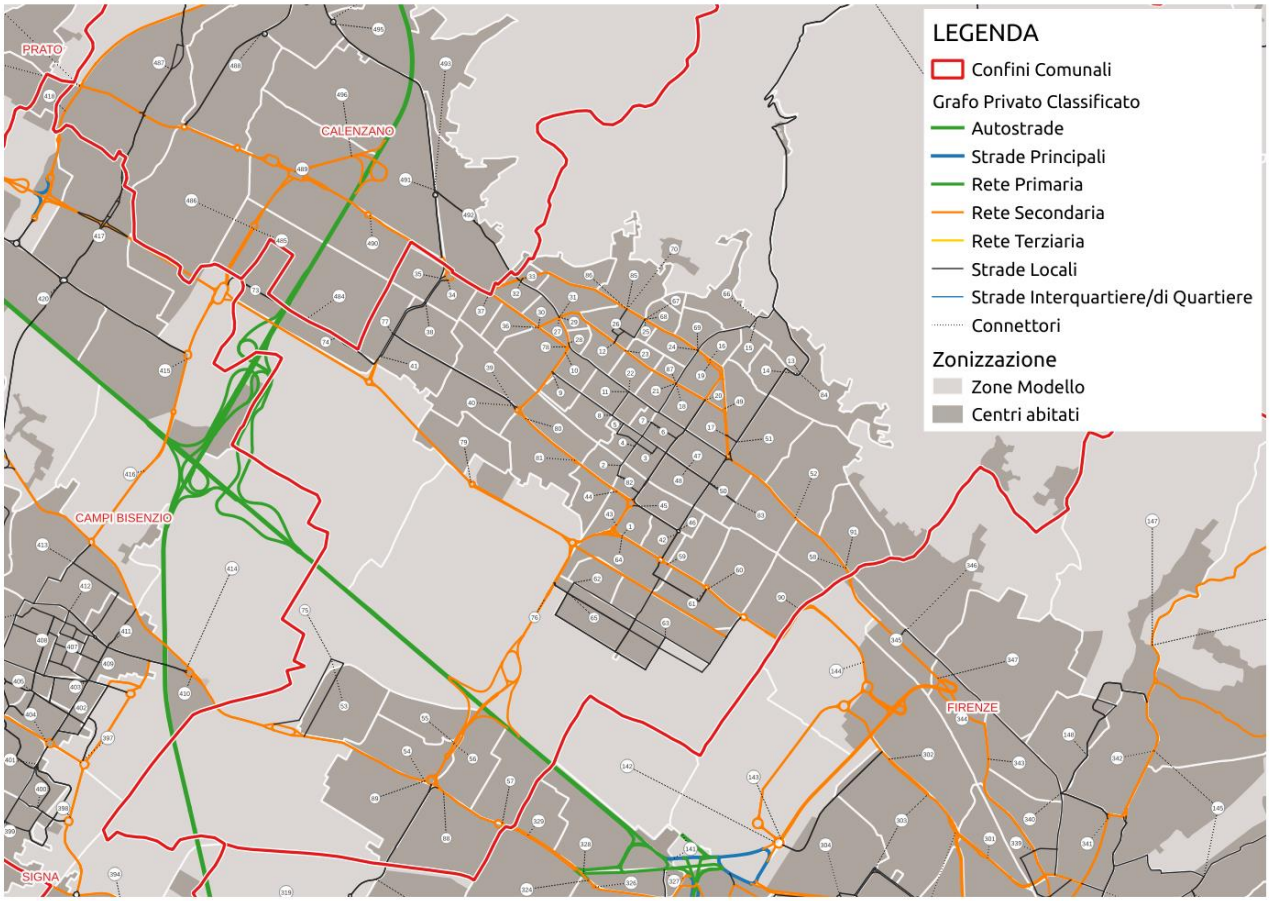


Figura 3.2 Zoom del modello area di Sesto Fiorentino (grafo privato)

3.2.1 Modello con servizio di adduzione capillare a chiamata

Il sistema di adduzione si presenta assimilabile a un modo pubblico, ipotizzando che venga effettuato con mezzi di dimensione ridotta, non necessariamente incluso nel sistema tariffario integrato metropolitano. L’obiettivo del servizio è quello di incentivare l’uso del modo pubblico, facilitando l’accesso ai servizi forti della rete anche per coloro che non vivono nel raggio di immediata influenza delle fermate.

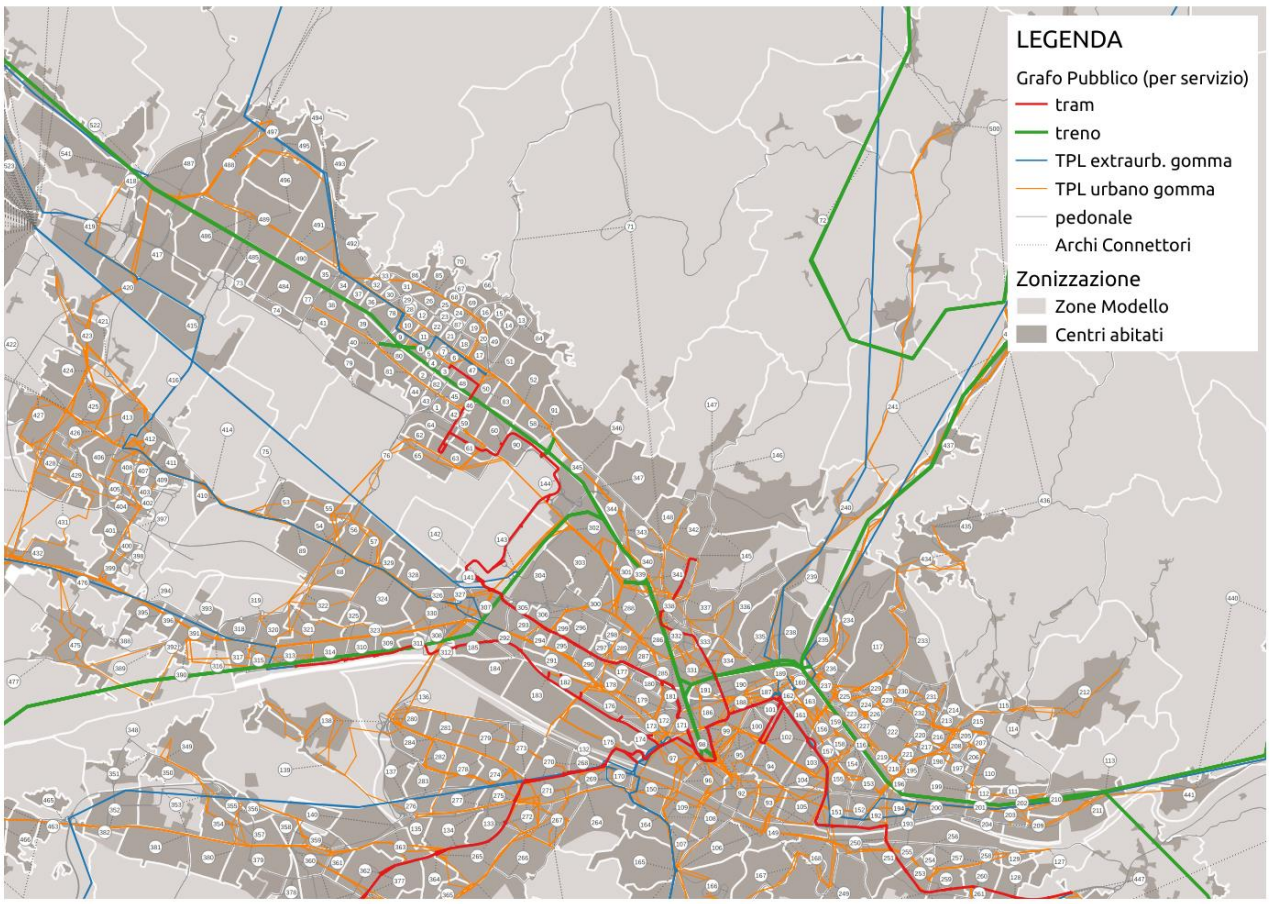


Figura 3.3 Grafo pubblico classificato per servizio

L'abitato di Sesto Fiorentino è diviso in due parti dalla linea ferroviaria, che lo attraversa da nord-ovest a sud-est: in prima ipotesi si considera di organizzare il servizio su 3 linee distinte, data la posizione reciproca non solo dei nuclei abitati, ma anche delle fermate di destinazione del servizio ferroviario e tranviario (denominate in seguito *fermate obiettivo*).

È stata individuata come potenziale area di servizio quella costituita dalle zone del centro, di Padule e San Lorenzo. Ad ogni zona è stata associata una fermata del servizio a chiamata in corrispondenza del centroide, con tempo di trasferimento tra il centroide stesso, che rappresenta l'origine dello spostamento, e fermata dell'ordine di 1-2 minuti. Questa scelta simula l'effetto che si potrebbe ottenere nella realtà anche effettuando più fermate all'interno della stessa zona, riducendo al massimo la distanza casa-fermata.

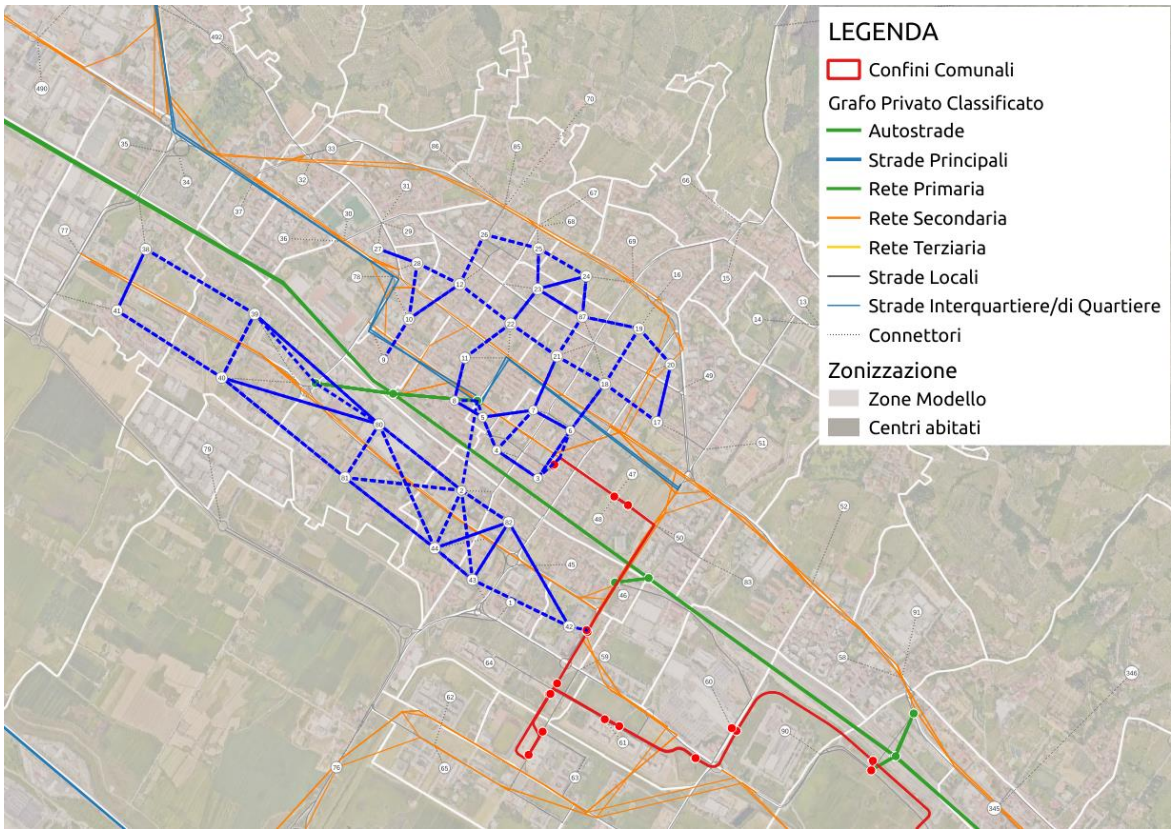


Figura 3.4 Schematizzazione base servizio adduzione a chiamata

Le linee sono state costruite connettendo ciascuna fermata con quelle vicine e con le fermate obiettivo, tenendo conto di eventuali limiti fisici o infrastrutturali. In questo modo è possibile lasciare all'assegnazione una certa libertà di percorso, a seconda che una fermata venga realmente attivata o meno dalla domanda: non è infatti compito del modello di trasporto risolvere il problema dell'ottimizzazione del percorso del servizio di adduzione a chiamata. Il primo risultato atteso dal modello è proprio l'indicazione di quali fermate, e di conseguenza quali archi, risultino effettivamente utilizzate. Il tempo di percorrenza di ogni arco fittizio è calcolato su quello effettivo sulla rete privata.

La prima linea a chiamata serve l'area centrale in connessione sia alla stazione ferroviaria sia alla piazza del mercato, che si trova a breve distanza. Altre due linee servono invece la zona del Padule e di San Lorenzo, lungo lasse di viale Ariosto, collegandola rispettivamente alla stazione ferroviaria o alla fermata Balestri della linea tranviaria.

Per simulare il sistema ad appuntamento, per cui l'utente prenota il servizio e raggiunge la fermata a un orario casuale, le linee sono modellisticamente concepite come pedonali veloci, in modo da eliminare i tempi di attesa tipici del modello di assegnazione a frequenza.

Sugli archi finali di connessione con la fermata obiettivo, necessariamente utilizzati da ogni utente del servizio, è stato caricato anche il costo di utilizzo del servizio in termini equivalenti di tempo.

In prima ipotesi questo costo è stato ipotizzato pari a 40 cent/corsa, soglia minima di sostenibilità individuata da analisi preliminari.

La stessa metodologia è stata applicata al comune di Bagno a Ripoli, situato sempre nella prima cintura dell'area metropolitana; si distingue però da quello di Sesto perché meno popoloso e diviso in 3 abitati principali: Bagno a Ripoli, Grassina e Antella. Questo comune sarà servito sia dalla linea tranviaria T3.2 Bagno a Ripoli – Libertà, che avrà il

capolinea ai margini dell'abitato capoluogo, sia dalla linea BRT Greve in Chianti-Bagno a Ripoli, con attestamento nella medesima area di interscambio capolinea. Il servizio di adduzione di Bagno a Ripoli porta al capolinea del tram con due linee di servizi a chiamata: una che serve l'abitato di Bagno a Ripoli vero a proprio (via Roma e centro) e una proveniente da Rimaggio/Candeli. I servizi di Grassina e di Antella servono in modo capillare tutti i due centri abitati e sono collegati alle fermate del BRT rispettivamente Grassina e Ponte a Niccheri.

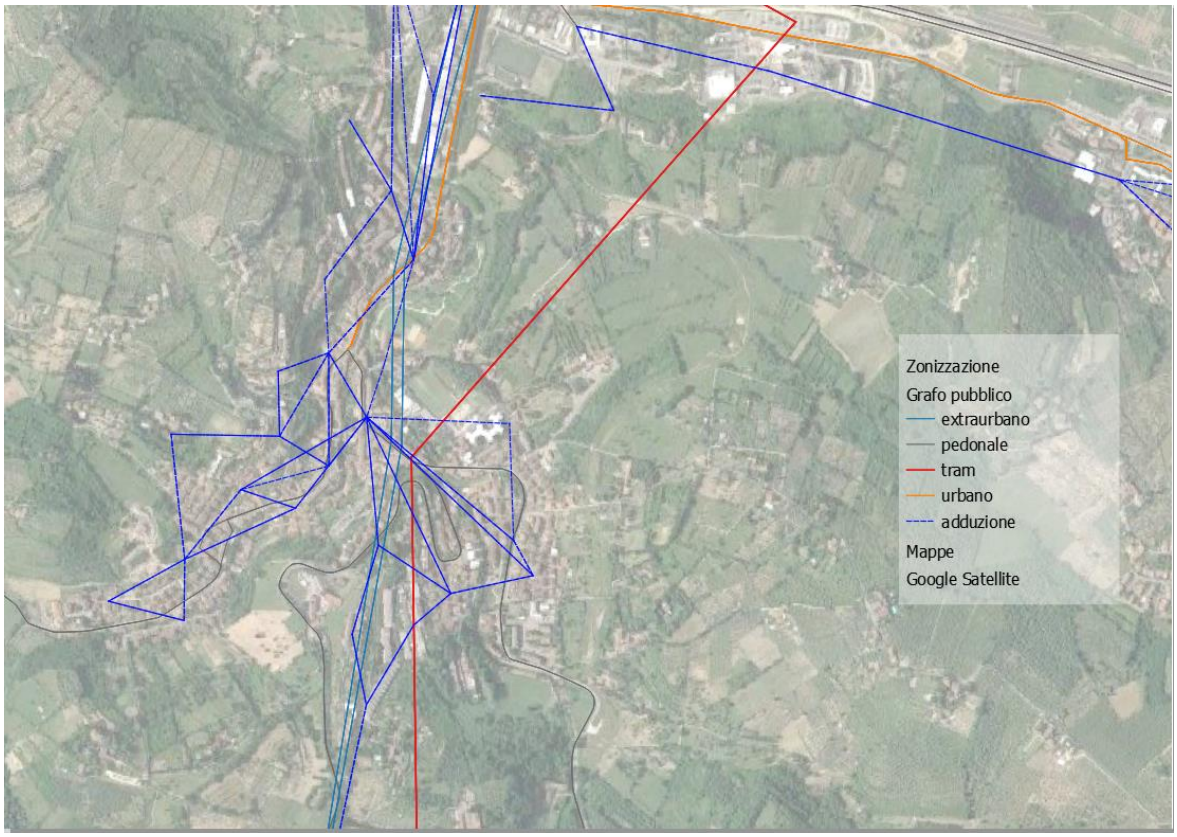


Figura 3.5 Schematizzazione base servizio adduzione a chiamata (zona di Grassina).

3.2.2 Modello con sistema in sharing di veicoli elettrici a guida automatica (GEA)

Come anticipato, il sistema con veicoli elettrici a guida automatica è assimilato a un modo di spostamento privato; rispetto all'uso dell'automobile privata con guida del conducente, si ipotizza che il sistema comporti il rientro dei veicoli a una base anche lontana dalla destinazione dell'utente e quindi permetta di abbattere il tempo speso nella ricerca del parcheggio, oltre che il libero accesso all'area della ZTL. Dal punto di vista modellistico, questo significa superare il meccanismo di uscita dal grafo privato verso la destinazione finale all'interno delle ZCS di sosta a pagamento, che nel modello è rappresentata tramite l'uso in sequenza degli archi rete privata-arco di parcheggio-rete pedonale, in cui all'arco di parcheggio è associato sia il tempo di ricerca del parcheggio (ipotizzato di base pari a 5 minuti) sia il costo tariffario dell'abbonamento mensile ZCS (circa 2.5 €/giorno, secondo le tariffe riportate sul sito SAS) sia la capacità di sosta degli stalli a pagamento della zona di destinazione. Per la ZTL, invece, nel modello base è previsto l'accesso solo pedonale con interscambio o negli archi di sosta ZCS o in quelli di struttura (Parcheggio Sant'Ambrogio, Stazione, San Lorenzo, ecc..). Il grafo di progetto prevede invece lo sdoppiamento del grafo di offerta privata in un grafo parallelo in cui ad ogni arco è associato un costo di utilizzo chilometrico, ipotizzato in prima ipotesi pari a 0.15€/km. Questo grafo copre anche l'area della ZTL e permette di raggiungere le destinazioni, sia in ZCS che in ZTL, direttamente senza percorso

pedonale finale e senza parcheggio. In pratica per ogni relazione origine-destinazione sono disponibili almeno due alternative: la percorrenza auto privata propriamente detta, che utilizza gli archi pedonali e la connessione pedonale a destinazione, e il grafo a Guida Elettrica Automatica (in seguito definita GEA).

Nel modello privato è implementata in realtà anche la possibilità di effettuare park&ride, interscambiando con il tram ai parcheggi di struttura e raggiungendo la destinazione con il tram.

Il grafo GEA acquisisce come precarico sugli archi il risultato dell'assegnazione privata (ridotto secondo un approccio incentivante all'70%), in modo da replicare i corretti tempi di percorrenza a rete carica.

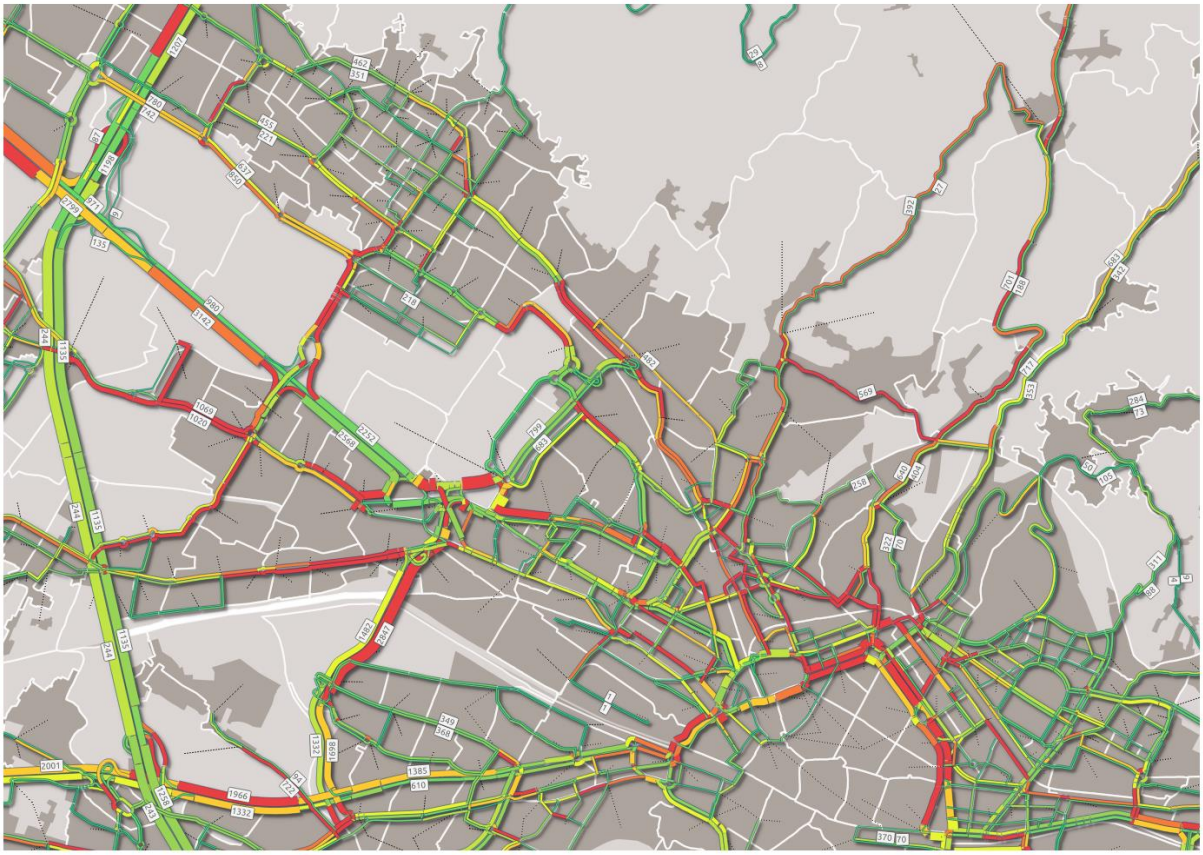


Figura 3.6 Stato di congestione sulla rete privata di riferimento (ora di punta)

L'origine del servizio è su tutto il territorio comunale di Sesto Fiorentino e di Bagno a Ripoli, mentre la destinazione è limitata a alcune zone dell'area urbana fiorentina, secondo una concezione del servizio mutuata dai servizi di car sharing. Per le origini da Sesto Fiorentino, l'area di destinazione è quella della ZTL, Novoli e Careggi; le zone collinari e quelle più a est sono state considerate a priori troppo lontane perché il servizio possa risultare economicamente accettabile da Sesto, soprattutto in una scelta sistematica.

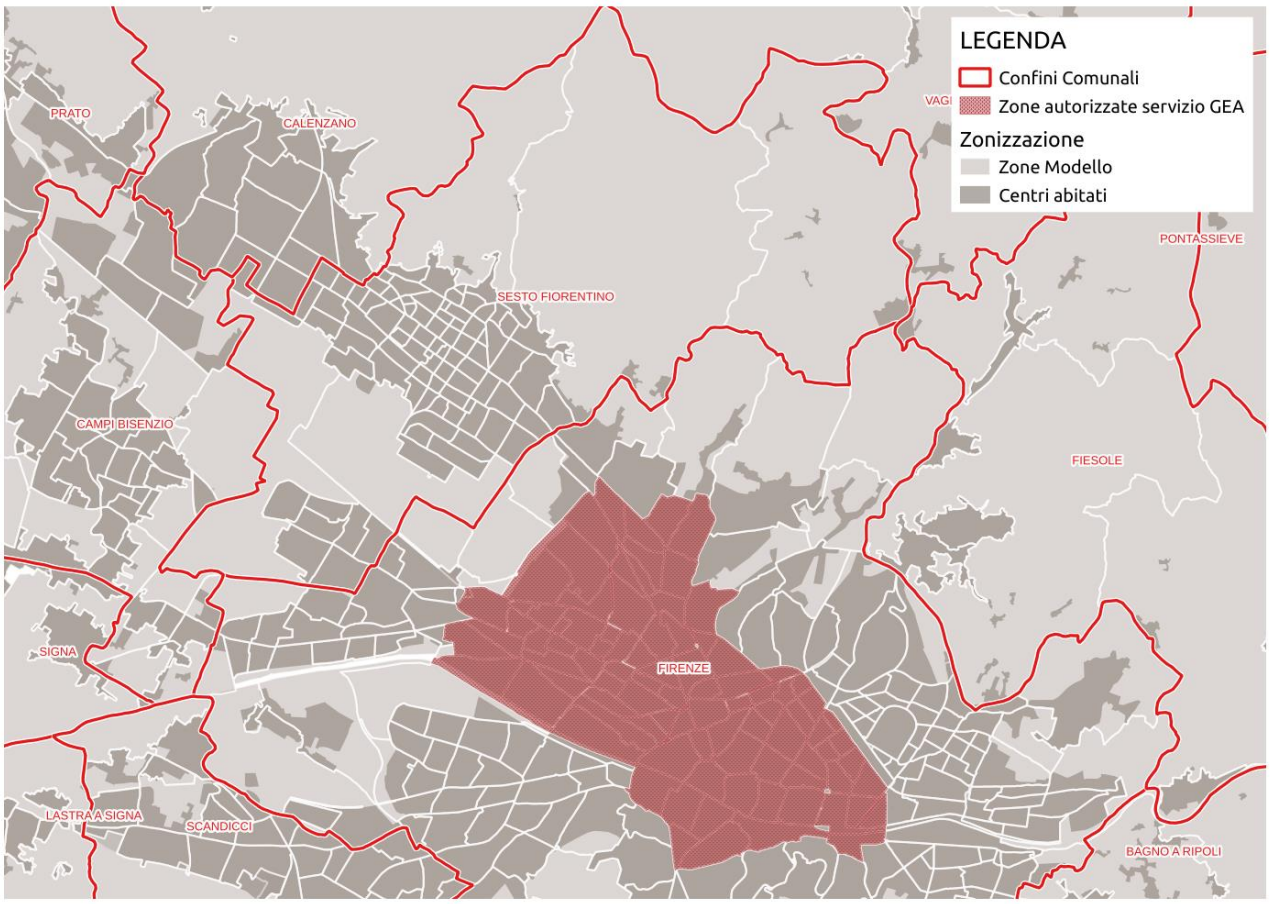


Figura 3.7 Area di destinazione ammessa per sistema a guida automatica

Per quanto riguarda il comune di Bagno a Ripoli, vista la dimensione ridotta dei centri abitati principali, si è scelto di verificare l'attrattività del sistema circoscrivendo l'origine al solo abitato principale di Bagno a Ripoli e aree limitrofe; in destinazione, si è considerata l'area della ZTL di Firenze e quella del quartiere del capoluogo compreso tra il centro e Bagno a Ripoli stesso.

4 Simulazione degli scenari

Come anticipato in precedenza, la simulazione comporta l'applicazione della catena modellistica ai 3 scenari di analisi per ciascuno dei centri abitati oggetto di analisi:

- scenario di Riferimento,
- scenario con servizio di adduzione a chiamata (SPA – Scenario Progetto Adduzione)
- scenario con servizio di autovettura a Guida Elettrica Automatica (GEA)

Il primo obiettivo è capire se il modello riesce a riprodurre un risultato ragionevole in merito ai servizi oggetto di valutazione e quali sono gli eventuali vincoli di realizzazione e utilizzo che emergono dal meccanismo di interazione domanda-offerta.

4.1 Sistema di adduzione a chiamata

L'implementazione del sistema a chiamata all'interno del comune di Sesto Fiorentino nel modello multimodale comporta un'attrazione della domanda privata a favore del modo pubblico, corrispondente a una crescita dell'ordine del 2%, con una riduzione sull'ora di punta di circa 60 veh/h.

Matrice/modo	SR2027	SPA2027	*crescita*	delta
Pubblico	4,292	4,383	***+2.13%***	91
Auto	12,076	12,017	*-0.49%*	-59

Figura 4.8 Valore delle matrici (origine o destinazione Sesto Fiorentino)

In termini di utenti del sistema di adduzione, però, il valore è molto più alto: in tabella sono riportati i valori dei saliti su ciascuna delle singole linee di adduzione a chiamata, suddivisi per fermata obiettivo

LINEA	UTENTI	FERMATA OBIETTIVO
102	327	Sesto Stazione
101	308	Sesto Stazione
103	151	Balestri
	785	

Figura 4.9 Utenti totali orari suddivisi per linea di adduzione utilizzata

L'applicazione della catena modellistica evidenzia quindi la necessità di un sistema di trasporto pubblico più capillare nel comune di Sesto Fiorentino, in cui risiedono circa 50.000 abitanti e che sarà servito dalla tramvia oltre che dal treno, ma che ha bisogno di una rete di trasporto pubblico locale per riuscire a dare pieno significato a questi investimenti. Infatti, il servizio a chiamata risulta ad una prima assegnazione molto utilizzato anche per gli spostamenti interni al comune, dove le linee di TPL su gomma sono poche e con frequenze molto basse anche nell'ora di punta. E' necessario quindi trovare una soluzione tecnologica sostenibile che risponda a tutta questa domanda di mobilità non automobilistica.

Limitando l'uso del sistema di adduzione solo a coloro che vogliono effettivamente raggiungere il tram o il treno per uscire dal comune di Sesto in interscambio, l'utenza del servizio risulta pari a circa 600 pax/h , mentre la sotto-matrice pubblica aumenta di circa 50 pax/h.

LINEA	UTENTI	FERMATA OBIETTIVO
102	267	Sesto Stazione
101	288	Sesto Stazione

103	62	Balestri
	617	

Figura 4.10 Utenti totali orari suddivisi per linea di adduzione utilizzata: filtro degli utenti diretti fuori da Sesto Fiorentino

Matrice/modo	**SR2027**	**SPA2027**	***crescita***	**delta**
Auto	9,633	9,597	*-0.38%*	-37
Pubblico	3,495	3,546	***+1.45%***	+51

Figura 4.11Valore delle matrici (origine o destinazione Sesto Fiorentino ma destinazione in comune diverso dall'origine)

In termini di saliti, i saliti sul treno crescono di 30 pax/h e quelli sul tram linea T2.2 aumentano di 94 pax/h.

Poiché il valore di incremento della quota modale pubblico è decisamente inferiore alle crescite registrate sui servizi ferroviari e tranviari, è desumibile che il servizio di adduzione sia usato, oltre che da una parte di utenti che interscambia con i mezzi TPL su gomma o rimane nell'abitato di Sesto, soprattutto da coloro che oggi raggiungono le fermate dei medesimi servizi con altri mezzi privati, soprattutto modalità lente o kiss&ride.

Degli archi potenziali, alcuni non vengono utilizzati: sono quelli delle zone più prossime alle fermate obiettivo, che quindi potrebbero essere soppresse migliorando l'economicità e l'efficienza del servizio.

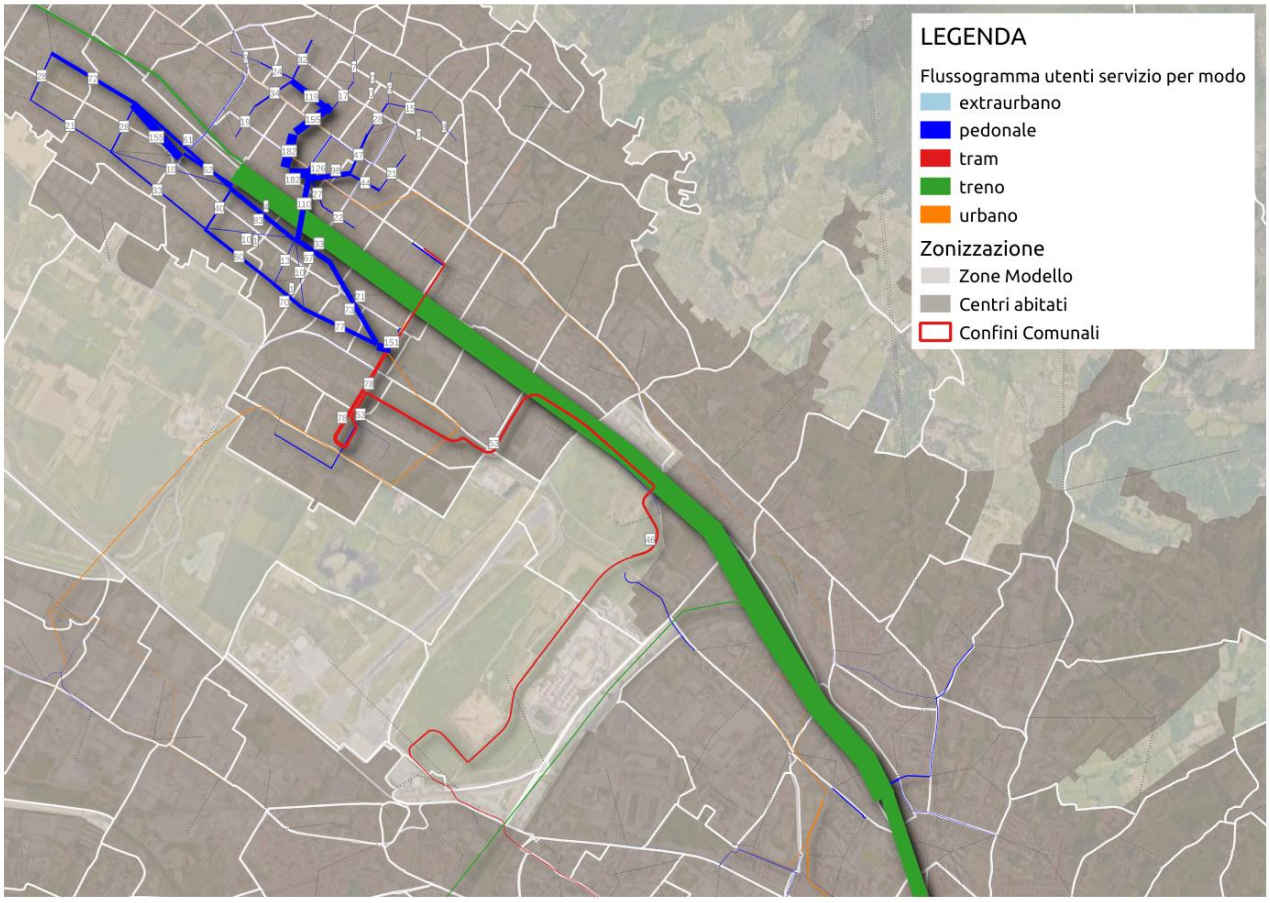
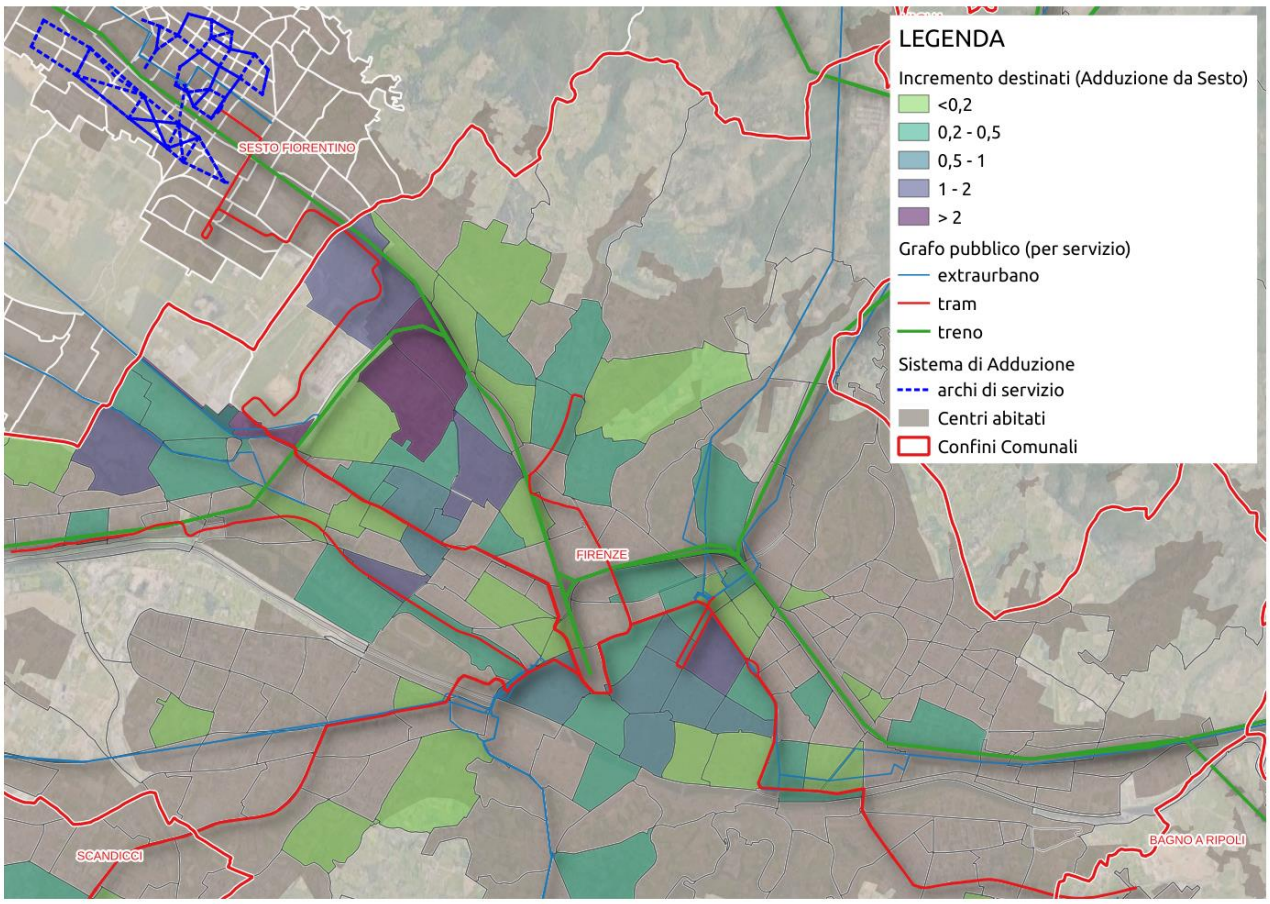


Figura 4.12 Grafo relativo alla sola utenza del servizio di adduzione classificato per tipologia di servizio

Per capire i limiti del sistema analizzato che comportano una diversione modale limitata, sono state analizzare le destinazioni dei viaggi per cui si ottiene una differenza in termini di scelta modale pubblico tra scenario di riferimento e scenario con adduzione.



Si nota come le coppie su cui si ottiene un risultato significativo siano solo quelle raggiunte direttamente dai servizi connessi dal sistema di adduzione: in alcuni casi, l'aumento della quota modale pubblica raggiunge anche il +19%.

Per quanto riguarda l'area di Bagno a Ripoli, l'implementazione del sistema a chiamata nei tre centri abitati principali nel modello multimodale comporta un'attrazione della domanda privata a favore del modo pubblico, corrispondente a una crescita dell'ordine del 3%, con una riduzione sull'ora di punta di soli 13 veh/h.

	SR2027	SPA2027	*crescita*	delta
Pubblico	910	933	***+2.49%***	23
Auto	2267	2259	*-0.37%*	-8

Figura 4.13 Valore delle matrici (origine o destinazione Sesto Fiorentino)

In termini di utenti del sistema di adduzione, però, il valore è molto più alto: in tabella sono riportati i valori dei saliti su ciascuna delle singole linee di adduzione a chiamata, suddivisi per fermata obiettivo

LINEA	UTENTI	FERMATA OBIETTIVO	DI CUI SALITI BRT/TRAM
700	307	BRT Grassina	297
800	83	BRT Ponte a Niccheri	83
105		Capolinea Bagno a Ripoli	184
106		Capolinea Bagno a Ripoli	31
	489		

Figura 4.14 Utenti totali orari suddivisi per linea di adduzione utilizzata

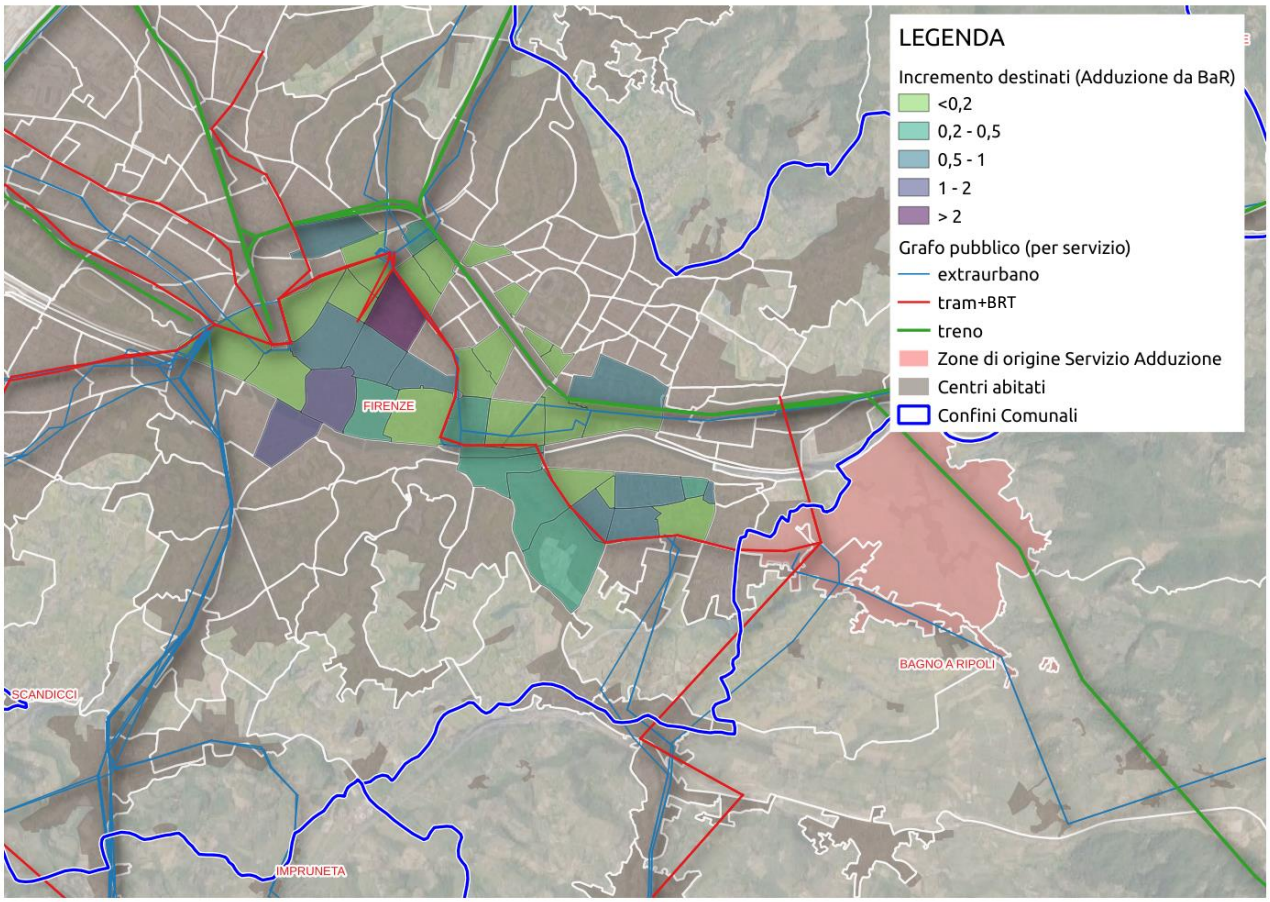
In termini di saliti, quelli sul BRT e sul tram crescono come riportato per fermata in tabella seguente.

Fermata	SR2027	SPA2027	crescita	delta

BRT Grassina	318.8	324.5	1.7%	5.52
BRT Ponte a Niccheri	57.8	105	45%	47.23
BRT Bagno a Ripoli	6.35	9.10	43%	2.76
TRAM Bagno a Ripoli	626.96	643.67	3%	16.71

L'applicazione della catena modellistica mostra quindi come l'introduzione di un sistema di adduzione che avvicini i principali centri abitati alle fermate dei servizi di trasporto più veloci permetta di potenziare questi investimenti, a sfavore dei servizi su gomma "storici", che servono il territorio in modo più capillare ma con un livello di servizio inferiore.

Degli archi potenziali, alcuni non vengono utilizzati: sono quelli delle zone più prossime alle fermate obiettivo, che quindi potrebbero essere soppresse migliorando l'economicità e l'efficienza del servizio. Dall'analisi delle zone di destinazione analoga a quella già presentata per Bagno a Ripoli, si nota ancora una volta come l'aumento di quota modale pubblico avvenga solo per i viaggi con destinazioni servite direttamente dal tram o dal treno.



4.2 Sistema di veicoli a Guida Elettrica Automatica

L'applicazione del modello ha messo in luce alcuni risultati preliminari.

Il sistema risulta utilizzato anche con i livelli di congestione paragonabili all'ora di punta mattutina, se si limita però l'uso del park&ride con interscambio tranviario, che a livello di costo generalizzato rappresenta in ogni caso la soluzione teoricamente più conveniente.

Per Sesto Fiorentino, la motivazione per cui per alcune coppie rimane comunque valida la scelta dell'auto privata come conducente sta nel fatto che, a prescindere dal costo, il livello di congestione mattutino è tale che i tempi di percorrenza su rete privata tra Sesto e Firenze sono molto elevati e l'abbattimento del tempo di parcheggio pesa molto poco in percentuale rispetto al tempo totale di viaggio, soprattutto a fronte di un aumento del costo operativo. Lasciando al sistema la possibilità di usufruire del sistema di park&ride, nell'assegnazione all'equilibrio quest'ultima soluzione, che garantisce tempi certi di viaggio, risulta molto più conveniente rispetto alle altre. Si è scelto quindi di effettuare una prova eliminando l'offerta pubblica tram/treno dal grafo privato: con i livelli di congestione paragonabili a quelli della mattina, l'applicazione degli ultimi 3 stadi del modello di trasporto comporta un aumento della matrice privata per l'area di Sesto Fiorentino (auto conducente+GEA) del 4.3%.

SCENARIO	MATRICE AUTO	diff	%	usa GEA	
GEA2027	1 095	45	4.31%	166	15.19%
SR2027	1 050				

Per quanto riguarda il livello di utilizzo, con il costo di 0.15 €/km si ottengono circa 170 utenti/ora, pari al 15% della matrice privata relativa alle relazioni che hanno GEA a disposizione e risulta interessante che per alcune relazioni origine-destinazione si attivino path all'equilibrio paralleli (privato puro e GEA). In generale, la relazione più servita è quella tra le zone di Sesto sotto la ferrovia e il centro storico di Firenze. E' interessante notare anche una domanda tra Osmannoro e il centro di Firenze.

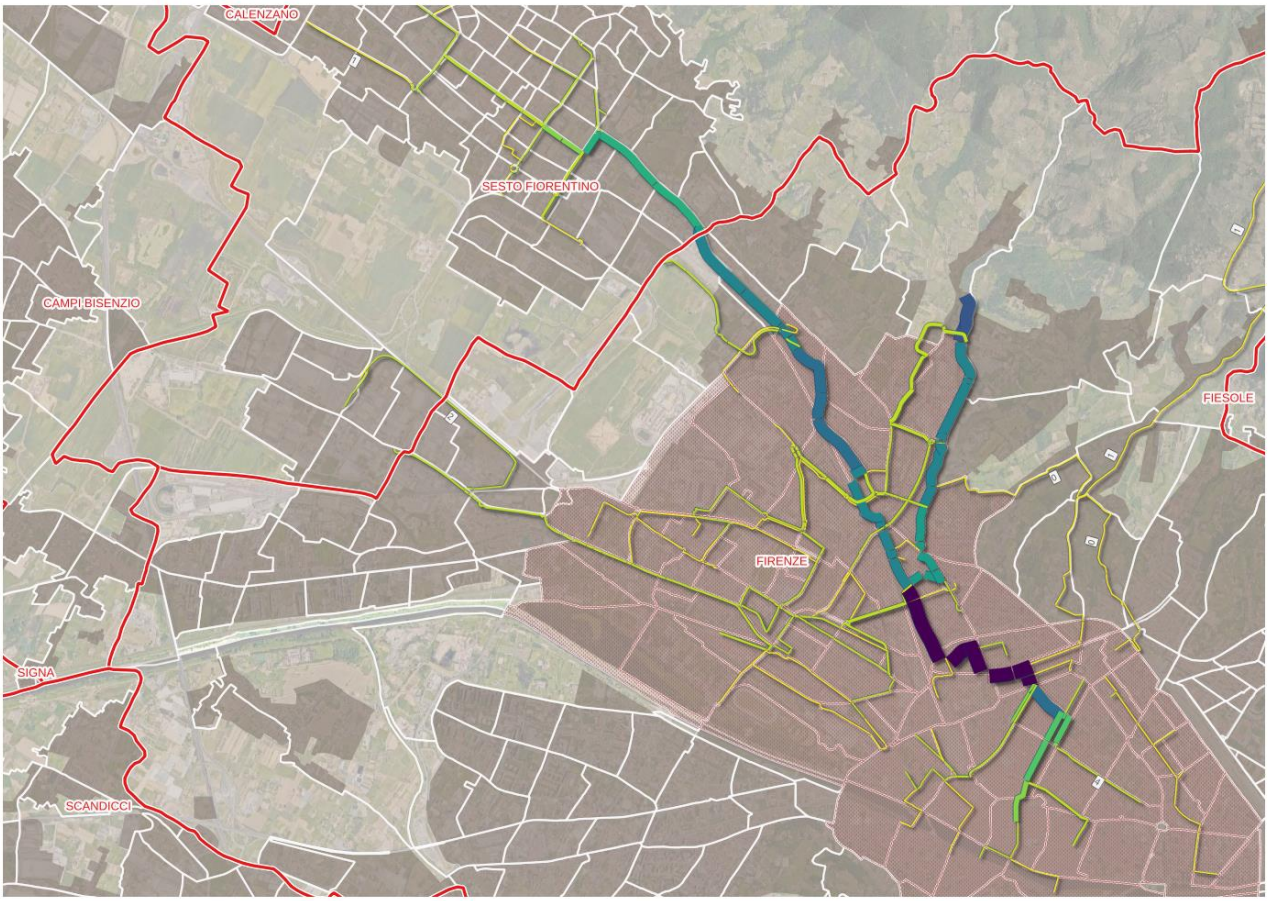


Figura 4.15 Flussogramma relativo alla sola utenza del servizio GEA

SCENARIO	veh*km	diff	perc	di cui in ZTL
GEA2027	8 051	234	2.99%	170
SR2027	7 817			

Replicando le medesime analisi su Bagno a Ripoli, i risultati sono dello stesso ordine di grandezza.

SCENARIO	MATRICE AUTO	diff	%	usa GEA	
GEA2027	407	17	4.33%	64	15.71%
SR2027	390				

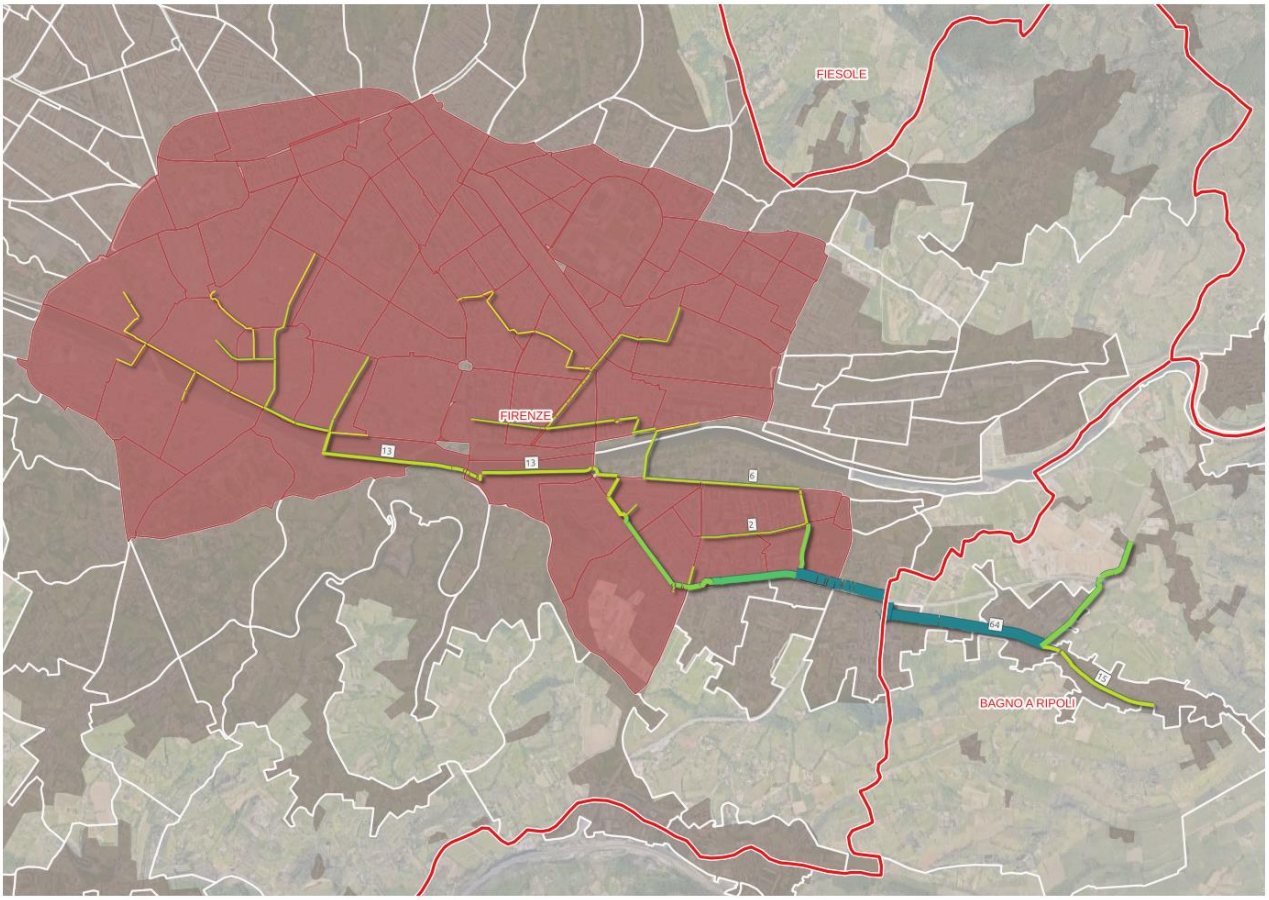


Figura 4.16 Flussogramma relativo alla sola utenza del servizio GEA

SCENARIO	veh*km	diff	perc	di cui in ZTL
GEA2027	2,428	447	22.5%	77
SR2027	1,982			

In definitiva, il sistema sembra competitivo con gli altri modi privati anche nelle ore di punta, riuscendo sia a innescare un meccanismo di diversione modale dal pubblico che una modifica ai percorsi utilizzati dagli utenti del privato. Si ottiene quindi una diminuzione della quota modale pubblica a favore del privato, con un aumento della produzione

chilometrica in termini di veicoli * km nell'area di analisi del 3% per Sesto Fiorentino e del 22% per Bagno a Ripoli, dove i percorsi alternativi sono più limitati.

4.3 Scenari rivisti con l'applicazione di una congestion charging nella zona centrale (Scudo Verde)

Negli scenari futuri un'ulteriore modifica è legata all'attuazione di una politica di regolamentazione degli accessi veicolari all'area urbana fiorentina da parte del Comune di Firenze, il cosiddetto "Scudo Verde": si tratta di una nuova e più estesa zona a traffico limitato il cui accesso da parte di alcuni veicoli privati è subordinato al pagamento di una tariffa, mentre è totalmente interdetto per i veicoli provenienti da altri Comuni appartenenti alle classi tecnologiche EURO 0,1,2,3 nello scenario di base e EURO 0,1,2,3,4 nello scenario evolutivo, come descritto nel PUMS della Città Metropolitana fiorentina.

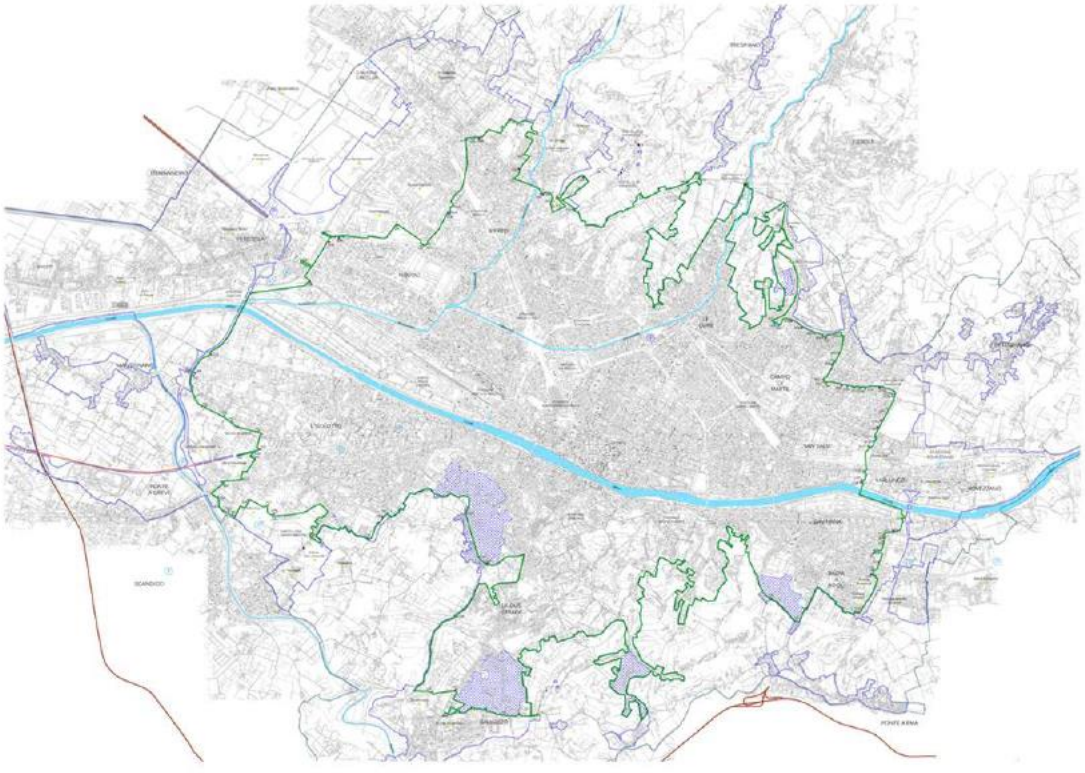


Figura 4.17 -Estratto da PUMS, individuazione dello Scudo Verde

L'analisi degli scenari presentati nei precedenti paragrafi è stata quindi ripetuta ipotizzando tale provvedimento con un costo paragonabile in prima analisi all'Area C di Milano, a cui il provvedimento si ispira. Il costo dell'accesso all'area di Scudo Verde è stato caricato sugli archi sede dei futuri varchi

e assimilato ai costi di parcheggio per il modello di scelta modale, dove tale attributo ha un ruolo disincentivante l'uso dell'auto privata.

Per Sesto, l'abbattimento della matrice con Scudo Verde tra scenari di riferimento è del 35%:su questo risultato incide molto il fatto che i percorsi medi sono più lunghi e che sono disponibili delle alternative modali molto veloci. Inoltre, incide anche il fatto che la congestione sulla zona ovest della rete urbana sia molto elevata. Per quanto riguarda lo scenario di analisi con sistema GEA, la matrice auto privata con Guida Automatica è maggiore che nello scenario senza Scudo Verde. Questo risultato è dovuto al fatto che lo Scudo Verde abbatte la congestione nella rete cittadina, dove si riducono quindi i tempi di percorrenza, per cui chi può accedere registra attributi migliori che negli scenari senza Scudo Verde, a favore quindi del privato nel modello di split modale.

Per Bagno a Ripoli risulta una diminuzione contenuta della matrice auto nello scenario di riferimento con scudo verde rispetto all'omologo senza Scudo, dell'ordine del 5%, con molti utenti che pagano per entrare e altri che fanno park&ride se diretti nella zona più orientale della città. In questo caso, l'eventuale disponibilità del servizio GEA comporta una crescita della matrice fino al valore ottenuto senza scudo verde, con un numero maggiore di utenti che però usano il sistema a Guida Automatica.

In tabella si riporta un prospetto dei risultati appena enunciati in termini di matrici auto nei diversi scenari.

Tabella 3 - Prospetto del valore totale delle matrici auto nei diversi scenari di analisi con e senza Scudo Verde

SESTO FIORENTINO					
	MATRICE AUTO	diff	*%*	**usa GEA**	
SR2027	**1,050**				
GEA2027	**1,095**	45	*+ 4.31%*	**166**	differenza calcolata rispetto a SR2027
SR2027_SV	**676**	373	*- 35.56%*		differenza calcolata rispetto a SR2027
GEA2027_SV	**1,170**	493	*+ 72.91%*	**1,043**	differenza calcolata rispetto a SR2027 SV

BAGNO A RIPOLI					
	MATRICE AUTO	diff	*%*	**usa GEA**	
SR2027	**390**				
GEA2027	**407**	17	*+ 4.33%*	**64**	differenza calcolata rispetto a SR2027
SR2027_SV	**370**	20	*- 5.11%*		differenza calcolata rispetto a SR2027
GEA2027	**406**	36	*+ 9.70%*	**97**	differenza calcolata rispetto a SR2027 SV

5 I risultati preliminari ottenuti

In questa prima applicazione si sono definiti degli obiettivi (e degli indicatori per misurarli con soglie di successo) presi in base a documenti ufficiali internazionali senza discuterli con nessun decision-maker; gli indicatori sono:

- il consumo energetico per cui l'obiettivo è una riduzione del 50% (e la CO2 prodotta che oggi non cambia tra veicolo elettrico e motore a scoppio perché dato il mix energetico nazionale un veicolo elettrico emette grossomodo la stessa CO2 di un veicolo con motore a combustibili fossili);
- le emissioni di gas nocivi in loco per cui l'obiettivo è l'eliminazione totale;
- la sicurezza (safety) per cui l'obiettivo è una riduzione del 50% del tasso di mortalità in incidenti di mobilità per milione di abitanti;
- il consumo di spazio per cui l'obiettivo è una riduzione del 10% dello spazio usato consumato da veicoli in moto o parcheggiati.

Si sono prese due aree periurbane di un'unica conurbazione (i comuni di Sesto Fiorentino e Bagni a Ripoli della città metropolitana di Firenze) per cui si disponeva di modelli di scelta modale e di interazione domanda/offerta di trasporto già calibrati e si sono studiati due possibili servizi di trasporto che applicano tecnologie dell'automazione, dell'elettrificazione e della connessione della mobilità. Per ogni area studiata si sono valutati: un servizio di veicolo automatico privato (o eventualmente affittato ad uso individuale tipo taxi automatico) e un servizio collettivo (con veicoli in grado di riposizionarsi automaticamente) di adduzione per le reti di trasporto pubblico principali (tram e treno) esistenti o in fase di realizzazione. Questi due scenari in assenza di politiche incentivanti hanno dato risultati di modesta entità, non sufficienti a raggiungere gli obiettivi previsti, uno in direzione favorevole al raggiungimento di tali obiettivi, l'altro in direzione sfavorevole. Si è quindi simulata l'attuazione di una politica restrittiva all'accesso dei veicoli privati provenienti dai Comuni studiati al centro cittadino dell'Area Metropolitana e lo scenario sui servizi di adduzione ha mostrato delle potenzialità, sebbene siano necessari dei correttivi, mentre quello sui veicoli privati (o taxi automatici) ha mostrato di sterilizzare l'effetto delle scelte politiche mantenendo il livello di congestione.

I principali risultati ottenuti, in misura coerente per i due Comuni analizzati, possono essere riassunti come segue.

1. L'applicazione delle tecnologie a servizi di adduzione dà risultati generalmente più favorevoli sebbene non sufficienti a raggiungere gli obiettivi prefissati in particolare:
    a. sottraggono spostamenti prevalentemente al modo "piedi" ed al TPL di periferia esistente (che andrebbe riorganizzato) con un aumento del consumo energetico per passeggero trasportato;
    b. non inducono uno spostamento modale significativo (se non per poche centinaia di spostamenti sulle migliaia giornaliere) verso il trasporto di massa, si limitano a confermare gli utenti che già scelgono il trasporto pubblico almeno in parte; analizzando meglio le origini destinazioni si nota che spostamenti ben serviti dal servizio di massa a destinazione sono più attratti dal TPL e dal TPL+adduzione per cui si dovrebbero investigare gli effetti di un servizio di adduzione capillare in tutta l'area metropolitana per cui gli spostamenti modali potrebbero essere più consistenti con contributo significativo e positivo agli indicatori di consumo energetico, sicurezza e consumo di spazio; l'indicatore di emissioni è fortemente dipendente dalla tecnologia veicolare scelta;
    c. in presenza di una misura restrittiva all'accesso in città con la propria auto (a Firenze è allo studio uno scudo verde che faccia pagare l'ingresso in auto in città a chi risiede nei comuni limitrofi) lo spostamento modale è maggiore, a favore di TPL+adduzione con indicatori tutti più vicini alle soglie desiderate.

2. L'applicazione delle tecnologie di automazione, elettrificazione e connessione ai veicoli privati (o a taxi automatici) non sposta significativamente gli equilibri ma lo fa prevalentemente nella direzione opposta agli obiettivi prefissati:
    a. il nuovo modo di trasporto sottrae utenti al trasporto privato e solo in parte al trasporto pubblico che per certe destinazioni più centrali continua ad essere la scelta principale per via dei minori tempi di viaggio; gli utenti sottratti al privato consumano la stessa energia e lo stesso spazio ma azzerano le proprie emissioni e hanno un vantaggio di sicurezza (non quantificabile oggi); gli utenti sottratti al TPL aumentano il proprio consumo energetico e di spazio anche se non peggiorano per emissioni nocive e sicurezza;
    b. l'applicazione dello scudo verde, essendo l'ingresso in città gratuito per veicoli elettrici, induce un maggiore spostamento modale dal trasporto privato al nuovo modo con effetti positivi sulle emissioni ma non diminuendo la congestione non libera spazio ne migliora a livello energetico.

Complessivamente le aspettative in termini di sviluppo sostenibile delle smart communities da parte delle tecnologie analizzate nei due servizi di trasporto sono state disattese. Nessuno dei servizi proposti ottiene da solo gli effetti sperati ed anche le politiche applicabili non riescono a garantire il raggiungimento degli obiettivi. Meglio favorire l'applicazione delle nuove tecnologie per favorire i servizi di trasporto (MAAS) soprattutto nelle aree periferiche e come adduzione alle linee di trasporto principali ma va investigato l'effetto di un'applicazione capillare su tutto il territorio metropolitano perché l'applicazione a "macchia di leopardo" su certe aree ha effetti positivi minori di quelli sperati e ha importanti controindicazioni come l'attrazione di spostamenti altrimenti fatti a piedi che oltre all'impatto energetico hanno un impatto di lungo periodo sulla salute delle persone.

Automazione ed elettrificazione dei veicoli privati (o taxi automatici) hanno qualche effetto positivo sulle emissioni nocive e ne potrebbero avere a livello di consumi energetici e CO2 qualora il mix energetico nazionale aumentasse la quota di produzione da fonti rinnovabili ma non hanno alcun beneficio (anzi) su congestione e consumo di spazio e quelli sulla sicurezza non sono al momento quantificabili.

Nuove politiche urbanistiche (tipo l'applicazione della città in 15 minuti) potrebbero ridurre l'esigenza di mobilità favorire lo sviluppo di servizi di trasporto collettivi e condivisi più efficienti e le tecnologie analizzate potrebbero contribuire significativamente a ridurre gli impatti della mobilità ben oltre le soglie scelte per gli indicatori, tuttavia il processo di revisione urbanistica diverrebbe il principale driver di questo nuovo sviluppo sostenibile urbano e le tecnologie solo dei facilitatori per le stesse.

6 Proposta di aggiornamento della roadmap in base a questi primi risultati

Questo studio preliminare ha mostrato come gli sviluppi tecnologici hanno effetti diversi a seconda del servizio di trasporto in cui vengono concretizzati e che nessun nuovo servizio riesce a garantire il raggiungimento degli obiettivi da solo.

Una roadmap integrata che guidi le politiche nazionali e locali deve prendere in considerazione i diversi scenari e le specificità territoriali e proporre, assieme alle tecnologie, anche i servizi di trasporto in cui utilizzarle di preferenza e

come incentivare tali servizi, disincentivare gli altri ed integrare il tutto in una nuova pianificazione urbana impostata alla sostenibilità.

Questo studio preliminare non ha la pretesa di essere esaustivo e va validato ed esteso ad altre realtà urbane per poter riscrivere la roadmap in funzione dei risultati ottenuti tuttavia su possono preliminarmente indicare alcune direzioni che sembrano emergere in maniera solida. Per sviluppo e applicazione di queste tecnologie la roadmap andrebbe quindi integrata con:

- indicazioni di necessità di incentivazione di servizi di trasporto condivisi tipo MAAS (basati sulle ICT) nelle periferie urbane su cui applicare elettrificazione ed automazione (almeno parziale) dei veicoli;
- disincentivazione dell'automobile privata anche fosse elettrica ed automatica;
- la considerazione che i parcheggi di interscambio (specialmente se gratuiti o a basso costo) incentivano possesso ed uso del mezzo privato al di fuori del solo centro metropolitano;
- incentivazione di un processo di revisione della pianificazione urbanistica delle aree metropolitane tese a favorire spostamenti a piedi, con modi dolci e, per distanze più lunghe, modi collettivi e condivisi basati su veicoli elettrici
- incentivazione alla creazione di servizi di noleggi auto localizzati nelle periferie urbane per rendere il possesso dell'auto privata non necessario anche nelle periferie urbane, liberando così spazio urbano.

Questi risultati andrebbero corroborati da:

- una ridefinizione degli obiettivi con quantificazione delle soglie di successo con l'ausilio di esperti ed amministratori locali;
- un'estensione dello studio all'intera area metropolitana per verificare che i risultati attesi dalle simulazioni di due zone siano validati, con tanto di fine tuning delle calibrazioni dei modelli di scelta;
- la replica dello studio in altre aree metropolitane con caratteristiche differente;
- una verifica quantitativa dei risultati nelle varie aree.

ALLEGATI

Allegato A – Metodologia completa proposta

In questo allegato si definiscono in via schematica 8 passi di una metodologia per applicare in maniera più dettagliata il processo di backcasting con la collaborazione e l'aiuto di esperti, alcun già coinvolti nella stesura della prima roadmap.

Attività 1 - Definizione del futuro desiderabile

L'attività 1 consiste in una approfondita analisi di specifici documenti che ha i seguenti compiti:

- definire e quantificare gli obiettivi da raggiungere, ossia la visione di futuro che si vuole ottenere nei due orizzonti temporali considerati
- scegliere gli indicatori essenziali da quantificare

Dopo quest'iniziale analisi che si conclude con la descrizione del futuro desiderabile e con la stesura di una lista di obiettivi e indicatori (con le relative soglie di successo) l'attività 1 sottopone i documenti prodotti ad un gruppo di esperti internazionali. Il gruppo di esperti deve includere, ma non limitarsi a, geografi, urbanisti, economisti, pianificatori del territorio e dei trasporti. Il procedimento prevede due iterazioni con un feedback degli esperti sul primo documento la redazione di un secondo che includa osservazioni e spiegazioni ed un secondo feedback. Idealmente si potrebbe redigere ed inviare il documento ad esperti che poi verrebbero invitati di persona a partecipare ad una giornata di lavoro in cui avranno opportunità di esprimere i loro feedback e di discutere in gruppi tematici con moderatori e tra loro delle indicazioni in modo da ottenere un documento finale di obiettivi quantificati. Il confronto con gli esperti è essenziale e si devono selezionare esperti di fama mondiale e invitarli in Italia per confrontarsi sul documento.

Attività 2 – Analisi dei PUMS, della letteratura e scelta delle conurbazioni di studio

L'attività 2 consiste in una approfondita analisi di letteratura che ha i seguenti compiti:

- reperire e approfondire i PUMS di diverse città metropolitane italiane,
- verificare studi e progetti che abbiano definito scenari di mobilità urbana sostenibile,
- verificare letteratura tecnica e scientifica che abbia quantificato relazioni causa effetto tra politiche tecnologie e impatti della mobilità urbana,
- verificare se questi procedimenti siano riflessi in quali PUMS,
- selezionare tre realtà territoriali (verificato il loro interesse a partecipare) su cui approfondire lo studio.

Il metodo di lavoro prevede un'approfondita analisi di letteratura e dei progetti e, in continua collaborazione con l'attività 1 che nel frattempo definisce obiettivi ed indicatori, una selezione delle realtà territoriali più idonee da coinvolgere nel prosieguo dello studio. L'ultima parte dell'attività prevede anche la costituzione di relazioni con le realtà municipali selezionate che serviranno nel prosieguo del lavoro.

Attività 3 – Declinazione delle visioni con i relativi obiettivi sulle conurbazioni selezionate

L'attività 3 segue, anche cronologicamente, la 1 e la 2 e fa confluire gli obiettivi della prima attività sulle conurbazioni della seconda ed ha il principale compito di quantificare le soglie di successo per gli indicatori che delineano gli obiettivi in ogni zona delle conurbazioni per gli anni 2030 e 2050.

Il metodo di lavoro prevede che gli indicatori selezionati con gli obiettivi siano assegnati ai diversi obiettivi e che i livelli di soglia per definire l'obiettivo raggiunto stabiliti. Mentre è atteso che gli obiettivi siano misurabili per mezzo degli stessi indicatori nelle diverse conurbazioni le soglie di successo sono dipendenti non solo dalle conurbazioni ma anche dalle diverse zone delle conurbazioni stesse. Si approfondirà per tanto (grazie alla collaborazione degli enti gestori delle conurbazioni selezionate) la base dei dati delle diverse conurbazioni si classificheranno le diverse zone in base a residenti e attività non ché alle caratteristiche dell'offerta di trasporto disponibile e le soglie di successo degli indicatori definiti in base a questo.

Attività 4 – Technology forecasting e Technology Assessment

L'attività 4 è svincolata dalle prime 3 seguendo un percorso parallelo e non ancora (se non alla fine) connesso col resto del progetto. Il principale compito di questa attività è definire una roadmap affidabile della disponibilità sul mercato delle diverse tecnologie. Questo non solo e non tanto definendo una tempistica per ogni tecnologia ma anche un livello di prestazioni associato ad ogni momento alla determinata tecnologia. In particolare, l'output dovrà essere una valutazione delle prestazioni delle diverse tecnologie nei due orizzonti temporali di riferimento.

Oltre a rivedere pubblicazioni e progetti l'attività prevede la realizzazione di una prima bozza di questa roadmap integrata e la sua discussione con il gruppo di esperti "tecnologici" in uno specifico workshop. Come per l'attività 1, la 4 redige la roadmap e la sottopone ad un gruppo di esperti internazionali. Il gruppo di esperti questa volta deve includere esperti delle tre specifiche tecnologie (automazione, comunicazione e power train) che abbiano già condotto esperienze di applicazione in casi reali perché dovrà scendere nel dettaglio delle prestazioni della tecnologia. Il procedimento anche in questo caso prevede due iterazioni con un feedback degli esperti sul primo documento la redazione di un secondo che includa osservazioni e spiegazioni ed un secondo feedback. Idealmente si potrebbe redigere ed inviare il documento ad esperti che poi verrebbero invitati di persona a partecipare ad una giornata di lavoro in cui avranno opportunità di esprimere i loro feedback e di discutere in gruppi tematici con moderatori e tra loro delle indicazioni in modo da ottenere un documento finale di obiettivi quantificati.

Attività 5 – Definizione dei servizi di trasporto disponibili nei due orizzonti temporali in funzione delle tecnologie disponibili e delle conurbazioni

L'attività 5 segue, anche cronologicamente, la 3 e la 4 e fa confluire gli obiettivi declinati per le diverse conurbazioni dell'attività 3 con le soluzioni tecnologiche e la loro cronologia definite dall'attività 4. In parallelo ed in comunicazione con l'attività 6 che definisce la parte modellistica per poi calcolare gli impatti l'attività 5 ha il compito principale di definire gli scenari di trasporto resi possibili dalle diverse tecnologie nelle diverse conurbazioni nei diversi momenti. Altro aspetto cruciale che l'attività 5 deve prendere in considerazione è quello degli effetti indesiderati che i servizi di trasporto abilitati dalle tecnologie possono avere. È cruciale che la definizione dei servizi di trasporto possibili non si limiti a quelli che ottimisticamente possono avere impatti positivi ma anche a quelli che possono avere effetti negativi in modo da consentire all'attività 7 di definire pacchetti di politiche e misure atte a prevenire l'avvento di tali usi della tecnologia. Se i servizi TNC (Uber Lyft e similari) hanno avuto impatti positivi in certe aree geografiche e fasce di popolazione hanno anche creato impatti negativi in termini di traffico veicolare e deregulation del sistema delle licenze per esercire il trasporto. L'entità degli impatti (positivi e negativi) è stato limitato dal costo degli autisti ma in aree ad alto reddito (tipo alcune zone di Londra e la Bay Area di San Francisco) in cui il costo del servizio è un fattore meno

importante nella scelta modale gli impatti sono stati importanti sia in positivo che, soprattutto, in negativo. Bisogna saper quantificare questi effetti prima per impedire che servizi di trasporto ad impatto negativo nascano prima che le persone si abituino e protestino in caso di una stretta normativa come successo a Londra con un milione di firme raccolte in 4 giorni contro una maggiore regolamentazione che avrebbe limitato l'uso di Uber.

Nell'attività 5 succedono due cose concettualmente fondamentali:

- si passa dalle previsioni tecnologiche a previsioni di servizi di trasporto;
- si specificano per le diverse conurbazioni e per le diverse aree delle conurbazioni i servizi di trasporto possibili nelle diverse tempistiche e si scelgono quelli che hanno possibilità di contribuire al raggiungimento degli obiettivi e quelli che al contrario possono avere impatti negativi.

Il metodo di lavoro prevede che due giovani ricercatori a tempo pieno partano uno dalle conurbazioni ed uno dalle tecnologie per confluire in bozze di scenari discussi con il comitato scientifico fino a definire la roadmap in termini di servizi di trasporto possibili per ogni zona della conurbazione.

L'attività iniziata all'inizio del sesto mese di progetto e finisce con la fine del settimo. I risultati dell'attività 5, assieme ai risultati dell'attività 6 disponibili anch'essi all'inizio dell'ottavo mese, costituiscono lo strumento fondamentale per costruire e valutare gli scenari nelle attività seguenti 7 ed 8.

Attività 6 – Definizione delle relazioni causa-effetto per il calcolo degli impatti

L'attività 6 è di tutte la più delicata. Prende le mosse dai risultati dell'attività 2 e dalla sua analisi di letteratura e dei documenti tecnici e arriva a definire le relazioni che consentiranno di valutare gli impatti delle diverse soluzioni politiche e tecnologiche nei diversi scenari.

Le metodologie applicabili possono essere di due tipi differenti. Come nel caso dell'applicazione preliminare descritta in questo documento si possono calibrare modelli di scelta modale e di interazione domanda offerta nelle diverse conurbazioni per simulare come cambierebbero le scelte degli utenti e le prestazioni trasportistiche dei servizi nei diversi scenari. Questo approccio è preferibile qualora ci siano nelle conurbazioni scelte modelli di scelta modale e di interazione domanda-offerta di trasporto già calibrati e questi si prestino ad essere modificati per simulare anche i nuovi servizi di trasporto. Qualora tali modelli non ci siano o non siano in grado di simulare in maniera accettabile i nuovi scenari di offerta è molto più complicato realizzarli e calibrarli ex-novo piuttosto che adottare un approccio di relazioni semplificate domanda offerta.

Le relazioni semplificate domanda offerta possono essere semplici relazioni causa-effetto calibrate con l'aiuto di esperti. Questi non sono né "visionari" come quelli dell'attività 1 né "tecnologi" come quelli dell'attività 2 ma esperti pianificatori di trasporti e territorio. Anche in questo caso si inizierà quantificando preliminarmente queste relazioni sulla sola base della letteratura e si redigerà un documento di accompagnamento a tali relazioni che ne spieghi ragioni e quantificazioni. Quindi si procederà chiedendo agli esperti di effettuare dei confronti a coppie fra i diversi scenari chiedendo loro di definire quale dei due abbia un impatto più rilevante in ognuno degli aspetti attenzionati. Il metodo è derivato da Saaty (AHP - Analytic Hierachy Process).

L'attività ha scambi con le attività 3 e 5 per garantire che sia gli indicatori e le relative soglie scelti nell'attività 3 siano quantificati nelle relazioni causa effetto sia i sistemi di trasporto ottenibili definiti nell'attività 5 siano rappresentati dalle relazioni causa effetto.

Attività 7 – Definizione di pacchetti di politiche e calcolo degli impatti dei diversi scenari

L'attività 7 è la prima che mette assieme gli strumenti di simulazione con la roadmap tecnologico/urbanistica.

L'obiettivo principale dell'attività 7 è calcolare:

- gli impatti socio-economici dei diversi scenari
    - ottenuti combinando i diversi servizi di trasporto resi possibili dagli sviluppi tecnologici nel tempo ed i pacchetti di politiche possibili,
    - diversi nelle diverse conurbazioni e nelle diverse aree delle conurbazioni raggruppate per caratteristiche urbanistiche e di domanda di trasporto simili.

Il metodo l'applicazione degli scenari per quantificare gli impatti e per verificare quali combinazioni portino al superamento delle soglie di successo individuate per gli indicatori che misurano gli obiettivi. Si dovrà verificare che zone con caratteristiche urbanistiche simili in diverse conurbazioni diano risultati analoghi o individuando le ragioni delle differenziazioni.

L'attività verificherà quali politiche implementare in quali momenti a seconda delle caratteristiche urbanistiche delle diverse zone per raggiungere gli obiettivi prefissati.

Attività 8 – Verifica del raggiungimento degli obiettivi

L'attività 8 è l'ultima e conclude il progetto.

Gli obiettivi principali dell'attività sono:

- la concretizzazione del backcasting individuando per le diverse conurbazioni e per le diverse zone delle stesse quali pacchetti di politiche adottare in quali momenti per raggiungere gli obiettivi di sostenibilizzazione della mobilità urbana definiti,
- la redazione di un rapporto tecnico che sintetizzi il lavoro fatto ed aggiorni la roadmap per la mobilità nelle smart cities.