



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Collegio di  
Pianificazione e  
Progettazione

Corso di Laurea Magistrale in  
**Pianificazione Territoriale, Urbanistica e  
Paesaggistico-Ambientale**

Curriculum: Pianificare la Città e il Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

“La diffusione della guida automatica nel trasporto pubblico: impatti sul sistema dei trasporti e sul territorio”

Relatore

Prof. Luca Staricco

Correlatori

Prof. Francesco Paolo Deflorio

Arch. Phd. Stefano Pensa - Links Foundation

Ing. Maurizio Arnone - Links Foundation

Candidato

Emanuele Caito

Anno Accademico 2019/2020



## Sommario

<b>1. Introduzione</b> .....	5
<b>2. Coevoluzione delle città e dei trasporti</b> .....	10
2.1 Contesti territoriali – I 3 idealtipi .....	17
2.1.1 Il tessuto urbano pedonale .....	19
2.1.2 Il tessuto urbano policentrico – Transit City .....	21
2.1.3. Il tessuto urbano dell’automobile - La città diffusa .....	24
2.2 Confronto e considerazioni sulle caratteristiche dei tre idealtipi.....	27
2.2.1 Caratteristiche urbanistiche a confronto.....	30
2.2.2. La sostenibilità dei tessuti urbani .....	31
2.3 Le città “autocentriche” .....	33
2.3.1. Come ridurre la dipendenza dalle auto .....	36
<b>3. Nuove tecnologie di trasporto: i Veicoli a Guida Autonoma</b> .....	41
3.1 Livelli della guida autonoma .....	43
3.1.1. Tecnologia utilizzata - Hardware .....	47
3.1.2 Tecnologia utilizzata - Software .....	49
3.1.3 V2X: Auto connesse e infrastrutture intelligenti .....	51
3.2 Previsioni di sviluppo e distribuzione dei VGA.....	54
3.3. La legislazione dei VGA e le principali pratiche di sperimentazione.....	58
3.3.1. L’Unione Europea.....	60
3.3.2. L’Italia.....	63
3.3.3. Altri Paesi: Gli Stati Uniti, Gran Bretagna e Germania .....	65
3.4 VGA e Costante di Marchetti .....	67
3.5 Possibili scenari di diffusione e relativi impatti territoriali dei VGA .....	70
3.5.1 Possibili scenari di diffusione .....	72
3.5.2. Impatti territoriali .....	74
<b>4. Mobilità sostenibile e condivisa utilizzando i VGA</b> .....	79
4.1 I VGA condivisi ad utilizzo individuale.....	84
4.1.1 I robotaxi – sperimentazioni attuali.....	87
4.2 I VGA condivisi utilizzati nei sistemi di trasporto collettivi .....	89
4.2.1 I bus automatizzati – sperimentazioni attuali.....	95
4.2.1.1 <i>Descrizione progetto: AutoNV_OPR</i> .....	98
4.2.1.2. <i>Descrizione progetto: Swiss Transit Lab - AMoTech – Route 12 project</i> .....	103

4.2.1.3. <i>Descrizione progetto: SHOW - SHared automation Operating models for Worldwide adoption</i> .....	108
<b>5. I VGA in zone a bassa densità abitativa</b> .....	115
5.1 Caso studio nel Comune di Trofarello (Torino).....	121
5.1.1 Analisi dell'offerta di mobilità ferro-gomma nell'ora di punta 08.00-09.00 .....	125
5.2 Criteri per la determinazione del percorso di sperimentazione.....	129
5.2.1 La distribuzione della domanda.....	133
5.3 Applicazione del software VRP Spreadsheet Solver (v3.43) .....	135
5.3.1 Risultati ottenuti .....	140
5.3.2 Confronto con altre modalità di spostamento .....	146
5.4 Confronto finale e considerazioni.....	148
<b>6. Conclusioni</b> .....	153
<b>7. Fonti bibliografiche e sitografiche</b> .....	159
<i>Ringraziamenti</i> .....	169





Capitolo

# 01

Introduzione

## 1. Introduzione

Negli ultimi decenni la tecnologia ha fatto enormi passi avanti in tutti gli ambiti in cui essa risulta impiegata, compreso quello legato alla guida autonoma e all'intelligenza artificiale applicata nei trasporti. Molti sono i benefici che ci si aspetta dalla transizione dai veicoli tradizionali, a guida "manuale", ai **Veicoli a Guida Autonoma (VGA)**.

Innanzitutto, va sicuramente menzionata la diminuzione degli **incidenti stradali**, una delle maggiori cause di morte nel mondo<sup>1</sup>. Infatti, il numero di collisioni fra veicoli diminuirebbe, e conseguentemente anche il numero di morti su strada, grazie alla capacità di un veicolo autonomo di reagire, e in alcuni casi di prevedere un eventuale pericolo grazie a vari sensori, in tempi più brevi rispetto all'uomo.

Oltre alla maggior sicurezza stradale sia per i conducenti che per gli utenti deboli della strada, vi potrà essere una maggiore **accessibilità** per tutte le persone con disabilità motoria o con altri impedimenti e, infine, un minor impatto ambientale dovuto alla trazione prevalentemente elettrica dei mezzi.

Potrà, ad esempio, cambiare anche la percezione del **tempo di viaggio** da parte dell'utente, in quanto, non dovendo prestare attenzione alla guida, potrebbe sfruttare il momento dello spostamento come tempo utile per lavorare o fare altre attività che non avrebbe potuto con i veicoli tradizionali. Questo fattore potrebbe portare ad un effetto indesiderato, come l'incremento della congestione stradale dovuta all'aumento del numero di veicoli in circolazione, dato che non verrebbe più considerato "tempo perso" quello passato in coda in auto ma comunque tempo sfruttabile per svolgere diverse attività<sup>2</sup>.

I settori che, si prevede, possano maggiormente beneficiare dell'introduzione dei VGA sono quelli legati al trasporto pubblico locale (TPL) e alla mobilità condivisa.

Il **TPL** si è trovato, e si trova tuttora, a dover far fronte a notevoli cambiamenti della domanda di mobilità, rispetto al passato, dovuti principalmente ai mutamenti della società. La modifica delle attività lavorative (dal settore industriale al terziario) e l'aumento della flessibilità degli orari di lavoro ha portato a una modifica della domanda<sup>3</sup>, sia riguardo le motivazioni degli spostamenti sia riguardo gli orari che, in alcuni casi, verificano un generale appiattimento dei picchi nelle ore di punta caratteristici del passato. Nel frattempo, però l'offerta di trasporto collettivo fatica ad aggiornarsi, a causa di bilanci economici molto spesso in negativo, ed è quindi un obiettivo importante quello di intercettare le nuove componenti della domanda per rendere sempre più competitivo il trasporto di massa a discapito di quello individuale. Se il TPL non riuscirà ad essere competitivo vi sarà un aggravio dei problemi dovuti al traffico stradale, già presenti in molte realtà, come la congestione delle strade, l'inquinamento e l'occupazione di suolo dovuto all'aumentare della richiesta di parcheggi a raso.

---

<sup>1</sup> [http://www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_pubblicazioni\\_1662\\_allegato.pdf](http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1662_allegato.pdf)

<sup>2</sup> Margarita Martínez-Díaz, Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>3</sup> Cambiamento amplificato e velocizzato dall'introduzione dello Smart Working "forzato", nella primavera del 2020, causato dalla pandemia da Coronavirus.

Proprio in questo scenario i VGA possono inserirsi al fine di rendere più completa e competitiva, rispetto l'utilizzo dell'auto privata, l'offerta di mobilità, favorendo la catena degli spostamenti fino al, cosiddetto, ultimo miglio.

Anche la **mobilità condivisa**, nel corso di questi ultimi anni, ha permesso l'introduzione di diversi sistemi di condivisione, come il car-sharing, car-pooling, ride-sharing e i sistemi a chiamata di taxi collettivo e servizi porta-a-porta. Questi servizi, grazie anche all'introduzione di mezzi automatici in futuro, potranno avere la potenzialità di soddisfare la domanda tipica delle aree a bassa densità e degli orari di morbida o notturni, in cui i servizi di trasporto collettivo tradizionali faticano ad essere efficaci ed economicamente sostenibili. Attualmente, questi sistemi hanno trovato applicazione prevalentemente in contesti cittadini e nelle aree maggiormente urbanizzate a discapito delle aree più esterne, in quanto si è trattato spesso di investimenti privati, con la necessità di un ritorno economico sicuro e immediato.

Nonostante le grandi aspettative che i VGA stanno generando sia nelle case automobilistiche che nelle pubbliche amministrazioni, la tecnologia deve ancora dimostrare realmente di poter funzionare come promesso, con i conseguenti benefici ancora tutti da verificare.

Anzi, si sta diffondendo una certa prudenza rispetto ai primi annunci rivoluzionari, e molti ricercatori stanno focalizzando la propria attenzione sulle possibili esternalità negative che i VGA potrebbero generare<sup>4</sup>.

Infatti, una sfida, tra le più importanti da affrontare è certamente quella **culturale**. La maggior parte dei consumatori sono diffidenti nei confronti della nuova tecnologia e nutrono dubbi sul fatto che l'auto sia in grado di prendere decisioni in maniera autonoma, senza scomodare l'intervento della persona a bordo. Hanno contribuito ad amplificare il senso di sfiducia notizie di incidenti, anche mortali, che hanno coinvolto diverse case produttrici ed alcuni report che hanno evidenziato le attuali lacune tecnologiche dei sistemi di guida autonoma in determinate condizioni<sup>5</sup>.

L'iniziale scetticismo dei consumatori verso le novità in generale e i recenti avvenimenti, non fanno altro che porre una barriera all'accettazione della tecnologia da parte degli utenti. Oltre a questo, va anche detto che, finché i VGA non saranno più diffusi e concretamente presenti nelle nostre strade sarà difficile farli accettare ed integrarli nelle società.

Ulteriore limite alla diffusione dei VGA è quello **legislativo**. Infatti, molti stati non riescono a stare al passo con il rapido progresso tecnologico e quindi ne diventano automaticamente un ostacolo alla diffusione. Ad esempio, l'Italia attualmente non permette la sperimentazione su strada pubblica aperta al traffico ai mezzi nativi esclusivamente per la guida autonoma (quindi, ad esempio, i minibus automatici) ma permette la circolazione dei soli mezzi adattati ad essa (nativi

---

<sup>4</sup> Jacopo Scudellari, Luca Staricco, Elisabetta Vitale Brovarone, "Governare gli impatti territoriali della diffusione dei veicoli a guida autonoma", Rapporto progetto di ricerca - Politecnico di Torino Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, 2019

<sup>5</sup> Ad esempio, un incidente, nel marzo 2018, in cui perse la vita una sfortunata ciclista in uno scontro contro un veicolo di Uber. Fonte: Decker, B.L. National Transportation Safety Board (NTSB) Preliminary Report Highway: HWY18MH010. Technical Report; 2018 (<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf>.)

per la guida “tradizionale” quindi). Questo limite già di suo pone un rallentamento alla diffusione e alle sperimentazioni di questi veicoli innovativi.

Su queste basi, il lavoro di tesi fornisce una panoramica sulla diffusione dei VGA e sulle loro caratteristiche, positive e negative. Tratterà, successivamente, le possibili soluzioni che possono essere adottate, basandosi su sperimentazioni concluse, in corso e previste, sfruttando le innovazioni tecnologiche disponibili e utili a soddisfare la domanda di mobilità in vari contesti territoriali, dalle grandi città fino alle aree rurali.

L’elaborato di tesi si sviluppa attraverso i seguenti punti, quali:

- Descrizione del rapporto e della coevoluzione delle città e dei trasporti con la definizione dei contesti territoriali urbani, analizzandone le caratteristiche, la domanda di mobilità e l’offerta di trasporto relativamente ai servizi di trasporto pubblico tradizionali;
- Descrizione delle caratteristiche dei VGA, delle loro classificazioni e dell’aspetto legislativo europeo e non solo ad essi collegati;
- Analisi di come potrà svilupparsi la mobilità condivisa e sostenibile utilizzando i VGA sia per i mezzi condivisi ad utilizzo individuale (robotaxi), sia per quelli utilizzati nei sistemi di trasporto collettivo (minibus automatici);
- Definizione dei possibili utilizzi dei VGA dalle zone urbanizzate a quelle a bassa densità abitativa. Proprio su queste aree periferiche, si analizzerà un caso studio nel Comune di Trofarello, in provincia di Torino. Si applicheranno diverse soluzioni innovative utili a collegare la stazione ferroviaria con il suo centro cittadino al fine di determinare un quadro di possibili scenari, anche grazie l’utilizzo di un software specifico.





## Capitolo

# 02

### Coevoluzione delle città e dei trasporti

#### 2.1 Contesti territoriali - i 3 idealtipi

2.1.1 Il tessuto urbano pedonale

2.1.2 Il tessuto urbano policentrico – Transit City

2.1.3 Il tessuto urbano dell'automobile - La città diffusa

#### 2.2 Confronto e considerazione sulle caratteristiche dei tre idealtipi

2.2.1 Caratteristiche urbanistiche a confronto

2.2.2 La sostenibilità dei tessuti urbani

#### 2.3 Le città “autocentriche”

2.3.1 Come ridurre la dipendenza dalle auto

## 2. Coevoluzione delle città e dei trasporti

La nascita e la crescita degli agglomerati urbani, nel corso della storia, è stata il prodotto di complesse interazioni di numerosi fattori, tra cui, uno degli elementi principali è rappresentato dalle modalità di trasporto<sup>6</sup>.

Originariamente i popoli sfruttarono la capacità di spostarsi per alimentare gli scambi commerciali attraverso il **baratto delle merci**, grazie alla presenza, da un lato, di una prima eccedenza di produzione, dall'altro, di una carenza di alcune risorse presenti in altre località.

Con l'intensificazione degli scambi, è stato possibile introdurre la specializzazione del lavoro, che ha portato ad aumentare la produttività, e conseguentemente alla formazione di rotte commerciali marittime e terrestri<sup>7</sup>.

Le rotte commerciali marittime hanno portato alla nascita di porti da cui sono sorte le principali città portuali al mondo (come, in Europa, Istanbul, Napoli, Lisbona, Rotterdam, Amburgo e Oslo e, oltreoceano Boston, New York, Philadelphia, Seattle, San Francisco, Los Angeles e San Diego) che tutt'ora svolgono una funzione rilevante nell'economia degli Stati e, molte volte, coincidono con le aree a densità più elevata nel paese in cui si trovano. Anche lungo i principali corsi d'acqua, come, ad esempio, il Danubio, si sviluppano numerose città importanti come Vienna, Budapest, Belgrado, Zurigo in Europa e Chicago, Detroit e Toronto in America. Così le intersezioni delle rotte commerciali, sia via mare che via terra, sono state determinanti per la nascita delle città.

Altri fattori che hanno influenzato la nascita e lo sviluppo delle località possono essere la presenza di sedi minerarie-estrattive, ragioni politiche, come, ad esempio, le vicende che hanno portato alla nascita della capitale degli USA, Washington D.C., nel 1780, e la loro collocazione strategica che le rendesse facili da difendere in caso di attacchi da parte di nemici, spesso costruite vicino alle vie di trasporto, dove la topografia o l'acqua fornivano linee di difesa naturali su uno o più lati.

La tecnologia e l'organizzazione dei trasporti, in molti periodi della storia, hanno avuto un grande impatto sulle dimensioni della città e sulla sua popolazione. Avendo influenzato la collocazione geografica di molte città, i trasporti hanno continuato a stimolare la crescita dei centri, soprattutto quelli che presentavano una buona mobilità all'interno. Tuttavia, lo sviluppo dei sistemi di trasporto, a volte, ha anche agito come **vincolo alla crescita urbana**<sup>8</sup>.

In primo luogo, prima dell'invenzione dei veicoli meccanizzati, la capacità del sistema di fornire alla città il fabbisogno di cibo e di altri materiali era limitato e vincolato a distanze ridotte dovute ad un sistema di trasporto lento (pedonale e/o trazione animale), costoso e spesso fisicamente impossibilitato oltre certi volumi e distanze.

Nel Medioevo, le attività commerciali erano incentrate nei mercati posti al centro del nucleo abitato, circondati da altri luoghi fondamentali come le strutture religiose e laiche come il municipio. Dato che il nucleo abitato della città era circondato da massicce mura di difesa e che la circolazione all'interno era per lo più pedonale, le città furono edificate con una struttura compatta e conseguentemente, con un'alta **densità di popolazione**.

---

<sup>6</sup> Vukan R. Vuchic, "Urban transit systems and technology", 2007

<sup>7</sup> Ibid

<sup>8</sup> Ibid

Tali città avevano tipicamente un andamento stradale irregolare, poiché i mezzi di trasporto dell'epoca, come il cavallo o i carri trainati da animali, non richiedevano una particolare geometria della carreggiata.

Verso la fine del Medioevo, la necessità di difendere le città con le mura va gradualmente a diminuire e quindi sorgono nuovi modelli di sviluppo<sup>9</sup>, dove spesso la componente estetica ha cominciato ad influenzare la forma urbana delle città. Di conseguenza, come la forma urbana, il ruolo dei trasporti è stato fondamentale anche nella determinazione della **tipologia di reticolo viario** realizzato (Tab.1 e Fig.1)<sup>10</sup>. Come si può osservare nella tabella 1, possono essere presenti diverse conformazioni urbane, come quelle a sviluppo radiale e circolare, dell'Europa del nord determinate dalla conformazione orografica, altre frutto di combinazioni di diverse tipologie, alcune conformazioni irregolari, e infine, a quelle a griglia ortogonale di più recente costruzione, principalmente nelle città americane.

<i>Grid</i>	<i>Radial/ Circumferential</i>	<i>Combinations</i>	<i>Irregular</i>
Philadelphia	Moscow	Mexico, Milan (grid-irregular)	Boston
Chicago	Cologne		Lisbon
Mannheim	Copenhagen	Paris, St. Petersburg (diagonal-radial-irregular)	Bremen
New York	Karlsruhe		London
San Francisco	Amsterdam	Washington (grid and diagonal)	Manchester
Toronto	Versailles		Regensburg

Tabella 1: Esempi di diverse tipologie di reticoli stradali. Fonte: Vukan R. Vuchic, "Urban transit systems and technology", 2007

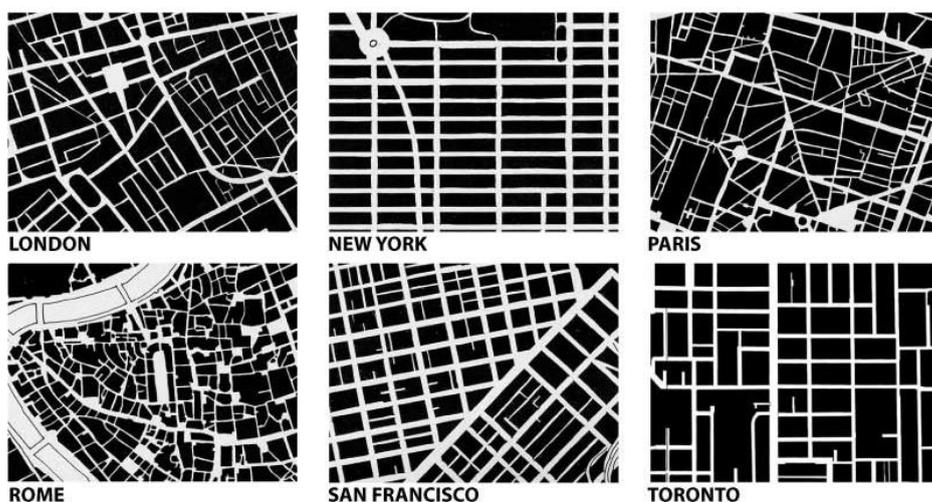


Figura 1: Esempi di diversi reticoli stradali nelle principali città del mondo.  
Fonte: Michael Surtees (<https://www.pinterest.it/pin/683491680937776131/>)

Il cambiamento e lo sviluppo delle città si accentua e velocizza dalla **rivoluzione industriale**, nel corso del XVIII e XIX secolo, avviata grazie agli sviluppi tecnologici, istituzionali ed economici, che si verificano, facendo diventare le città sempre più centri delle attività umane, sedi centrali per la produzione, il commercio, l'istruzione, la cultura, e altre attività. Il simbolo dell'inizio dell'era industriale è l'invenzione della **macchina a vapore** di James Watt<sup>11</sup> intorno al 1765, che

<sup>9</sup> Vukan R. Vuchic, "Urban transit systems and technology", 2007

<sup>10</sup> Ibid

<sup>11</sup> <https://www.torinoscienza.it/personaggi/james-watt>

permetteva di ottenere energia meccanica per l'applicazione nell'industria mineraria, nella produzione e, più tardi, nei trasporti.

Verso la fine del diciottesimo secolo, con l'aumento della produzione industriale, si è creato un surplus di beni, maggiore rispetto a quello disponibile in precedenza, portando ad intensificare il traffico commerciale con la rispettiva crescita dei centri di commercio internazionale, quali Londra, Parigi, Berlino, New York, e altri, cresciuti nel corso del secolo fino al giorno d'oggi.

Un evento fondamentale nel settore dei trasporti, che ha avuto un ruolo significativo nel rendere possibile la crescita delle città, fu l'invenzione della **prima ferrovia** di George Stephenson<sup>12</sup>, in Inghilterra nel 1825. Essa rappresentava un'importante pietra miliare nello sviluppo dei trasporti, accelerando l'era industriale e stimolando la crescita delle città, in quanto questo nuovo modo di trasporto possedeva velocità, capacità, comfort e affidabilità molte volte superiori a quelli forniti da qualsiasi modalità di trasporto precedentemente conosciuta. Il contemporaneo miglioramento della qualità e diminuzione dei costi del trasporto su rotaia hanno comportato un aumento degli spostamenti, l'intensificazione delle comunicazioni e l'ampliamento dei mercati per i materiali il cui costo di trasporto era proibitivo, precedentemente all'introduzione della ferrovia. In questo modo il **limite della dimensione della città**, imposto dalla capacità del sistema di trasporto di fornire i materiali, è stato ampliato sensibilmente.

I nuovi posti di lavoro nelle città hanno attratto la popolazione rurale con la prospettiva di salari più alti. Infatti, il passaggio principale, nei paesi più sviluppati, si è verificato dal settore primario dell'economia (agricoltura) a quello secondario (industria manifatturiera) e terziario (governo, amministrazione, banche, commercio, istruzione, cultura, ecc.) (Fig.2). Le curve, che mostrano lo spostamento della popolazione tra i tre settori, valgono per la maggior parte dei paesi ma, i periodi di tempo in cui si sono verificati e le esatte percentuali, variano a seconda delle condizioni locali<sup>13</sup>.

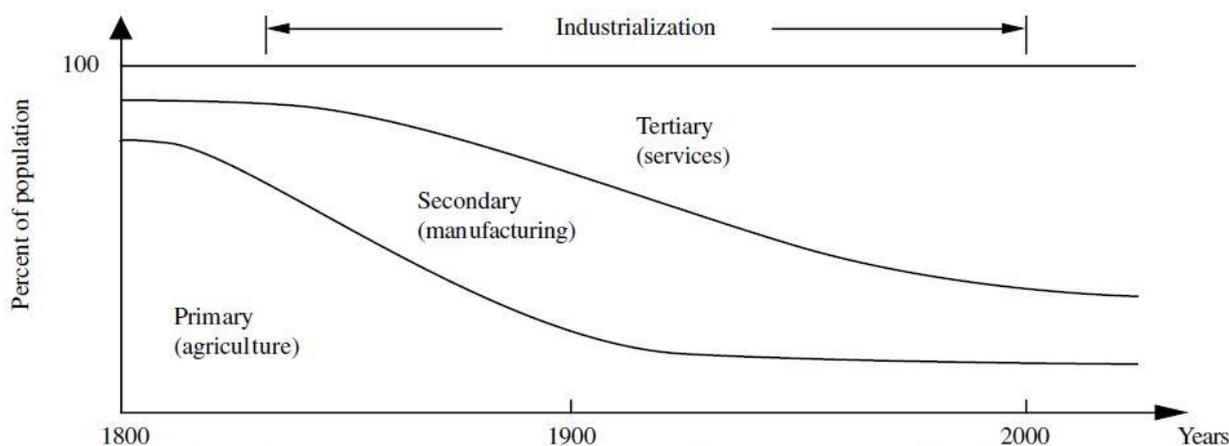


Figura 2: Rappresentazione di come la popolazione si è spostata tra i settori dell'economia negli Stati Uniti negli ultimi 200 anni. Fonte: Vukan R. Vuchic, "Urban transit systems and technology", 2007

<sup>12</sup> [http://www.bbc.co.uk/history/historic\\_figures/stephenson\\_george.shtml](http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/stephenson_george.shtml)

<sup>13</sup> Vukan R. Vuchic, "Urban transit systems and technology", 2007

Poiché i settori secondario e terziario sono concentrati principalmente nelle città, questi spostamenti occupazionali sono stati accompagnati da massicci trasferimenti di popolazione dalle zone rurali a quelle urbane; questo processo è chiamato **urbanizzazione**<sup>14</sup>.

Con l'incremento dell'urbanizzazione e quindi della popolazione nelle aree urbane vi è un conseguente fenomeno, la **dispersione urbana** definita col termine inglese *sprawl* (Fig.3). Corrisponde all'espansione delle aree urbane nelle zone agricole periferiche, con insediamenti a bassa densità abitativa. In particolare, si sta verificando, già da alcuni decenni, l'allontanamento delle residenze verso le zone periferiche, lungo gli assi radiali in aree distanti dalla città, oppure in aree a basso costo poco servite dal trasporto collettivo<sup>15</sup>. La diffusione nelle zone periferiche con insediamenti a bassa densità, aventi una domanda di mobilità frammentata, è stata possibile, storicamente, anche grazie allo sviluppo della **motorizzazione individuale**. Il trasporto collettivo tradizionale è poco compatibile con questa soluzione urbanistica, in quanto esso richiede zone densamente urbanizzate (soprattutto quello su ferro), in grado di generare una forte domanda di mobilità per garantire un profitto al sistema di trasporto collettivo.



Figura 3: Esempi fotografici di sprawl urbano. A sinistra Highland Ranch, a Denver, Colorado. A destra un agglomerato urbano del nord-est America.

Fonte: airphotona.com e [https://www.ariannaeditrice.it/articolo.php?id\\_articolo=47291](https://www.ariannaeditrice.it/articolo.php?id_articolo=47291)

In concomitanza con l'avvio della rivoluzione industriale, la produzione alimentare si è intensificata e, in generale, le condizioni di vita sono migliorate con il conseguente aumento della vita media della popolazione. Queste sono le cause principali della rapida **crescita della popolazione** verificatasi a partire dal XVIII secolo. La progressione è stata graduale, infatti nel 1800 solo il 2% della popolazione mondiale viveva in città, nel 1900 circa il 10%, nel 1950 circa il 30%, nel 2009 più di metà della popolazione mondiale e si prevede un ulteriore aumento nel 2050, circa 2/3 popolazione che vivrà in aree urbanizzate<sup>16</sup>(Fig.4).

<sup>14</sup> Vukan R. Vuchic, "Urban transit systems and technology", 2007

<sup>15</sup> Ibid

<sup>16</sup> <https://population.un.org/wup/>

Sebbene all'inizio del secolo scorso anche l'Europa presentasse caratteri ancora prevalentemente rurali, la rivoluzione industriale e i grandi movimenti migratori interni e internazionali hanno accentuato l'urbanizzazione del Vecchio Continente. Basti pensare infatti come in Europa, nel 2009, sia stato raggiunto lo storico traguardo in cui la popolazione urbana ha superato quella rurale (3,42 miliardi di persone contro 3,21)<sup>17</sup>.

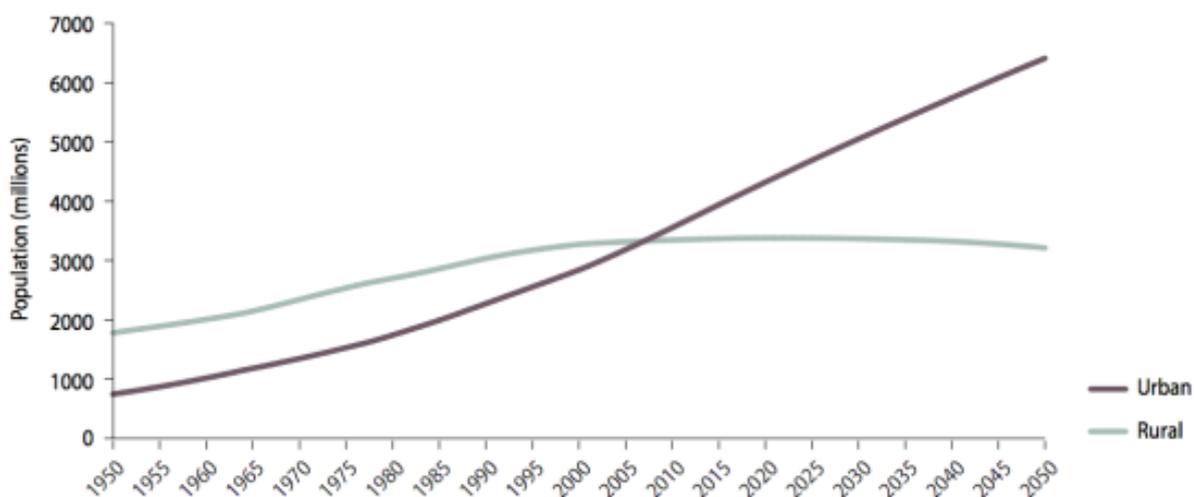


Figura 4: Popolazione urbana e rurale nel mondo, 1950-2050 (in milioni).  
Fonte: United Nations, 2010.

Ma la vera grande novità dell'urbanizzazione mondiale è rappresentata dalle cosiddette **megacittà**, i maggiori agglomerati urbani abitati da più di dieci milioni di persone. Nel 2010, in Europa, solo Parigi e Mosca potevano essere annoverate tra le megacittà, superando appunto di poco i 10 milioni di abitanti (Fig.5).

<sup>17</sup> Vukan R. Vuchic, "Urban transit systems and technology", 2007

1975		2010		2025	
Agglomerato urbano	Pop.	Agglomerato urbano	Pop.	Agglomerato urbano	Pop.
1 Tokyo	26,61	1 Tokyo	36,67	1 Tokyo	37,09
2 New York-Newark	15,88	2 Delhi	22,16	2 Delhi	28,57
3 Ciudad de México (Mexico City)	10,69	3 São Paulo	20,26	3 Mumbai (Bombay)	25,81
4 Osaka-Kobe	9,84	4 Mumbai (Bombay)	20,04	4 São Paulo	21,65
5 São Paulo	9,61	5 Ciudad de México (Mexico City)	19,46	5 Dhaka	20,94
6 Los Angeles-Long Beach-Santa Ana	8,93	6 New York-Newark	19,43	6 Ciudad de México (Mexico City)	20,71
7 Buenos Aires	8,74	7 Shanghai	16,58	7 New York-Newark	20,64
8 Paris	8,56	8 Kolkata (Calcutta)	15,55	8 Kolkata (Calcutta)	20,11
9 Kolkata (Calcutta)	7,89	9 Dhaka	14,65	9 Shanghai	20,02
10 Moskva (Moscow)	7,62	10 Karachi	13,12	10 Karachi	18,73
11 Rio de Janeiro	7,56	11 Buenos Aires	13,07	11 Lagos	15,81
12 London	7,55	12 Los Angeles-Long Beach-Santa Ana	12,76	12 Kinshasa	15,04
13 Chicago	7,16	13 Beijing	12,39	13 Beijing	15,02
14 Mumbai (Bombay)	7,08	14 Rio de Janeiro	11,95	14 Manila	14,92
15 Seoul	6,81	15 Manila	11,63	15 Buenos Aires	13,71
16 Al-Qahirah (Cairo)	6,45	16 Osaka-Kobe	11,34	16 Los Angeles-Long Beach-Santa Ana	13,68
17 Shanghai	5,63	17 Al-Qahirah (Cairo)	11,00	17 Al-Qahirah (Cairo)	13,53
18 Manila	5,00	18 Lagos	10,58	18 Rio de Janeiro	12,65
19 Beijing	4,83	19 Moskva (Moscow)	10,55	19 Istanbul	12,11
20 Jakarta	4,81	20 Istanbul	10,52	20 Osaka-Kobe	11,37
21 Philadelphia	4,47	21 Paris	10,49	21 Shenzhen	11,15
22 Delhi	4,43	22 Seoul	9,77	22 Chongqing	11,07
23 Sankt Peterburg (Saint Petersburg)	4,33	23 Chongqing	9,40	23 Guangzhou, Guangdong	10,96
24 Tehran	4,27	24 Jakarta	9,21	24 Paris	10,88
25 Karachi	3,99	25 Chicago	9,20	25 Jakarta	10,85
26 Hong Kong	3,94	26 Shenzhen	9,01	26 Moskva (Moscow)	10,66
27 Madrid	3,89	27 Lima	8,94	27 Bogotá	10,54
28 Detroit	3,89	28 Guangzhou, Guangdong	8,88	28 Lima	10,53
29 Krung Thep (Bangkok)	3,84	29 Kinshasa	8,75	29 Lahore	10,31
30 Lima	3,70	30 London	8,63	30 Chicago	9,94

Figura 5: Maggiori agglomerati urbani del mondo dal 1975, 2010 al 2025 (in milioni). Evidenziati in rosso quelli presenti nel continente europeo al 1975, in giallo nel 2010 e in azzurro nella previsione al 2025.

Fonte: United Nations, 2010

Questo scenario, in continua variazione, genera una nuova domanda di mobilità ma, nello stesso momento nelle grandi città si assiste a un progressivo allontanamento degli spazi per abitare, lavorare, studiare, curarsi e divertirsi. La nuova domanda comporta quindi una maggiore disponibilità alla mobilità e una maggiore **indifferenza alla prossimità**<sup>18</sup>.

Un altro elemento rilevante, che determina e che ha determinato in passato l'estensione e la forma della città al variare della tipologia di trasporto dominante, è la **Costante di Marchetti**<sup>19</sup> (approfondita successivamente nel capitolo 3.4).

Il fisico italiano, Cesare Marchetti, nel 1994, approfondendo le ricerche di Zahavi e Talvitie del 1980, ha dimostrato come sia presente un budget di tempo di viaggio universale di circa 1 h/persona al giorno, corrispondenti quindi a mezz'ora sia per l'andata sia per il ritorno, a prescindere dalla città e dal mezzo di trasporto<sup>20</sup>. La costante di Marchetti aiuta quindi a comprendere come si formino le città e la motivazione per cui crescano fino a diventare "larghe circa un'ora" in base alla velocità con cui le persone possono muoversi al loro interno. Se vanno oltre, cominciano ad essere disfunzionali e quindi iniziano a cambiare le infrastrutture e l'uso del

<sup>18</sup> Valerio De Mollì, Lorenzo Tavazzi, Massimiliano Sartori, Silvia Lovati, Jonathan Donadonibus, Francesco Galletti, Mario Tartaglia, Andrea Fiduccia, Guglielmo Casciaro, Fabrizio dell'Orefice, Stefano Biserni, "Il futuro della mobilità urbana – Integrazione e nuovi modelli di gestione del caso italiano", The European House-Ambrosetti, 2017

<sup>19</sup> Giles Thomson, Peter Newman, "Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative cities", Pubblicato da Elsevier B.V, 2017

<sup>20</sup> Geoffrey West, "SCALA - Le leggi universali della crescita, dell'innovazione, della sostenibilità e il ritmo di vita degli organismi, delle città, dell'economia e delle aziende", Mondadori, 2018

territorio per adattarsi nuovamente a questo principio fondamentale<sup>21</sup>. Di seguito viene descritto come i diversi tessuti urbani si siano sviluppati a partire da diversi tipi di trasporto e come dovrebbero essere riconosciuti, rispettati e rigenerati.

Ulteriore elemento rilevante da considerare nella formazione della domanda di mobilità<sup>22</sup>, legato all'urbanizzazione, e conseguentemente al principio espresso dalla Costante di Marchetti, è la **posizione dei poli attrattivi**, che corrispondono alle destinazioni da raggiungere come il luogo di lavoro, di studio, delle attività di tempo libero, etc. Se i poli di attrazione sono principalmente collocati in città, si genera una domanda prevalentemente **monodirezionale**, generata dai vari centri urbani esterni ma gravitanti alla città, creando uno squilibrio tra posti offerti dal servizio di trasporto collettivo e la domanda da servire.

In questo caso è evidente come sia importante la pianificazione urbanistica e territoriale, che attraverso gli strumenti cui possiede, come, in parte, il Piano Regolatore Generale (PRGC), risulta fondamentale perché tiene conto non solo degli insediamenti abitativi, ma anche delle aree destinate a servizi, attività produttive, commercio, aree sportive e polifunzionali al fine di prevedere e garantire standard elevati della qualità di vita ai cittadini del Comune.

La pianificazione della città quindi deve andare di pari passo con la pianificazione del sistema dei trasporti, e viceversa, al fine di ottenere un'ottimizzazione delle risorse e generare profitti minimizzando i costi<sup>23</sup>.

---

<sup>21</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>22</sup> Valerio De Molli, Lorenzo Tavazzi, Massimiliano Sartori, Silvia Lovati, Jonathan Donadonibus, Francesco Galletti, Mario Tartaglia, Andrea Fiduccia, Guglielmo Casciaro, Fabrizio dell'Orefice, Stefano Biserni, "Il futuro della mobilità urbana – Integrazione e nuovi modelli di gestione del caso italiano", The European House-Ambrosetti, 2017

<sup>23</sup> Ibid

## 2.1 Contesti territoriali – I 3 idealtipi

Come illustrato nei paragrafi precedenti le città sono state plasmate da complesse interazioni di numerose fasi e processi storici e geografici, ma in qualsiasi fase una delle forze principali è stato il mezzo di trasporto, con cui ci si sposta da e verso la città. Infatti, la componente dei trasporti ha permesso di influenzare la forma e la struttura urbana, come la distribuzione degli usi del suolo e la densità di popolazione<sup>24</sup>. Quindi, i diversi tessuti urbani si sono sviluppati a partire da diversi tipi di modalità di trasporto ed è importante riconoscerli per determinare la struttura urbana. L'analisi di questi tessuti può essere usata come strumento di progettazione urbana per massimizzare i risultati della **progettazione rigenerativa** e accelerare la transizione verso la **sostenibilità urbana ambientale e sociale**<sup>25</sup>.

La **teoria dei tessuti urbani**<sup>26</sup>, formulata da Newman e Kenworthy nel 2015, viene raffigurata mostrando come le diverse tipologie di insediamenti siano esito delle combinazioni di soltanto tre tessuti principali: le **città pedonali**, le **città policentriche del TPL** e le **città dell'automobile** (Fig.6).

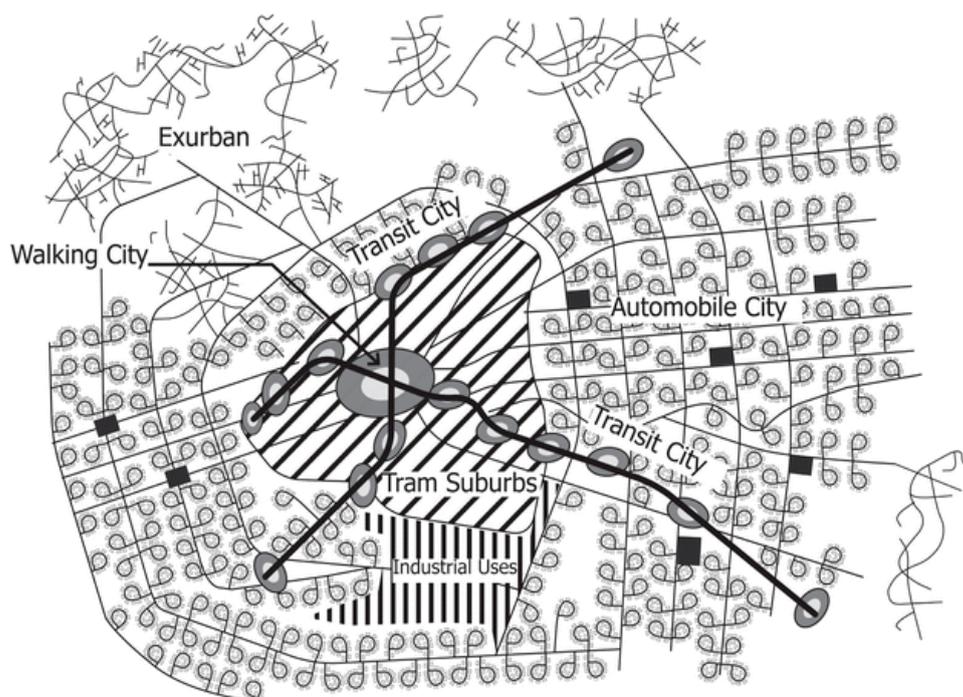


Figura 6: La città dell'automobile, un mix dei tre tessuti urbani. Fonte: Newman and Kenworthy (1999)

Come si può osservare dall'immagine, la maggior parte delle città racchiudono tutti e tre i tessuti urbani in cui ogni tessuto racchiude determinate relazioni spaziali, tipologie edilizie e specifici modelli di sfruttamento del territorio, che si basano sulle caratteristiche delle differenti modalità di trasporto.

<sup>24</sup> Giles Thomson, Peter Newman, "Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative cities", Pubblicato da Elsevier B.V, 2017

<sup>25</sup> Ibid

<sup>26</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

Nel corso dei secoli, le varie innovazioni tecnologiche hanno portato alla nascita di nuove forme di trasporto e, inoltre, sono state alla base dell'ampliamento e della costruzione di nuovi sistemi urbani, che si sono aggiunti sovrapponendosi all'originale tessuto urbano pedonale<sup>27</sup>.

Quindi, la teoria dei tessuti urbani è stata sviluppata per aiutare a identificare tre principali tessuti di città, invece che soltanto uno, quello automobilistico, come suggerito dall'urbanistica moderna, fin dagli anni '40<sup>28</sup>. Infatti, uno dei problemi dell'urbanistica del XX secolo è stato la convinzione che esistesse un solo tipo di città: la città dell'automobile. Come si vedrà in seguito, la città dell'auto rappresenta il tipo di tessuto urbano che consuma più risorse naturali. Recentemente una riscoperta degli altri tessuti urbani ha iniziato a ridurre la dipendenza dall'automobile e quindi, oggi, la pianificazione urbana si focalizza nella volontà di ridurre, ed eventualmente, rigenerare l'impronta urbana della città creando strategie per gestire i diversi tessuti e soprattutto, di percepire come alcuni di questi abbiano proprietà intrinsecamente più sostenibili di altri, che debbano quindi essere ottimizzate ed estese, dove possibile, in altre parti di città<sup>29</sup>.

---

<sup>27</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>28</sup> Giles Thomson, Peter Newman, "Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative cities", Pubblicato da Elsevier B.V, 2017

<sup>29</sup> Ibid

### 2.1.1 Il tessuto urbano pedonale

Le città pedonali sono la tipologia insediativa più antica, in quanto il trasporto senza l'uso di mezzi, o nel migliore dei casi a trazione animale, era l'unica forma di trasporto disponibile per consentire alle persone di muoversi attraverso le città<sup>30</sup>. Le aree ad alta densità abitativa con un uso misto del suolo (generalmente oltre le 100 persone per ettaro) caratterizzano il tessuto urbano pedonale. Le basse velocità con cui ci si muoveva e si trasportavano le merci (in media intorno ai 3 - 4 km/h) limitavano l'espansione della maggior parte delle città a tre o quattro chilometri di diametro, con le aree più sviluppate di solito intorno a un punto focale centrale, come la piazza principale dedicata alla finanza e agli affari governativi o al mercato per gli acquisti giornalieri.

J. Michael Thompson, nel suo libro "Great Cities and their Traffic", sostiene come le città pedonali possano anche essere descritte con l'archetipo di "**Low Cost City**" (Fig.7). In tali città vi sono pochi veicoli privati e quindi una necessità limitata di infrastrutture, dato che la maggior parte della vita quotidiana delle persone si trovava all'interno del loro quartiere.<sup>31</sup>

Le città pedonali furono la forma urbana principale fino alla metà dell'Ottocento e, anche oggi, molte città moderne sono costruite attorno ad un nucleo storico corrispondente ad una antica città pedonale come Cracovia, Barcellona e Hong Kong<sup>32</sup>. In altre città più ricche come New York, Londra, Vancouver e Sydney, le zone centrali sono dominate dal tessuto urbano pedonale, anche se faticano a mantenerlo a causa della concorrenza degli altri due tessuti (del trasporto pubblico e dell'automobile), che ora si sovrappongono ad esso<sup>33</sup>. Numerose città di tutto il mondo stanno cercando di recuperare l'originaria attività urbana e i modelli stradali ad esso associati attraverso la pedonalizzazione e la riduzione del traffico veicolare.

Di seguito, le tabelle 2 e 3, mostrano le principali caratteristiche del tessuto urbano pedonale.

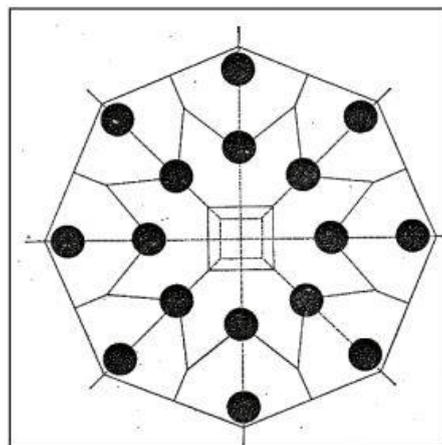


Figura 7: schema della "Low cost City".  
Fonte: J. Michael Thompson, "Great Cities and their Traffic", 1977

<sup>30</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>31</sup> Joseph L. Schofer and Hani S. Mahmassani, "Mobility 2050 – A vision for transportation infrastructure", Northwestern Engineering – Transportation Centre, 2016

<sup>32</sup> Giles Thomson, Peter Newman, "Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative cities", Pubblicato da Elsevier B.V, 2017

<sup>33</sup> Ibid

Tessuto urbano pedonale	Caratteristiche dimensionali		Elementi urbani	
	1. Raggio ottimale del tessuto urbano	0-2 km	1. Piazze e spazi pubblici	Frequenti con pochissimo spazio aperto privato
	2. Sovrapposizione di altri tessuti	Include spesso elementi degli altri due tessuti	2. Arredo urbano	Principalmente per l'attività pedonale
	3. Suddivisione delle aree interne al tessuto con la loro dimensione ottimale	Area centrale: 0-1 km / Altre aree esterne sempre pedonali: 1-2 km	3. Rete stradale	Permeabile per un facile accesso pedonale
	4. Larghezza stradale	Stretta	4. Dimensione isolato	Blocchi corti
	5. Tipologia edilizia	Alta densità con minimo 100 Ab/ha	5. Edifici arretrati rispetto alle strade	Nessun arretramento dell'edificato

Tabella 2: Caratteristiche dimensionali ed elementi urbani del tessuto pedonale.

Fonte: elaborazione propria su dati Peter Newman e Leo Kosonen

Tessuto urbano pedonale	Funzioni del tessuto e stili di vita		Qualità dei tessuti urbani	
	1. Spostamento ed accesso	Elevato a piedi, moderato in transito e basso in auto	1. Densità e mix urbano	Elevata
	2. Servizi al consumatore / shopping e servizi alla persona	Estremamente locale e soprattutto con servizi di nicchia	2. Qualità dei trasporti	Basso utilizzo di auto private e maggior parte delle attività svolte a piedi
	3. Servizio ai consumatori su larga scala	Bassi	3. Qualità sociali / differenze tra ricchi e poveri	Elevata qualità della vita e bassa differenza sociale
	4. Funzioni industriali	Piccola industria con in più colletti bianchi	4. Qualità economiche / sviluppo infrastrutturale	Basso - medio
	5. Attività senza l'uso di auto	Molto elevate	5. Qualità Ambientale	Elevata con Bassa impronta ambientale pro capite

Tabella 3: Funzioni del tessuto e stili di vita e qualità dei tessuti urbani del tessuto pedonale.

Fonte: elaborazione propria su dati Peter Newman e Leo Kosonen

## 2.1.2 Il tessuto urbano policentrico – Transit City

Successivamente al tessuto urbano pedonale, dalla metà del XIX secolo, si sviluppa il tessuto urbano policentrico. Come descritto precedentemente, questa fase di sviluppo urbano si basa sulle nuove scoperte tecnologiche applicate ai trasporti, come il **treno** a vapore prima e i **tram** successivamente (dal 1890)<sup>34</sup>. Questi mezzi portarono all'evoluzione delle prime città incentrate sui nodi del trasporto pubblico (le *Transit City*), che estesero il tessuto urbano delle vecchie città pedonali.

Originariamente, sia i tram che i treni, potevano viaggiare velocemente per l'epoca (rispettivamente con velocità medie di circa 10-20 km/h per i tram e circa 20-40 km/h per i treni), consentendo alle città l'espansione in un duplice modo<sup>35</sup>:

- Con i tram, formando un primo **tessuto urbano interno** di 5-10 km di raggio (con una media di circa 8 km), basato molto spesso su una struttura stradale a griglia regolare con un tessuto piuttosto denso e misto. I tram portarono ad uno sviluppo lineare delle principali direttrici viarie, in quanto essendo più lenti dei treni necessitavano di una distanza più ravvicinata tra le fermate (circa 250 m era lo standard dell'epoca);
- Con i treni, formando un secondo **tessuto urbano esterno** di 10-20 km di raggio. La presenza del sistema ferroviario portò alla nascita di diffusi centri urbani in cui vi era una densità minore rispetto alle città pedonali (circa 50 ab. per ettaro). I nuovi insediamenti potevano essere considerati come "le perle lungo un filo", poiché erano collocati attorno alle varie stazioni distanti poco più di un chilometro e mezzo l'una dall'altra.

La caratteristica chiave delle nuove espansioni urbane era la vicinanza alle nuove fermate del trasporto pubblico, inizialmente con una dimensione massima derivante dalla possibilità di raggiungere in 5-10 minuti a piedi la fermata<sup>36</sup>. Le prime metropolitane costruite al mondo, come a Parigi, Londra e New York sono del XIX secolo e sono state progettate essenzialmente per estendere la città pedonale, con una rete di centri urbani pedonali costruiti intorno alle stazioni. La distanza tra le stazioni era, ed è tuttora, inferiore a 500 metri e le metropolitane viaggiavano a circa 15 km/h e si estendevano rispettivamente a Parigi per 5 km, a New York per 4 km e a Londra per circa 2 km. Data la chiara dipendenza delle aree esterne con il centro città originario, viene attribuito, da J. Michael Thompson, l'archetipo della "Strong Center City"<sup>37</sup> (Fig.8).

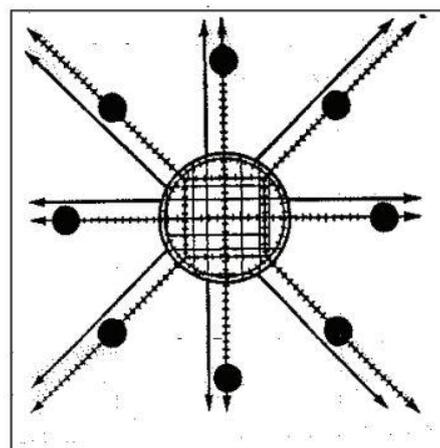


Figura 8: schema della "Strong Center City".  
Fonte: J. Michael Thompson, "Great Cities and their Traffic", 1977

<sup>34</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>35</sup> Ibid

<sup>36</sup> Giles Thomson, Peter Newman, "Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative cities", Pubblicato da Elsevier B.V, 2017

<sup>37</sup> J. Michael Thompson, "Great Cities and their Traffic", 1977

Con il progresso tecnologico nel corso del '900 al **tessuto urbano interno**, ai tram si affiancano linee di autobus. Questi permettono di poter collegare, sempre più rapidamente, centri fino a otto chilometri di distanza e, quindi, di servire le aree del tessuto urbanizzato più esterno, dove siano anche presenti stazioni ferroviarie<sup>38</sup>.

Per il **tessuto urbano esterno** invece, vengono sfruttati, oltre che i treni, anche le metropolitane veloci e le linee ferroviarie “leggere”, integrate da linee di autobus così da raggiungere aree più distanti rispetto alle iniziali reti di tram, metropolitana o di autobus.

Più recentemente, i treni interurbani, con una velocità media di 80 km/h, hanno permesso al tessuto urbano di estendersi ben oltre un raggio di 20 chilometri, portando alla nascita di un tessuto insediativo policentrico emergente attorno alle stazioni principali<sup>39</sup>.

Di seguito, le tabelle 4 e 5, mostrano le principali caratteristiche del tessuto urbano policentrico.

Tessuto urbano del trasporto pubblico	Caratteristiche dimensionali		Elementi urbani	
	1. Raggio ottimale del tessuto urbano	0-20 km	1. Piazze e spazi pubblici	Meno frequenti rispetto al pedonale, con più spazio aperto privato
	2. Sovrapposizione di altri tessuti	Include elementi e funzioni del tessuto dell'automobile. I sotto centri hanno elementi del tessuto pedonale	2. Arredo urbano	Principalmente per l'attività di trasporto pubblico (paline, fermate del bus)
	3. Suddivisione delle aree interne al tessuto con la loro dimensione ottimale	Aree interne: 1-8 km / Altre aree esterne: 8-20 km	3. Rete stradale	Permeabile per i pedoni, ramificata per raggiungere le fermate
	4. Larghezza stradale	Abbastanza largo per consentire il transito ai mezzi	4 Dimensione isolato	Blocchi medi
	5. Tipologia edilizia	Media densità con minimo 35 Ab/ha	5. Edifici arretrati rispetto alle strade	Arretramento minimo, per la protezione dal rumore dei mezzi e per avere più spazio privato

Tabella 4: Caratteristiche dimensionali ed elementi urbani del tessuto del trasporto pubblico.

Fonte: elaborazione propria su dati Peter Newman e Leo Kosonen

<sup>38</sup> Joseph L. Schofer and Hani S. Mahmassani, “Mobility 2050 – A vision for transportation infrastructure”, Northwestern Engineering – Transportation Centre, 2016

<sup>39</sup> Giles Thomson, Peter Newman, “Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative cities”, Pubblicato da Elsevier B.V, 2017

Tessuto urbano del trasporto pubblico	Funzioni del tessuto e stili di vita		Qualità dei tessuti urbani	
	1. Spostamento ed accesso	Elevato per il trasporto pubblico, moderato pedonale e in auto	1. Densità e mix urbano	Media
	2. Servizi al consumatore / shopping e servizi alla persona	Elevato lungo le direttrici di collegamento con altri sub centri auto	2. Qualità dei trasporti	Elevata attività dei trasporti pubblici e medio utilizzo di auto private
	3. Servizio ai consumatori su larga scala	Medio	3. Qualità sociali / differenze tra ricchi e poveri	Buona qualità della vita e media differenza sociale
	4. Funzioni industriali	Medie con più lavoro intensivo come ospedali e scuole	4. Qualità economiche / sviluppo infrastrutturale	Medio - Basso
	5. Attività senza l'uso di auto	Media disponibilità	5. Qualità Ambientale	Buona con media impronta ambientale pro capite

Tabella 5: Funzioni del tessuto e stili di vita e qualità dei tessuti urbani del tessuto del trasporto pubblico.  
Fonte: elaborazione propria su dati Peter Newman e Leo Kosonen

### 2.1.3. Il tessuto urbano dell'automobile - La città diffusa

Il benessere del dopoguerra, con il rispettivo boom economico, ha permesso a molte persone di acquistare l'automobile di proprietà. Grazie alla loro **facilità e flessibilità d'utilizzo**, le auto permettono un'ulteriore espansione della città, con la conseguente diffusione del tessuto urbano automobilistico<sup>40</sup>. Questo tessuto si è appropriato di gran parte del vecchio tessuto pedonale e di quello basato sul trasporto pubblico, poiché lo sviluppo urbano non era più ancorato a sistemi strutturali fissi (come binari o ferrovie) e poteva essere esteso ovunque fosse possibile costruire strade. Conseguentemente, nacquero le prime grandi periferie tentacolari, esterne alle città, dove i tram e gli autobus divennero solo mezzi complementari alle auto, lenti, senza corsie preferenziali e con passaggi poco frequenti, portando così ad una ovvia perdita dell'efficienza del trasporto pubblico originario della Transit City. Queste cause, grazie anche all'espansione delle periferie, è diventata la base della **dipendenza dall'automobile**<sup>41</sup>.

Quindi le città automobilistiche, dagli anni '50 in poi, potevano estendersi con un raggio compreso dai 20 ai 40 km circa (con 80 km di diametro) in tutte le direzioni, e con una bassa densità abitativa, con case unifamiliari. L'ampia estensione era dovuta in gran parte alla possibilità delle automobili di raggiungere una media di 50-80 km/h, con un basso livello di traffico<sup>42</sup>. Inoltre, le città dotate di infrastrutture viarie, come autostrade e strade ad elevato scorrimento, potevano diffondersi in tutte le direzioni, grazie appunto alla flessibilità delle automobili.

Il tessuto urbano dell'automobile porta alla nascita, secondo J. Michael Thompson, di due archetipi di città differenti quali, "**Weak Center City**" e la "**Full Motorization City**"<sup>43</sup>.

La prima tipologia (Fig.9), comprende tendenzialmente le città, presenti precedentemente alla diffusione massiva delle auto, dove era presente un importante centro cittadino che ospitava uffici del governo, istituzioni regionali, centri finanziari e commerciali, gallerie d'arte, negozi specializzati, teatri e altri luoghi di loisir. Negli anni '60 e '70, con l'espansione policentrica, la centralità del nucleo cittadino si iniziò ad affievolire, con il trasferimento di aziende manifatturiere vicino a scali ferroviari, a località suburbane e con il conseguente trasferimento dei lavori meglio pagati nelle periferie<sup>44</sup>.

Per contrastare questa tendenza, le amministrazioni comunali agiscono per rendere più facile ed economico il pendolarismo

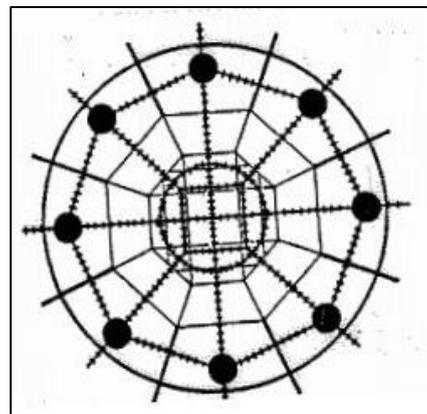


Figura 9: schema della "Weak Center City". Fonte: J. Michael Thompson, "Great Cities and their Traffic", 1977

<sup>40</sup> Joseph L. Schofer and Hani S. Mahmassani, "Mobility 2050 – A vision for transportation infrastructure", Northwestern Engineering – Transportation Centre, 2016

<sup>41</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>42</sup> Ibid

<sup>43</sup> J. Michael Thompson, "Great Cities and their Traffic", 1977

<sup>44</sup> Joseph L. Schofer and Hani S. Mahmassani, "Mobility 2050 – A vision for transportation infrastructure", Northwestern Engineering – Transportation Centre, 2016

verso il centro città, investendo in infrastrutture e concedendo agevolazioni fiscali alle imprese che non delocalizzano verso le aree esterne. Le politiche di mobilità sono diventate fondamentali per garantire la sopravvivenza del centro cittadino.

Il secondo archetipo (Fig.10) comprende la maggior parte delle città che sono emerse dopo la diffusione massiva dell'automobile, soprattutto negli Stati Uniti sudorientali, meridionali e occidentali (come Tampa, Dallas e, in qualche misura, Los Angeles). Nelle *Full Motorization City* non è presente un vero e proprio centro cittadino, ma vi sono molti piccoli centri di minor importanza in tutta l'area urbanizzata. Queste città sono state costruite e pensate per l'utilizzo quasi esclusivo dell'auto privata e con la presenza di linee di trasporto pubblico nelle sole arterie viarie principali<sup>45</sup>.

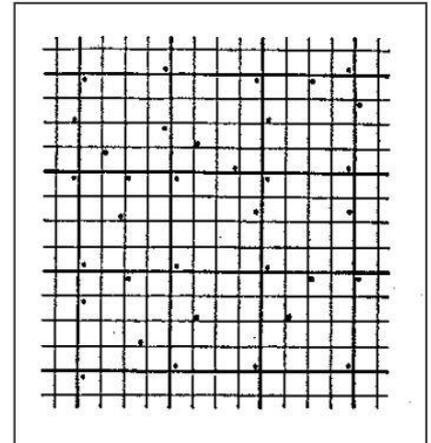


Figura 10: schema della "Full Motorization City". Fonte: J. Michael Thompson, "Great Cities and their Traffic", 1977

Le città, negli ultimi 70 anni, sono cresciute soprattutto nelle zone periferiche con una forte dipendenza dall'automobile. Ma la promessa di velocità e flessibilità di spostamento attraverso lo sviluppo urbano basato sull'auto è rapidamente evaporata a causa della crescita della **congestione del traffico**. Infatti, le automobili sono venti volte più inefficienti del trasporto ferroviario<sup>46</sup>, in termini di flussi di passeggeri per corsia, e quindi nelle città in crescita di tutto il mondo si cerca di favorire il trasporto su ferro rispetto a quello privato.

Di seguito, le tabelle 6 e 7, mostrano le principali caratteristiche del tessuto urbano automobilistico.

Tessuto urbano dell'automobile	Caratteristiche dimensionali		Elementi urbani	
	1. Raggio ottimale del tessuto urbano	0-40 km	1. Piazze e spazi pubblici	Poco frequenti, con molto spazio aperto privato
	2. Sovrapposizione di altri tessuti	Può includere elementi e funzioni del tessuto del trasporto pubblico (più versatile). Le aree senza sovrapposizioni con gli altri tessuti sono dipendenti esclusivamente dalle auto	2. Arredo urbano	Principalmente dedicato alle automobili (cartelli stradali, semafori)
	3. Suddivisione delle aree interne al tessuto con la loro dimensione ottimale	Aree esterne agli altri tessuti: fino a 40 km	3. Rete stradale	Permeabile per le auto su autostrade, superstrade e strade locali. Circolazione dei bus limitata per le molte strade a vicolo cieco
	4. Larghezza stradale	Abbastanza largo per consentire il transito alle auto e camion	4 Dimensione isolato	Blocchi larghi
	5. Tipologia edilizia	Bassa densità molto spesso inferiore ai 20 Ab/ha	5. Edifici arretrati rispetto alle strade	Arretramento elevato, per la protezione dal rumore e per avere più spazio privato

Tabella 3: Funzioni del tessuto e stili di vita e qualità dei tessuti urbani del tessuto dell'automobile.

Fonte: elaborazione propria su dati Peter Newman e Leo Kosonen

<sup>45</sup> J. Michael Thompson, "Great Cities and their Traffic", 1977

<sup>46</sup> Joseph L. Schofer and Hani S. Mahmassani, "Mobility 2050 – A vision for transportation infrastructure", Northwestern Engineering – Transportation Centre", 2016

Tessuto urbano dell' automobile	Funzioni del tessuto e stili di vita		Qualità dei tessuti urbani	
	1. Spostamento ed accesso	Elevato per il trasporto automobilistico, basso pedonale e trasporto pubblico	1. Densità e mix urbano	Bassa
	2. Servizi al consumatore / shopping e servizi alla persona	Elevati specialmente con centri commerciali	2. Qualità dei trasporti	Elevato utilizzo di auto private
	3. Servizio ai consumatori su larga scala	Elevati	3. Qualità sociali / differenze tra ricchi e poveri	Buona qualità della vita ed elevata differenza sociale
	4. Funzioni industriali	Ampie con molti colletti blu	4. Qualità economiche / sviluppo infrastrutturale	Medio - Basso
	5. Attività senza l'uso di auto	Bassa disponibilità	5. Qualità Ambientale	Alta con elevata impronta ambientale pro capite

Tabella 7: Caratteristiche dimensionali ed elementi urbani del tessuto dell'automobile.

Fonte: elaborazione propria su dati Peter Newman e Leo Kosonen

## 2.2 Confronto e considerazioni sulle caratteristiche dei tre idealtipi

Come anticipato nei paragrafi precedenti, la teoria dei tessuti urbani suggerisce come tutte le città possano essere descritte da una combinazione dei tre tessuti (Fig.11), ben riconoscibili in qualsiasi città da mappe e foto aeree. In alcune aree cittadine, il tessuto urbano incentrato sui mezzi di trasporto pubblico si sovrappone e copre parti dell'area del tessuto urbano pedonale. Esso permette di collegare i residenti del tessuto policentrico ai servizi e alle altre funzioni del centro cittadino e quindi del tessuto urbano pedonale. Questo però può avere impatti negativi sulla sua capacità intrinseca di assistere e tutelare gli utenti “deboli” della strada, ovvero pedoni e ciclisti<sup>47</sup>. Il tessuto urbano automobilistico invece, si può sovrapporre agli altri due tessuti e, in molti casi, può portare alla loro eliminazione (ad esempio, in città statunitensi come Detroit). Può, tuttavia, funzionare anche in simbiosi con gli altri tessuti, infatti le città sono diventate una combinazione di elementi dei tre archetipi, in quanto cercano di attirare ogni tipo di attività economica e sociale nel loro centro.

La teoria si può applicare a tutte le città, ma dipenderà sempre dalle peculiarità della conformazione geografica, della storia, della cultura e della politica e dalle norme inerenti la pianificazione urbana di ogni singolo Stato, per spiegare o prevedere pienamente le combinazioni dei tre tessuti<sup>48</sup>.

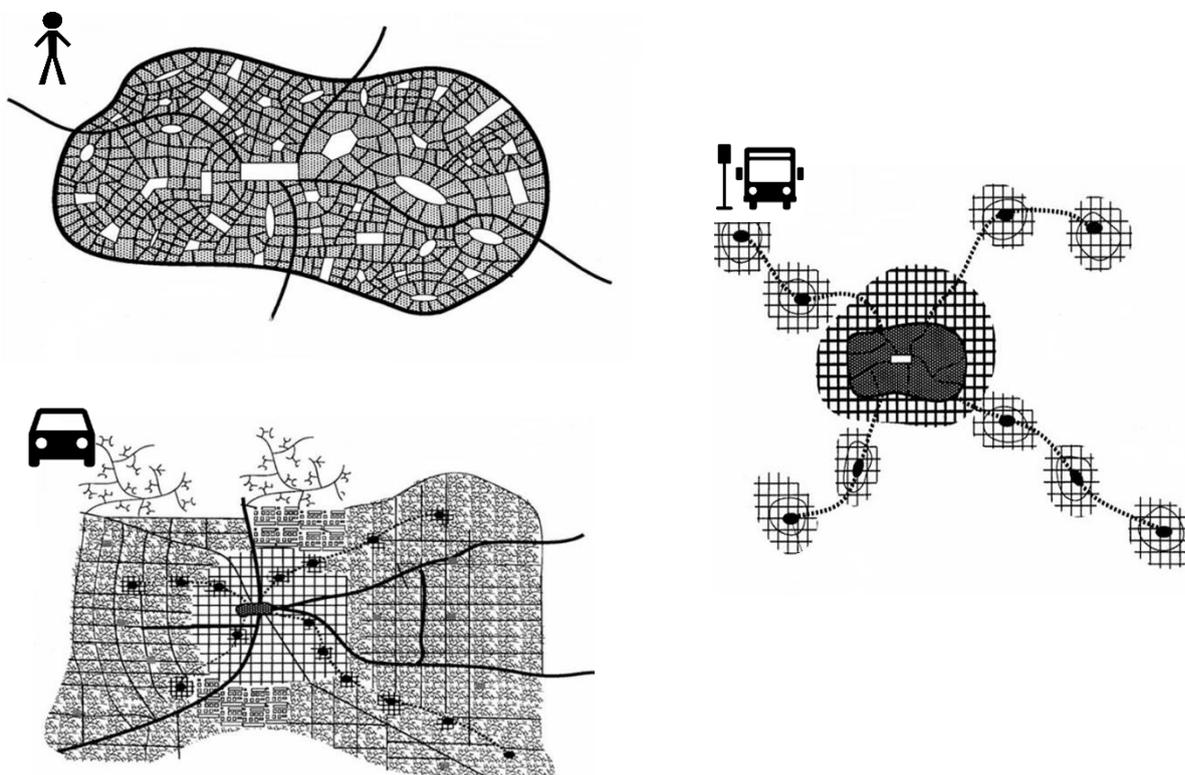


Figura 11: rappresentazione dei tre idealtipi di città con le loro relative conformazioni.

Fonte: Newman e Kenworthy, 1995

<sup>47</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, “Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence”, 2015

<sup>48</sup> Ibid

La conformazione geografica stabilisce, naturalmente, la quantità di aree disponibili ad essere urbanizzate. Alcune città hanno molti corsi d'acqua nei loro dintorni o terreni scoscesi che non possono essere ovviamente sfruttati a pieno (come ad esempio le città lungo la costa ligure). Questo influisce anche sul tessuto urbano prevalente, a volte favorendo la diffusione delle città policentriche, sviluppate linearmente con piccoli centri pedonali posti in punti strategici.

La cultura e la politica determinano la misura in cui ogni tessuto urbano è destinato per l'attività residenziale o commerciale o industriale, quindi la gestione e tutela del suolo, attraverso strumenti come il PRGC, PTR e altri. Le scelte politiche sono state fondamentali per favorire la diffusione della mobilità automobilistica, grazie alla costruzione di nuove arterie urbane e autostradali dagli anni '60 del secolo scorso, a discapito di un ampliamento e miglioramento della rete dei trasporti pubblici di massa.

Anche la politica di incentivare la mobilità ciclabile, tendenza presente prevalentemente in nord Europa come ad Amsterdam o a Copenaghen, ha permesso di integrare, nel tessuto urbano pedonale, biciclette, tram e autobus, ottenendo un'efficiente commistione e convivenza di questi sistemi di trasporto collettivo. Le città con un forte utilizzo della bicicletta hanno, infatti, generalmente un diffuso e radicato tessuto urbano pedonale che si estende anche nelle aree precedentemente destinate ai mezzi pubblici e ora accessibile attraverso le due ruote appunto<sup>49</sup>.

La Figura 12 mostra alcune **combinazioni concettuali** dei tre tessuti urbani in una città tipo, compresa tra i 500 mila e 2 milioni di abitanti. L'immagine rappresenta la concezione teorica di un'area metropolitana, in cui i tre tessuti e le loro rispettive aree centrali e periferiche sono comprese in un raggio di 20 chilometri<sup>50</sup>. Si può osservare come vi sia una forte diffusione del tessuto urbano incentrato sui nodi del trasporto pubblico (Transit City Fabric) e sull'automobile (Car City Fabric). I cerchi dimensionali indicano le dimensioni ottimali dei diversi tipi di aree dei vari tessuti urbani, dal minore della città pedonale, compreso tra 1-2km, agli otto dell'area interna del Transit City Fabric. Si può osservare come vi siano diverse ramificazioni delle linee di trasporto pubblico su rotaia in tutte le direzioni, che hanno permesso a loro volta la nascita e l'espansione di centri minori (subcenters) dipendenti appunto dal trasporto collettivo e/o automobilistico.

Infine, si può considerare come il tessuto automobilistico sia più ampio e diffuso degli altri grazie alla grande capillarità e facilità di spostamento, intrinseca all'uso dell'auto privata.

---

<sup>49</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>50</sup> Leo Kosonen, "The Three Fabric Strategy in Finland", 2015

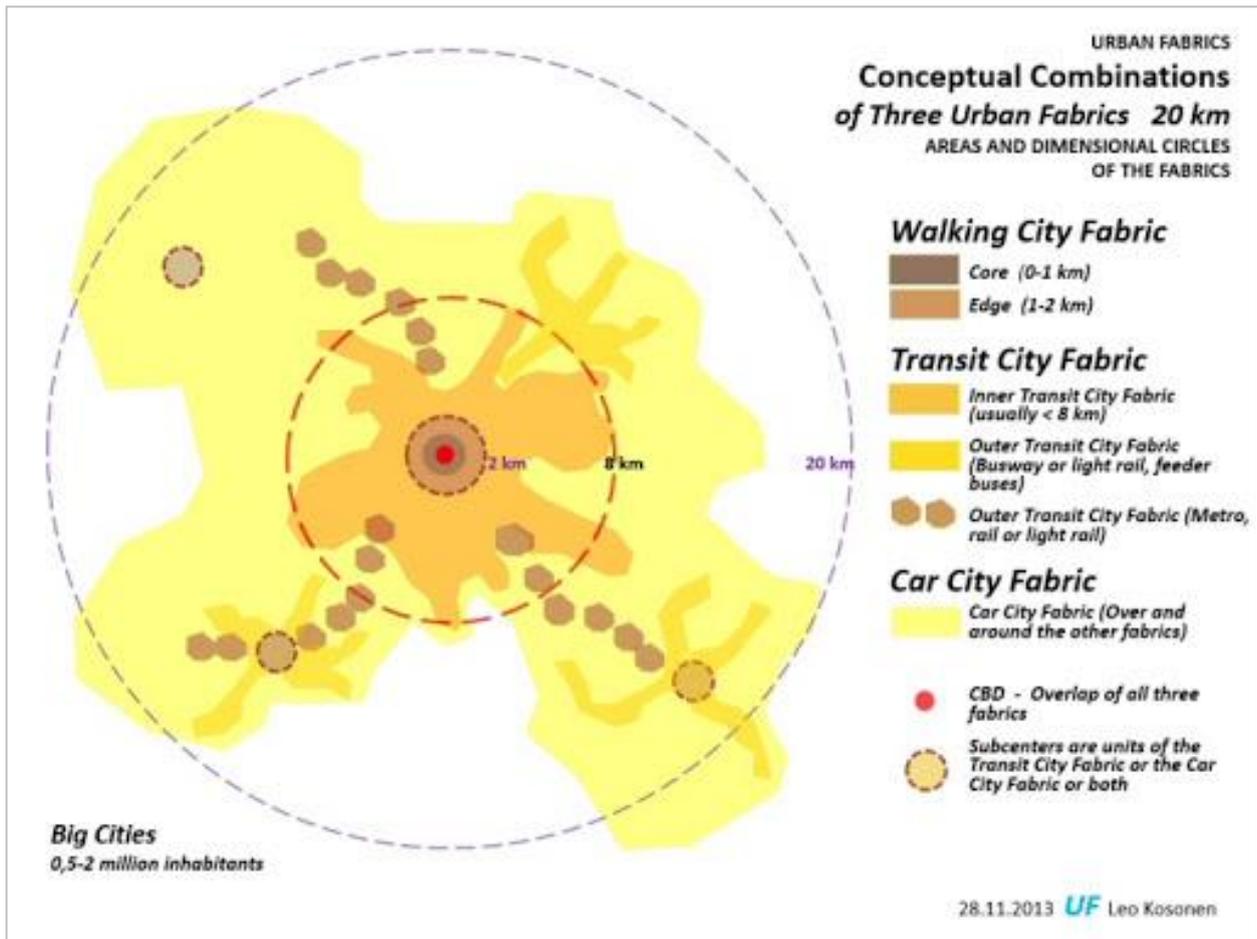


Figura 12: Combinazioni concettuali dei tre tessuti urbani.  
Fonte: Kosonen (2014)

### 2.2.1 Caratteristiche urbanistiche a confronto

L'orientamento politico e culturale, a partire dagli anni '30, si è orientato verso varie tipologie di "Città del futuro", portando a pratiche, convenzioni e governance che considerano la città come un'unica unità funzionale, con l'uso e gestione del territorio e del traffico come le principali categorie di pianificazione urbana.

La teoria dei tre tessuti urbani mostra che, invece di un unico tessuto urbano, le città dovrebbero essere identificate come una combinazione di tre tessuti sovrapposti, ognuno con il proprio tipo di utilizzo del territorio e dei sistemi di trasporto. Una volta che questi sistemi sono riconosciuti come tessuti urbani distinti, allora c'è la possibilità di ottimizzare ciascuno di essi attraverso combinazioni integrate di pianificazione dei trasporti e dell'uso del territorio. Inoltre, l'identificazione dei tre tessuti urbani può contribuire a molti piani e programmi settoriali, come le politiche abitative, le politiche di rigenerazione, la pianificazione di specifici ambienti urbani, le politiche architettoniche e qualsiasi altro ambito inerente alla pianificazione urbana<sup>51</sup>.

Nella Tabella seguente (Tab.8) colloco a paragone alcune delle caratteristiche confrontabili dei tre tessuti urbani. Per la loro strutturazione sono stati considerati e selezionati elementi caratteristici come le **caratteristiche dimensionali** (dimensioni spaziali, suddivisione delle aree e sovrapposizioni per ogni tessuto urbano), gli **elementi urbani** (componenti fisiche come gli edifici e le infrastrutture), le **funzioni del tessuto e stili di vita** (le abitudini, i modi di vita e le funzioni industriali degli utenti) e la **qualità dei tessuti urbani** (i risultati misurabili in termini di forma urbana, trasporti, qualità economiche, sociali e ambientali presenti in ogni tessuto urbano).

	Caratteristiche dimensionali	Elementi urbani	Funzioni del tessuto e stili di vita	Qualità dei tessuti urbani
	Raggio ottimale del tessuto urbano: <b>0-2km</b> - Densità abitativa: minimo <b>100Ab/ha</b>	Piazze e spazi pubblici molto frequenti con una rete stradale molto permeabile per un facile accesso pedonale	Molti spostamenti pedonali con servizi estremamente locali e piccole industrie	Elevato mix urbano e qualità della vita con una bassa differenziazione sociale
	Raggio ottimale del tessuto urbano: <b>0-20km</b> - Densità abitativa: minimo <b>35Ab/ha</b>	Piazze e spazi pubblici meno frequenti rispetto al pedonale con una rete stradale dedicata all'attività di trasporto pubblico	Molti spostamenti tramite i trasporti pubblici con servizi diffusi lungo le direttrici di collegamento e medie industrie	Medio mix urbano e qualità della vita con una media differenziazione sociale
	Raggio ottimale del tessuto urbano: <b>0-40km</b> - Densità abitativa: inferiore a <b>20Ab/ha</b>	Piazze e spazi pubblici poco frequenti con una rete stradale permeabile per le auto su autostrade, superstrade e strade locali	Elevati spostamenti con l'auto privata con servizi concentrati nei centri commerciali e grandi industrie	Basso mix urbano e qualità della vita con un'elevata differenziazione sociale

Tabella 8: confronto di alcune delle caratteristiche paragonabili dei tre tessuti urbani. Per differenza sociale si intendono gruppi omogenei per condizione economica o stile di vita

Fonte: elaborazione propria su dati Peter Newman e Leo Kosonen

<sup>51</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

## 2.2.2. La sostenibilità dei tessuti urbani

Importante, nella descrizione dei tre tessuti, è l'analisi dell'impatto ambientale e dei consumi pro-capite di ogni abitante, che varia molto a seconda del tessuto urbano in cui esso si trovi. Basti pensare come le automobili consumino da due a tre volte più carburante per km rispetto ai mezzi pubblici, e che, chi vive in un tessuto urbano automobilistico fa molti più chilometri quotidianamente rispetto a chi vive negli altri due<sup>52</sup>.

Si può considerare, quindi, come il **metabolismo urbano** sia molto diverso nelle tre tipologie di città. Nello studio condotto da Gardner e Newman nel 2013<sup>53</sup>, sono state rilevate le variazioni dei consumi di energia, di acqua, del terreno, del cibo e delle materie prime di base nelle tre aree della città. I risultati mostrano come i consumi siano significativamente ridotti nel tessuto urbano più denso, quindi pedonale, e in parte in quello policentrico rispetto al tessuto dell'automobile, infatti:

- Il consumo di carburante per il trasporto pro-capite è più che dimezzato nel tessuto urbano pedonale rispetto a quello automobilistico;
- Il consumo d'acqua è significativamente minore con una grande enfasi sull'efficienza idrica, prevedendo la raccolta dell'acqua piovana e delle acque sotterranee, e il riciclaggio delle acque reflue, in cui l'eventuale eccesso viene utilizzato per aiutare a rigenerare le falde acquifere e i corpi idrici;
- Il consumo di suolo pro-capite è oltre 3,5 volte inferiore, riducendo sostanzialmente l'invasione urbana dei terreni agricoli circostanti e delle preziose aree ecologiche, evitando il consumo di suolo.

L'elevata richiesta di materie prime, nel tessuto urbano dell'automobile, è dovuta sia ad una bassa densità abitativa combinata con elevate dimensioni delle abitazioni, sia all'infrastruttura aggiuntiva necessaria per il servizio di tali appezzamenti sia all'interno che all'esterno, come la costruzione delle opere di urbanizzazione primarie e secondarie (fognature, elettrodotti ecc).

Come descritto in precedenza, questi dati variano molto da paese a paese, infatti emergono tre raggruppamenti, quali<sup>54</sup>:

- Città americane e australiane, le più dipendenti dall'auto;
- Città europee, che si trovano nel mezzo e utilizzano circa un terzo del carburante del primo gruppo;
- Città asiatiche e latinoamericane con la minore dipendenza dall'auto e il minor consumo di carburante.

Attualmente è importante dirigere le strategie di sviluppo urbano verso modelli di urbanizzazione più sostenibili. Questa transizione si scontra con la drammatica crescita del traffico e della mobilità urbana nelle città<sup>55</sup>. Ciò richiede un insieme più coerente di norme di

<sup>52</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy,, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>53</sup> Giles Thomson, Peter Newman, "Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative cities", Pubblicato da Elsevier B.V, 2017

<sup>54</sup> Ibid

<sup>55</sup> Newman e Kenworthy, 2015

pianificazione che possano facilmente adattarsi a una riduzione e rallentamento del metabolismo e a una migliore vivibilità delle città associata a una riduzione del tessuto urbano automobilistico. Il sistema di pianificazione urbanistica dovrà comunque cambiare rispetto alle norme di legge sulle densità, sui parcheggi, sull'uso promiscuo e su altri regolamenti chiave che finiscono per produrre inevitabilmente tessuto urbano pensato esclusivamente per l'automobile.

La transizione verso forme urbane sostenibili che sostengono un metabolismo urbano efficiente e sostenibile, richiederà una combinazione del giusto tessuto urbano, dell'integrazione delle infrastrutture e della tecnologia.

## 2.3 Le città “autocentriche”

Come anticipato, nel giro di pochi decenni, le aree urbane di tutto il mondo, sia nei paesi sviluppati che in quelli in via di sviluppo, sono diventate sempre più dominate dall'automobile, facendo raggiungere, dei livelli di mobilità senza precedenti<sup>56</sup>.

Le città quindi, hanno registrato una rapida crescita delle sfide legate ai trasporti, come l'inquinamento, la congestione derivante dal traffico, gli incidenti stradali, il regresso sull'utilizzo dei trasporti pubblici, l'inquinamento ambientale, il cambiamento climatico, l'aumento dei consumi energetici e le disuguaglianze sociali<sup>57</sup>.

In una prospettiva più ampia, in cui vengono considerate oltre alle questioni economiche e sociali, anche quelle relative agli impatti territoriali, Newman e Kenworthy, definiscono l'insostenibilità degli attuali modelli di trasporto urbano come "**dipendenza dall'automobile**"<sup>58</sup>.

La motivazione di base, per cui l'automobile si è diffusa così rapidamente e capillarmente, è che con essa è possibile raggiungere praticamente qualsiasi luogo, senza essere vincolati da orari o da percorrenze fisse. Ma non è solo per questo, essa rappresenta anche uno status sociale<sup>59</sup>. Le auto sono certamente indicatori visibili della classe economica e della posizione sociale dei proprietari, ogni modello non riflette solo la quantità di denaro che è stato speso per l'acquisto, ma anche il gusto e la sensibilità dei proprietari, assumendo, in alcuni casi, una deliberata espressione dell'immagine autodefinita del proprietario<sup>60</sup>.

Infatti, l'automobile può essere considerata a livello sociale, da ogni membro della famiglia, come l'equivalente di un capo di abbigliamento o di un paio di scarpe. Un modello di auto deve essere adatto per ogni scopo quotidiano, che va dal pendolarismo allo svolgimento della vita sociale, e quindi può essere desiderato nel proprio garage, proprio come un capo d'abbigliamento nell'armadio.

Secondo alcune ricerche<sup>61</sup>, vi sono tre tipologie di automobilisti tipo, quali:

1. Quelli che considerano l'auto come un'estensione del loro spazio privato, se non della loro personalità. Non potranno mai rinunciare all'automobile, a meno di una coercizione economica o normativa, che combatteranno con ogni mezzo possibile.
2. Coloro che vedono l'auto come uno dei tanti mezzi di trasporto e l'utilizzano perché risulta effettivamente il più comodo e conveniente sia economicamente che per risparmio di tempo. Però sono disposti cambiare abitudini, usando al loro posto principalmente i mezzi pubblici, purché vi saranno tempi di viaggio comparabili, affidabilità, affollamento limitato e convenienza economica.

<sup>56</sup> Sigurd Grava, "Urban Transportation System – Choose for communities", The McGraw-Hill Companies, 2004

<sup>57</sup> Dorina Pojani e Dominic Stead, "Sustainable Urban Transport in the Developing World: Beyond Megacities", 2015

<sup>58</sup> Newman P, Kenworthy J, "Sustainability e Citier: Overcoming Automobile Dependence", 1999

<sup>59</sup> La posizione che si occupa nella società. Il termine latino status è usato per indicare la posizione di un individuo, di un gruppo o di una categoria di persone in una società, nonché il grado di potere, ricchezza e prestigio associato a tale posizione. Lo status quindi è una delle espressioni della stratificazione sociale, cioè della divisione della società in classi o ceti. Fonte: Treccani.it

<sup>60</sup> Sigurd Grava, "Urban Transportation System – Choose for communities", The McGraw-Hill Companies, 2004

<sup>61</sup> Ibid

3. Coloro che non amano guidare per motivi filosofici o pratici. Utilizzeranno i mezzi pubblici ogni volta che sarà possibile e sosterranno l'espansione e la diffusione del sistema di trasporto pubblico.

La massiccia diffusione dell'automobile ha fortemente influenzato e orientato le politiche di pianificazione del territorio e dei trasporti nel XX secolo, soprattutto nei paesi occidentali,<sup>62</sup> considerando esclusivamente la città dell'automobile e trascurando le altre due tipologie<sup>63</sup>. Infatti, le città pedonali e del trasporto pubblico sono state gradualmente sostituite dalla città dipendente dall'automobile, in cui si promuove l'espansione urbana e un elevato consumo di energia. Questa tendenza ha portato i pianificatori ad operare principalmente per rendere il traffico stradale più piacevole e confortevole. Questa direzione strategica, guidata dalla "paura della congestione", ha portato a sottovalutare gli effetti dell'uso del suolo e gli impatti della dipendenza dall'auto<sup>64</sup>. Il "**modello di società automobilistica**" è uno stile di vita basato principalmente sullo sfruttamento accelerato e incontrollato delle risorse energetiche non rinnovabili e incoraggiato da alcune politiche industriali, economiche, energetiche e di utilizzo del territorio squilibrate, che hanno spinto verso una bassa densità urbana e un uso frammentato del territorio. Come si può osservare dalla Figura 13 i fattori di interazione tra il sistema dei trasporti e l'uso del territorio sono molteplici e sono dipendenti e consequenziali gli uni dagli altri.

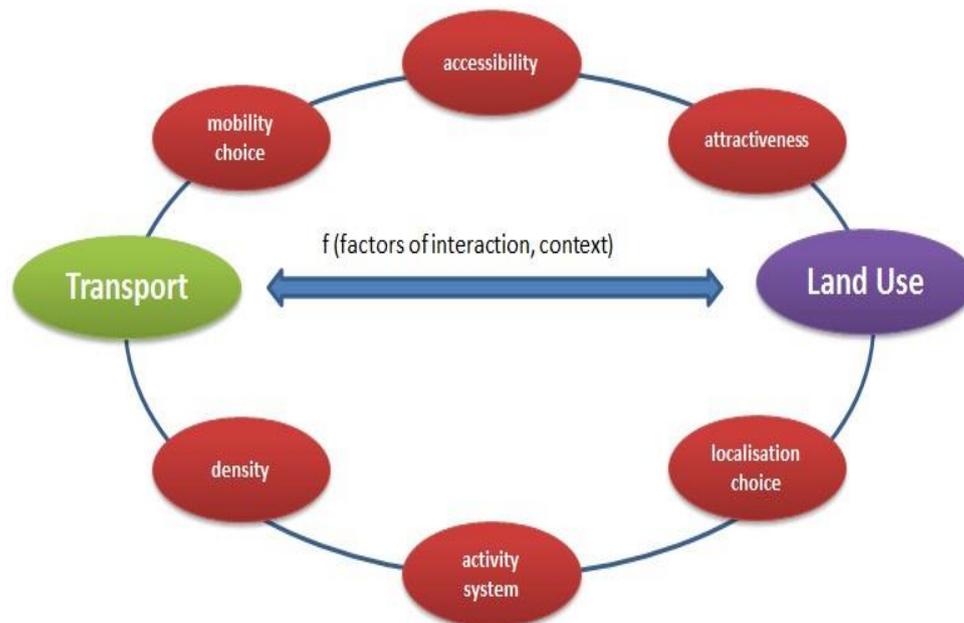


Figura 13: Fattori di interazione tra i trasporti e l'uso del suolo.

Fonte: F. Lo Feudo, 2014

<sup>62</sup> Fausto Lo Feudo, "How to build an alternative to sprawl and auto-centric development model through a TOD scenario for the North-Pas-de-Calais region? Lessons from an integrated transportation-land use modelling", 2014

<sup>63</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>64</sup> Ibid

Molti autori condividono l'idea che un sistema di mobilità completamente orientato sull'utilizzo dell'auto non sia più sostenibile e che gli effetti negativi causati da un uso eccessivo, portino ad un circolo vizioso definito "**spirale di dipendenza dall'auto**"<sup>65</sup> (Fig.14). Questo è l'opposto di un modello di trasporto equilibrato, dove la mobilità multimodale, con alti livelli di accessibilità, è incoraggiata.

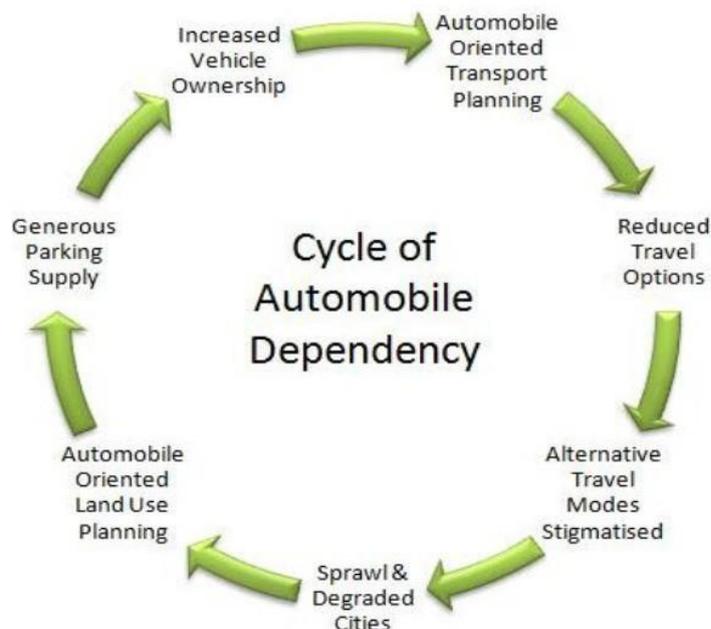


Figura 14: la spirale di dipendenza dall'automobile.  
Fonte: Heran, 2001; O.P. Dubois-Taine, 2010

Pertanto, le politiche di pianificazione orientate a favorire la diffusione dell'automobile tendono a favorire uno sviluppo urbano e regionale più disperso, mentre le strategie di pianificazione orientate al trasporto pubblico e alle pedonalizzazioni stimolano uno sviluppo del territorio meno disperso e più denso. Infatti, la densità urbana è **inversamente proporzionale** al tempo medio di percorrenza<sup>66</sup>, soprattutto nelle configurazioni urbane multifunzionali. Fondamentale, con effetti positivi sui flussi pendolari, è l'equilibrio tra l'area di residenza, l'ubicazione delle attività lavorative e la quantità di mobilità non motorizzata sfruttata dai pendolari<sup>67</sup>. Anche l'accessibilità è un fattore cruciale, perché contribuisce direttamente ad aumentare l'attrattività e ad accelerare lo sviluppo delle aree urbane<sup>68</sup>.

Oggi, la maggior parte dei pianificatori si trova ad affrontare la sfida di fornire più pedonabilità, migliori sistemi di trasporto pubblico e usi più densi e misti del suolo per creare un tessuto urbano più vivibile ed accessibile.

<sup>65</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015

<sup>66</sup> Newman, P. e Kenworthy, J., "Cities and Automobile Dependence", 1989

<sup>67</sup> Fausto Lo Feudo, "How to build an alternative to sprawl and auto-centric development model through a TOD scenario for the North-Pas-de-Calais region? Lessons from an integrated transportation-land use modelling", 2014

<sup>68</sup> Ibid

### 2.3.1. Come ridurre la dipendenza dalle auto

"Se riusciamo a mandare un uomo sulla luna, dovremmo essere in grado di risolvere problemi di traffico nelle nostre città"<sup>69</sup>.

Questa affermazione, fatta dal presidente americano Richard Nixon alla fine degli anni '60, fa comprendere come il problema della congestione urbana sia presente da tempo ma sia stato sottovalutato per decenni. Infatti, dopo quasi cinquant'anni da quella dichiarazione, risulta essere un problema centrale nelle vite di tutti e spesso si è aggravato nel corso degli anni.

Per ridurre la dipendenza dall'automobile, l'urbanistica dispone di strumenti strategici e statuari che possono essere applicati ai tre tessuti urbani e utilizzati in diverse modalità<sup>70</sup>.

La pianificazione urbana strategica deve riaffermare il valore dei tre tessuti e non permettere che la pianificazione tradizionale dei trasporti determini le azioni e le risorse delle città attraverso le sue priorità esclusivamente automobilistiche. Perciò, l'urbanistica, in tutti i suoi settori, deve riconoscere, rispettare e ringiovanire i tre tessuti con requisiti normativi dettagliati per ognuno di essi<sup>71</sup>.

Come si può osservare dalla tabella 9, per ogni tessuto vi possono essere degli interventi che favoriscano l'uso e la diffusione dello stesso, senza però prevalere sugli altri, ricordando sempre l'importanza della presenza di un **giusto equilibrio** tra i vari tessuti al fine di garantire la sostenibilità e l'accessibilità di aree urbane molto diverse tra loro.

---

<sup>69</sup> Il presidente Richard Nixon ha usato quasi esattamente questa frase nel suo messaggio di bilancio del 1972 al Congresso, successivo allo sbarco sulla luna avvenuto nel 1969. Fonte: Sigurd Grava, "Urban transportation system", Mc Graw-Hill, 2004

<sup>70</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2017

<sup>71</sup> ibid

		
<p>Prevedere <b>flussi pedonali</b> con la massima priorità nel sistema di trasporto urbano, anche con corsie preferenziali, rispettando e valorizzando gli <b>spazi pubblici</b> come piazze e parchi</p>	<p>Fornire un'<b>efficiente, competitivo e qualitativo</b> sistema di trasporto pubblico con uno sfruttamento ottimale delle arterie viarie principali, per evitare l'utilizzo delle auto</p>	<p>Prevedere le <b>funzioni</b> residenziali, industriali, di vendita al dettaglio e di altro tipo, <b>separate</b> dove possibile così da non aumentare le densità e l'uso misto senza sistemi di trasporto pubblico in grado di sostenere tale densificazione</p>
<p><b>Evitare espansioni</b> di strade destinate alle auto, garantendo sempre un sufficiente spazio pedonale, e rimuovere o adattare al tessuto pedonale elementi dannosi come strade a scorrimento o autostrade</p>	<p>Applicare <b>politiche abitative</b> e di pianificazione urbana che mantengano un buon livello di condizioni residenziali con una media densità insediativa</p>	<p>Prevedere <b>strade ad alta capacità</b> specialmente per il trasporto merci e non per l'attività economica orientata al dettaglio</p>
<p><b>Eliminare le funzioni</b> delle città automobilistiche che siano <b>dannose</b> per gli spostamenti a piedi e in bicicletta, riducendo gli spazi destinati a parcheggi in superficie dando priorità a quelli sotterranei</p>	<p><b>Eliminare o rinnovare le funzioni</b> delle città automobilistiche che sono dannose al tessuto urbano basato sul TPL, ad esempio, mantenendo strade ad elevata dimensione ma con priorità per gli autobus e i tram, evitando così strade ad alta capacità per le auto</p>	<p>Fornire dei <b>parcheggi sufficienti</b> rispetto alla domanda evitando le grandi distese di asfalto associate ai centri commerciali e ai piazzali per uffici del XX secolo</p>
<p><b>Concentrare l'edificato e le percorrenze</b> lungo le linee ferroviarie e tranviarie sia storiche che di nuova costruzione</p>		

Tabella 9: interventi che favoriscano l'uso e la diffusione di ogni tessuto urbano, senza però prevalere sugli altri.  
Fonte: elaborazione propria su dati Peter Newman e Leo Kosonen

In alcune città dei paesi più sviluppati, in particolare nel Nord Europa, vi è una tendenza nel recuperare lo spazio urbano destinato alle automobili e a proibirne l'uso nelle principali aree del centro città e/o a confinarle in altri modi. Oggi, queste città si sforzano per soddisfare gli standard di sostenibilità urbana, attraverso<sup>72</sup>:

- applicazione di condizioni stradali favorevoli alle modalità verdi attraverso interventi a basso costo come la manutenzione dei marciapiedi e il contenimento della velocità;
- costituzione di ampie zone riservate ai soli pedoni e alla micromobilità;
- corsie esclusive per autobus e biciclette, adeguatamente protette dal traffico automobilistico;
- maggiore attenzione alla manutenzione delle infrastrutture stradali piuttosto che alla costruzione di nuove infrastrutture;
- campagne di sensibilizzazione e di educazione civica, fin dalle scuole d'infanzia;
- efficientamento del trasporto pubblico, incoraggiando le modalità non motorizzate.

<sup>72</sup> Dorina Pojani e Dominic Stead, "Sustainable Urban Transport in the Developing World: Beyond Megacities", 2015

Concetti di contenimento dell'automobile impensabili solo pochi decenni fa, sono ora in fase di considerazione o addirittura adottati in molte aree urbane di tutto il mondo, sia al nord che al sud, con l'incoraggiamento e il sostegno delle principali organizzazioni internazionali e forti volontà politiche<sup>73</sup>, anche se è importante ricordare che nessun tipo di strategia politica singolarmente è efficace o sufficiente per promuovere un trasporto urbano più sostenibile.

Infatti, nella promozione di modelli di sviluppo urbano più sostenibili, per raggiungere effetti più duraturi e rilevanti, si riconosce sempre più come siano necessari **pacchetti** o combinazioni **di misure**<sup>74</sup>.

Vi sono numerose azioni che le amministrazioni delle città, prevalentemente automobilistiche, stanno cercando di applicare come ad esempio quella di estendere il trasporto rapido di massa verso i quartieri periferici dipendenti dall'auto<sup>75</sup>. Dato che la media dei viaggi in automobile è inferiore a 35 km/h per via del traffico, i nuovi treni veloci, con una velocità media di oltre 70 km/h, possono estendere la città incentivando l'uso dei mezzi pubblici ben oltre il raggio di 20 km della *Transit City*. Si può affermare quindi che, come il tessuto urbano automobilistico si sovrappone ai tessuti urbani pedonali e del trasporto pubblico, queste nuove linee ferroviarie stanno portando il tessuto del TPL nelle città automobilistiche<sup>76</sup>.

In conclusione, oggi è chiaro come vi sia un periodo di cambiamento culturale, ambientale ed istituzionale, in cui la mobilità ricopre un ruolo fondamentale dovendo essere sempre più sostenibile e resiliente. La società moderna, in questo cambiamento, si sta allontanando dall'era dell'automobile di proprietà, favorendo l'intermodalità integrata e coordinata con i diversi mezzi di spostamento, dai treni metropolitani ai veicoli in sharing. C'è la necessità, inoltre, di cambiare l'atteggiamento politico, fatto di tante dichiarazioni, che spesso risulta inefficace sui problemi reali, applicando programmi concreti, misurati sulle esigenze del singolo territorio interessato e finanziati attraverso progetti nazionali e internazionali.

---

<sup>73</sup> Dorina Pojani e Dominic Stead, "Sustainable Urban Transport in the Developing World: Beyond Megacities", 2015

<sup>74</sup> Ibid

<sup>75</sup> Peter Newman, Leo Kosonen and Jeff Kenworthy, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2017

<sup>76</sup> Ibid



An aerial photograph of a parking lot. The ground is dark asphalt with bright yellow painted lines forming rectangular parking spaces. A yellow car is parked in one of the spaces. A concrete wall with a blue sign containing the number '5' runs along the edge of the parking lot. A street lamp is visible in the upper left.

## Capitolo

# 03

### Nuove tecnologie di trasporto: i Veicoli a Guida Autonoma

#### 3.1 Livelli della guida autonoma

3.1.1 Tecnologia utilizzata – Hardware

3.1.2 Tecnologia utilizzata – Software

3.1.3 V2X: Auto connesse e infrastrutture intelligenti

#### 3.2 Previsioni di sviluppo e distribuzione dei VGA

#### 3.3 La legislazione dei VGA e le principali pratiche di sperimentazione

3.3.1 L'Unione Europea

3.3.2 L'Italia

3.3.3 Altri paesi: gli Stati Uniti, Gran Bretagna e Germania

#### 3.4 VGA e Costante di Marchetti

#### 3.5 Possibili scenari di diffusione e relativi impatti territoriali dei VGA

3.5.1 Possibili scenari di diffusione

3.5.2 Impatti territoriali

### 3. Nuove tecnologie di trasporto: i Veicoli a Guida Autonoma

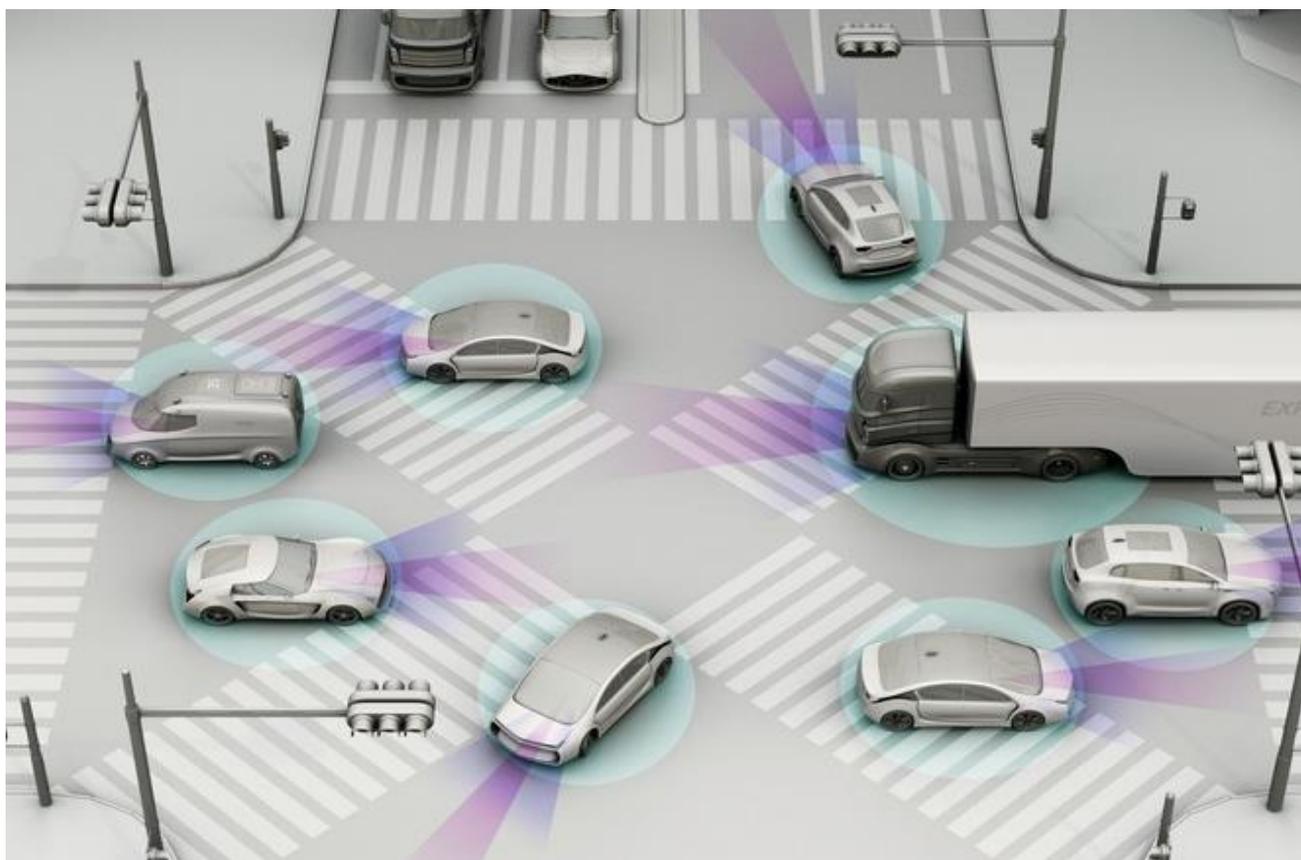


Figura 15: rappresentazione grafica di alcuni VGA in un'intersezione stradale.

Fonte: <https://www.altalex.com/documents/news/2018/05/31/auto-a-guida-automatica-profilo-assicurativi-e-di-responsabilita-civile>

I Veicoli a Guida Autonoma (VGA), detti anche *Self-driving Cars* o *Driverless Cars*, sono mezzi equipaggiati con numerosi sensori in grado di ricavare informazioni dall'ambiente circostante, le quali poi vengono processate e rielaborate da un computer incorporato al veicolo, in grado di far muovere il mezzo in autonomia<sup>77</sup>.

La guida autonoma è considerata come una delle innovazioni chiave di questi primi decenni del XXI secolo, in grado di rivoluzionare il sistema di mobilità urbana ed extra-urbana, e di trasformare lo stile di vita delle persone che quotidianamente si spostano<sup>78</sup>. Nell'ultimo decennio, la tecnologia legata alla guida autonoma ha avuto un'accelerazione grazie all'introduzione dell'Intelligenza Artificiale (AI) a bordo dei veicoli. Infatti, grazie all'introduzione dell'AI nei sistemi di guida, i veicoli stanno diventando sempre più "intelligenti", capaci di parcheggiarsi, modificare la velocità o la direzione di marcia e di reagire e prevedere gli ostacoli durante la marcia<sup>79</sup>.

<sup>77</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>78</sup> Jacopo Scudellari, Luca Staricco, Elisabetta Vitale Brovarone, "Governare gli impatti territoriali della diffusione dei veicoli a guida autonoma", Rapporto progetto di ricerca - Politecnico di Torino Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, 2019

<sup>79</sup> Ibid

Con l'introduzione dei VGA si prevede una maggiore sicurezza stradale sia per i conducenti sia per gli utenti deboli della strada con una maggiore accessibilità e un minor impatto ambientale. Tuttavia, molte sfide devono ancora essere superate per raggiungere questo scenario, non privo di rischi, come, su tutti, la possibilità di non diminuire la congestione stradale, anzi di alimentarla<sup>80</sup>.

Affinché le auto a guida autonoma possano gestire in modo sicuro qualsiasi condizione di traffico e qualsiasi comportamento improvviso di altri utenti della strada come auto, pedoni e ciclisti, e quindi scongiurare un intervento umano, occorrono milioni e milioni di chilometri di prova in situazioni estreme, come forti piogge, neviccate, altri eventi atmosferici.

Avere il controllo in situazioni complesse e imprevedibili non è certamente possibile senza un'esperienza di guida sufficientemente matura. Uno strumento di sviluppo fondamentale è pertanto anche la simulazione. Infatti, i veicoli su strada non possono raccogliere tutti i dati che raccoglierebbero in fase di simulazione, appunto per questo attualmente circa il 95% dei chilometri di prova viene percorso virtualmente<sup>81</sup>.

In un futuro in cui i VGA saranno diffusi, per quanto concerne il trasporto di persone, vi sarà sempre una coesistenza dei veicoli ad uso privato e ad uso condiviso<sup>82</sup>.

I primi corrisponderanno all'auto privata senza sostanziali differenze con i veicoli attuali, a parte la dotazione tecnologica presente nell'automazione.

I secondi invece saranno i veicoli destinati all'uso della collettività, in cui gli utenti si troveranno a bordo, come avviene attualmente sui mezzi del trasporto collettivo, con la possibilità di impiegare il tempo nel modo in cui preferiscono, non dovendo prestare attenzione alla guida (se sceglieranno la modalità di guida automatica) e con l'ovvio vantaggio di non dover sostenere i costi di possesso di un veicolo ad uso privato.

Insomma, la differenza tra veicoli ad uso di privato e ad uso condiviso, sarà nel modo di utilizzo rispetto che nella tecnologia utilizzabile presente a bordo dei veicoli.

Questo è un fattore importante nel caso in cui il tempo a bordo venga impiegato per attività lavorative, a tal proposito si stima che con la guida autonoma il *valore del tempo* (VOT, Value of Time) si possa ridurre del 30%, rispetto alla guida manuale, raggiungendo il livello del trasporto collettivo<sup>83</sup>.

Occorre però tenere in considerazione un paradosso derivante da una mancata diminuzione del traffico, poiché se le persone sfruttassero il tempo in auto per lavorare o svolgere attività nello stesso modo in cui le svolgerebbero a casa o nel luogo di lavoro, diventerebbe poco rilevante il tempo trascorso in coda dal veicolo e quindi il problema della congestione stradale passerebbe in secondo piano. Tuttavia, questo problema risulta secondario attualmente, in quanto ci vorranno ancora molti anni per vedere effettivamente la diffusione su larga scala dei VGA<sup>84</sup>.

---

<sup>80</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>81</sup> <https://www.bmw.com/it/innovation/lo-sviluppo-della-guida-autonoma.html>

<sup>82</sup> F. Steck, V. Kolarova, F. Bahamonde-Birke, S. Trommer, B. Lenz, "How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for Commuting", 2018

<sup>83</sup> ibid

<sup>84</sup> ibid

### 3.1 Livelli della guida autonoma

Esistono diversi livelli di automazione per i veicoli con guida autonoma e dipendono dalla loro complessità tecnologica e quindi da quanto un veicolo possa assumersi i compiti del guidatore in caso di necessità e come, oggi e in futuro, possano interagire uomo e macchina sulla strada.

Gli esperti della Society of Automotive Engineers (SAE)<sup>85</sup>, a questo scopo, hanno introdotto nel 2014, e poi aggiornato nel 2016, sei diversi livelli di guida autonoma, dal livello SAE 0 al SAE 5 (SAE J3016:SEP2016) (Fig.16), tenendo conto il ruolo del guidatore, del contesto in cui il veicolo si muove e della dotazione di sistemi di assistenza alla guida, gli ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), presenti sul veicolo.

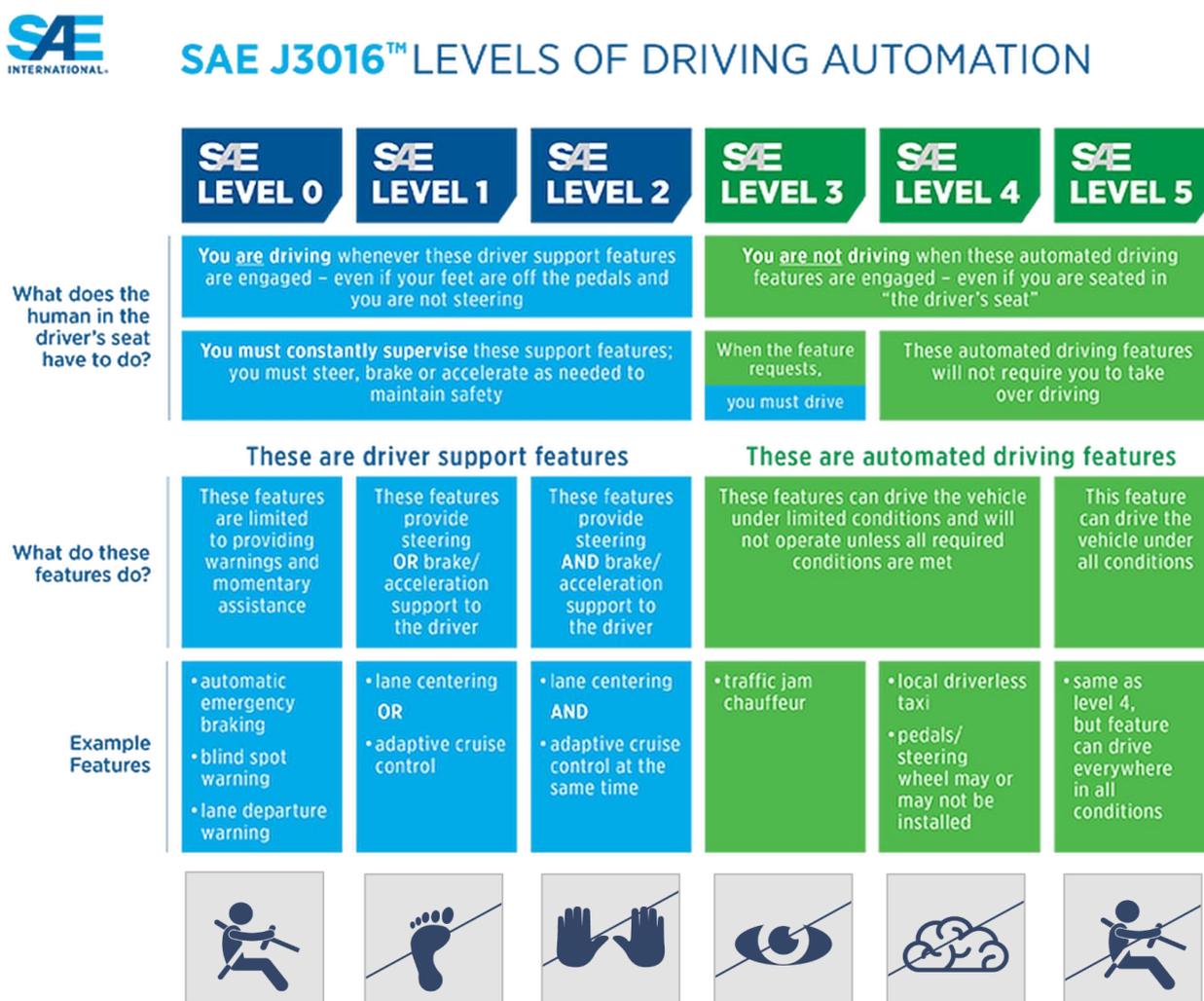


Figura 16: Classificazione SAE livelli di automazione di guida.

Fonte: SAE International Releases Updated Visual Chart for Its "Levels of Driving Automation" Standard for Self-Driving Vehicles, SAE International, 2018

<sup>85</sup> <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>

### Livello SAE 0 – Guida classica

In questo livello di automazione non è attivo nessun sistema di guida autonoma nel veicolo e il conducente ha la piena responsabilità delle operazioni di guida.

Possono essere presenti sistemi di sicurezza attivi in caso di emergenza come, la frenata automatica d'emergenza (*Active City Brake*), il sistema di avvertimento di abbandono della corsia (*Lane Departure Warning*), il sensore dell'angolo cieco (*Blind Spot Warning*) (Fig.17) e il sistema che permette di mantenere una velocità di guida costante senza dover necessariamente tener premuto il pedale dell'acceleratore (*Cruise Control*).

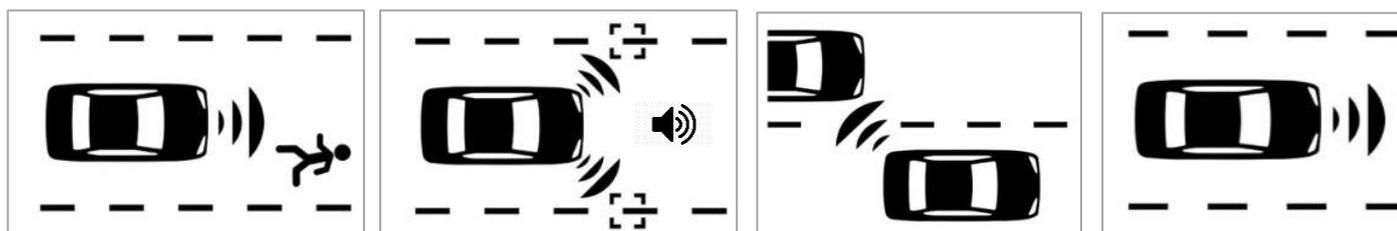


Figura 17: rappresentazione grafica di alcuni sistemi ADAS presenti a bordo delle auto di livello 0.

Fonte: <https://www.drivek.it/guida-assistita-sistemi-ad-as-video/4247/>

### Livello SAE 1 - Guida assistita

Il primo livello di automazione è caratterizzato dalla presenza di sistemi di assistenza alla guida che assumono, in determinate situazioni, il comando di accelerazione o frenata oppure dello sterzo del veicolo. Tuttavia, il conducente deve sorvegliare costantemente il veicolo ed essere pronto a intervenire.

Tra i sistemi di assistenza alla guida vi sono: l'assistente al parcheggio (*Intelligent Parking Assist System*), il sistema di mantenimento automatico della corsia (*Lane Keeping Assistant, LKA*) oppure il sistema elettronico di controllo che regola la velocità del veicolo mantenendo automaticamente una distanza di sicurezza dai veicoli che lo precedono (*Adaptive Cruise Control, ACC*) (Fig.18).

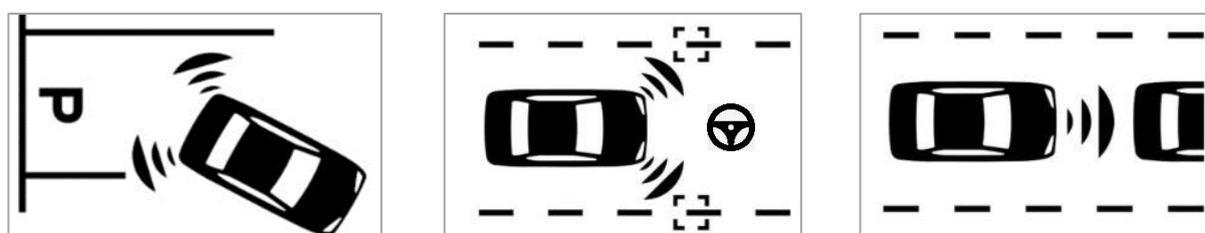


Figura 18: rappresentazione grafica di alcuni sistemi ADAS presenti a bordo delle auto di livello 1.

Fonte: <https://www.drivek.it/guida-assistita-sistemi-ad-as-video/4247/>

### Livello SAE 2 – Automazione parziale

Il secondo livello di automazione corrisponde alla guida semiautomatizzata, in cui il sistema si occupa sia di accelerare/frenare, sia di sterzare per un determinato lasso di tempo o in situazioni specifiche. Anche in questo livello, il conducente deve però continuare a sorvegliare costantemente il sistema ed essere in grado di riprendere in qualsiasi momento il controllo sulla guida. Un esempio in tal senso è rappresentato dall'assistente guida in colonna (*Traffic Jam Assist*) (Fig.19), composto dall'ACC e dall'LKA, in cui il veicolo è in grado di procedere autonomamente, alla velocità preimpostata, mantenendosi al centro della corsia e a distanza di

sicurezza dal veicolo che lo precede. Questo sistema è molto utile e funzionale in ambito autostradale per prevenire tamponamenti a catena e sbandate involontarie al di fuori della carreggiata.

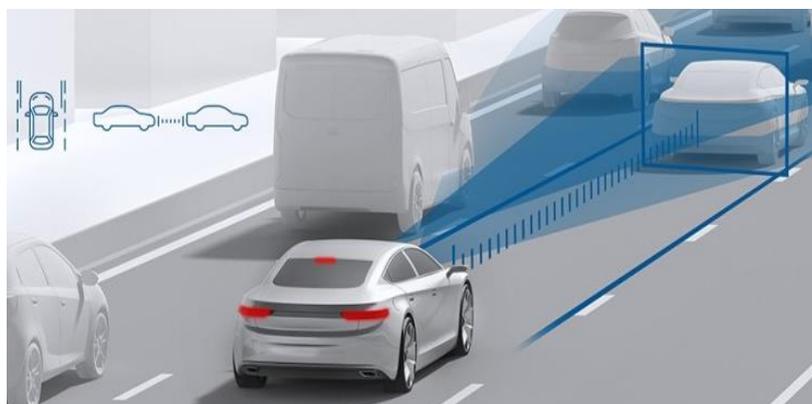


Figura 19: rappresentazione del funzionamento del Traffic Jam Assist.

Fonte: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/automated-driving/traffic-jam-assist/>

### Livello SAE 3 – Automazione condizionata

Il terzo livello di automazione corrisponde alla guida altamente automatizzata. Al contrario dei livelli 1 e 2, il veicolo assume il controllo sull'accelerazione/frenata e sullo sterzo per un determinato lasso di tempo o in situazioni specifiche, senza che il conducente sia tenuto a una costante sorveglianza del veicolo. Ciononostante, deve essere sempre in condizioni di riprendere completamente il controllo di guida nel momento in cui il sistema lo invita a farlo, con un preavviso sufficiente. Attualmente, la legislazione italiana vieta la commercializzazione e diffusione su larga scala di questi sistemi che sono già disponibili su alcuni veicoli, come il pilota automatico per la guida in colonna di Tesla (*Autopilot*)<sup>86</sup> (Fig.20) o il sistema di Audi (*A.I. - Audi Intelligence*)<sup>87</sup>.



Figura 20: rappresentazione di come un veicolo Tesla di livello 3 percepisce gli ostacoli esterni.

Fonte: <https://www.motorbox.com/auto/magazine/vivere-auto/tesla-mostra-levoluzione-della-guida-autonoma>

<sup>86</sup> [https://www.tesla.com/it\\_IT/autopilot](https://www.tesla.com/it_IT/autopilot)

<sup>87</sup> <https://www.audi.it/it/web/it/nuovi-pacchetti-audi-innovative/intelligent-assistance.html>

### Livello SAE 4 – Alta automazione

Questo livello di automazione corrisponde alla guida ad automazione completa, in cui il sistema assume la piena conduzione del veicolo in un caso di applicazione specifico (*Operational Domain Design, ODD*) affrontando automaticamente tutte le relative situazioni. Il conducente del veicolo non deve più dedicare la sua attenzione al traffico e può occuparsi di altro.

### Livello SAE 5 – Guida Autonoma

Il massimo livello di automazione è la guida senza conducente, in cui il veicolo assume totalmente il controllo della guida dalla partenza all'arrivo in tutti i possibili casi d'applicazione, con tutti gli occupanti del veicolo come passeggeri. Non sarà più necessario un conducente e quindi nemmeno un dispositivo di sterzo o pedali. I veicoli nella circolazione stradale agiscono in modo indipendente, per cui saranno possibili corse a vuoto. A questo livello si aprono scenari di nuove possibilità di trasporto per persone a mobilità ridotta, come pensionati, disabili o bambini<sup>88</sup>.

Se lo sviluppo tecnologico dei VGA è già stato delineato, molto più incerte sono le tempistiche con cui si raggiungeranno tali livelli di autonomia. Ad oggi, solo alcune auto in commercio arrivano al livello 2, e non ci sono ancora previsioni attendibili riguardo la commercializzazione di veicoli autonomi di livello 3, 4 o 5<sup>89</sup>.

Prendendo una media approssimativa tra le diverse fonti, è previsto che i veicoli di livello SAE5 potrebbero essere disponibili entro il 2035-2040. Ulteriori previsioni più ottimistiche riducono questa scadenza di 5-10 anni, mentre altre la aumentano fino al 2075. Inoltre, l'adozione di politiche ad hoc ampiamente accettate potrebbero essere un compito molto più intricato dello sviluppo di tecnologie completamente affidabili (vedi paragrafo 3.3)<sup>90</sup>.

Nonostante le differenze tra marchi e modelli, l'architettura di base di un VGA di livello SAE5 è già stata delineata con caratteristiche specifiche hardware, software e di interfaccia uomo-macchina (Fig.21).



Figura 21: prototipi di veicoli di livello SAE5.

Fonte: <https://www.businessonline.it/articoli/dalla-guida-assistita-alla-guida-autonoma-i-5-livelli.html>

<sup>88</sup> Matthias Hartwig, "Self-driving and cooperative cars", 2019

<sup>89</sup> Margarita Martínez-Díaz, Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>90</sup> Ibid

### 3.1.1. Tecnologia utilizzata - Hardware

Le auto a guida autonoma fanno ricorso a una buona varietà di dispositivi che ne garantiscano il funzionamento e l'efficienza. Tali sistemi sono principalmente dedicati al monitoraggio dell'ambiente esterno, in modo da fornire più dati possibili al computer di bordo per effettuare le operazioni per far procedere il veicolo in sicurezza.

Si tratta di sistemi estremamente complessi, che sono ancora lontani dall'essere pronti per la produzione in grande serie, ma certamente lo saranno in un prossimo futuro<sup>91</sup>.

I sensori possono essere ampiamente suddivisi in due tipologie: corto raggio e medio/lungo raggio. I sensori a ultrasuoni, capacitivi o a infrarossi sono a corto raggio e la loro funzionalità e l'interpretazione dei loro segnali sono abbastanza semplici. Al contrario, i sensori a medio/lungo raggio pongono sfide significative, poiché ognuno di essi si comporta bene in alcune condizioni ma risulta sconsigliabile in altre. Ciò significa che i VGA devono essere dotati di diversi tipi di sensori, in modo che completino a vicenda le singole inefficienze, compensandole mediante la fusione dei dati.



Figura 22: Auto a guida autonoma di quinta generazione dell'azienda Waymo. Sono ben riconoscibili i numerosi sensori posti nei lati e sul tetto del veicolo.

Fonte: <https://waymo.com/>

I principali componenti hardware sono<sup>92</sup>:

- **Telecamere:** poste in punti strategici nel veicolo, possono essere panoramiche a 360°. L'obiettivo di questi dispositivi è quello di rilevare ostacoli durante il movimento dell'auto. Nei sistemi più avanzati, come quelli di Tesla, sono presenti fino a otto telecamere che lavorando all'unisono permettendo una visione completa dell'intero veicolo.
- **Radar e Sonar:** sfruttando le onde elettromagnetiche permettono di rilevare oggetti che potrebbero essere non rilevati dalle telecamere. Il radar, infatti, è un prezioso alleato delle telecamere per il controllo dell'ambiente circostante in quanto è in grado di superare vari fenomeni atmosferici come pioggia, neve, nebbia e altre condizioni climatiche avverse.

<sup>91</sup> <https://www.strumentazioneelettronica.it/tecnologie/wireless/verso-la-guida-autonoma-201912062449/>

<sup>92</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

- **LiDAR (Light Detector and Ranging):** Questo è forse lo strumento più importante per le auto a guida autonoma ed è un laser rotante, di media portata, con elevata precisione anche in condizioni climatiche avverse. Esso illumina i bersagli con luce laser pulsata e misura i tempi di riflessione per calcolare le distanze. Solitamente installato sul tettuccio dell'automobile (Fig.22), il Lidar è in grado di ricostruire lo spazio che circonda l'auto a guida autonoma sfruttando i tempi di ritorno delle onde sonore e fornire al pilota a intelligenza artificiale informazioni dettagliate sugli spazi di manovra, creando modelli 3D monocromatici degli oggetti scansionati (pedoni, bici, muri ecc).
- **Sensori a ultrasuoni:** sfruttano onde sonore con una frequenza abbastanza alta e rilevano la presenza di oggetti nelle immediate vicinanze del veicolo. Il principale limite di questa tecnologia è il raggio d'azione, difatti trovano la principale applicazione come ausilio alle manovre di parcheggio.
- **Geo-localizzatore (GNSS):** le VGA sfruttano il sistema di geo-localizzazione che permette di determinare la posizione precisa dell'automobile grazie al sensore GPS. I dati forniti dal GPS vengono comunque confrontati con una mappa digitale del luogo ottenuta grazie agli altri sensori.

### 3.1.2 Tecnologia utilizzata - Software

Le due componenti hardware, attraverso i sensori descritti precedentemente, e software lavorano in maniera complementare affinché un VGA sia in grado di operare correttamente in autonomia<sup>93</sup>. Possiamo applicare il parallelismo con il corpo umano, dove tutti gli stimoli provenienti dall'esterno sono trasmessi al cervello, che elabora le informazioni, e fornisce degli output di risposta. Allo stesso modo, è necessario che vi sia un "cervello" nelle auto, ovvero la componente software, che si occupi di ricevere gli input dai sensori, per poi rielaborarli e restituire come output qualunque tipo di funzione automatica prevista dal veicolo. L'immagine seguente (Fig.23), mostra un esempio di una mappa dinamica, con i vari layer, su cui il software presente nei VGA deve riconoscere ed interagire in autonomia rispetto a numerosi input, presenti lungo la strada.

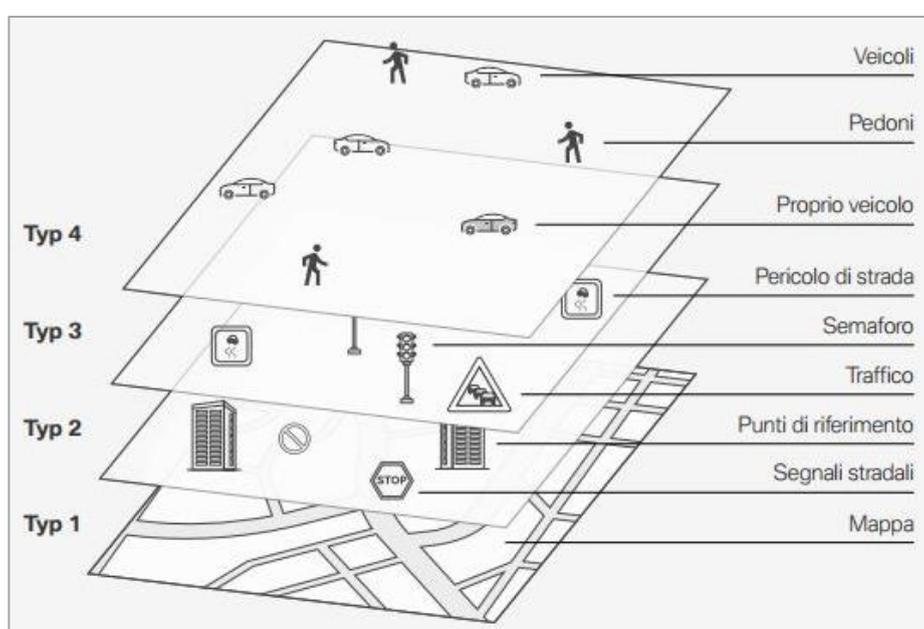


Figura 23: esempio di mappa dinamica locale con vari layer che il VGA deve considerare ed analizzare.

Fonte: Matthias Hartwig, "Self-driving and cooperative cars", 2019

Quindi, le componenti software hanno due responsabilità principali. In primo luogo, devono elaborare tutti i dati raccolti ed estrarre informazioni significative per interpretare l'ambiente, definendo la **percezione**<sup>94</sup>, e impostare di conseguenza la posizione relativa del veicolo. In secondo luogo, devono decidere le azioni successive del veicolo (componente di **decisione**)<sup>95</sup>.

Una volta che l'ambiente è stato riconosciuto e compreso, **decisioni** efficaci e sicure devono essere prese e trasmesse al sistema che agisce sul veicolo. Le parti principali di questo compito decisionale comprendono la previsione delle azioni, la pianificazione, la selezione dei percorsi e la prevenzione degli ostacoli. Il veicolo riproduce in una certa misura il processo decisionale

<sup>93</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>94</sup> La percezione è composta da tre parti: posizionamento, rilevamento e tracciamento. Tutte comportano la fusione dei dati provenienti dai diversi sensori con il supporto di mappe in alta definizione.

<sup>95</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

umano, anche se, il ragionamento umano è molto flessibile ed è in grado di adattarsi anche a condizioni caotiche o impreviste<sup>96</sup>.

Il passo successivo è la pianificazione e la selezione del percorso, ovvero l'elaborazione di piani di navigazione in tempo reale e in un ambiente mutevole e in movimento, che è probabilmente la parte più difficile. Infatti, compiti di percezione e decisione richiedono una piattaforma hardware molto potente e un sistema operativo estremamente avanzato, in cui devono essere soddisfatti due requisiti principali<sup>97</sup>:

- deve funzionare ed elaborare i dati in modo estremamente veloce per rispondere con decisioni in tempo reale;
- la sicurezza non può essere compromessa, anche in caso di guasto parziale o totale.

Il raggiungimento della sicurezza ed affidabilità del sistema di guida autonoma, tale da poterlo sfruttare senza particolari limiti su strada, si ottiene con milioni di chilometri di prova e con continue ricerche ed upgrade sia a livello software che hardware.

---

<sup>96</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>97</sup> Ibid

### 3.1.3 V2X: Auto connesse e infrastrutture intelligenti

Come anticipato, il mercato automobilistico sta avanzando verso una sempre maggiore digitalizzazione e connettività. In questi due ambiti è fondamentale sviluppare una connettività sicura e protetta in cui i veicoli siano in grado di comunicare tra loro, ma anche con i pedoni, le apparecchiature su strada ed Internet<sup>98</sup>.

Nell'era dell'*Internet of Things*, l'internet delle cose, che si intreccia con l'*Internet of Cars*, e grazie anche alla prossima diffusione dello standard 5G, il concetto di comunicazione sarà innalzato a nuovi livelli nel mondo dell'automotive, con le automobili in grado di dialogare autonomamente tra loro e con le infrastrutture<sup>99</sup>.

Quindi, le automobili assumeranno un ruolo più proattivo allertando i conducenti di potenziali collisioni con veicoli in arrivo, monitorando gli incroci, raccogliendo informazioni sul traffico in tempo reale, condividendo avvisi di incidenti ed emergenze con una risposta rapida e servizi paramedici. Anche dal punto di vista del servizio di trasporto pubblico, queste tecnologie permetteranno di efficientare ed ottimizzare sempre più le reti del TPL e rimodulare, in tempo reale, in base alla richiesta, la disponibilità di mezzi su una linea piuttosto che un'altra.

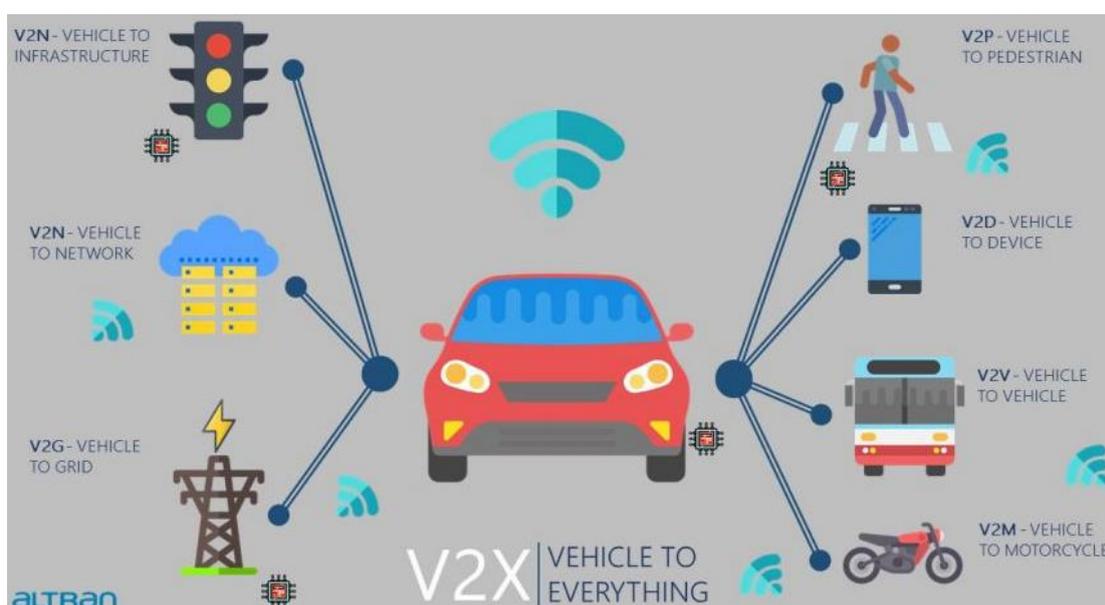


Figura 24: rappresentazione delle numerose possibilità di connessione e dialogo tra il veicolo e gli altri componenti ed utenti della strada.

Fonte: <https://www.altran.com/it/it/insight/5g-on-the-highway-to-v2x/>

Questi concetti si traducono nell'acronimo **V2X - Vehicle-to-Everything** (Fig.24) che aggrega molti acronimi differenti a seconda del tipo di interlocutore con cui il veicolo intende comunicare, quali<sup>100</sup>:

- **V2V (Vehicle to Vehicle) e V2M (Vehicle to Motorcycle)**: sistema di comunicazione che permette la comunicazione tra veicoli e si rivelerà utile per riferire in tempo reale, agli altri veicoli connessi, la presenza di eventuali pericoli o informazioni relative alle

<sup>98</sup> <https://www.altran.com/it/it/insight/5g-on-the-highway-to-v2x/>

<sup>99</sup> <https://www.autopromotec.com/it/Auto-connesse-5g/a355>

<sup>100</sup> <https://www.altran.com/it/it/insight/5g-on-the-highway-to-v2x/>

condizioni del traffico, in modo che gli stessi possano prendere in anticipo delle adeguate contromisure.

- **V2I (Vehicle to Infrastructure):** Le comunicazioni V2I sono essenziali per la gestione del traffico e il coordinamento degli VGA<sup>101</sup>. In primo luogo, i sistemi di sorveglianza installati sull'infrastruttura devono raccogliere dati globali e locali sullo stato del traffico, le condizioni della strada, il meteo, e numerose altre informazioni. Dopo che questi dati sono analizzati in tempo reale, essi alimentano i modelli di flusso di traffico sottostanti e vengono suggerite o imposte azioni specifiche a un particolare gruppo di veicoli. Attualmente, le indicazioni vengono comunicate tramite semafori o segnali a messaggio variabile, e il loro livello di realizzazione dipende dalle singole decisioni dei conducenti. Questa interazione tra l'infrastruttura e il veicolo cambierà radicalmente quando le informazioni fornite dall'infrastruttura saranno trasferite direttamente ai comandi del veicolo autonomo, sfruttando i sistemi di comunicazione wireless a corto raggio.
- **V2P (Vehicle to Pedestrian):** Sistema che permette la comunicazione tra i pedoni e i veicoli, avvisando entrambi in caso di possibile collisione. La collisione viene predetta dal sistema basandosi su informazioni, condivise dal pedone, come posizione, velocità e direzione del passante tramite i suoi dispositivi di comunicazione come smartphone, bastoni da passeggio smart, passeggini, navigatori e orologi smart<sup>102</sup>.
- **V2D (Vehicle to Device):** Sistema che permette lo scambio di informazioni tra il veicolo ed un qualunque dispositivo ad esso collegato, come può essere lo smartphone tramite delle app. Su tutti infatti, la connettività del veicolo con le app mobili ha il grande potenziale di offrire una migliore esperienza di guida, fornendo informazioni relative ai veicoli e alle infrastrutture circostanti e rendendo molto più semplice l'interazione tra l'auto e il conducente<sup>103</sup>.
- **V2G (Vehicle to Grid) e V2H (Vehicle to Home)**<sup>104</sup>: Sistema di comunicazione tra il veicolo elettrico e la rete di distribuzione elettrica nazionale, nel caso del V2G, e con la propria abitazione o condominio, nel caso del V2H.

Le automobili entreranno a far parte della rete elettrica come vere e proprie centrali elettriche mobili, in quanto saranno in grado sia di accumulare che di rimettere in rete l'energia elettrica, tutto a seconda dell'effettivo bisogno (Fig.25).

La necessità di bilanciamento della rete diventa sempre più necessaria con la diffusione della produzione da fonti rinnovabili quindi non programmabili e così l'arrivo dei veicoli elettrici potrà introdurre un ulteriore elemento di bilanciamento nella richiesta di potenza. Diventa così estremamente appetibile la gestione intelligente delle batterie delle auto quando si trovano connesse alla rete attraverso una wallbox di ricarica domestica, oppure la colonnina di ricarica aziendale o pubblica.

<sup>101</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>102</sup> <https://www.altran.com/it/it/insight/5g-on-the-highway-to-v2x/>

<sup>103</sup> <https://www.autoguide.com/auto-news/2014/03/top-10-mobile-apps-car-owners.html>

<sup>104</sup> <https://www.fabioecchini.it/vehicle-to-grid-come-funziona/>

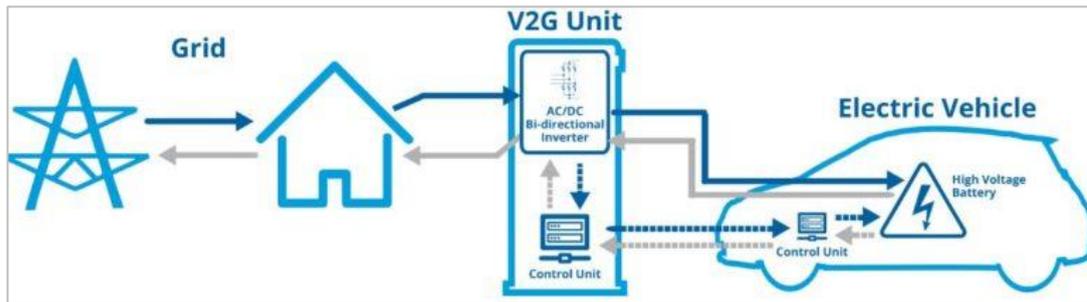


Figura 25: schema di funzionamento del sistema V2G.

Fonte: <https://www.fabioecchini.it/vehicle-to-grid-come-funziona/>

- **V2N (Vehicle to Network):** il sistema che collega i veicoli all'infrastruttura cellulare e al cloud in modo che i conducenti possano usufruire di servizi a bordo interattivi come aggiornamenti del traffico in tempo reale e streaming multimediale. Alcuni degli esempi più comuni, dell'applicazione di questa tecnologia, sono i veicoli che integrino funzioni di navigazione con aggiornamento in tempo reale del traffico, incidenti o posti di blocco grazie ad una sim presente a bordo del veicolo che permette la connessione al cloud oppure con la possibilità, in assenza della sim, di sincronizzarsi con gli smartphone e sfruttare così la loro connessione dati<sup>105</sup>.

<sup>105</sup> <https://www.geotab.com/blog/vehicle-to-infrastructure-communication/>

### 3.2 Previsioni di sviluppo e distribuzione dei VGA

Le tecnologie applicate nei VGA sono attualmente in fase di sviluppo e dovranno passare attraverso diversi step per diventare affidabili, convenienti e quindi, disponibili in commercio nella maggior parte dei mercati.

Pertanto, si può affermare che, come tutte le nuove tecnologie, anche quelle legate ai VGA, dovrebbero seguire generalmente una curva di sviluppo ad S, secondo la legge di Rogers<sup>106</sup> (Fig.26).

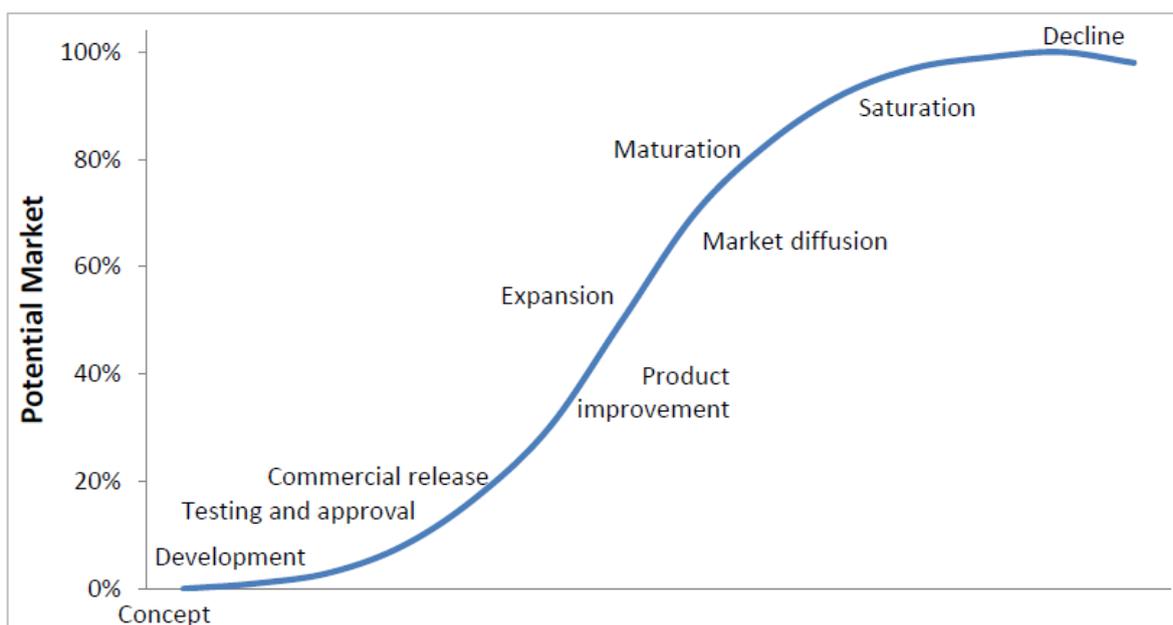


Figura 26: Schema di distribuzione prevedibile delle innovazioni, spesso chiamato *curva a S* secondo la legge di Rogers.

Fonte: <http://www.concept.by/blog/la-legge-di-rogers-per-l-adozione-delle-innovazioni-tecnologiche/#:~:text=La%20curva%20di%20Rogers%20di,aperti%20all'innovazione%20di%20altri.>

È evidente che da un concept iniziale vi siano numerosi step evolutivi, come le fasi iniziali di sviluppo e test, l'approvazione, il rilascio commerciale, il miglioramento del prodotto, l'espansione e diffusione nel mercato, la maturazione ed eventualmente la saturazione e infine, il declino.

Una volta che la tecnologia di livello cinque sarà pienamente funzionale e affidabile, sarà necessario un tempo supplementare per i test e l'approvazione normativa.

Poiché i veicoli automatici possono imporre costi esterni significativi, compresi i rischi di incidenti e i ritardi per gli altri utenti della strada, avranno standard di prova e di regolamentazione più elevati rispetto alla maggior parte delle altre innovazioni tecnologiche (ad esempio i personal computer e gli smartphone)<sup>107</sup>. Anche per questo, oltre alla complessità intrinseca dei vari sistemi, ci vorranno molti anni in più rispetto alle altre innovazioni tecnologiche per raggiungere un livello di maturazione tale da diffondersi sul territorio.

In condizioni ottimistiche i test e l'omologazione richiederanno solo pochi anni, ma la tecnologia potrebbe rivelarsi inaffidabile e pericolosa. Appare probabile che diverse giurisdizioni impongano

<sup>106</sup> Todd Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

<sup>107</sup> Ibid

test, approvazioni e regolamenti differenti, con conseguenti tassi di implementazione e diffusione non omogenei.

Importante ricordare come la gestione di un veicolo sulle strade pubbliche sia complessa a causa della frequenza delle interazioni con altri oggetti, spesso imprevedibili, come veicoli, pedoni, ciclisti, animali ecc. A causa di queste continue e imprevedibili interazioni, i veicoli autonomi richiederanno software addirittura più complessi di quelli presenti a bordo degli aerei, i quali devono “solamente” seguire una rotta, senza preoccuparsi di monitorare costantemente l’area circostante ed evitare ostacoli improvvisi (Fig.27)<sup>108</sup>.

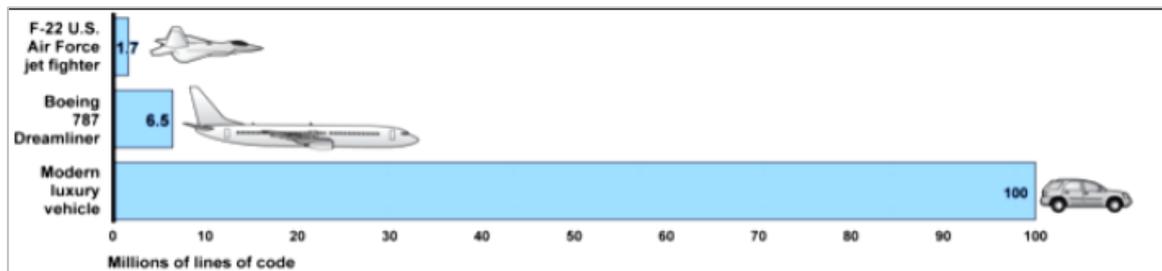


Figura 27: confronto tra la complessità del software aeronautico rispetto quello automobilistico.

Fonte: Todd Litman, “Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning”, Victoria Transport Policy Institute, 2020

Quindi, produrre e sviluppare un software di guida autonoma su strada è impegnativo e costoso, e garantire l’infallibilità è praticamente impossibile<sup>109</sup>.

Per raffinare la previsione di diffusione e sviluppo dei VGA, si possono comparare le precedenti implementazioni a livello tecnologico, sempre legate al mondo dell’automobile.

Ad esempio, la principale innovazione e vera capostipite del concetto attuale di automobile si può attribuire alla *Model T* dell’americana Ford, che iniziò la sua produzione nel 1908, dando il via alla **diffusione di massa** dell’automobile, grazie anche alla tecnica della catena di montaggio che permetteva di abbassare i costi produttivi<sup>110</sup>. La rapida diffusione, inizialmente negli USA, portò già negli anni '20 a congestionare il traffico cittadino, e negli anni '30 a presentare addirittura più veicoli che abitazioni<sup>111</sup>. Per decenni il sistema di trasporto è stato misto, con la maggior parte dei viaggiatori che, oltre all'automobile, si affidavano a una combinazione di mezzi, come la bicicletta e i trasporti pubblici. Solo dopo gli anni '80 la motorizzazione si è avvicinata alla saturazione, in quanto la maggior parte delle persone possedeva un veicolo individuale (Fig.28).

<sup>108</sup> Todd Litman, “Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning”, Victoria Transport Policy Institute, 2020

<sup>109</sup> Ibid

<sup>110</sup> <https://www.ford.it/mondo-ford/storia-henry-ford>

<sup>111</sup> Todd Litman, “Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning”, Victoria Transport Policy Institute, 2020

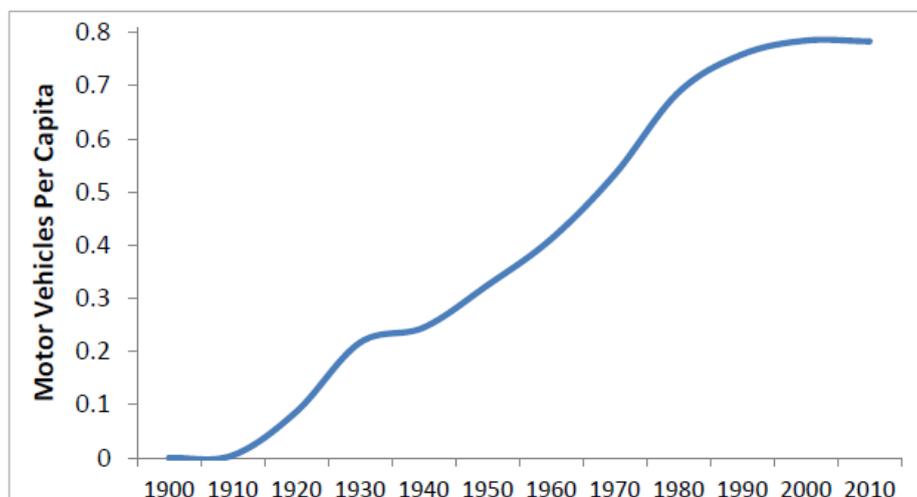


Figura 28: curva della diffusione di massa dell'automobile dal '900 fino ai giorni nostri.  
Fonte: Todd Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

Quindi, sebbene la produzione di automobili di massa sia iniziata nel 1908, con la Ford *Model T*, ci sono voluti decenni perché le automobili diventassero le modalità di viaggio dominanti. Solo negli anni '60 la maggior parte dei potenziali conducenti possedeva un veicolo personale, e solo dopo il 1980 si è arrivati alla saturazione del mercato. Quindi, dato che lo sviluppo tecnologico dei VGA è agli albori, e si preannuncia una rivoluzione importante nel sistema della mobilità e dei trasporti, si potrebbe fare un parallelismo con la *Model T* di Ford, che a suo tempo è stato il primo modello di automobile ad essere diffuso su larga scala dando il via ad una rivoluzione sociale, culturale, economica e politica nella società contemporanea.

Sulla base di quanto appena affermato, la Tabella 10 stima la percentuale di diffusione di veicoli automatici sulle vendite complessive, sul parco auto circolante e sui viaggi effettuati dagli utenti<sup>112</sup>. Si ipotizza come, la penetrazione nel mercato avvenga dal 2030, periodo in cui i veicoli di livello 5 potrebbero essere disponibili all'acquisto, ma con ovvi costi elevati e con dei limiti nelle prestazioni. A causa di queste limitazioni, nel corso del primo decennio considerato solo una minoranza di veicoli nuovi sarà completamente autonoma, con quote di mercato in aumento dovute dal conseguente calo dei prezzi, miglioramento delle prestazioni e aumento della fiducia dei consumatori.

Si ipotizza come, nel 2050 circa, la metà dei veicoli venduti e il 40% degli spostamenti potrebbe essere effettuato impiegando la guida autonoma. La saturazione del mercato richiederà verosimilmente diversi decenni e una parte degli automobilisti potrebbe continuare a scegliere veicoli "tradizionali" a causa dei costi minori di acquisto e di preferenze personali.

<sup>112</sup> Todd Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

Fasi di diffusione dei VGA	Decennio di diffusione	% sulle nuove vendite	% sul parco auto circolante	% di viaggi effettuati
Disponibili con un prezzo molto elevato	2030	2-5%	1-2%	1-4%
Disponibili con un prezzo moderato	2040	20-40%	10-20%	10-30%
Disponibili con un prezzo accessibile a molti	2050	40-60%	20-40%	30-50%
GA come funzione standard inclusa nella maggior parte dei veicoli nuovi	2060	80-100%	40-60%	50-80%
Saturazione del mercato e piena disponibilità per chiunque	2070	?	?	?
Funzione di GA necessaria per tutti i veicoli nuovi e operativi	?	100%	100%	100%
*GA = Guida Autonoma				

Tabella 10: stima dei tempi di introduzione e diffusione dei VGA nel mercato delle auto.

Fonte: elaborazione propria su dati Todd Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

Ovviamente, la tabella rappresenta soltanto delle stime future basandosi sull'attuale evoluzione delle tecnologie e delle sperimentazioni effettuate su strada. Pertanto, l'implementazione dei veicoli a guida autonoma potrebbe essere più lenta e meno completa delle previsioni più ottimistiche. Le innumerevoli sfide tecniche, politiche e sociali potrebbero impedire ai veicoli autonomi di essere completamente affidabili ed economici dal 2030 circa, dilatando in questo modo i tempi di diffusione oltre il 2040 o 2050. I loro costi potrebbero essere più elevati e i benefici minori del previsto. Importante è anche l'accettazione da parte dei consumatori che potrebbe essere ridotta da timori, preoccupazioni sulla privacy o dalla preferenza della guida tradizionale, con il risultato che una parte significativa dei viaggi dei veicoli rimarrà guidata dall'uomo anche dopo la saturazione del mercato<sup>113</sup>. Potrebbero quindi, verificarsi dei rallentamenti o accelerazioni alla diffusione dei VGA nei prossimi anni e probabilmente questa diffusione non sarà uguale in tutte le nazioni e continenti. Infatti, ad esempio, realtà come la Cina attualmente sono molto avanti nella sperimentazione su strada di mezzi autonomi e prevedono nei prossimi anni, (il governo cinese ha fissato il 2025 come anno-obiettivo), la produzione su larga scala di auto senza conducente<sup>114</sup>.

Se però non si considerano soltanto le automobili private, vi sono altri mezzi destinati ad essere automatizzati (ampiamente descritti successivamente), come ad esempio, flotte di minibus automatici per l'integrazione con il servizio di TPL o di robotaxi. Anche i servizi di mobilità condivisa emergenti, come il car sharing e il ride-hailing, in alcune situazioni stanno riducendo il possesso di veicoli e la domanda di parcheggi. Su questo il veicolo autonomo potrebbe accelerare queste tendenze, anche al di fuori delle dense aree urbane, aumentando l'accessibilità e la dipendenza dall'auto privata<sup>115</sup>.

<sup>113</sup> Todd Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

<sup>114</sup> [https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2020/02/24/news/auto\\_a\\_guida\\_autonoma\\_la\\_cina\\_punta\\_al\\_primato249470918/#:~:text=La%20Cina%20svela%20i%20suoi,di%20sistemi%20di%20automazione%20condizionale.&text=Entro%20il%202025%2C%20si%20legge,conducente%20prodotti%20secondo%20standard%20cinesi.](https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2020/02/24/news/auto_a_guida_autonoma_la_cina_punta_al_primato249470918/#:~:text=La%20Cina%20svela%20i%20suoi,di%20sistemi%20di%20automazione%20condizionale.&text=Entro%20il%202025%2C%20si%20legge,conducente%20prodotti%20secondo%20standard%20cinesi.)

<sup>115</sup> Todd Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

### 3.3. La legislazione dei VGA e le principali pratiche di sperimentazione



Figura 29: veicoli autonomi e connessi.

Fonte: <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20190110STO23102/auto-a-guida-autonoma-in-ue-dalla-fantascienza-alla-realta>

Lo sviluppo tecnologico nell'ambito della mobilità, ma non solo, negli ultimi decenni, ha visto un incremento esponenziale nell'utilizzo delle nuove tecnologie.

Basti pensare che verso la fine del XX secolo la diffusione della tecnologia relativa alle auto a guida autonoma era pressoché un'utopia, assimilabile, per certi aspetti, a quella delle "auto volanti", tanto decantate nei numerosi film di fantascienza del secolo scorso, ma recentemente, si è raggiunto un elevato livello di *know-how tecnologico* da poter farle diventare **realtà concrete** nei prossimi anni.

La crescita e l'affidabilità dei sistemi sono state esponenziali negli anni, ed hanno subito un'ulteriore accelerazione quando sono entrate in gioco prepotentemente le grandi multinazionali (come Google nel 2010<sup>116</sup>) investendo moltissime risorse economiche e quindi velocizzando la ricerca e l'innovazione in tale ambito.

Risulta quindi fondamentale, nel più breve tempo possibile, apporre alcune modifiche all'attuale sistema normativo, valutando tutti gli impatti della nuova tecnologia sul modello della responsabilità civile auto, oggi in vigore, al fine di garantire la conformità del quadro normativo rispetto a tali innovazioni, anche perché andranno sempre più stravolte le regole di base, come l'idea che sia un sistema automatico ad occuparsi della guida anziché il guidatore stesso.

Alcuni autori<sup>117</sup> ritengono che il problema della **responsabilità automobilistica** sia la questione più rilevante in relazione alle driverless car, in quanto potrebbe avere un forte "technology-chilling effect"<sup>118</sup>, come viene definito dagli stessi studiosi, ritardando la loro immissione sul

<sup>116</sup> <https://corriereinnovazione.corriere.it/cards/futuro-guida-autonoma-visione-stereo-creata-parma-silicon-valley/matrimonio-30-milioni.shtml>

<sup>117</sup> A. Bertolini, E. Palmerini, "Regulating robotics: A challenge for Europe, in EU Parliament, Workshop on Upcoming issues of EU law for the IURI Committee", Publications Office of the EU Parliament, Bruxelles, 2014

<sup>118</sup> In gergo anglosassone, il *chilling effect* è la riluttanza e la refrattarietà ad esercitare un proprio diritto per paura di sanzioni legali. Fonte: Enciclopedia Treccani

mercato. A questo si va ad aggiungere che ogni Paese imposta le proprie regole in base al proprio codice della strada, fatto che va ulteriormente a complicare una legalizzazione dei VGA<sup>119</sup>.

A livello mondiale, la situazione relativa ai veicoli a guida autonoma è ancora da ritenersi in fase embrionale, infatti non esiste ancora alcuna norma vera e propria che permetta un utilizzo integrale delle self-driving cars. Nonostante ciò, diversi Paesi hanno dato la propria approvazione a più compagnie per la sperimentazione delle stesse su strade pubbliche.

Tra questi, si contano vari Stati degli USA, tra cui Nevada, Florida e California; per l'Asia, invece, la Cina, Corea del Sud e Giappone, mentre per l'Europa i primi due Paesi ad essersi aperti a questa novità sono stati Regno Unito e Germania<sup>120</sup>.

---

<sup>119</sup> Alexander Hars, "Autonomous cars: The next revolution looms", 2010

<sup>120</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/401562/pathway-driverless-cars-summary.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/401562/pathway-driverless-cars-summary.pdf) (p.20-22)

### 3.3.1. L'Unione Europea

La strategia globale dell'UE, in merito alla guida autonoma, mira a promuovere la cooperazione tra UE, Stati membri, industria, partner sociali e società civile e a garantire che l'Unione colga le opportunità offerte dalla mobilità autonoma, prevenendo e attenuando quelle che saranno le nuove sfide che la società dovrà affrontare. Forte di una solida base industriale e del sostegno dell'ambizioso programma per la ricerca e l'innovazione e del quadro giuridico, l'Europa ha tutte le potenzialità per competere a livello globale<sup>121</sup>.

Quindi, l'UE deve affrontare numerose sfide legate alla guida autonoma. In primis, i veicoli senza pilota devono condividere le strade con le autovetture non automatizzate, con i pedoni, con i motociclisti e con i ciclisti, ed è quindi necessario sviluppare requisiti specifici sulla **sicurezza stradale** e armonizzare i codici stradali a livello europeo<sup>122</sup>. Inoltre, poiché nei veicoli senza guidatore il sistema autonomo sostituisce parzialmente o totalmente gli umani, le leggi europee sulla **responsabilità di guida** dovrebbero essere aggiornate in modo da chiarire chi è tenuto a rispondere in caso di incidente.

Non meno importanti sono le **questioni etiche** che rappresentano un argomento altrettanto importante nel settore della mobilità automatizzata. L'UE, a tal proposito, ha elaborato, nel 2018, delle linee guida e orientamenti etici per l'intelligenza artificiale (IA) affidabile<sup>123</sup>.

Un'IA affidabile si basa su **tre componenti** che dovrebbero essere presenti durante l'intero ciclo di vita del sistema, quali:

- **Legalità**, l'IA deve ottemperare a tutte le leggi e ai regolamenti applicabili;
- **Eticità**, l'IA deve assicurare l'adesione a principi e valori etici;
- **Robustezza**, dal punto di vista tecnico e sociale poiché, anche con le migliori intenzioni, i sistemi di IA possono causare danni non intenzionali.

Ciascuna componente in sé è necessaria, ma non sufficiente per realizzare un'IA affidabile perché, idealmente, le tre componenti operano armonicamente e si sovrappongono.

I presenti orientamenti definiscono il quadro di riferimento per realizzare un'IA affidabili e sono rivolti a tutti i portatori di interessi che intendono offrire qualcosa in più di un semplice elenco di principi etici, fornendo indicazioni su come tali principi possano essere resi operativi in sistemi sociotecnici.

A livello normativo, andando in ordine cronologico, con lo scopo di promuovere lo sviluppo di ITS (Sistemi Intelligenti di Trasporto) interoperabili ed armonizzati, la Commissione Europea (con la Comunicazione 886 del 16 dicembre 2008) ha pubblicato il *Piano di Azione per la diffusione di Sistemi di Trasporto Intelligenti in Europa (ITS Action Plan)*<sup>124</sup>. Obiettivo dell'ITS Action Plan è di creare le condizioni di tipo normativo, organizzativo, tecnologico e finanziario, atte a favorire il

<sup>121</sup> Commissione Europea, 2018, "Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Verso la mobilità automatizzata: una strategia dell'UE per la mobilità del futuro" (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0283&from=EN>)

<sup>122</sup> <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20190110STO23102/auto-a-guida-autonoma-in-ue-dalla-fantascienza-alla-realta>

<sup>123</sup> <Downloads/EthicsguidelinesfortrustworthyAI-ITpdf.pdf>

<sup>124</sup> [https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action\\_plan\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action_plan_en)

passaggio da una fase di applicazione limitata e frammentata ad una diffusione coordinata su vasta scala degli ITS su tutto il territorio europeo. Con l'ITS Action Plan la Commissione ha quindi posto le basi per "accelerare e coordinare la realizzazione di ITS nel trasporto stradale, comprendendo le interfacce con gli altri modi di trasporto", in una visione totalmente multimodale del sistema dei trasporti europeo, al fine di rendere l'Europa capace di affrontare le grandi sfide della mobilità globale.

Successivamente, il 7 luglio 2010, il Parlamento Europeo ed il Consiglio dell'Unione Europea hanno approvato la Direttiva **2010/40/UE**<sup>125</sup> sul quadro generale per la diffusione dei sistemi intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto. Obiettivo della Direttiva è quello di istituire un quadro a sostegno della diffusione e dell'utilizzo di sistemi di trasporto intelligenti coordinati e coerenti nell'Unione, in particolare attraverso le frontiere tra gli Stati membri, stabilendo le condizioni generali necessarie a tale scopo.

La Direttiva 2010/40/UE è quindi, di fatto, l'atto legislativo che concretizza le azioni previste dall'ITS Action Plan inserendole nelle agende politiche degli Stati Membri. Sulla base dell'ITS Action Plan, la Direttiva individua quattro settori prioritari per gli ITS:

- I. uso ottimale dei dati relativi alle strade, al traffico e alla mobilità;
- II. continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e del trasporto merci;
- III. applicazioni ITS per la sicurezza stradale e per la sicurezza del trasporto;
- IV. collegamento tra i veicoli e l'infrastruttura di trasporto.

### **Progetti di ricerca europei**

L'Unione Europea, attraverso i finanziamenti, ha già una consolidata esperienza sulla ricerca nel campo dei VGA con numerosi progetti avviati, conclusi e in fase di realizzazione; i primi avviati avviati già 15 anni fa<sup>126</sup> (Fig.27). Attualmente, i finanziamenti sono convogliati nel Programma Horizon 2020, il più grande programma di ricerca e innovazione dell'UE con quasi 80 miliardi di euro di finanziamenti disponibili nel periodo dal 2014 al 2020, con il lancio nel 2016 nell'ambito del Programma Trasporti di un bando specifico su "Automated Road Transport" (ART), che dovrebbe continuare anche negli anni seguenti la conclusione del programma.

Nell'immagine seguente, il quadro raccoglie i progetti europei in quattro campi di ricerca: Reti e sfide, Connettività e comunicazione, sistemi di assistenza alla guida e sistemi di trasporto urbano altamente automatizzati.

---

<sup>125</sup> <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:207:0001:0013:IT:PDF>

<sup>126</sup> ERTRAC Working Group "Connectivity and Automated Driving", "Automated Driving Roadmap - Status: final for publication", 2017 ([https://www.ertrac.org/uploads/images/ERTRAC\\_Automated\\_Driving\\_2017.pdf](https://www.ertrac.org/uploads/images/ERTRAC_Automated_Driving_2017.pdf))

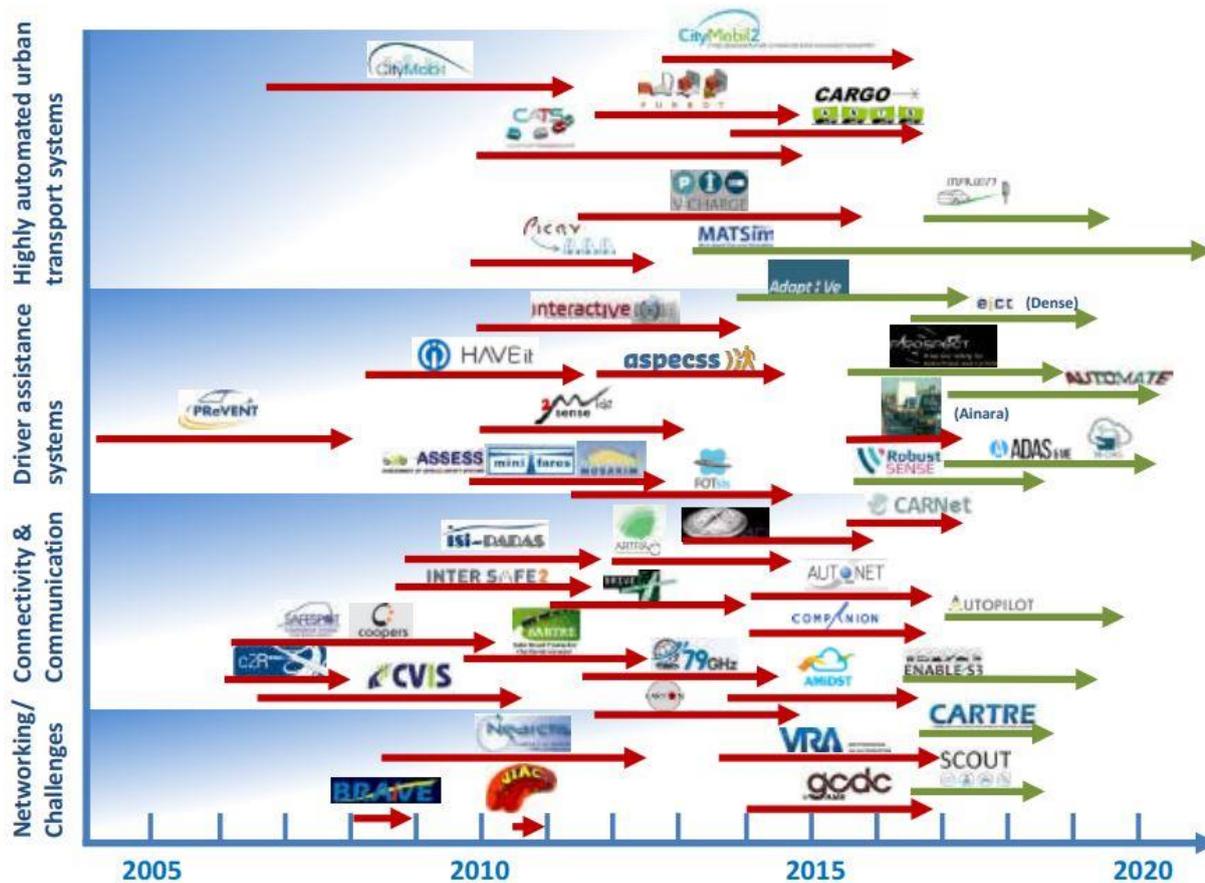


Figura 30: Panoramica, al 2020, dei progetti finanziati dall'UE che sostengono lo sviluppo della guida automatica. In rosso le frecce indicano progetti completati, invece in verde i progetti ancora in corso nel 2017 – Aggiornato al 2017.  
Fonte: [https://www.ertrac.org/uploads/images/ERTRAC\\_Automated\\_Driving\\_2017.pdf](https://www.ertrac.org/uploads/images/ERTRAC_Automated_Driving_2017.pdf)

Attualmente, numerosi progetti finanziati dal programma Horizon2020 sono in fase di realizzazione e si concluderanno anche oltre la scadenza del 2020.

### 3.3.2. L'Italia

In Italia, spesso, non vi è la velocità, presente in altri Paesi europei, di effettuare degli aggiornamenti a livello legislativo verso nuove necessità e innovazioni, come potrebbe essere quella della guida autonoma appunto. Per far un esempio su tutti, relativo ad un altro ambito, è quello della mancata riforma concreta in campo dell'urbanistica, ferma alla prima legge fondamentale dell'urbanistica del 1942 (L.1150/1942)<sup>127</sup>.

Una parziale svolta legislativa è avvenuta il **28 febbraio 2018 con il D.M. numero 70 - Modalità attuative e strumenti operativi della sperimentazione su strada delle soluzioni di Smart Road e di guida connessa e automatica**<sup>128</sup>.



Figura 31: logo "smart road".

Fonte: <http://www.mit.gov.it/>

Il decreto di fatto apre alla possibilità di avviare la sperimentazione dei veicoli a guida autonoma sul territorio nazionale e istituisce l'*Osservatorio tecnico di supporto per le Smart Road e per il veicolo connesso e a guida automatica* all'articolo 20 del D.M. .

L'Osservatorio svolgerà molteplici compiti istituzionali tra i quali garantire, da una parte, il coordinamento nazionale tra le diverse iniziative locali presenti e future in ambito smart road e sperimentazione su strada di veicoli a guida automatica e, dall'altra, la promozione ed il supporto di studi, ricerche e approfondimenti, con particolare attenzione al tema "sicurezza" e potrà avvalersi di ulteriori soggetti interni ed esterni al Ministero di comprovata professionalità ed esperienza, senza alcun onere per l'Amministrazione<sup>129</sup>.

Il 7 maggio 2019, a distanza di poco più di un anno dalla costituzione del decreto, è stata rilasciata dal MIT<sup>130</sup> la prima autorizzazione alla sperimentazione su strada pubblica del primo veicolo a guida autonoma in Italia. Con questo atto formale si dà ufficialmente avvio alle sperimentazioni di veicoli automatici su strada pubblica in Italia (nel dettaglio l'autorizzazione è stata rilasciata alla VisLab S.r.l., Società italiana controllata dalla californiana Ambarella Inc<sup>131</sup> – Fig.29).

<sup>127</sup> Il discorso sulla riforma urbanistica non è per nulla scontato e semplice. Tra tanti fattori, la fragilità a livello politico delle varie legislature succedute negli anni, ha favorito questa situazione.

<sup>128</sup> <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/04/18/18A02619/sg>

<sup>129</sup> <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/smart-road-smart-mobility-mezzi-stradali/mit-operativo-osservatorio-tecnico-di-supporto-per>

<sup>130</sup> Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

<sup>131</sup> <https://vislab.it/>



Figura 32: Auto a guida autonoma dell'azienda VisLab S.r.l.

Fonte: <https://vislab.it/>

La sperimentazione riguarderà l'ambito urbano e l'ultimo miglio tipo D, E, F di precisi tratti stradali nelle città di Torino e Parma, nel rispetto di tutte le prescrizioni dettate dal gestore delle strade stesse e in presenza di un supervisore in grado di commutare tra operatività automatica e manuale del veicolo, in modo da garantire in ogni circostanza il rispetto massimo della sicurezza<sup>132</sup>.

La domanda da presentare, secondo il decreto, per poter iniziare la sperimentazione su strada presenta dei **vincoli**, in quanto sono esclusi momentaneamente dalla sperimentazione tutti i veicoli nativi autonomi (come shuttle, minibus ecc), e quindi viene limitato fortemente chi è in possesso di un VGA proprio di fare sperimentazioni su strada.

Su questo tema, è prevista una modifica al D.M. 70/2018, firmato dall'allora Ministro Delrio. Infatti, l'attuale ministro dell'Innovazione Paola Pisano, ex assessore all'Innovazione del Comune di Torino, afferma, in un'intervista di dicembre 2019, che "Stiamo collaborando con il Ministero dei Trasporti per cercare di modificarlo. Ad oggi solo un'azienda, Vislab, ha fatto domanda per i test dell'auto a guida autonoma. Il che significa che non ha funzionato: se in un anno solo un'azienda fa domanda per le sperimentazioni c'è qualcosa che non va. Stiamo rivedendo il decreto smart road e stiamo lavorando in sinergia con l'osservatorio perché la mobilità innovativa è uno dei nostri temi e ha per noi, estrema importanza"<sup>133</sup>.

<sup>132</sup> <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/smart-road/smart-road-da-mit-prima-autorizzazione-guida-autonoma-su-strada>

<sup>133</sup> <https://www.economyup.it/innovazione/paola-pisano-ministro-per-linnovazione-quel-che-resta-del-2019-e-da-dove-ripartire-nel-2020/>

### 3.3.3. Altri Paesi: Gli Stati Uniti, Gran Bretagna e Germania

- Gli Stati Uniti: sono stati i primi ad affrontare la questione della legalizzazione dei VGA. Infatti, è nello Stato del Nevada, in cui il Parlamento, nel giugno 2011, approvò una legge che autorizzava l'utilizzo di tali veicoli su strade pubbliche (legge entrata in vigore a partire dal 1° marzo 2012)<sup>134</sup>. Il Nevada divenne così la prima giurisdizione al mondo in cui le automobili a guida autonoma potevano essere utilizzate legalmente su strade pubbliche grazie anche al ruolo fondamentale giocato da Google, in quanto interessata ad eventuali test su strada della sua self-driving car Waymo (allora ancora Google Self-Driving Car Project) (Fig.30).



Figura 33: Primo prototipo di self-driving car di Waymo.

Fonte: <https://waymo.com/>

- Il Regno Unito: la prima autorizzazione ad essere stata rilasciata in tutta Europa è stata per mano del governo inglese, che dal 2013 ha dato la possibilità solo alle aziende, non al pubblico, di testare su strada le loro vetture predisposte per la guida automatica. Successivamente, a partire da gennaio 2015, il Governo inglese ha stabilito come fosse legale, per i veicoli autonomi, operare su qualsiasi strada pubblica senza la necessità di chiedere il permesso a un operatore di rete, così da poter effettuare test reali in diverse città<sup>135</sup>.

Attualmente è in fase di discussione la messa a punto di una serie di linee guida che i costruttori dovrebbero rispettare nello sviluppo di sistemi di guida automatizzata, in caso di eventuali problemi dei sistemi di guida del veicolo o di salute dei passeggeri a bordo<sup>136</sup>.

- La Germania: è stato uno tra i primi stati membri dell'Unione Europea ad aver aperto la strada alla gigantesca industria automobilistica per sviluppare e testare auto a guida autonoma con l'approvazione di uno specifico disegno di legge, proposto per la prima volta nel 2016<sup>137</sup>.

<sup>134</sup> <https://www.lastampa.it/motori/attualita/2018/02/01/news/le-auto-senza-guidatore-possono-circolare-in-italia-1.33974846>

<sup>135</sup> <https://www.gov.uk/government/publications/driverless-cars-in-the-uk-a-regulatory-review>

<sup>136</sup> <https://www.lastampa.it/motori/tecnologia/2019/09/24/news/guida-autonoma-dalla-gran-bretagna-la-proposta-un-angelo-custode-che-accosti-in-caso-di-pericolo-1.37505173>

<sup>137</sup> <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2017/kw13-de-automatisiertes-fahren-499928>

Ma la vera svolta si è avuta nel maggio 2017 con l'approvazione, da parte del Parlamento Federale Tedesco, della Legge che apporta modifiche significative al vigente Codice della Strada ammettendo la circolazione dei veicoli a guida automatica o semiautomatica sulle strade tedesche, a condizione che siano rispettati determinati requisiti e predisposte specifiche garanzie.

Innanzitutto, al volante deve essere sempre presente un automobilista, in possesso della patente di guida, al quale rimane in ogni caso la responsabilità ultima della conduzione del veicolo.

L'automobilista può quindi, in determinate situazioni, affidare la guida al sistema automatico, togliere le mani dal volante ed eseguire semplici operazioni mentre il veicolo sterza o frena autonomamente; ma deve essere pronto a riprenderne pieno controllo quando il sistema stesso lo esorti in tal senso o quando riconosca, che non sussistono più le condizioni per utilizzare le funzioni di guida automatica o semiautomatica in maniera conforme a quanto legislativamente previsto.

Le nuove normative tedesche comprendono anche direttive per poter stabilire come assegnare la colpa in caso di incidenti.

A tal fine, infatti, la legislazione contiene previsioni relative all'installazione della scatola nera su tutti i veicoli e alla registrazione dei relativi dati, per poter captare in qualsiasi momento del viaggio se è l'uomo o il computer ad avere il controllo del veicolo così da determinare la responsabilità legale, del costruttore o del conducente, per un eventuale incidente verificatosi.

### 3.4 VGA e Costante di Marchetti

Come anticipato precedentemente (vedi cap.2), i tre idealtipi di città sono legati alla modalità di trasporto prevalente utilizzata dalla popolazione determinando, conseguentemente, la dimensione urbana. L'espansione delle città dipende anche dal livello di sviluppo tecnologico che permette di spostarsi più rapidamente dal punto A al punto B, con l'utilizzo di mezzi sempre più veloci e performanti. Quindi una sfida derivante l'introduzione dei VGA potrebbe essere quella di capire se questa costante verrà ancora rispettata, oppure se cambieranno i tempi medi di spostamento, dato che a bordo si potranno svolgere attività che ora non sono possibili.

Ma l'espansione delle città non è illimitata e, secondo il fisico Cesare Marchetti<sup>138</sup>, le città crescono fino a diventare "**larghe circa un'ora**" in base alla velocità con cui le persone possono muoversi al loro interno. Se vanno oltre, cominciano ad essere disfunzionali e quindi devono modificare le loro infrastrutture e l'uso del territorio per adattarsi nuovamente a questo principio fondamentale.

Infatti, con la *Costante di Marchetti*, il fisico italiano ha dimostrato come gli spostamenti personali siano regolati molto più da **istinti di base**, piuttosto che da ragionamenti economici.

Di fatto, l'essere umano viene considerato come un animale territoriale, guidato dall'istinto di base di espandere il proprio territorio ottenendo così maggiori risorse e opportunità.

Sfruttare un territorio vasto però richiede lo sforzo fisico di muoversi su grandi distanze, all'aperto e sotto la possibile minaccia di nemici e predatori. Così, per l'uomo pretecnologico, un equilibrio può essere raggiunto regolando un singolo parametro: il **tempo medio di viaggio al giorno** in modo da poter ritornare alla base per la notte.

Questo principio si può applicare a tutti gli insediamenti di tutte le epoche, dalle città pedonali, con un diametro dei nuclei interni di circa 5 km (come nel centro storico di Venezia), alle città moderne, che contengono tutti e tre i tessuti urbani (Fig.31), dove il "raggio giornaliero" dipende dalla velocità del mezzo di trasporto utilizzato.

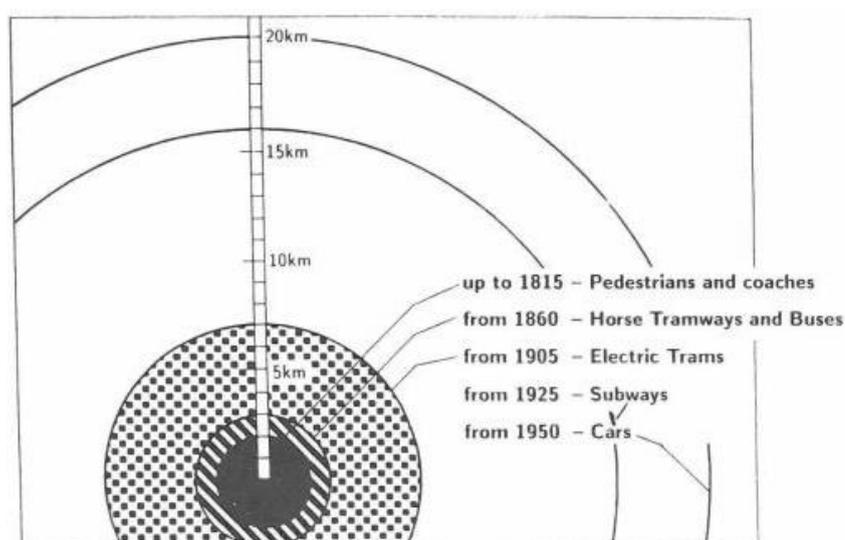


Figura 34: Dimensione della città relazionata alla velocità dei trasporti: Il caso di Berlino.

Fonte: Cesare Marchetti, "Anthropological Invariants in Travel Behaviour", 1994

<sup>138</sup> Cesare Marchetti, "Anthropological Invariants in Travel Behaviour", International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, 1994

Infatti, come si può osservare dall'immagine 31, il raggio di espansione della città aumenta con l'introduzione di mezzi di trasporto più veloci ed efficienti, passando, dal 1815, con un raggio minimo di circa 5km, in cui non erano utilizzati mezzi di trasporto motorizzati, arrivando, al 1950, con un raggio di 20km e più, con la diffusione dell'automobile privata.

La conclusione empirica, ottenuta dalla media dell'intero anno, è che in tutto il mondo il **tempo medio di esposizione** dell'uomo è di **circa un'ora al giorno**<sup>139</sup>.

Insomma, secondo quanto espresso dalla Costante di Marchetti, anche con l'introduzione di nuove tecnologie, non si modificherà il tempo, ma lo spazio, con tutto ciò che dal punto di vista urbanistico potrà derivarne.

Questa teoria, però, non è detto che si possa applicare in toto anche successivamente all'introduzione dei VGA, in quanto con essi, non si modifica la velocità dello spostamento ma l'uso che posso fare del tempo durante lo spostamento. Probabilmente, non sarà più un'ora al giorno di puro spostamento, ma un'ora in cui il passeggero può leggere, lavorare e svolgere altre attività che normalmente non potrebbe fare. Quindi, i lavoratori potranno anche risiedere in una località più distante dal luogo di lavoro e lavorare durante il viaggio in modalità smart working. Infatti, una problematica conseguente, non irrilevante, è quella che vede nello sprawl urbano uno dei rischi maggiori derivanti la diffusione dei VGA.

Un esempio concreto ed eclatante riguarda il progetto Hyperloop<sup>140</sup>, finanziato dall'imprenditore e inventore sudafricano Elon Musk. Il progetto consiste in un sistema di trasporto di passeggeri e merci che preveda l'utilizzo di una tecnologia di levitazione magnetica passiva che permette il raggiungimento di altissime velocità, intorno ai 1200 km/h, e che permetterà quindi di percorrere 560 chilometri in soli 35 minuti.

Non è un caso che, fin dal primo progetto, siano previsti percorsi proprio di **30-35 minuti** (Fig.32), come da Los Angeles a Las Vegas o da New York a Washington (ma anche Milano-Roma)<sup>141</sup>.

Questo esempio, a supporto della teoria, conferma di come le innovazioni tecnologiche non modifichino il tempo degli spostamenti ma cambino le distanze percorse in quel lasso di tempo.

---

<sup>139</sup> Cesare Marchetti, "Anthropological Invariants in Travel Behaviour", International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, 1994

<sup>140</sup> <https://hyperloop-one.com/>

<sup>141</sup> <http://corriereinnovazione.corriere.it/2017/08/15/ecco-perche-auto-senza-pilota-treni-iperveloci-non-ci-faranno-risparmiare-tempo-andare-lavoro-5e3eee64-81af-11e7-9831-672d22e52341.shtml>

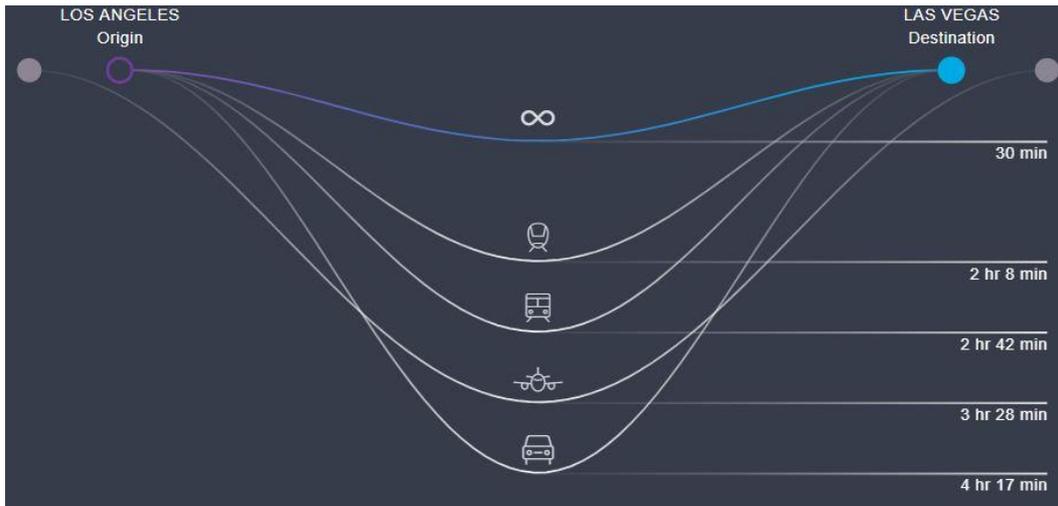


Figura 35: confronto fra i tempi di percorrenza previsti con Hyperloop e altri mezzi di trasporto nella tratta che va da Los Angeles a Las Vegas.

Fonte: <https://hyperloop-one.com/route-estimator/>

### 3.5 Possibili scenari di diffusione e relativi impatti territoriali dei VGA

Come descritto nel capitolo precedente, il legame tra l'uso del territorio e il sistema dei trasporti è indiscutibile, per questo, dalla metà del 900', portando ad una sempre maggiore crescita ed espansione delle città, i trasporti, sia pubblici che privati, sono diventati una parte fondamentale della vita umana, incidendo su tutti i suoi aspetti come il lavoro, il tempo libero, l'istruzione ed i servizi.

Le città si espandono anche a causa dell'effetto combinato di un crescente benessere delle persone che vi abitano, di un cambiamento degli stili di vita e di una riduzione dei costi di trasporto che consente, ad esempio, di vivere più lontano dal luogo di lavoro<sup>142</sup>.

Pertanto, l'introduzione delle VGA negli ambienti urbani deve essere pianificata in una prospettiva globale, dato che diversi studi prevedono che, entro il 2040, appariranno sistemi di trasporto completamente autonomi nelle più grandi città del mondo<sup>143</sup> e, quindi, le città dovranno affrontare l'introduzione dei VGA che porteranno ad un cambiamento non solo nelle modalità di spostamento, ma anche nella pianificazione e gestione degli spazi urbani.

In questo approccio globale, occorre considerare le densità, le forme urbane e gli usi del territorio, in modo che i nuovi modelli di mobilità derivanti dall'automazione dei veicoli forniscano l'accessibilità desiderata, promuovendo al contempo un uso sostenibile del territorio<sup>144</sup>.

La tecnologia delle auto a guida autonoma modificherà l'ambiente urbano e questi cambiamenti saranno irreversibili<sup>145</sup>, ed ecco perché risulta importante avere un'idea delle conseguenze della sua applicazione, per evitare sviluppi negativi e cercare di ottenere il massimo beneficio dall'introduzione di questi mezzi.

Come tutte le tecnologie innovative, anche i veicoli automatizzati hanno sia vantaggi che svantaggi derivanti dal loro utilizzo e diffusione<sup>146</sup>.



I principali **vantaggi** includono l'aumento dell'accessibilità per tutte le fasce di popolazione (dai giovani agli anziani ai disabili), l'accesso alle aree delle città che attualmente non sono servite dal trasporto pubblico e l'aumento della sicurezza degli spostamenti per tutti gli utenti della strada.

Si prevede che l'introduzione diffusa di auto a guida autonoma ridurrà il tempo di percorrenza, grazie ad una velocità di spostamento uniforme di tutti gli utenti della strada con un passaggio più veloce degli incroci (grazie al coordinamento tra i veicoli con le tecnologie V2X) ed una selezione automatizzata del percorso ottimale utilizzando le tecnologie in cloud. Inoltre, l'introduzione della tecnologia a guida autonoma combinata con l'uso delle auto elettriche ridurrà significativamente la quantità di emissioni tossiche nell'atmosfera delle città.

<sup>142</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>143</sup> E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

<sup>144</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>145</sup> Ibid

<sup>146</sup> E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

I VGA porteranno ad una riduzione della domanda di parcheggi nelle città, non solo perché il parco veicoli diminuirà, ma anche perché gli spazi destinati a parcheggio potrebbero essere spostati nelle aree più periferiche. Poiché la presenza umana nelle aree di parcheggio sarà trascurabile e non considerata, anche la loro configurazione potrebbe cambiare, alla ricerca di una migliore ottimizzazione dello spazio a disposizione<sup>147</sup> (Fig. 33).

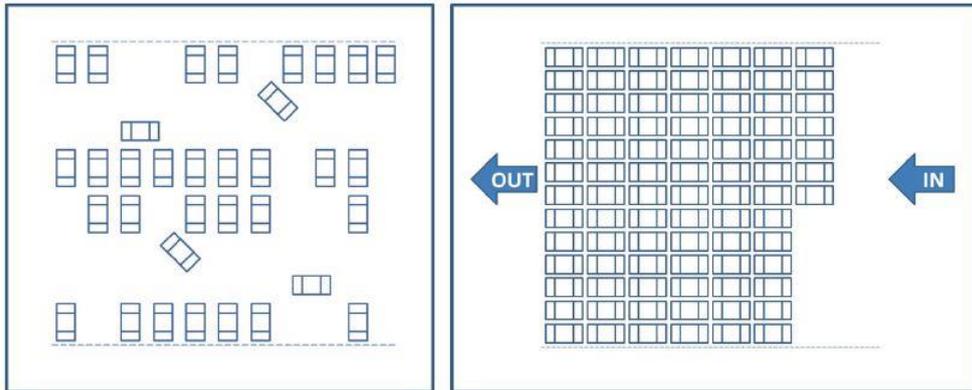


Figura 36: esempio di ottimizzazione degli spazi confrontando un parcheggio tradizionale (a sinistra) e uno destinato a VGA (a destra).

Fonte: Adriano Alessandrini, Paolo Delle Site, Andrea Campagna, Francesco Filippi, "Automated Vehicles and the Rethinking of Mobility and Cities", 2015



Per quanto concerne gli **svantaggi**, in primo luogo, vi è la possibilità, data da una distribuzione capillare di auto a guida automatica e l'accesso ad esse da parte di una più ampia fascia di popolazione, di rafforzare l'attuale tendenza alla proliferazione ed espansione delle città. Se le auto autonome risulteranno essere principalmente di proprietà privata, il conseguente aumento del traffico stradale annullerà il risparmio di tempo descritto in precedenza, negli aspetti positivi. Un ulteriore impatto negativo è quello sulla salute umana dovuto ad uno stile di vita sedentario, in cui, la priorità di utilizzo per gli spostamenti sarà data alla guida di un'auto piuttosto che andare a piedi o usare una bicicletta per i brevi spostamenti.

<sup>147</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

### 3.5.1 Possibili scenari di diffusione

Non considerando gli ostacoli che potrebbero rallentare la diffusione dei VGA, sia a livello economico, dato un elevato costo d'acquisto iniziale (almeno nei primi anni di diffusione), che sociale, per ovvie questioni di sicurezza e di regolamentazione, attualmente vi sono diversi scenari riguardanti l'introduzione del trasporto automatizzato e, a seconda della forma di proprietà, ne esistono due principali, quali<sup>148</sup>:

- **proprietà privata** del veicolo;
- **proprietà pubblica** di flotte di auto e mezzi autonomi.

Nel primo scenario<sup>149</sup>, in cui le auto saranno ancora di proprietà privata, non si prevedono grandi cambiamenti. Infatti, in una casa privata, dove un posto auto si trova solitamente adiacente all'abitazione, un'auto normale viene semplicemente sostituita da un'auto che si guida da sola. Nelle aree a maggiore densità abitativa, si può ipotizzare che durante la costruzione di un condominio con più piani, piuttosto che al parcheggio sotterraneo integrato, saranno costruiti grandi garage indipendenti localizzati in luoghi più esterni ed accessibili, anche perché sarà possibile chiamare l'auto direttamente da casa, attraverso un'applicazione sullo smartphone.

Nel secondo scenario<sup>150</sup> invece, appare un nuovo tipo di mobilità, sia legato all'uso di un sistema di robotaxi e minibus autonomi sia all'uso del TPL.

I taxi autonomi possono essere considerati come la logica continuazione del sistema di car sharing, già esistente nelle città. Infatti, questi taxi non operano su determinati orari o percorsi, ma sono concentrati sulla domanda, in modo da risultare più diffusi ed efficienti rispetto ad una comune linea di trasporto pubblico.

Il sistema di trasporto pubblico, integrandosi con la possibilità d'uso combinato con i robotaxi o i minibus automatizzati, potrà andare a risolvere il problema della copertura dell'ultimo miglio<sup>151</sup>. Infatti, il trasporto pubblico sposterà i passeggeri, su lunghe distanze, verso un hub, dove un robotaxi o minibus preleveranno e consegneranno a destinazione i passeggeri. Tutto questo potrà portare ad una trasformazione radicale del sistema di trasporto pubblico.

L'impatto sull'ambiente urbano, derivante la diffusione ed utilizzo dei mezzi autonomi, sarà significativo<sup>152</sup>. Infatti, sarà necessario ripensare completamente le aree pubbliche e quelle destinate a parcheggi, in quanto vi sarà sempre meno necessità nelle aree centrali o residenziali. I parcheggi adiacenti alle case potranno essere riconvertiti in ulteriori spazi privati o in altri percorsi pedonali o piste ciclabili. Nelle immagini d'esempio (Fig. 34), si può osservare come

<sup>148</sup> Isaac L, "Driving Towards Driverless: A Guide for Government Agencies", New York City: WSP Parsons Brinckerhoff, 2015

<sup>149</sup> E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

<sup>150</sup> Ibid

<sup>151</sup> Non vengono considerate le opportunità offerte dalla micromobilità, intesa come scooter-car-monopattini in sharing, solo perché si fa riferimento a veicoli a guida autonoma.

<sup>152</sup> E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

l'eliminazione del box privato possa favorire l'ampliamento della cubatura dell'abitazione, dove concesso, portando così ad un miglior sfruttamento del lotto edificabile.

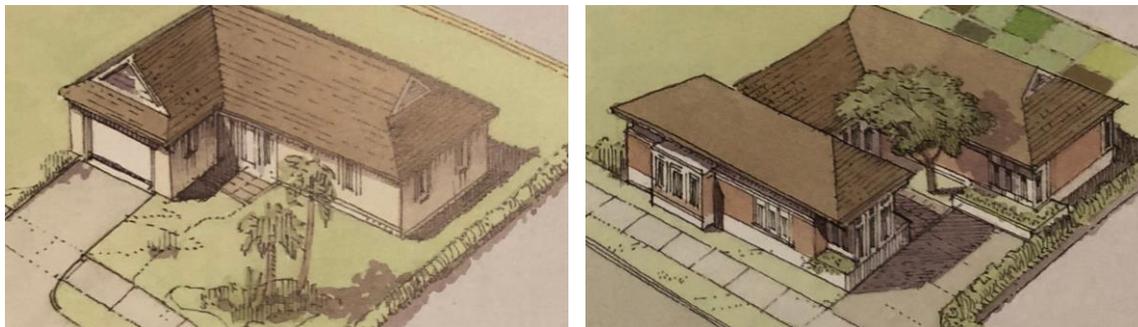


Figura 37: a sinistra, una classica villa unifamiliare americana posta in una zona periferica. A destra, la stessa villa ma con un ampliamento di cubatura reso possibile dall'assenza del box auto, favorendo così l'aumento della densità urbana. Fonte: Galina Tachieva, "Sprawl Repair Manual", 2010

Una situazione simile, a quella prevista con gli edifici privati, potrebbe verificarsi con gli edifici pubblici. Il parcheggio esisterà ancora ma sarà ripensato come stazione di ricarica per i veicoli e collocato in un'area limitrofa all'edificio, senza però allontanarsi troppo, evitando così di far aumentare eccessivamente i chilometri percorsi dalle auto per tornare dalla destinazione al parcheggio e poi ritornare a prendere il passeggero per riportarlo a casa.

Comune ad entrambi gli scenari è l'impatto sull'urbanizzazione del territorio e sulle infrastrutture stradali. Si prevede<sup>153</sup> che, con l'avvento dell'auto autonoma, l'interesse per le aree residenziali suburbane aumenterà. I veicoli autonomi daranno maggiore accesso ad aree esterne, aventi prezzi di mercato più bassi per le abitazioni, ma essendo lontane dal centro, e questo potrà portare all'incremento dello sprawl urbano. Inoltre, le aree rurali ben collegate, acquisiranno accessibilità in un ambiente di guida automatizzato<sup>154</sup>. Anche in questo caso, gli effetti positivi dell'automazione sul territorio sono soggetti a modelli di mobilità più sostenibili, in cui soprattutto i proprietari privati e le aziende dovrebbero puntare a condividere i veicoli in modo da ottenere un utilizzo del mezzo più elevato.

<sup>153</sup> E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

<sup>154</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

### 3.5.2. Impatti territoriali

Si possono evidenziare tre gruppi principali di influenza dei VGA sulla forma urbana<sup>155</sup>:

1. Impatto sull'urbanizzazione;
2. Impatto sulle infrastrutture stradali;
3. Impatto a livello locale.

Il primo gruppo comprende i fattori che influenzano la **struttura della città**. Come si può osservare dall'immagine sottostante (Fig.35), l'introduzione dei veicoli autonomi può portare ad un'espansione urbana e ad una minore densità di edifici ma, d'altra parte, può consentire un aumento dell'accessibilità di alcune aree precedentemente poco accessibili (frecche rosse in figura).

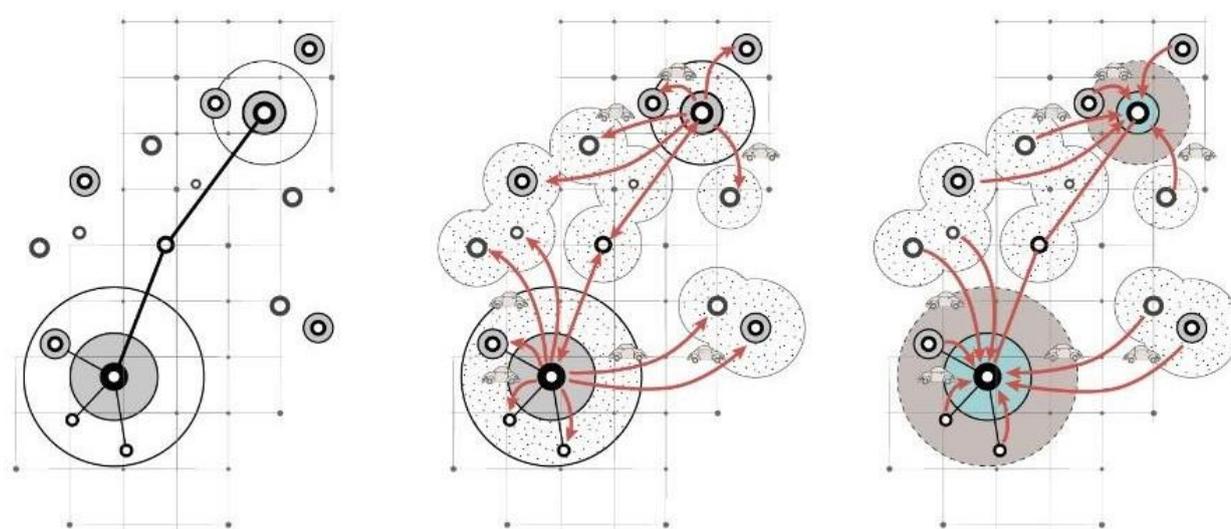


Figura 38: Impatto dei VGA sull'urbanizzazione.

Fonte: E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

Anche il sistema di trasporto pubblico può registrare miglioramenti, soprattutto nelle aree suburbane. Come anticipato precedentemente, con l'introduzione dei sistemi di trasporto autonomi si risolverà il problema dell'ultimo miglio, grazie ad una diffusione capillare e proporzionata alla domanda dei vari servizi di trasporto autonomi (Fig.36).

<sup>155</sup> E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

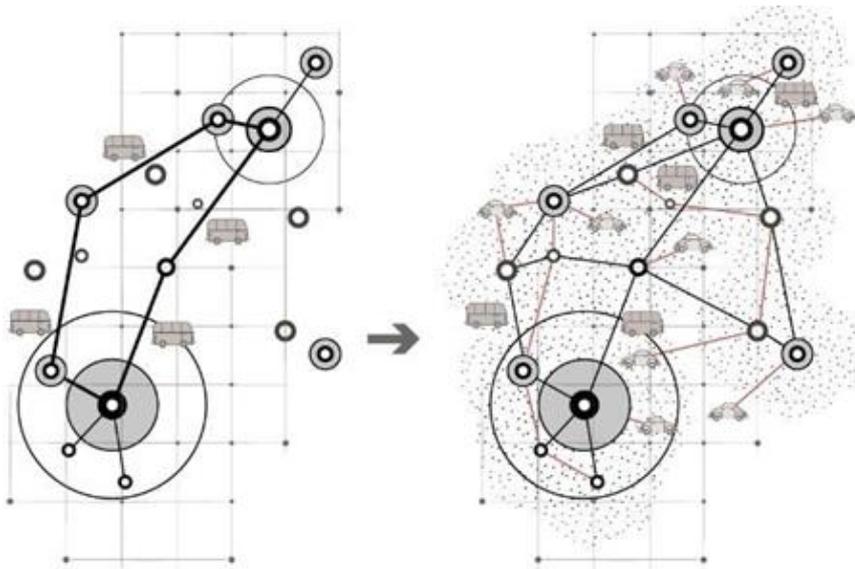


Figura 39: Effetto dei VGA sul sistema di trasporto urbano.  
Fonte: E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", [...]

Il secondo gruppo comprende i fattori che influenzano **l'uso e il cambiamento fisico dello spazio stradale**. L'introduzione dei VGA potrà migliorare la sicurezza stradale e con l'eliminare dell'attuale conflitto tra il conducente del veicolo e il pedone e gli altri utenti della strada (Fig.37). In uno scenario in cui vi sarà una progressiva sostituzione completa dei veicoli convenzionali con quelli autonomi, non solo tenderà ad ampliarsi lo spazio destinato ai pedoni, quindi i marciapiedi, ma si potrebbe eliminare completamente la separazione fisica tra auto e pedoni, sulle strade urbane. Inoltre, l'introduzione dei VGA comporterà ad una riduzione della larghezza delle corsie ed eliminerà, in gran parte, le aree destinate a parcheggio lungo il marciapiede (Fig.38).

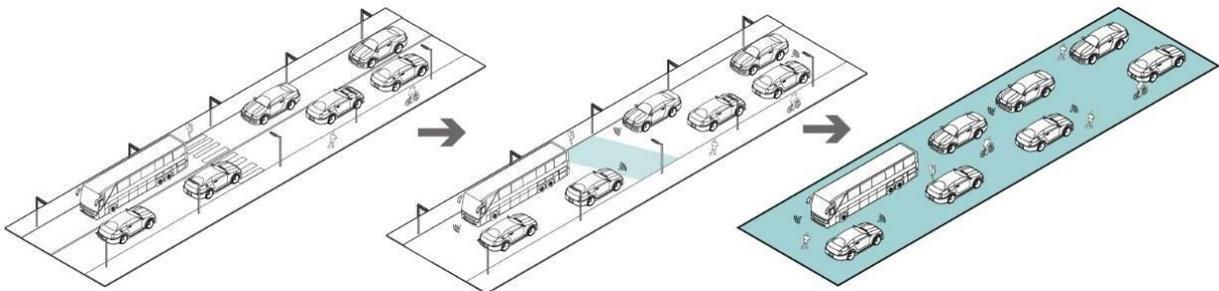


Figura 40: Ipotesi di trasformazione della sezione stradale successivamente alla diffusione dei VGA.  
Fonte: E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

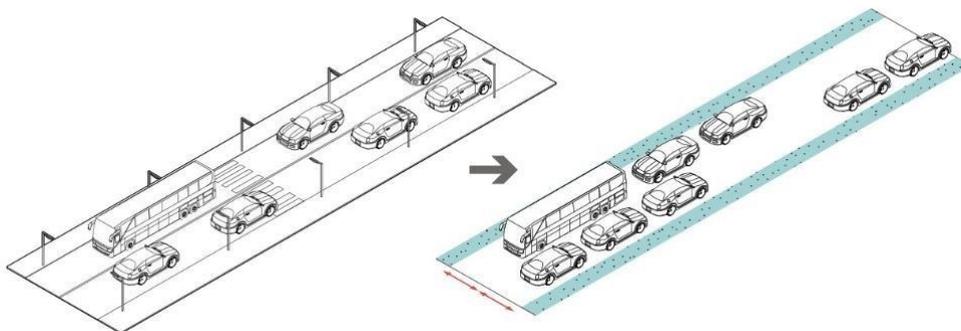


Figura 41: ipotesi di un uso più efficiente della carreggiata dato dall'implementazione dei VGA.  
Fonte: E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

L'ultimo gruppo si concentra sui **cambiamenti locali** quindi, l'impatto dei VGA sullo sviluppo residenziale in centro città e in periferia. Come anticipato, con l'avvento dei mezzi autonomi, si potranno liberare molte zone, attualmente utilizzate dalle auto, che dovranno essere adattate e riutilizzate per altre funzioni (Fig.39). Ad esempio, la riconversione delle aree a parcheggio con la costruzione di nuovi edifici per uffici, abitazioni, negozi o spazi ricreativi porterà ad un conseguente aumento della densità degli edifici. Anche per le aree più periferiche andranno a liberarsi alcuni spazi attualmente occupati da garage privati (Fig.40 e 34).

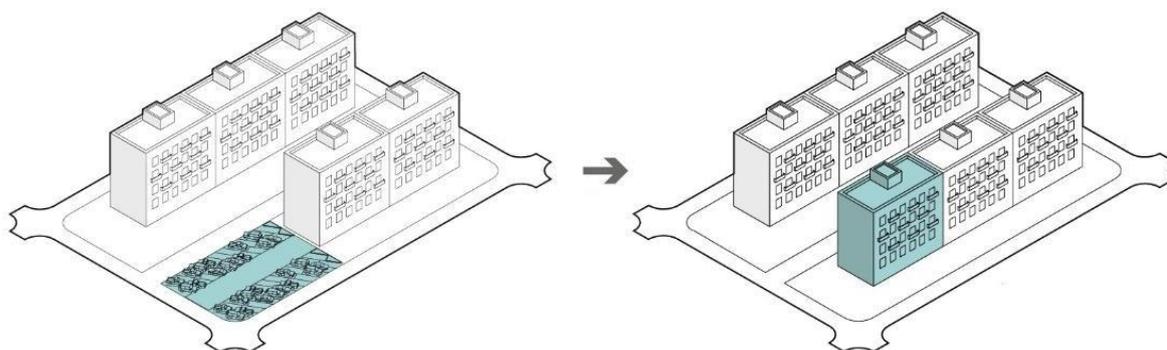


Figura 42: ipotesi dell'effetto dei VGA sulle aree residenziali ad alta densità.

Fonte: E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

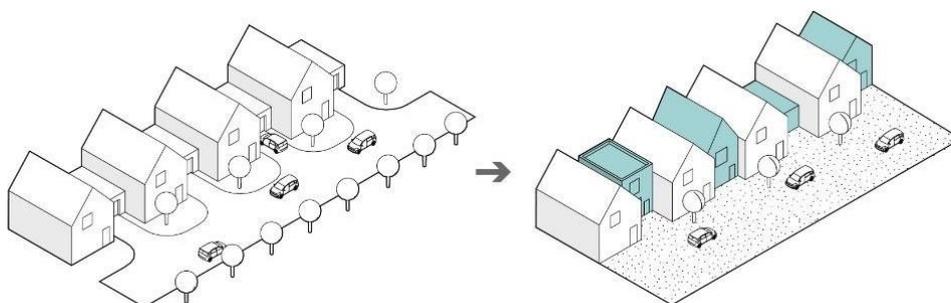
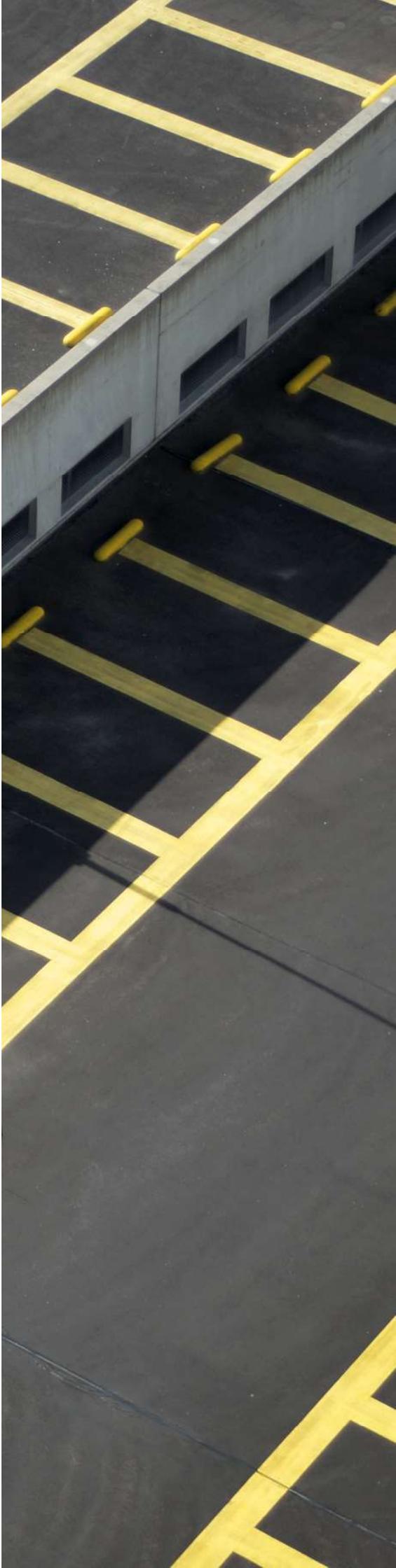


Figura 43: ipotesi dell'effetto dei VGA sulle aree periferiche a minor densità.

Fonte: E V Malysheva, "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020

In definitiva, l'introduzione dei veicoli a guida autonoma sarà lenta e progressiva e avrà sicuramente un impatto diverso sul territorio a seconda del tipo di mezzo e della forma di proprietà. Dal punto di vista dei cambiamenti tecnologici, legislativi ed economici, il primo scenario è il più semplice da realizzare, in cui una semplice auto viene sostituita da un'auto a guida autonoma.

Dal punto di vista dell'urbanizzazione e pianificazione del territorio, importante è promuovere l'introduzione del secondo scenario, che escluderà, o limiterà, la proprietà privata dei veicoli, e che conseguentemente ne ridurrà il numero. La tecnologia dei VGA porterà ad un cambiamento progressivo ed irreversibile dell'ambiente urbano, e quindi, per evitare le conseguenze negative dell'introduzione di queste nuove tecnologie, bisognerebbe ora iniziare a prevedere delle modifiche all'ambiente urbano, in modo da soddisfare le necessità future.





## Capitolo

# 04

### Mobilità condivisa e sostenibile utilizzando i VGA

#### 4.1 VGA condivisi ad utilizzo individuale

##### 4.1.1 I Robotaxi – sperimentazioni attuali

#### 4.2 I VGA condivisi utilizzati nei sistemi di trasporto collettivi

##### 4.2.1 I Bus automatizzati - sperimentazioni attuali

###### 4.2.1.1 Descrizione progetto: AutoNV\_OPR

###### 4.2.1.2 Descrizione progetto: Swiss Transit Lab - AMoTech – Route 12 project

###### 4.2.1.3 Descrizione progetto: SHOW - SHared automation Operating models for Worldwide adoption

## 4. Mobilità sostenibile e condivisa utilizzando i VGA

Come descritto precedentemente, più della metà della popolazione mondiale attualmente vive in città e quindi in contesti urbani.

Questa costante crescita, oltre a dei benefici, porta anche a dei rischi ambientali, sociali ed economici per le fasce di popolazione più svantaggiate.

Importante, proprio per diminuire gli impatti negativi della città sulla popolazione, è il legame tra l'uso del territorio e dei mezzi di trasporto nelle aree densamente urbanizzate. Su questo, si introduce il concetto di **mobilità sostenibile**, che fornisce un paradigma alternativo all'interno del quale indagare la complessità delle città e rafforzare i legami tra l'uso del territorio e i trasporti<sup>156</sup>.

Proprio in questo capitolo si analizzano le alternative di mobilità sostenibile offerte dall'introduzione dei VGA e come le città, e non solo, possano giovare da questa innovazione.

Numerose ricerche empiriche<sup>157</sup>, hanno concluso come i parametri chiave di una città sostenibile tipo siano quelli di comprendere tra i 25.000 e 50.000 abitanti, con una densità abitativa media (circa 40 persone per ettaro), con un uso misto del territorio, e con uno sviluppo preferenziale lungo corridoi infrastrutturali accessibili al TPL e vicino a punti di interscambio altamente accessibili al trasporto sia pubblico che privato. Questa città ideale corrisponde, in parte, alla Transit City citata precedentemente (vedi capitolo 2.1.2.).

Gli insediamenti, con le caratteristiche sopracitate, sarebbero anche collegati tra loro per formare agglomerati di città policentriche, con chiare gerarchie che consentirebbero una stretta vicinanza alle strutture di utilizzo quotidiano, mantenendo la percorrenza media degli spostamenti al di sotto delle soglie richieste per il massimo utilizzo delle modalità non motorizzate (pedonali e ciclabili). Attraverso la combinazione di chiare strategie di pianificazione, le città dovrebbero essere progettate per garantire un'elevata accessibilità al maggior numero di opportunità possibili, minimizzando gli impatti negativi. Una città sostenibile non è quella che proibisce a priori l'uso dell'automobile, in quanto ciò sarebbe difficile da realizzare e sarebbe visto come contrario alle nozioni di libertà e di scelta, ma è quella con l'intenzione di progettare una città di tale qualità e con una scala adeguata, in cui le persone non avrebbero bisogno di utilizzare quotidianamente un'automobile<sup>158</sup>.

Ad esempio, alcune amministrazioni cittadine, soprattutto in risposta ai problemi ambientali, hanno iniziato a sperimentare una grande varietà di interventi sulla mobilità. Generalmente però interventi poco coordinati e sistematici essendo incentrati prevalentemente su una logica emergenziale di provvedimenti tampone come le targhe alterne, i blocchi del traffico una tantum come con "la domenica ecologica" o con le restrizioni basate sull'età dei veicoli più che sugli standard emissivi. Così facendosi si è ottenuto un conseguente clima di sfiducia generale, dispersione di risorse e disaffezione dei cittadini, senza risolvere concretamente il problema dell'inquinamento.

---

<sup>156</sup> David Banister, "The sustainable mobility paradigm", Transport Studies Unit, Oxford University Centre for the Environment, Oxford, UK, 2007

<sup>157</sup> Ibid

<sup>158</sup> Ibid

Secondo l'antropologo Price<sup>159</sup>, "la **condivisione** è la forma più universale di comportamento economico umano, distinta e più fondamentale della reciprocità (...) La condivisione è stata probabilmente la forma più basilare di distribuzione economica nelle società ominide per diverse centinaia di migliaia di anni".

Quindi, il concetto di condivisione non rappresenta di per sé una novità nelle società ma, ovviamente, nel corso dei secoli ne sono cambiate le modalità e le dinamiche.

Le città contemporanee sono il soggetto da cui partire per descrivere l'avanzamento del concetto di sharing applicato ai VGA. Negli ultimi anni, il consumo collaborativo e l'economia della condivisione hanno assunto maggiore importanza portando alla formazione delle cosiddette "**Sharing City**" (SC)<sup>160</sup>. La città della condivisione è un concetto che ha iniziato ad emergere recentemente, e combina i benefici dell'economia della condivisione e del consumo collaborativo con lo sviluppo urbano e la costruzione di comunità.

La SC è una città vivibile, rappresenta un luogo dove i cittadini possono condividere le infrastrutture, utilizzare le risorse sia pubbliche che private, ottenere un maggiore accesso ai dati, stabilire e partecipare alla condivisione delle imprese, far progredire l'interazione con la comunità e altro ancora. L'obiettivo della SC è quello di creare posti di lavoro e aumentare i redditi, affrontare le questioni ambientali, ridurre i consumi e gli sprechi, recuperare le relazioni di fiducia tra le persone e tra le istituzioni, e affrontare i problemi urbani in modo innovativo con un approccio resiliente<sup>161</sup>.

Su queste basi si inserisce il concetto di **Sharing Mobility**, legato alla condivisione dei mezzi per uso individuale e collettivo, in cui i veicoli a guida autonoma potranno cambiare i paradigmi della mobilità urbana rendendola più sostenibile, consapevole e sicura<sup>162</sup>.

Nel diagramma di seguito (Fig.41), sono rappresentate schematicamente delle possibili conseguenze date dall'implementazione della guida autonoma nelle tre principali modalità di trasporto ad oggi previste<sup>163</sup>:

1. **L'auto autonoma di proprietà** (automated owned car) che non apporta alcun cambiamento all'auto tradizionale. Infatti, rimane ancora utilizzata per lo più da una sola persona, tradizionalmente un driver ed eventualmente uno o più passeggeri.
2. **L'auto in sharing a guida autonoma** (self-driving car hail) che può essere utilizzata allo stesso modo di un'auto di proprietà automatizzata, ma può anche fondersi con il ride-sharing<sup>164</sup>,

<sup>159</sup> John A. Price, "Sharing: The Integration of Intimate Economies", Published by: Canadian Anthropology Society, 1975

<sup>160</sup> Patrycja Maria Lugosz, "The Rise of the Sharing City - Examining Origins and Futures of Urban Sharing", Master of Science in Environmental Management and Policy, 2014

<sup>161</sup> Ibid

<sup>162</sup> Margarita Martínez-Díaz, Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>163</sup> Jaagup Ainsalu, Ville Arffman, Mauro Bellone, Maximilian Ellner, Taina Haapamäki, Noora Haavisto, [...], "State of the Art of Automated Buses", 2018

<sup>164</sup> Per ride-sharing si intende la condivisione della vettura e del guidatore, secondo un percorso comune ed un orario comune. Il car pooling è una forma di Ride-Sharing. Fonte: <https://www.quotidianomotori.com/automobili/ride-hailing-e-ride-sharing-le-differenze/>

permettendo a più persone di viaggiare insieme. Pertanto, diventa più simile alla modalità di trasporto con il ride-hailing<sup>165</sup>, però utilizzando i robotaxi, quindi senza un'autista fisico.

3. **Le navette a guida autonoma** (driverless shuttles) per integrare il servizio di trasporto pubblico. Grazie a questi minibus si potrà garantire orari flessibili e percorrenze non programmate che si adattino alle esigenze degli utenti, grazie al minor costo di esercizio e del personale a bordo.

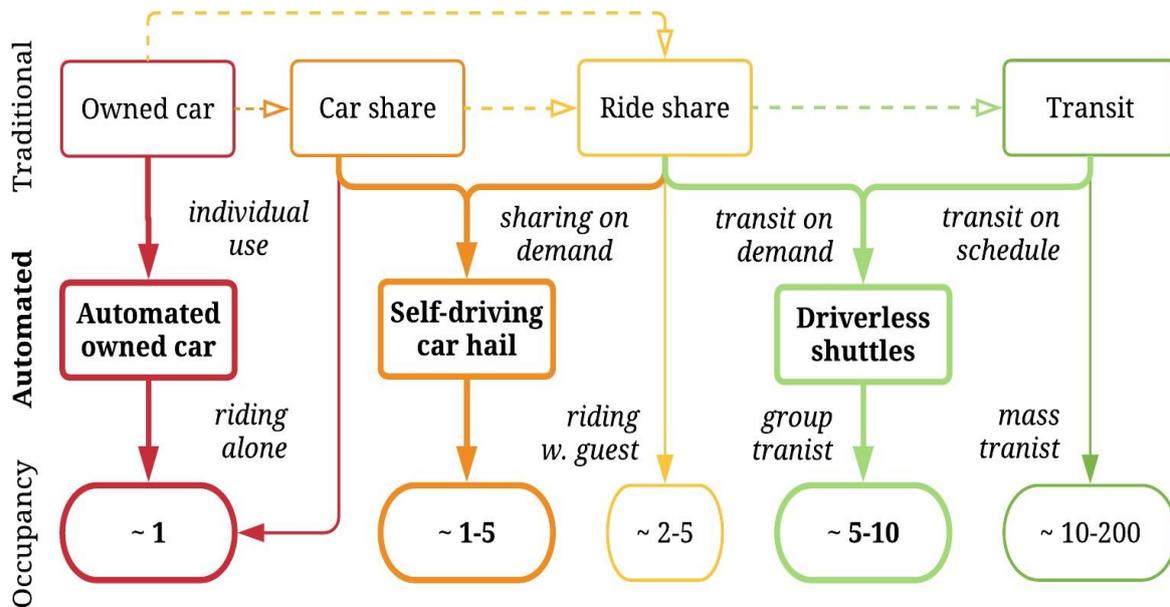


Figura 44: diagramma di confronto tra i mezzi di trasporto tradizionali e quelli senza conducente, relazionati con il numero di persone trasportate.

Fonte: Smolnicki, P.M., Sołtys, J., "Driverless mobility: The impact on metropolitan spatial structures", 2016

Per ogni tipologia di mezzo vi sono numerose sfaccettature e previsioni future sulla loro possibile diffusione e utilizzo.

In primis, per la modalità di utilizzo ad uso individuale (in rosso nel grafico), l'uso dell'auto a guida autonoma rimane pressoché il medesimo, pur garantendo un livello di sicurezza ed efficienza maggiore. Ma, il cambiamento maggiore è previsto per le altre due macrocategorie di mezzi autonomi. Infatti, di seguito, verranno illustrate le due tipologie prevalenti di mezzi autonomi in condivisione, i veicoli in sharing ad utilizzo individuale o **robotaxi** (in arancio nel grafico) e quelli utilizzati nei sistemi di trasporto collettivo come i **minibus autonomi** o driverless shuttles (in verde nel grafico).

<sup>165</sup> Per ride-hailing si intende il servizio vettura più autista, che arriva nel momento nel quale ne abbiamo bisogno. Si intende quindi il comune servizio di taxi, piuttosto che quello offerto da Uber (non in Italia). Fonte: <https://www.quotidianomotori.com/automobili/ride-hailing-e-ride-sharing-le-differenze/>

Infine, si possono considerare due scenari futuri opposti che riguardano la diffusione di ogni soluzione di mobilità automatizzata, quali<sup>166</sup> (Fig.42):

1. **"Pedestrian Friendly"** o "scenario pedonale", in cui la struttura stradale è pedone-centrica, pur rimanendo condivisa con gli altri mezzi. Permette, su tutti, di ridurre la velocità dei veicoli favorendo la sicurezza per pedoni e altri utenti "deboli" della strada. In questo scenario sono previsti numerosi spostamenti in gruppo su una breve distanza, a discapito delle medio-lunghe percorrenze. Di conseguenza, si applica in aree urbane idonee a garantire una modalità di trasporto driverless e sostenibile sulle brevi distanze (il cosiddetto primo e ultimo miglio). Questo scenario è quello più adatto per l'utilizzo delle navette senza conducente.
2. **"Riders Friendly"** o "scenario a misura di guidatore", in cui è presente una struttura stradale separata dai mezzi più lenti, garantendo velocità di percorrenza più elevate, favorendo così la diffusione dei viaggi individuali a lunga distanza.

Questo scenario ha connessioni più forti con le modalità personali di mobilità automatizzata, come con le automobili autonome o in car-sharing, che si traduce in una modalità inefficiente per la mobilità e lo sviluppo urbano (come la suburbanizzazione e lo sprawl).

Chiaramente, la diffusione di ogni soluzione e l'emergere di ogni singolo scenario non sarà indipendente ma sarà una relazione a due con un processo costante<sup>167</sup>. Pertanto, è importante ricordare che ci sono infinite possibilità e sfaccettature tra i due approcci presentati, e che lo scenario finale probabilmente potrebbe anche emergere a metà tra i due opposti.

---

<sup>166</sup> Jaagup Ainsalu, Ville Arffman, Mauro Bellone, Maximilian Ellner, Taina Haapamäki, Noora Haavisto, [...], "State of the Art of Automated Buses", 2018

<sup>167</sup> Ibid

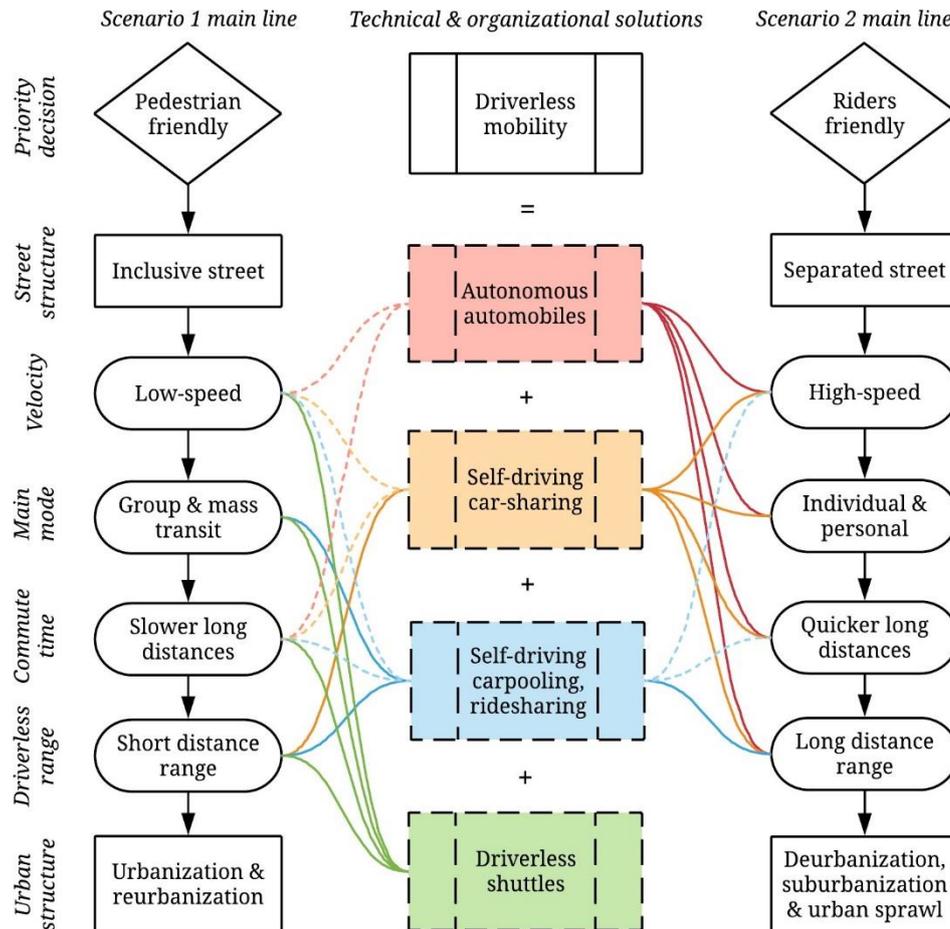


Figura 45: rappresentazione grafica delle relazioni tra quattro soluzioni di mobilità automatizzate e due possibili scenari di sviluppo di strutture spaziali per la mobilità. Ogni relazione forte è presentata come una linea continua, invece, quelle deboli con una tratteggiata.

Fonte: Smolnicki, P.M., "Driverless mobility: The impact on metropolitan spatial structures", 2016

Tuttavia, può sorgere il dilemma in cui mobilità automatizzata potrà o meno favorire una maggiore espansione urbana. Se i comuni decidessero di promuovere una cosiddetta "crescita intelligente" investendo nel microtrasporto senza conducente e nella riduzione dei parcheggi, emergerebbe il primo scenario. Invece, potrebbe emergere il secondo scenario, se non venissero fatti interventi da parte delle autorità pubbliche e le case automobilistiche di conseguenza modificherebbero soltanto la produzione dalle classiche auto attualmente prodotte, per auto autonome sempre ad uso privato.

## 4.1 I VGA condivisi ad utilizzo individuale

La prima tipologia analizzata comprende i veicoli condivisi ad utilizzo individuale.

Presupponendo che i veicoli privati restino parcheggiati in media per il 95% della loro vita<sup>168</sup>, un obiettivo chiave potrebbe essere quello di aumentare l'ammortamento dei veicoli passeggeri attraverso la condivisione.

Come anticipato, esistono attualmente diversi servizi di Vehicle-sharing, che possono essere divisi in due gruppi principali: sistemi di **ride-sharing** e **car-sharing**.

Nel ride-sharing, gli utenti con percorsi parzialmente comuni si collegano attraverso un'applicazione mobile o un sito web per condividere un veicolo. Questo veicolo potrebbe appartenere a uno dei passeggeri (ad esempio BlaBlaCar) o alla società che gestisce il sistema, nel caso del ride-hailing (ad esempio Uber o myTaxi), che in ogni caso riceve un beneficio economico in percentuale sulla corsa effettuata.

Il car-sharing, invece, risponde a un concetto diverso. Non è un viaggio quello che viene condiviso con altri passeggeri, ma un parco veicoli che viene messo a disposizione dei membri della comunità (ad esempio, nel Comune di Torino sono presenti i servizi di car-sharing di Enjoy<sup>169</sup>, Car2Go<sup>170</sup> e Bluetorino<sup>171</sup>).

Secondo studi recenti<sup>172</sup>, anche se attualmente <1% dei viaggi effettuati in Europa corrisponde a sistemi di car-sharing, si prevede che l'automazione dei veicoli ne aumenterà l'utilizzo. Da un lato, le case automobilistiche tradizionali e le start-up sfrutterebbero questa nicchia di mercato per ampliarsi e cogliere l'opportunità per diventare operatori di mobilità, ampliando l'offerta di servizi di car sharing. Inoltre, le amministrazioni comunali concepiscono il car-sharing come un mezzo per ridurre il parco veicoli e quindi le esigenze di parcheggio e, in parte, la congestione. I VGA sono candidati perfetti per supportare questi servizi, in quanto ci si aspetta che siano **sicuri, efficienti, elettrici** e **autonomi**. L'attributo autonomo permette anche l'auto-distribuzione dei veicoli all'interno dell'area di servizio, semplificando notevolmente le operazioni e riducendo i costi dei sistemi di car-sharing.

Tuttavia, la ricerca<sup>173</sup> non ha potuto quantificare se vi sarà un ampio uso futuro dei sistemi in condivisione, in quanto dipende da numerosi fattori, come: ampiezza dell'area operativa, tasso di penetrazione della tecnologia legata ai VGA, benessere della società, fornitura di trasporti pubblici, ecc. Considerando come, attualmente, i veicoli di livello SAE4 risultano essere già adatti ad implementare servizi di condivisione "autonomi", limitati ad un'area principalmente urbana, e in accordo con i loro tassi di penetrazione stimati, sono stati ottenuti valori approssimativi, rappresentati in figura 43. Secondo tali previsioni nel 2030, la Cina sarà il paese con un maggior

<sup>168</sup> Margarita Martínez-Díaz , Francesc Soriguera, Ignacio Pérez, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018

<sup>169</sup> [https://enjoy.eni.com/it/torino/muoversi\\_con\\_enjoy](https://enjoy.eni.com/it/torino/muoversi_con_enjoy)

<sup>170</sup> <https://www.car2go.com/IT/it/turin/>

<sup>171</sup> <https://www.bluetorino.eu/>

<sup>172</sup> Report del JRC Science Hub of the European Commission, "An analysis of possible socio-economic effects of a Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) in Europe", 2018

<sup>173</sup> Kuhnert, F., Stürmer, C., "Five trends transforming the automotive industry", Price Waterhouse Coopers, Frankfurt, Germany, 2018

utilizzo di VGA integrati nei servizi di condivisione e anche con il valore più basso per i veicoli di proprietà. Al contrario, si prevede come gli USA manterranno un tasso di veicoli privati piuttosto elevato, probabilmente legato alla dispersione della loro popolazione. L'Europa, come spesso accade, risulta con valori nella media rispetto agli USA e Cina, per numerosi fattori socioeconomici, territoriali e politici.

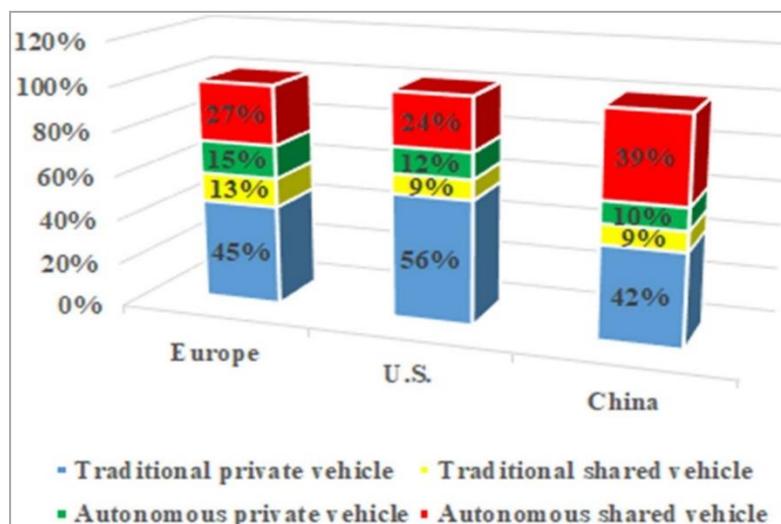


Figura 46: rappresentazione delle previsioni medie per il 2030 sull'utilizzo di diversi mezzi per il trasporto di persone.

Fonte: Kuhnert, F., Stürmer, C., "Five trends transforming the automotive industry", PriceWaterhouseCoopers, Frankfurt, Germany, 2018

Importante evidenziare come l'adozione e la diffusione dei sistemi di car-sharing non sia priva di rischi. In mancanza di un'adeguata pianificazione e tariffazione del servizio, potrebbe diventare un concorrente scomodo per i sistemi di trasporto pubblico collettivo. Infatti, alcuni utenti del TPL potrebbero decidere di pagare un po' di più per viaggiare con più comodità e in autonomia, passando al car-sharing appunto. Poiché i sistemi di trasporto collettivo sono più efficienti in ambienti di mobilità densa, una riduzione della loro domanda dovuta al passaggio al car-sharing potrebbe implicare un aumento globale dei costi, per soddisfare le esigenze di mobilità complessive. Questo risultato sarebbe contrario all'obiettivo di sostenibilità perseguito. Probabilmente, questa situazione sarà evitata con l'implementazione del cosiddetto "servizio di mobilità come servizio" (Mobility as a Service-**MaaS**)<sup>174</sup>.

Il MaaS permette agli utenti di pianificare viaggi end-to-end (letteralmente "da un punto a un altro") aggregando tutti i mezzi di trasporto, pubblici e privati, disponibili in città e pagare il servizio tramite un abbonamento mensile o in base all'utilizzo, avendo anche la possibilità di selezionare pacchetti di viaggio che includono l'intera catena di spostamenti.

Il MaaS corrisponde quindi ad un nuovo modello di mobilità, che presuppone il passaggio da un paradigma di proprietà personale dei mezzi di trasporto individuali ad uno di fruizione condivisa della mobilità, intesa come servizio. Ma la diffusione e il successo di questo nuovo modello dipendono, in primo luogo, dalla capacità degli operatori di mobilità di offrire il maggior livello di

<sup>174</sup> Kuhnert, F., Stürmer, C., "Five trends transforming the automotive industry", Price Waterhouse Coopers, Frankfurt, Germany, 2018

integrazione possibile tra i servizi di mobilità disponibili, pubblici e privati, permettendo agli utenti di soddisfare i bisogni di mobilità individuali in maniera semplice, accessibile, flessibile e personalizzata. In secondo luogo, attraverso la realizzazione di un'unica piattaforma tecnologica (Fig.44) che abiliti l'integrazione tra le diverse opzioni di mobilità, sia in termini di pianificazione del viaggio, sia in termini di fruizione come la prenotazione e pagamento dei servizi tramite unico abbonamento o borsellino elettronico<sup>175</sup>.

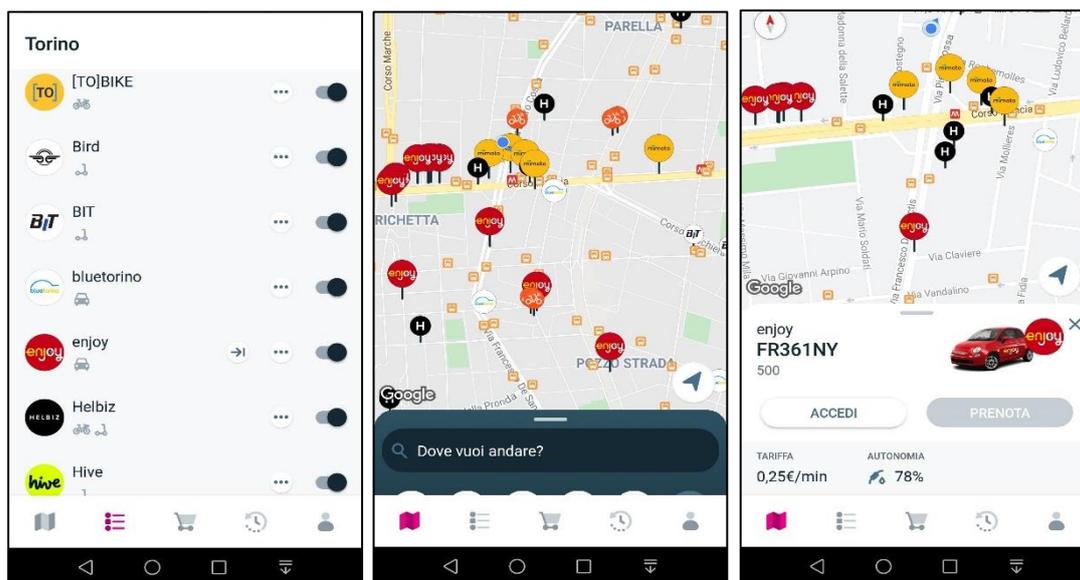


Figura 47: esempio dell'interfaccia per smartphone della piattaforma MaaS del Comune di Torino. Si può osservare come siano elencate le varie possibilità per spostarsi in città, dalle auto agli scooter passando per i monopattini elettrici e le biciclette.

Fonte: elaborazione propria su dati <https://en.urbi.co/>

<sup>175</sup> <https://torino.mobilita.org/2019/03/26/parte-maas-un-progetto-per-disincentivare-lutilizzo-del-mezzo-privato/>

#### 4.1.1 I robotaxi – sperimentazioni attuali

Le sperimentazioni su strada dei robotaxi si sono avviate concretamente dal 2017, quando le due più importanti compagnie del settore, Waymo<sup>176</sup> e Uber<sup>177</sup> (Fig.45), hanno iniziato a testare i taxi senza conducente rispettivamente nella regione di Phoenix, in Arizona (USA) e a Pittsburgh, in Pennsylvania (USA).

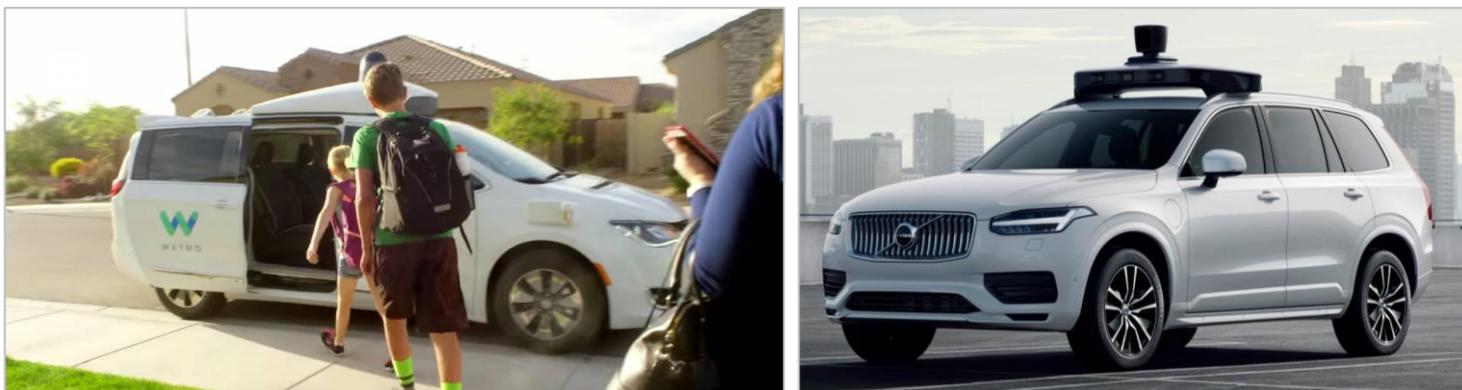


Figura 48: A sinistra il robotaxi di Waymo in servizio e a destra il nuovo modello di Uber taxi per il 2020.

Fonte: <https://waymo.com/> e <https://www.uber.com/it/it/atg/>

Purtroppo, subito dopo l'avvio, la sperimentazione ha subito una battuta d'arresto, per diversi mesi, in seguito ad un incidente, avvenuto nel marzo del 2018, nel quale una sfortunata ciclista perse la vita in uno scontro proprio contro un veicolo di Uber<sup>178</sup> (Fig.46).



Figura 49: (A sinistra) Posizione dell'incidente sulla Mill Avenue in direzione nord, che mostra i percorsi del pedone in arancione e del veicolo di prova Uber in verde. (A destra) Vista post-scontro del veicolo di prova Uber, che mostra danni al lato anteriore destro. Fonte: [https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/ Reports/HWY18MH010-prelim.pdf](https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf).

<sup>176</sup> Waymo (ex progetto Google driverless car) è un'impresa del gruppo Alphabet che utilizza la tecnologia per creare autovetture autonome. Fonte: <https://waymo.com/>

<sup>177</sup> Uber è un'azienda con sede a San Francisco che fornisce un servizio di trasporto automobilistico privato attraverso un'applicazione mobile che mette in collegamento diretto passeggeri e autisti. Dal 2017, con il progetto Advanced Technologies Group (ATG) ha iniziato ad investire nella guida autonoma realizzando una propria flotta di robotaxi. Fonte: <https://www.uber.com/it/it/atg/>

<sup>178</sup> Decker, B.L. National Transportation Safety Board (NTSB) Preliminary Report Highway: HWY18MH010. Technical Report; 2018 ([https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/ Reports/HWY18MH010-prelim.pdf](https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf).)

Le città di Phoenix e Pittsburgh non sono state scelte casualmente per avviare le prime sperimentazioni. Esse posseggono un clima mite, strade larghe con relativamente pochi pedoni e con una velocità media di percorrenza sostanzialmente bassa. Quindi rappresentavano un ambito, per la prima fase di test, ideale.

Ovviamente, saranno necessari ulteriori sviluppi e test prima che la tecnologia possa espandersi in città con condizioni climatiche estreme o di congestione, e la sua espansione dipenderà dalla redditività del servizio, che richiederà un'elevata fiducia e soddisfazione dei consumatori e una riduzione dei costi d'esercizio e finali al consumatore. Di conseguenza, ci vorranno probabilmente diversi anni prima che i servizi di taxi autonomi commerciali siano ampiamente disponibili<sup>179</sup>.

Progetti simili sono stati avviati da tempo anche dalla maggiore parte delle case automobilistiche, tra cui spiccano Daimler, Ford e General Motors e recentemente Tesla, anche se la società che sembrerebbe essere più avanti nella sperimentazione è proprio Waymo, che ha dichiarato di voler introdurre al più presto in Europa i taxi autonomi dopo averli lanciati negli Stati Uniti<sup>180</sup>.

Secondo diversi studi<sup>181</sup>, si stima che entro il 2030 ventisei milioni di robotaxi circoleranno nelle strade di tutto il mondo. Simili previsioni impressionano e suscitano forte preoccupazione circa lo stato di arretratezza della normativa in materia di autotrasporto pubblico a guida autonoma nella maggior parte degli Stati europei, a cominciare dall'Italia (vedi capitolo 3.3).

Nei prossimi anni per ridurre in modo significativo gli spostamenti con il veicolo e i costi associati ad esso, i taxi autonomi devono diventare **economici**, **onnipresenti** e **integrati** con altre opzioni di mobilità, in modo che i cittadini possano diminuire il numero di veicoli di proprietà e affidarsi ai veicoli condivisi. Questo può essere accelerato da politiche pubbliche che scoraggiano la proprietà di veicoli privati e incoraggiano la condivisione, come la riduzione dell'offerta di parcheggi, le corsie riservate e le aree di consegna/ritiro comode ed accessibili. Si prevede, inoltre, come la tecnologia migliorerà e diventerà sempre più accessibile ed affidabile, in modo che i robotaxi diventino redditizi e potranno espandersi per servire più aree delle città.

Tuttavia, se la maggior parte delle famiglie non sarà incentivata (da politiche incentivanti, scelte commerciali ecc.) a passare dai veicoli di proprietà ai servizi di mobilità condivisa, e fino a quando una quota maggiore di famiglie non vivrà in quartieri compatti e multimodali, la nuova generazione di taxi autonomi interesserà solo una piccola parte del totale dei viaggi e fornirà modesti benefici alla comunità<sup>182</sup> (rischiando di non diffondersi neanche, dati i pochi vantaggi per la comunità e per l'economia).

---

<sup>179</sup> Todd Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

<sup>180</sup> Paolo Tullio, "Da Uber ai robotaxi: spunti comparatistici per una riforma degli autoservizi pubblici non di linea", 2018

<sup>181</sup> Kuhnert, F., Stürmer, C., "Five trends transforming the automotive industry", Price Waterhouse Coopers, Frankfurt, Germany 2018

<sup>182</sup> Todd Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

## 4.2 I VGA condivisi utilizzati nei sistemi di trasporto collettivi

Oltre che per i mezzi in sharing ad uso individuale, il trasporto pubblico è considerato uno dei candidati più adatti a beneficiare della guida automatizzata<sup>183</sup>.

Già da molti anni esistono metropolitane automatiche, come nel caso di Torino (sistema VAL<sup>184</sup>), presente già dal 2006, e non ci sarebbero ostacoli a livello tecnologico per introdurre l'automazione su tutti i treni, anche se sono presenti problemi di tipo normativo riguardanti la protezione della sede (problema che non riguarda le metropolitane sotterranee) e per questo motivo, molto probabilmente, il trasporto su ferro manterrà le stesse caratteristiche odierne anche in futuro<sup>185</sup>.

I trasporti pubblici potranno trarre grande beneficio dall'introduzione di veicoli intelligenti, se riusciranno a migliorare nettamente la sicurezza nelle aree urbane, ridurre il costo del trasporto dell'ultimo miglio, diminuire la congestione e migliorare il servizio globale per l'utente<sup>186</sup>. Sebbene la tecnologia dei veicoli autonomi non sia ancora del tutto matura, essa attira da anni interessi economici e industriali.

Da un lato, le implicazioni sociali di una rivoluzione così grande cambieranno il nostro modo di vedere i sistemi di trasporto, aumentando così la qualità della nostra vita permettendo anche, ad esempio, di servire località attualmente servite solo da veicoli privati. Dall'altro lato, i veicoli dovranno essere dotati di un gran numero di sensori (ancora molto costosi) e, soprattutto, la sicurezza e l'affidabilità sono requisiti obbligatori, ma ancora non così consolidati e certi.

In numero crescente da molteplici anni, vi sono i sistemi automatizzati con i driverless shuttles che stanno entrando nelle nostre strade, spesso guidando in ambienti a traffico misto, inclusi ciclisti e pedoni (Fig.47-48).



Figura 50: esempio di due sperimentazioni in Olanda di minibus autonomi.

Fonte: Marjan P Hagenzieker, [...], "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", 2020

<sup>183</sup> Marjan P Hagenzieker, Maryna Öztürker, Reanne Boersma, Juan Pablo Nuñez Velasco, Irene Zubin, Daniël Heikoop, "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", 2020

<sup>184</sup> La metropolitana di Torino è la prima in Italia ad adottare il sistema VAL, Veicolo Automatico Leggero. È stato progettato in modo da garantire la massima sicurezza attraverso un sistema di Controllo Automatico dei Treni (ATC) progettato specificamente per questo tipo di veicoli. (<http://www.gtt.to.it/cms/linee-e-orari/torino-e-cintura/urbana/240-metropolitana#sistemaVAL>)

<sup>185</sup> Andreoli Jacopo, "Opportunità tecnologiche e organizzative per l'evoluzione del trasporto pubblico locale", 2019

<sup>186</sup> Jaagup Ainsalu, Ville Arffman, Mauro Bellone, Maximilian Ellner, Taina Haapamäki, Noora Haavisto, [...], "State of the Art of Automated Buses", 2018



Figura 51: minibus automatizzato per il trasporto passeggeri all'interno di uno scalo aeroportuale.

Fonte: <https://www.2getthere.eu/driverless-parkshuttle/>

Inoltre, la guida automatica sugli autobus consentirebbe alle società che effettuano il servizio un risparmio sulle spese del personale a bordo (anche se comporterà un'inevitabile conflitto a livello sociale), con la possibilità di investire le risorse per ottimizzare il servizio a favore degli utenti, ad esempio aumentando il numero di mezzi nelle linee e quindi incrementando le frequenze di passaggio, che a parità di utenza permetterebbe di utilizzare veicoli più piccoli, con relativi risparmi anche sui costi ad essi dovuti.

Facendo un passo indietro, l'idea di potenziare i sistemi di trasporto pubblico con sistemi di autobus automatizzati non è proprio una novità<sup>187</sup>. Infatti, essa risale agli anni '90, relativamente allo sviluppo del concetto delle cosiddette "cyber-auto", che corrispondono ad un'auto dalla bassa capacità di trasporto, flessibile e a basso impatto ambientale<sup>188</sup>.

Una prima dimostrazione e implementazione di questa modalità di trasporto, denominata Park Shuttle, è stata realizzata nell'area di parcheggio dell'aeroporto di Schiphol (Paesi Bassi) nel 1997, rimasta operativa fino al 2004 (Fig.49) e successivamente ampliata con nuove generazioni di mezzi su strada aperta al traffico fino al 2017, con una corsia designata dotata di punti di riferimento artificiali (magneti) incastonati nel manto stradale<sup>189</sup>.

<sup>187</sup> La vera novità attualmente sta nella trasformazione della teoria in numerosi progetti applicativi concreti, su strada.

<sup>188</sup> Marjan P Hagenzieker, Maryna Öztürker, Reanne Boersma, Juan Pablo Nuñez Velasco, Irene Zubin, Daniël Heikoop, "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", 2020

<sup>189</sup> Reanne Boersma, Dennis Mica, Bart van Arem, Frank Rieck, "Driverless electric vehicles at Businesspark Rivium near Rotterdam (the Netherlands): from operation on dedicated track since 2005 to public roads in 2020", 2018



Figura 52: La prima generazione di shuttle bus autonomi del 1999.

Fonte: <https://www.2getthere.eu/driverless-parkshuttle/>

Dall'inizio degli anni 2000, nel nord Europa principalmente, una serie di progetti di ricerca (CyberCars, CyberMove, CyberCars2, CityMobil, CityMobil2, ecc.) si sono concentrati sullo sviluppo, il miglioramento e la sperimentazione di tecnologie per sistemi di bus automatizzati. Dalle cyber-automobili con un semplice sistema di rilevamento ostacoli (scanner e laser) su pista chiusa al traffico urbano su corsia dedicata. Il progresso tecnologico e l'esperienza ottenuta da anni di funzionamento hanno portato alla realizzazione di sistemi sempre più avanzati con complessi set di sensori interni ed esterni per il posizionamento e navigazione dei veicoli, per consentire potenzialmente la guida nel traffico misto.

Esempi più concreti ed attuali di shuttle bus automatizzati sono i veicoli di EasyMile EZ10 (EasyMile<sup>190</sup>), Navya (Navya<sup>191</sup>) e Olli (LocalMotors<sup>192</sup>) (Fig.50) utilizzati in diverse sperimentazioni europee e non solo.



Figura 53: a sinistra il minibus EasyMile EZ10, al centro quello dell'azienda Navya e a sinistra Olli della Local Motors.

Fonte: <https://easymile.com/>, <https://navya.tech/en/>, <https://localmotors.com/meet-olli/>

<sup>190</sup> <https://easymile.com/>

<sup>191</sup> <https://navya.tech/en/>

<sup>192</sup> <https://localmotors.com/meet-olli/>

La progressiva diffusione di progetti pilota con minibus a guida automatica è in numero crescente, raggiungendo, a fine 2019 un totale di 118 progetti attivi a livello europeo<sup>193</sup>.

Dall'immagine seguente (Fig.51) si può osservare come la Francia sia il paese con più progetti avviati, ben 32, seguita dalla Germania con 12. I restanti paesi hanno tutti meno di nove progetti avviati, e sono comunque principalmente collocati nel nord Europa. Sorprendente vedere che, anche se i Paesi Bassi sono leader nella guida automatizzata e sono stati i primi a sperimentarla, sono stati superati da Francia, Germania e Norvegia, in termini di numero di progetti pilota realizzati (32, 12 e 9, contro 8, rispettivamente). Importante ricordare come un limite alla diffusione dei bus autonomi è l'attuale legislazione, che nelle varie nazioni, può influire sulla diffusione e sull'avvio dei progetti (vedi capitolo 3.3). Infatti, è molto importante che le legislazioni si aggiornino e modifichino le varie norme, rimanendo al passo con la veloce progressione della tecnologia in questo settore, per consentire una concreta diffusione dei VGA.

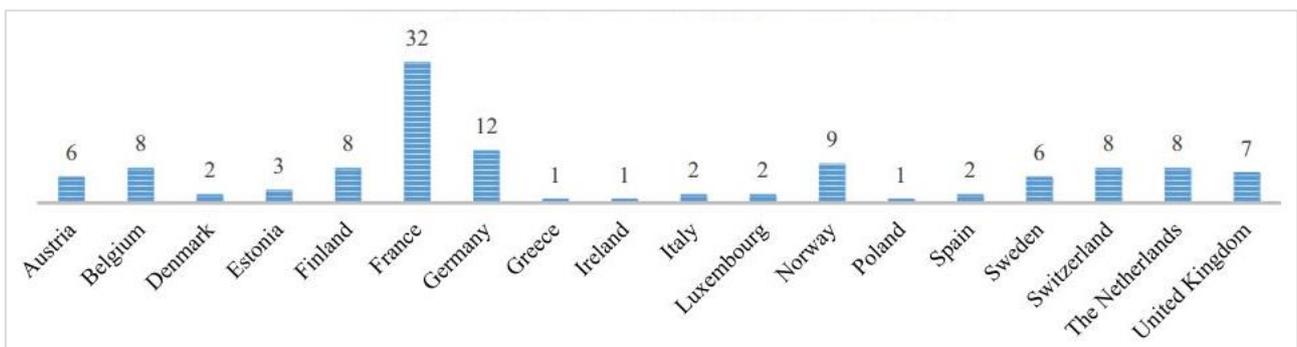


Figura 54: Numero dei progetti pilota realizzati al 2019 per nazione europea.

Fonte: Marjan P Hagenzieker, [...], "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", 2020

Analizzando invece l'anno di avvio dei progetti, possiamo seguire il crescente interesse per i sistemi di bus automatizzati a partire dal 2016<sup>194</sup> con un incremento di ben 18 progetti (+10 rispetto al 2015) (Fig.52).

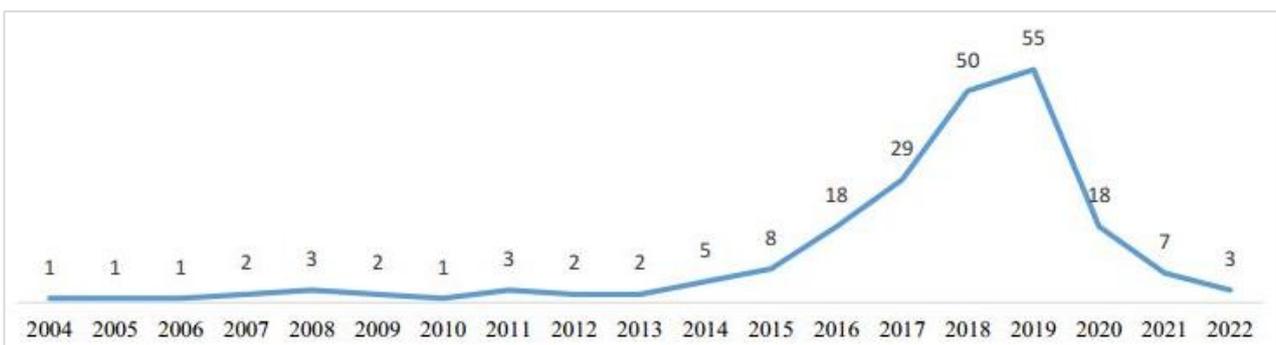


Figura 55: Numero dei progetti pilota realizzati (e in preview) suddivisi per anno dal 2004 al 2022 per nazione europea. Dopo il 2019, il numero di progetti pilota è diminuito significativamente. Ciò è dovuto al fatto che dal 2020 in poi, sono solo segnalati i progetti in corso.

Fonte: Marjan P Hagenzieker, [...], "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", 2020

<sup>193</sup> Marjan P Hagenzieker, Maryna Öztürker, Reanne Boersma, Juan Pablo Nuñez Velasco, Irene Zubin, Daniël Heikoop, "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", 2020

<sup>194</sup> Anno in cui la disponibilità e il progresso della tecnologia han raggiunto una maturità tale da consentire la diffusione dei progetti pilota.

Gli anni 2018 e 2019 sono diventati quelli con il maggior numero di progetti avviati, rispettivamente con 50 e 55 progetti, e sono stati contrassegnati dall'introduzione e prime prove su strada di nuovi veicoli con più sensori installati a bordo e con dimensioni maggiori, con la possibilità quindi di trasportare molte più persone, come ad esempio, l'autobus autonomo full size *Volvo Enviro200* (Fig.53).



Figura 56: Volvo Enviro200, il primo autobus elettrico autonomo da 12 metri con una capacità piena vicino a 80 passeggeri.

Fonte: <https://www.volvobuses.com/en-en/news/2019/mar/volvo-and-singapore-university-ntu-unveil-world-first-full-size-autonomous-electric-bus.html>

Analizzando poi la capacità massima di passeggeri trasportabili nei bus automatizzati (Fig.54), il numero di passeggeri ammessi è solitamente basso, con limitati ai posti a sedere, con uno o più posti riservati allo steward che, per ovvi motivi di sicurezza, supervisiona il mezzo e può intervenire in caso di necessità o malfunzionamento. Inoltre, la capienza massima consentita nel veicolo è correlata alle direttive in vigore in un determinato paese e quindi in alcuni paesi non è consentito il trasporto di passeggeri in piedi e, di conseguenza, il numero di passeggeri ammessi è inferiore rispetto alla capacità di progetto.

Dall'analisi del grafico è chiaro come la maggior parte dei progetti avviati abbia dai 4 ai 16 passeggeri a bordo, dimostrando che la tipologia principale utilizzata attualmente è quella delle navette di piccole dimensioni (vedi Olli e Navya).

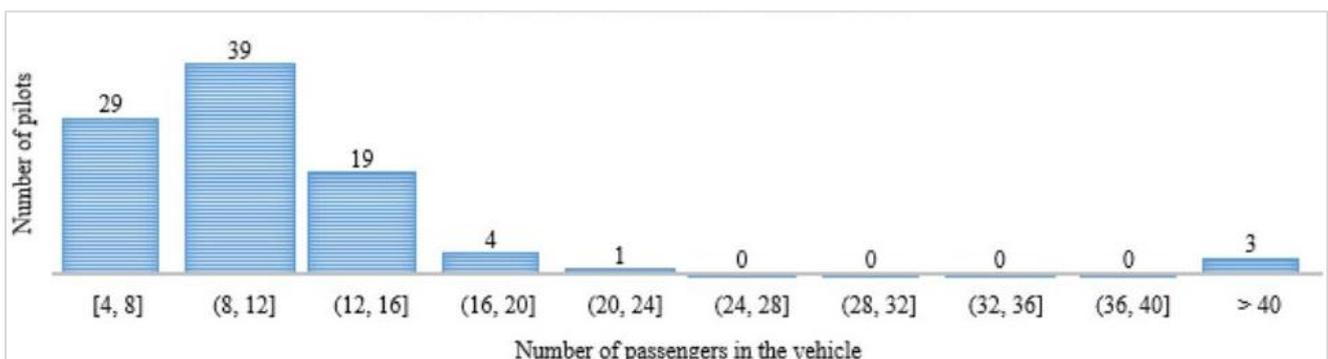


Figura 57: Numero dei passeggeri trasportati per veicolo.

Fonte: Marjan P Hagenzieker, [...], "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", 2020

Si possono trarre diverse conclusioni sui vari progetti pilota in Europa e sulla diffusione futura e concreta di questi sistemi automatizzati.

Una ipotetica spinta alla diffusione su larga scala di questi sistemi potrebbe essere quella di concentrare i progetti su linee di transito in aree più grandi e più dense, collocati e pilotati in luoghi dove ci sia una reale domanda di essi anziché in luoghi tecnicamente fattibili e più “protetti”. Attualmente, l’idea di base, è utilizzare questi sistemi per il raggiungimento del primo e dell’ultimo miglio dello spostamento, con lunghezze percorse molto brevi (qualche chilometro al massimo) e a basse velocità (inferiori ai 40-50 km/h). Inoltre, anche se è stato dimostrato che i sistemi di bus automatizzati possono funzionare senza steward a bordo (vedi Paesi Bassi), la maggior parte dei progetti ne prevede la loro presenza. Fino a quando i paesi europei non concederanno maggiore libertà ai sistemi di guida automatizzata, lo sviluppo di questi sistemi continuerà ad essere frenato e limitato a progetti pilota sperimentali<sup>195</sup>.

Passare dalla teoria alla pratica, soprattutto in questi ambiti così innovativi, risulta complesso e delicato. Sicuramente ci vorranno numerosi anni e tanti test su strada per considerare affidabile e sicura al 100% la tecnologia di guida autonoma, soprattutto nell’ambito del trasporto di massa, in cui si aggiungono delle responsabilità correlate all’alto numero di passeggeri trasportati su un singolo mezzo.

---

<sup>195</sup> Marjan P Hagenzieker, Maryna Öztürker, Reanne Boersma, Juan Pablo Nuñez Velasco, Irene Zubin, Daniël Heikoop, “Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5”, 2020

#### 4.2.1 I bus automatizzati – sperimentazioni attuali

Come descritto precedentemente, vi sono numerosi progetti di bus automatizzati, sia conclusi che in fase di sperimentazione, in tutta Europa. Di seguito verranno descritti tre progetti nel dettaglio: due realizzati in aree non densamente popolate, come quelle rurali, che abbiano a disposizione concreti dati riguardo *l' user acceptance* dei mezzi a guida automatica da parte degli utilizzatori<sup>196</sup>, e uno su un progetto ancora in corso di svolgimento nel Comune di Torino.

Ciò è utile per mostrare concretamente che forme di TPL autonomo potranno essere applicate in futuro, con che tipo di servizio e in quali contesti territoriali (approfondito poi nel capitolo quinto).

I progetti analizzati sono:

1. **AutoNV\_OPR**<sup>197</sup> (Tab.11) - Nome completo del progetto: "Il Trasporto pubblico autonomo nelle aree rurali - impatto sulla ricerca su nuove forme di mobilità pubblica innovativa e accettazione da parte degli utenti sulla base di una corsa di prova nella regione modello Ostprignitz-Ruppin<sup>198</sup>";

Informazioni relative al progetto	
Nome	AutoNV_OPR
Data avvio e completamento	Fine del 2017 – 30 giugno 2020
Nazione	Germania
Località	Regione di Ostprignitz-Ruppin (area a nord di Berlino)
Veicolo utilizzato	Easymile EZ10
Finanziamenti	Il progetto congiunto è finanziato dal Ministero federale dei trasporti e delle infrastrutture digitali (BMVI) per un volume totale di circa 2 milioni di euro
Partner del progetto	Università tecnica di Berlino, Ostprignitz-Ruppiner Personennahverkehrsgesellschaft mbH, Società di sviluppo regionale Nordwestbrandenburg mbH e l'Università tecnica di Dresda



Tabella 11: Descrizione e logo del progetto AutoNV OPR. La data conclusiva del progetto è stata posticipata causa l'interruzione forzata del servizio dovuta all'emergenza da Covid-19.

Fonte: <https://www.autonv.de/fahrzeuge/>

<sup>196</sup> Elenco dei progetti è disponibile nel paper "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", aggiornato al febbraio 2020.

<sup>197</sup> <https://www.autonv.de/>

<sup>198</sup> La regione dell'Ostprignitz-Ruppin è un circondario (Landkreis) del Brandeburgo, in Germania, comprendente 6 città e 17 comuni. Fonte: <https://www.ostprignitz-ruppin.de/>

2. **Swiss Transit Lab - AMoTech – Route 12 project**<sup>199</sup> (Tab.12) – progetto realizzato nel Nord della Svizzera, in un'area turistica grazie alla presenza delle cascate del Reno. Lo Swiss Transit Lab è una piattaforma di ricerca e sviluppo in condizioni di vita reale nel campo della mobilità intelligente. La Route 12 (linea 12) mira a offrire soluzioni di mobilità dal primo all'ultimo miglio dello spostamento. La navetta è integrata nella rete di trasporto pubblico esistente e utilizza quindi l'infrastruttura già disponibile. L'obiettivo di questo progetto pilota è integrare i veicoli autonomi nel sistema di trasporto pubblico esistente, migliorare e far progredire la tecnologia e aumentare l'accettazione dei VGA tra il pubblico<sup>200</sup>.

Informazioni relative al progetto	
Nome	AMoTech – Route 12 project
Data avvio e completamento	Marzo 2018 – fine 2019
Nazione	Svizzera
Località	Tre Comuni del Cantone di Sciaffusa, nord della Svizzera (Neu- hausen am Rheinfall, Stein am Rhein e Thayngen)
Veicolo utilizzato	Navya
Finanziamenti	Il budget del percorso 12 è di 1 milione di euro. È finanziato dal Cantone Sviluppo regionale della promozione economica di Sciaffusa.
Partner del progetto	Politecnico di Zurigo, operatore di trasporto locale Verkehrsbetriebe Schaffhausen, sviluppatore di sistemi ed esportatore globale Trapeze, il suo spin-off AMoTech e l'Agenzia di sviluppo regionale del Canton Sciaffusa



Tabella 12: descrizione e logo del progetto AMoTech – Route 12 project.

Fonte: <https://www.swisstransitlab.ch/de/linie-12>

<sup>199</sup> <https://www.swisstransitlab.ch/de/>

<sup>200</sup> <https://space.uitp.org/initiatives/swiss-transit-lab-route-12-schaffhausen>

3. **SHOW - SHared automation Operating models for Worldwide adoption** (Tab.13) – mira a sostenere il percorso di migrazione verso un trasporto urbano sostenibile ed efficace, attraverso soluzioni tecniche, modelli di business e scenari prioritari per la valutazione d'impatto, dispiegando flotte condivise, connesse, elettrificate di veicoli autonomi nel trasporto pubblico coordinato (PT), nel trasporto a chiamata, nel MaaS e nella logistica come servizio (LaaS).

Informazioni relative al progetto	
Nome	SHOW - SHared automation Operating models for Worldwide adoption
Data avvio e completamento	Geannaio 2020 – fine 2023
Nazioni	13 nazioni europee coinvolte in un consorzio di 69 partner e applicato su 20 città europee
Località	Per l'Italia sarà Torino
Veicolo utilizzato	Navya
Finanziamenti	Budget complessivo di circa 36 milioni di euro finanziato interamente dal progetto europeo Horizon2020
Partner del progetto	Fondazione Links, operatore di trasporto locale (Gtt), Comune di Torino, società in-house a totale partecipazione pubblica che si occupa di Intelligent Transport Systems (5T) con Swarco e Politecnico di Torino



Tabella 13: descrizione e logo del progetto SHOW  
 Fonte: <https://cordis.europa.eu/project/id/875530/it>

#### 4.2.1.1 Descrizione progetto: AutoNV\_OPR

Il primo progetto analizzato, mira a studiare come i veicoli automatizzati possano essere utilizzati nelle aree rurali, in questo caso nella regione tedesca di Ostprignitz-Ruppin. L'obiettivo principale è quello di ricercare come i minibus autonomi possano diventare parte integrante del TPL e come saranno accettati dai futuri utenti. Un elemento importante del progetto è quindi la sperimentazione direttamente su strade pubbliche al fine di acquisire esperienza pratica<sup>201</sup>.

Le sfide raccolte da questo progetto sono molteplici, come quella di servire aree con una rete abitativa dispersa con numerosi piccoli villaggi e sottozone poco sviluppate nelle aree urbane più grandi.

Numerose alternative sono state considerate per i possibili campi di applicazione dei minibus nell'area di sperimentazione, come: servizio di integrazione per le linee di autobus e treni, collegamento tra piccole città o villaggi, collegamento per attrazioni turistiche o autobus locale nelle piccole città. In ogni caso, si tratta di percorsi che non possono essere gestiti ottenendo una sostenibilità economica utilizzando il classico autobus di grandi dimensioni e quindi, si ritiene che i minibus senza conducente possano completare l'offerta di mobilità per l'area.

Nel distretto, il potenziale gruppo di utenti, adolescenti o i loro genitori, hanno spesso espresso la necessità di collegamenti da paese a paese nel pomeriggio e nelle ore serali o anche nel fine settimana, al fine di svolgere attività sportive e ricreative con i coetanei (senza dover usare il "taxi genitore"). Nell'area di Ostprignitz-Ruppin, oltre all'uso dell'auto privata, vi è la possibilità di sfruttare diverse compagnie di taxi che, tuttavia, non sono organizzate e accessibili tramite un centro unico di radiotaxi e, se necessario, devono essere contattate individualmente dal cliente. Poiché gran parte delle compagnie ha focalizzato l'attenzione sui viaggi di lavoro diurni, non è sempre garantita la possibilità di prendere un taxi alla sera e nei fine settimana. Anche a Ostprignitz-Ruppin si cercano quindi alternative al trasporto convenzionale per il "servizio nell'area" o "l'ultimo miglio".

L'obiettivo finale del progetto è condurre ricerche di base al fine di ottenere:

1. Requisiti necessari per l'applicazione di modalità di guida automatizzate per il TPL nelle zone rurali;
2. Possibilità di creare e misurare l'accettazione da parte degli utenti del servizio;
3. Verificare scenari ed effetti sulle modalità di finanziamento del TPL dati dall'avvento dei mezzi autonomi.

L'autobus scelto per la sperimentazione, EasyMile EZ10 (Fig.55-56), guida autonomamente lungo un percorso programmato nel traffico stradale e interagisce con altri utenti della strada come auto, ciclisti o pedoni. Numerosi sensori e videocamere presenti all'esterno e all'interno dell'autobus consentono di rilevare gli ostacoli e quindi di garantire la sicurezza dei passeggeri e degli utenti della strada (vedi cap. 3.1.1. *Tecnologia Utilizzata – Hardware*). Inoltre, a bordo dell'autobus c'è un operatore sempre presente che, se necessario, può prendere il controllo del veicolo, oltre che

<sup>201</sup> <https://www.autonv.de/das-projekt/>

assistere i passeggeri e/o rispondere alle domande. Il minibus è a funzionamento elettrico, ha spazio per 6 passeggeri con una velocità massima limitata a 15 km/h (il veicolo tecnicamente potrebbe arrivare a 50 km/h)<sup>202</sup>.



Figura 58: Minibus autonomo utilizzato per la sperimentazione. Fonte: <https://www.autonv.de/fahrzeuge/>



Figura 59: Minibus in servizio lungo le strade aperte al traffico. Fonte: <https://www.autonv.de/das-projekt/>

### Percorso (Fig.57)

Il percorso di sperimentazione si suddivide in tre fasi, nei dintorni del piccolo comune di Wusterhausen/Dosse, sito in un'area rurale a prevalenza agricola. La prima fase corrisponde ad un percorso circolare che si sviluppa attraverso il centro storico della cittadina. Nella seconda fase, si collega la stazione ferroviaria ad un supermercato, nel sud della città. Nella terza e ultima fase, si collega l'area a nord, nel quartiere residenziale suburbano "Am Horstberg", e il lago Klempowsee,

<sup>202</sup> <https://www.autonv.de/automatisierte-fahrzeuge/informationen-zum-fahrzeug/>

con il centro cittadino. Ciò rende il tratto, di circa 8 km di lunghezza, il percorso di prova per minibus automatizzati più lungo in Europa, in un contesto extraurbano.

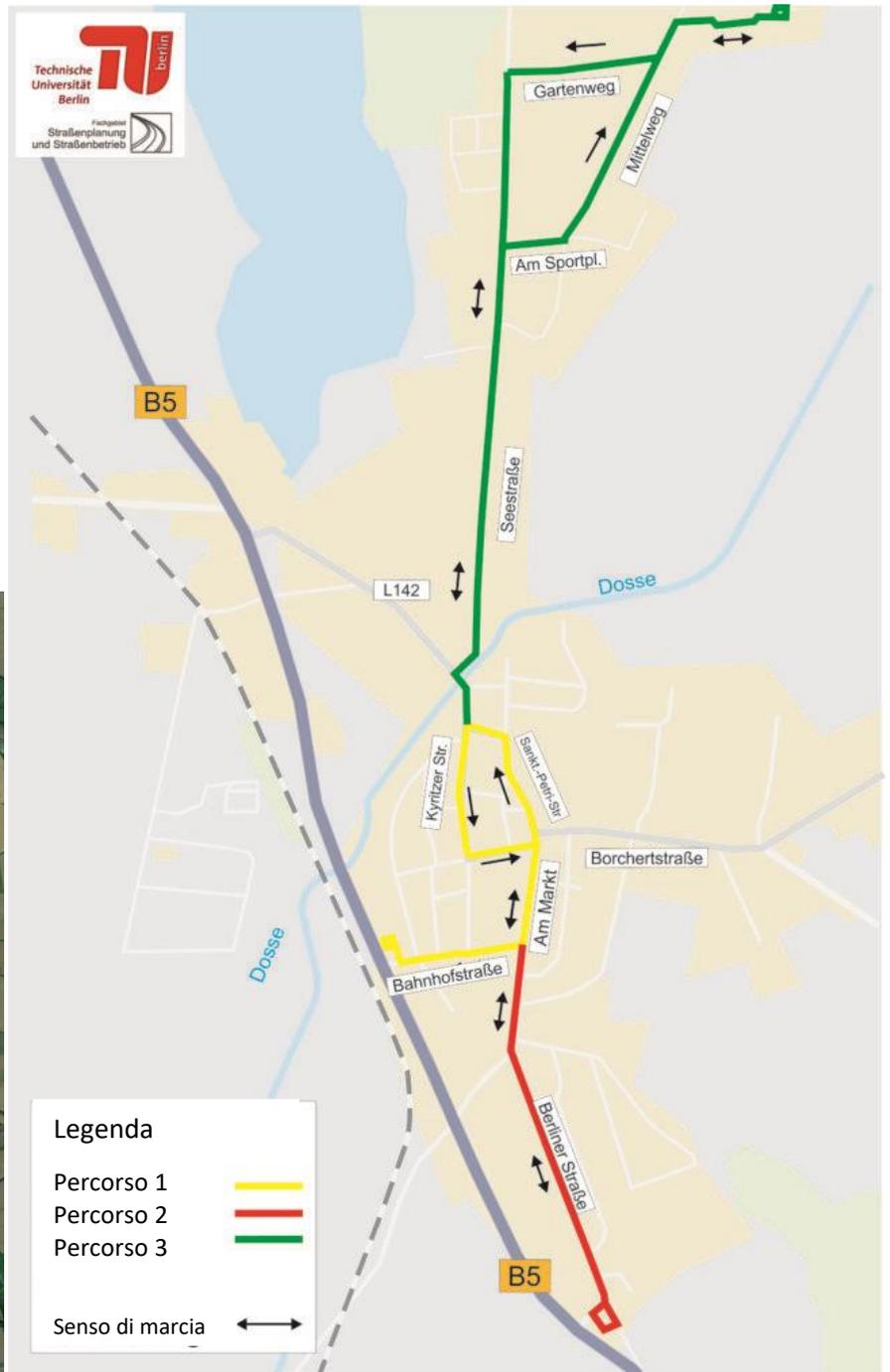
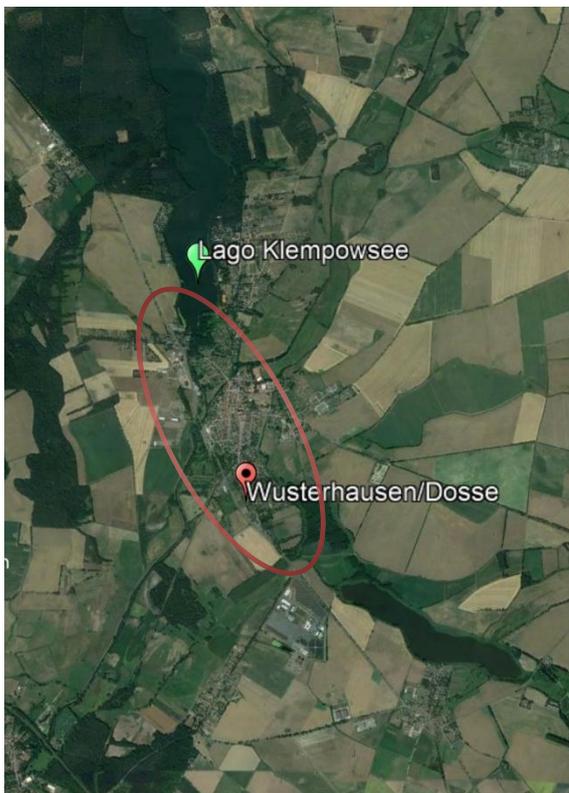


Figura 60: A sinistra, ortofoto aerea dell'area oggetto di sperimentazione. A destra, il percorso del bus automatizzato.

Fonte: Elaborazione propria su dati Google Earth e <https://www.autonv.de/fahrplan-strecke/>

## Risultati ottenuti dalla sperimentazione

L'Università Tecnica di Dresda ha il compito di indagare sull'opinione pubblica e sull'accettazione da parte degli utenti di questo innovativo servizio di mobilità. A tal fine, da luglio a novembre 2019 è stata condotta una prima indagine sui passeggeri che hanno utilizzato il servizio<sup>203</sup>.

Complessivamente, nella zona l'invecchiamento maggiore si riscontra nelle città più piccole, infatti nel 2035 ci sarà più del 50% sugli over 65, con quattro eccezioni, solo nelle città con meno di 200 abitanti. Allo stesso tempo, una percentuale particolarmente ridotta di giovani (meno del 10% con meno di 25 anni) vivrà in queste città molto piccole<sup>204</sup>.

Su queste basi si struttura l'indagine condotta su 111 passeggeri, interrogati direttamente dopo il viaggio mediante un questionario. L'età media degli intervistati è di 57,3 anni, di cui, riferendosi al luogo di residenza, il 36 % delle persone partecipanti vive direttamente a Wusterhausen/Dosse, quasi il 47 % proviene da altri comuni del Brandeburgo o da Berlino e quasi l'11 % è costituito da turisti provenienti da un altro Stato federale, infine, solo il 6 % non rilascia dichiarazioni al riguardo.

Rilevante è come la grande maggioranza degli intervistati (quasi l'85%) considera l'autobus autonomo utile o molto utile (Fig.58).

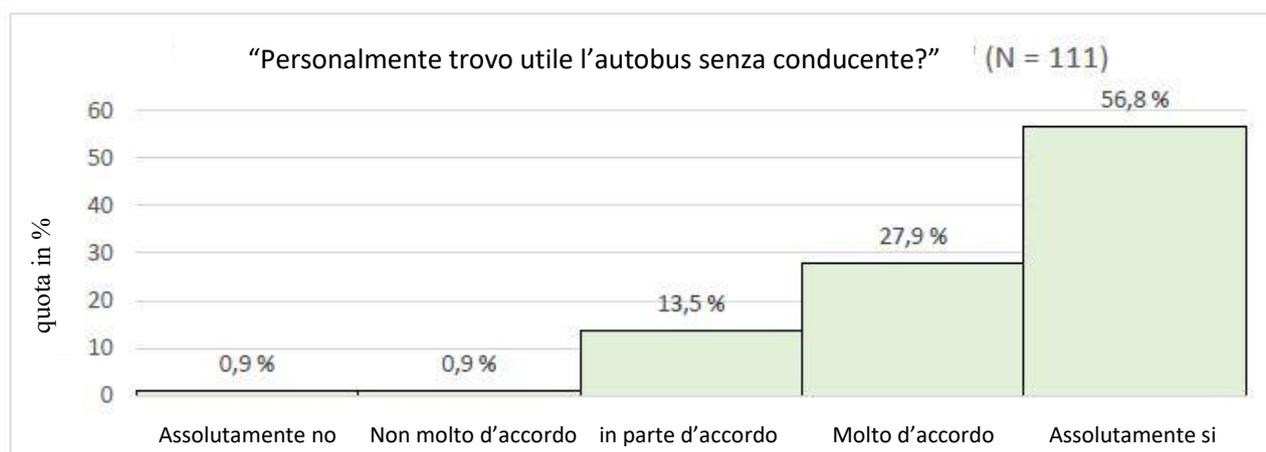


Figura 61: Distribuzione percentuale delle risposte all'utilità percepita del bus automatizzato.

Fonte: <https://www.autonv.de/wp-content/uploads/2016/12/Zwischenbericht-Fahrgastbefragung-13.12.19.pdf>

Nel complesso, l'autobus automatizzato ha avuto un riscontro positivo da parte dei passeggeri intervistati sia per utilità che per sicurezza percepita, infatti oltre l'80% dei partecipanti ha fiducia nella sicurezza dell'autobus. Tuttavia, si può presumere che l'elevata sensazione di sicurezza sia in parte associata alla bassa velocità del bus. Se, nel corso di ulteriori sviluppi tecnici futuri, dovessero essere consentite velocità di percorrenza più elevate, dovrà essere riverificata la sensazione personale di sicurezza percepita dagli utenti (che potrebbe diminuire all'aumentare della velocità). Inoltre, la presenza dell'operatore a bordo sembra avere un'influenza positiva sull'accettazione dei passeggeri, spesso viene lodato come un'autorità per la sicurezza e l'informazione a bordo.

La maggior parte degli utenti hanno utilizzato l'autobus per curiosità e non a scopo di interesse generale, quindi l'attenzione si è concentrata sulla conoscenza e sulla sperimentazione di questa

<sup>203</sup> <https://www.autonv.de/oeffentliche-mobilitaet/situation-in-ostprignitz-ruppin/>

<sup>204</sup> Ibid

innovazione. L'autobus senza conducente rappresenterà presumibilmente una vera e propria alternativa di mobilità solo quando sarà possibile raggiungere velocità più elevate e percorrere percorsi utili.

Le critiche maggiori, da parte dei passeggeri, sono arrivate nei confronti dell'accessibilità del mezzo. Soprattutto per le persone anziane o con difficoltà motorie, gli autobus autonomi dovrebbero contribuire a migliorare la situazione della mobilità personale. Al fine di creare accettazione tra questi gruppi target, devono essere adottate misure come: la realizzazione di una rampa per sedie a rotelle, l'installazione di maniglie e/o cinture di sicurezza e la regolazione dell'altezza del veicolo al momento della salita/discesa dal mezzo.

Nel complesso, tuttavia, l'operazione di prova a Wusterhausen/Dosse ha dimostrato la sua validità nell'avvicinare questa forma innovativa di trasporto pubblico alle persone nelle zone rurali di campagna e nel fornire un quadro realistico di ciò che ci si aspetta dallo stato attuale dello sviluppo tecnologico<sup>205</sup>.

---

<sup>205</sup> <https://www.autonv.de/wp-content/uploads/2016/12/Zwischenbericht-Fahrgastbefragung-13.12.19.pdf>

#### 4.2.1.2. Descrizione progetto: Swiss Transit Lab - AMoTech – Route 12 project

Il secondo progetto analizzato è stato sviluppato nel cantone svizzero di Sciaffusa, nel Comune di Neuhausen am Rheinfall, utilizzando di un autobus a guida automatica, su una linea creata appositamente per la sperimentazione, la numero 12 (Route 12)<sup>206</sup>.

La Route 12 esprime un concetto di mobilità universale (Mobility-as-a-Service) e si differenzia da altri progetti pilota in quanto risulta integrato nella rete di trasporto pubblico già esistente nel Cantone quindi sfruttando l'infrastruttura già esistente.

Numerosi studi sulla guida autonoma si sono concentrati principalmente sull'ottimizzazione tecnica dei veicoli, questo progetto invece, ha voluto concentrarsi sulle questioni specifiche riguardanti il punto di vista della comunità, le diverse sfide sociali e politiche che ne derivano attraverso uno studio di accettazione degli utenti che mira ad integrare preoccupazioni e desideri della popolazione, nei comuni di Stein am Rhein, Thayngen e, il già citato, Neuhausen am Rheinfall (Fig.59).

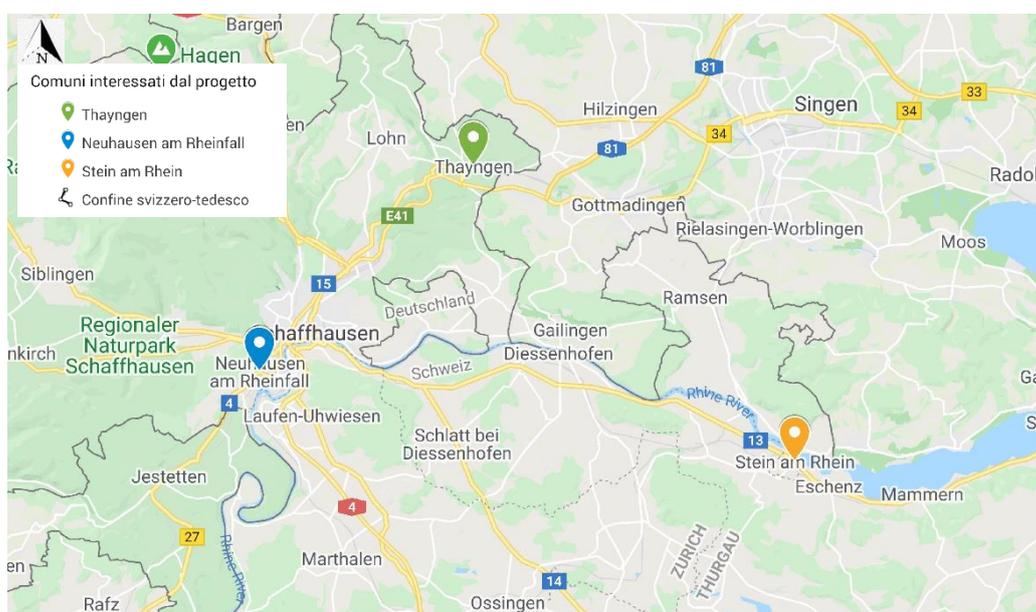


Figura 62: rappresentazione cartografica (fuori scala) dei tre comuni interessati dall'indagine.

Fonte: elaborazione propria su dati Google MyMaps

Il progetto di ricerca si concentra quindi sulla percezione della guida autonoma da parte del pubblico indagando sulla fiducia, i timori e perplessità riguardo all'introduzione di un servizio di autobus autonomo per la linea 12, così come sulla guida autonoma in generale<sup>207</sup>. Oltre a questo, ulteriore obiettivo è stato quello di testare il comportamento di un autobus autonomo in diverse situazioni di traffico, integrandolo nel sistema di trasporto pubblico esistente.

<sup>206</sup> <https://www.swisstransitlab.ch/de/linie-12>

<sup>207</sup> [https://www.swisstransitlab.com/images/Studie/20200108\\_finalreport\\_route12.pdf](https://www.swisstransitlab.com/images/Studie/20200108_finalreport_route12.pdf)

Il mezzo utilizzato è il Navya Autonom Shuttle<sup>208</sup> (Fig.60), il quale permette di trasportare mediamente 80 persone al giorno percorrendo una distanza di circa 8 km ad una velocità operativa limitata di 15 km/h. In tutta la sperimentazione la navetta ha trasportato circa 50.000 passeggeri. Alcune delle sfide affrontate, derivanti dal percorso, includono: la navigazione su pendii con un'inclinazione del 15% o più, operazioni bidirezionali e strade aperte al traffico e ai pedoni (mentre attraversa una zona pedonale)<sup>209</sup>.



Figura 63: a sinistra il veicolo che percorre l'area pedonale lungo le cascate del Reno. A destra, utenti del servizio che scendono dal veicolo alla fermata adiacente alle cascate.

Fonte: <https://www.swisstransitlab.ch/de/linie-12>

### Percorso (Fig.61)

La navetta ha funzionato per oltre un anno - da marzo 2018 a giugno 2019 - nella parte superiore del percorso nel traffico misto tra la zona industriale e Neuhausen am Rheinfall Zentrum (percorso di colore rosso in figura). Lì, il minibus a guida automatica ha servito tre fermate, due delle quali condivise con autobus convenzionali della compagnia del trasporto pubblico locale. Nel giugno 2019, viene ampliato il percorso verso il bacino delle cascate del Reno (percorso di colore viola in figura) con altre quattro fermate. Da allora, la navetta ha gestito l'intero percorso con un totale di sette fermate.

<sup>208</sup> <https://navya.tech/en/>

<sup>209</sup> <https://www.swisstransitlab.com/en/route-12>

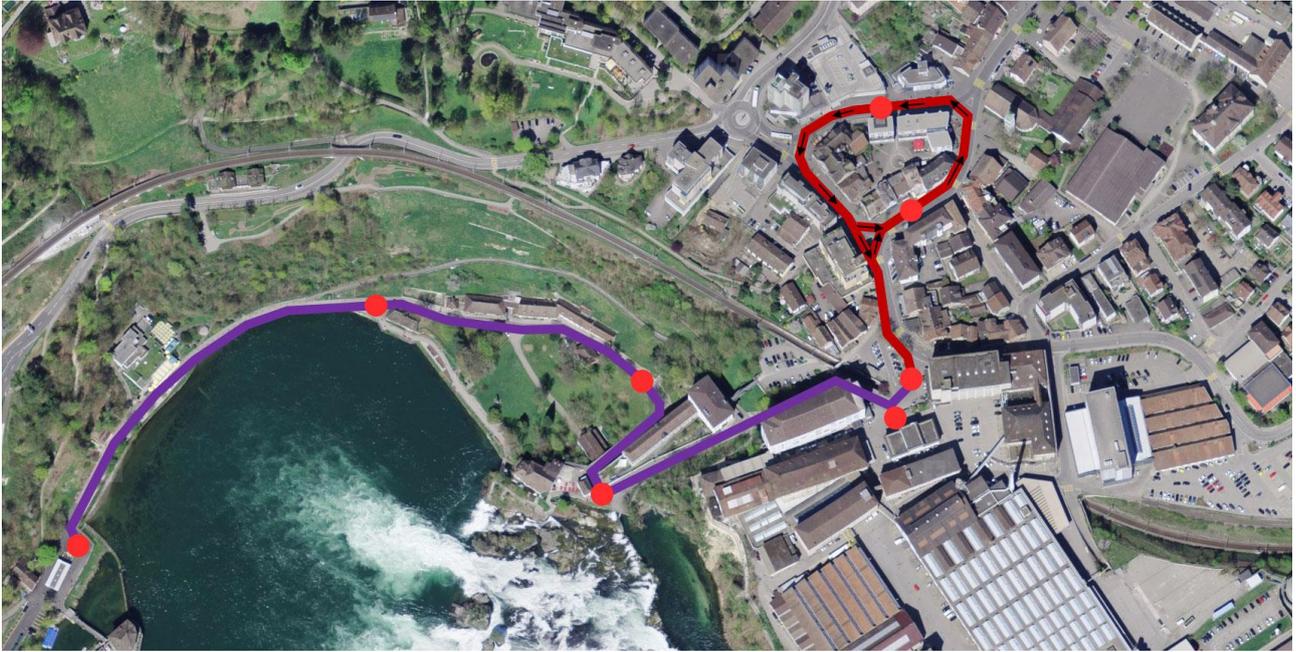


Figura 64: Percorso del bus automatizzato. Segnate in rosso le fermate lungo il percorso. Si possono osservare le cascate del Reno servite dal minibus, un'importante punto d'interesse, soprattutto per i turisti.

Fonte: <https://www.swisstransitlab.ch/de/linie-12>

### Risultati ottenuti dalla sperimentazione

Accanto all'introduzione della Route 12 a Neuhausen am Rheinfall il 27 marzo 2018, l'Istituto di Scienza, Tecnologia e Politica (ISTP) dell'ETH di Zurigo ha condotto un panel<sup>210</sup> di sondaggi con tre tranche, su un campione casuale di 8000 abitanti, sulla percezione pubblica della corsa di prova (Fig.62), nonché sulla guida autonoma in generale. In totale, 819 intervistati hanno risposto a tutte e tre le ondate di panel, il che definisce il principale interesse del campione.

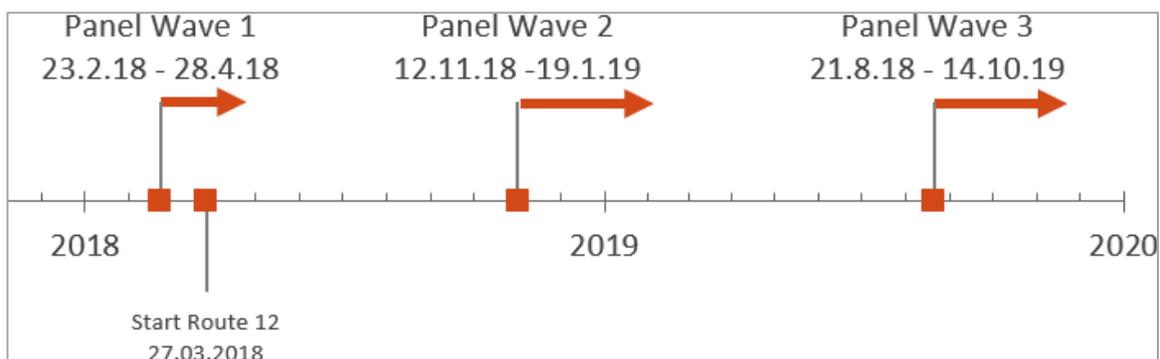


Figura 65: Timeline dei tre panel condotti nell'arco della sperimentazione.

Fonte: [https://www.swisstransitlab.com/images/Studie/20200108\\_finalreport\\_route12.pdf](https://www.swisstransitlab.com/images/Studie/20200108_finalreport_route12.pdf)

Nel complesso, il laboratorio di prova a Neuhausen am Rheinfall ha offerto un'eccellente opportunità per valutare se e in che modo tali studi influenzano la percezione del pubblico, in particolare per quanto riguarda i dubbi e le paure da una prospettiva scientifica.

<sup>210</sup> In statistica, campione rappresentativo di un universo (per es., di consumatori, di punti di vendita), cui si ricorre per la raccolta continuativa di informazioni statistiche, caratterizzato dal fatto che la sua composizione resta invariata nel corso di successive inchieste per sondaggio. Fonte: Enciclopedia Treccani online

Nei tre comuni precedentemente citati (Fig.60), solo Neuhausen am Rheinfall è stato direttamente coinvolto nell'introduzione della linea 12, infatti gli altri due Comuni sono stati utilizzati come gruppi di controllo. Questo ha permesso di raccogliere numerosi dati sui relativi cambiamenti nella percezione della guida autonoma.

La maggior parte degli abitanti dei comuni indagati lavora in altri luoghi al di fuori dei comuni e tuttavia, essi si spostano soprattutto quotidianamente verso la città di Sciaffusa e il cantone di Zurigo. Rispetto a Neuhausen am Rheinfall, Stein am Rhein conta solo un terzo della popolazione con una percentuale di residenti stranieri è più alta a Neuhausen am Rheinfall, con circa il 40%, mentre Stein am Rhein e Thayngen vi sono circa la metà di questa percentuale, poco più del 20%. La distribuzione per fasce d'età è simile in tutti e tre i comuni. Tuttavia, Stein am Rhein ha la più alta percentuale di residenti oltre i 65 anni con il 24%, mentre negli altri due comuni questa quota si aggira intorno al 20%.

I risultati della sperimentazione mostrano livelli molto elevati di accettazione per la sperimentazione a Neuhausen am Rheinfall e, in misura minore, la guida automatizzata in generale (Fig.63).



Figura 66: Indagine sull'esperienza di guida sulla linea 12.

Fonte: [https://www.swisstransitlab.com/images/Studie/20200108\\_finalreport\\_route12.pdf](https://www.swisstransitlab.com/images/Studie/20200108_finalreport_route12.pdf)

Tuttavia, è stato rilevato un certo scetticismo latente che si sviluppa in alcune preoccupazioni specifiche nei confronti della guida automatizzata.

La Figura 63 riassume le risposte sulla percezione generale del viaggio sulla navetta automatica. In particolare, è stato chiesto agli intervistati di valutare il comfort, l'affidabilità, la spaziosità, l'efficienza temporale e l'utilità dell'autobus su una scala a cinque punti che va da molto scarsa a molto buona. Nel complesso, l'esperienza di guida è stata prevalentemente positiva. Oltre il 50% dei rispondenti ha valutato il comfort, l'affidabilità, la spaziosità e l'utilità dell'autobus a guida automatica come buoni o molto buoni. Solo l'efficienza del tempo è stata giudicata scarsa da quasi il 45% degli intervistati, con un certo grado di insoddisfazione per la velocità del bus navetta della linea 12.

In conclusione, i risultati dei sondaggi condotti possono essere riassunti come segue:

1. La consapevolezza e la conoscenza dell'esecuzione del test sono aumentate di circa 30 punti percentuali dalla prima ondata a oltre il 90% nella terza ondata.
2. La percezione pubblica della prova della Route 12 e la guida autonoma in generale sono rimaste stabili a livelli elevati.
3. I residenti valutano il progetto Route 12 come utile.
4. Esistono livelli di accettazione complessivamente elevati e stabili per la sperimentazione sulla Route 12 a Neuhausen am Rheinfall, che è fondamentale per la futura adozione della tecnologia con ulteriori sperimentazioni.
5. Effetto positivo per la regione, nonché per le aziende e gli operatori dei trasporti alla base del progetto.
6. L'esperienza di guida con la Route 12 è ampiamente valutata come positiva, sebbene la velocità di marcia sia considerata lenta.

#### 4.2.1.3. Descrizione progetto: SHOW - SHared automation Operating models for Worldwide adoption

Il terzo esempio, l'unico a non essere concluso tra quelli analizzati, con un budget di circa 36 milioni di euro (Fig.64), unisce 69 partner di 13 paesi dell'UE per supportare la mobilità sostenibile attraverso la diffusione dell'automazione condivisa, connessa ed elettrificata nel trasporto urbano locale per un periodo di quattro anni.

SHOW è il più grande progetto mai avviato<sup>211</sup> di veicoli autonomi in ambienti urbani, con oltre 20 città europee che ospiteranno progetti (tra cui Torino per l'Italia), andando anche oltre i confini dell'UE, poiché sono previste azioni di gemellaggio con 11 organizzazioni di Stati Uniti, Corea del Sud, Australia, Cina, Taiwan e Singapore.

Il programma mira a supportare il percorso migratorio verso un trasporto urbano sostenibile attraverso soluzioni tecniche, modelli di business e creazione di scenari per la valutazione d'impatto, mediante una flotta, con un massimo di 74 AV, tra autobus utilizzati come mezzi del Trasporto Pubblico Locale (PTL), taxi, automobili automatizzate connesse MaaS e veicoli per trasporto merci (Logistics as a Service - LaaS) per tutti gli utenti dei trasporti sia nel traffico misto che nelle linee dedicate operanti a velocità di traffico che vanno da 18 a oltre 50 km/h.

Esso esaminerà diversi aspetti degli VGA e come essi possano contribuire al meglio alla mobilità sostenibile: ad esempio, come poter garantire l'accettazione degli utenti all'arrivo dei VGA e quali possono essere i limiti legali, operativi ed etici di questi mezzi<sup>212</sup>.

**Informazioni relative al progetto**



**ID dell'accordo di sovvenzione: 875530**

Stato  
**Progetto in corso**

Data di avvio	Data di completamento
<b>1 Gennaio 2020</b>	<b>31 Dicembre 2023</b>

Finanziato da:  
**H2020-EU.3.4.**

Figura 67: scheda informativa del progetto Show.  
Fonte: <https://cordis.europa.eu/project/id/875530/it>

<sup>211</sup> <https://cordis.europa.eu/project/id/875530/it>

<sup>212</sup> <https://www.uitp.org/news/towards-safer-sustainable-cities-launch-show-project-marks-major-milestone-automated-transport>

La suddivisione dei vari progetti e quindi dei rispettivi finanziamenti per i paesi partecipanti, è strutturata in (Fig.65): 5 **Mega Sites**, 6 **Satellite Sites** e 3 **Follower Sites**.

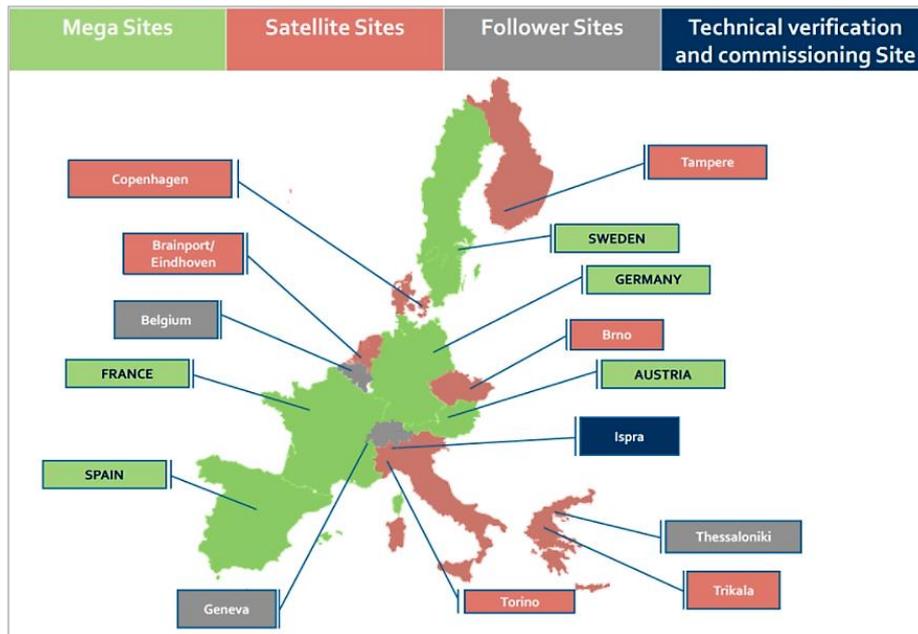


Figura 68: suddivisione dei vari paesi UE partecipanti al progetto nelle tre categorie (mega-satellite-follower).

Fonte: Turin Satellite Pilot, SHOW kick-off meeting, 23/01/2020

Per **Mega Sites** (in verde nell'immagine) si intendono città o ampi agglomerati urbani (all'interno dello stesso Paese), che racchiudono molte tipologie di veicoli, diverse situazioni di traffico (urbano e periurbano) e diverse tipologie di viaggiatori pendolari e non. I Paesi coinvolti sono Svezia, Germania, Francia, Austria, Spagna.

I **Satellite Sites** (in rosso nell'immagine) corrispondono a quelle città con ognuna una caratteristica unica e complementare ai Mega Sites in termini di tecnologie applicate, ambienti di traffico e copertura geografica. Gli Stati selezionati e le rispettive città scelte sono rappresentati in tabella 14.

Nazione	Città
<b>Italia</b>	<b>Torino</b>
Finlandia	Tampere
Danimarca	Copenaghen
Olanda	Brainport/Eindhoven
Grecia	Trikala
Repubblica Ceca	Brno

Tabella 14: elenco delle Nazioni con le relative città partecipanti al progetto.

Fonte: elaborazione propria su dati SHOW (<https://cordis.europa.eu/project/id/875530/it>)

Infine, i **Follower Sites** (in grigio nell'immagine) collegano le attività e i dati attuali rilevanti senza eseguire ulteriori dimostrazioni. Essi costituiscono siti di replica che adotteranno modelli di business, tecnologie e strumenti ottenuti dal progetto.

### Torino come città satellite per l'Italia

Il progetto SHOW si inserisce nella strategia del Comune di Torino, Torino City Lab<sup>213</sup>, per innescare la diffusione della mobilità autonoma, favorendo la cooperazione tra le imprese private, le strutture locali, il mondo accademico e la società civile.

La città di Torino punta ad essere la prima città in Italia a sperimentare i veicoli a guida autonoma su strada che accompagneranno i disabili dalle proprie case in ambulatorio e viceversa. Infatti, l'area scelta per la sperimentazione è quella **sanitaria**, in cui gli utenti con difficoltà motoria potranno richiedere un mezzo, rigorosamente driverless, che andrà a prenderli a casa, o alle fermate della metro disponibili, e li porterà davanti ai presidi sanitari della zona. Potranno usufruire del servizio persone con difficoltà di deambulazione, anziani, disabili o donne in gravidanza. Inoltre, la prenotazione del veicolo a chiamata sarà integrata con il sistema di prenotazione dei servizi ospedalieri e alcuni servizi amministrativi dell'ospedale saranno forniti a bordo (es. check-in, informazioni e pagamento). Sarà l'Asl ad identificare i destinatari del progetto della sperimentazione che prenderà piede concretamente nel 2022<sup>214</sup>.

A Torino, l'automatizzazione dei veicoli sarà messa in atto in associazione con la Fondazione Links<sup>215</sup> con altri partner per la buona riuscita della sperimentazione come Gtt, Comune di Torino e 5T<sup>216</sup>. In particolare, 5T con l'aiuto di Swarco<sup>217</sup> avrà il compito di monitorare la rotta dei veicoli a guida autonoma, che avranno sempre e comunque la priorità semaforica. Il minibus utilizzato nel progetto sarà fornito dall'azienda francese Navya<sup>218</sup>, al vertice globale per la progettazione e produzione di navette a guida autonoma (Fig.66). La navetta utilizzando una tecnologia multi-sensore di ultima generazione (vedi capitolo 3) che offrirà, almeno, una tripla ridondanza in tutte le funzioni, garantendo un'elevata affidabilità del mezzo.



Figura 69: Minibus Navya che verrà utilizzato nella sperimentazione.

Fonte: archivio personale, 2019

Il Comune di Torino ha avviato politiche e iniziative volte alla ricerca applicata di nuove tecnologie e servizi innovativi, posizionandosi oggi come una delle città capofila a livello italiano per i test di VGA con sperimentazioni in ambito digitale e high tech, grazie soprattutto ad una concreta volontà

<sup>213</sup> <https://www.torinocitylab.com/it/experiment-to/circuito-smartroad>

<sup>214</sup> <https://mole24.it/2020/02/20/veicoli-a-guida-autonoma-porteranno-i-disabili-in-ambulatorio-a-torino-il-progetto-europeo/>

<sup>215</sup> Nata dalla partnership tra Compagnia di San Paolo e Politecnico di Torino, è Partner d'eccellenza per aziende, imprese, istituzioni e pubbliche amministrazioni intenzionate ad affrontare progetti di innovazione tecnologica e sviluppo del territorio, si distingue per l'elevata competenza e multidisciplinarietà del capitale umano, cuore pulsante della Fondazione (<https://linksfoundation.com/chi-siamo/>).

<sup>216</sup> <http://www.5t.torino.it/chi-siamo/>

<sup>217</sup> Il gruppo SWARCO offre uno dei portafogli di soluzioni più complete per segnaletica stradale, gestione del traffico urbano, parcheggi, smart road, trasporti pubblici e illuminazione stradale. L'obiettivo è quello di collegare i veicoli con l'infrastruttura stradale, aiutando a creare un'infrastruttura di ricarica per potenziare l'elettromobilità e offrendo soluzioni modulari che supportino la mobilità di domani (<https://www.swarco.com/about-us>).

<sup>218</sup> <https://www.navya-corp.com/index.php/fr/navya/presentation>

politica a livello locale<sup>219</sup>. L'assessorato comunale all'innovazione, guidato inizialmente dall'assessora Paola Pisano, attualmente ministro per l'innovazione tecnologica e la digitalizzazione nel *Governo Conte II*, ha permesso di avviare una prima sperimentazione di carattere locale (Living lab 2016), con l'obiettivo di trasformare la città in una "Smart City". Nel 2018 è stato creato il progetto Torino City Lab, i cui focus principali sono lo sviluppo di servizi di mobilità autonoma (VGA, droni) e di servizi urbani innovativi (5G, AI), con la dichiarata intenzione di fare dell'intera città un laboratorio a cielo aperto<sup>220</sup>.

### Fasi del Progetto

Il progetto SHOW è strutturato in **tre fasi** distinte quali:

#### - Fase 1: PRE-PILOT (2020)

In questa fase è previsto l'utilizzo di una navetta autonoma testata all'interno del campus dell'ITCILO<sup>221</sup> a Torino. La navetta utilizzata per questa fase si chiama Olli<sup>222</sup>, nome scelto dall'azienda statunitense *Local Motors*, e rappresenta il primo minibus elettrico in Italia a guida autonoma, realizzato assemblando parti stampate in 3D. Dispone di dodici posti a sedere al suo interno, mentre dall'esterno si presenta come un veicolo caratterizzato principalmente da una superficie vetrata trasparente così, conseguentemente, ne beneficia l'abitacolo risultando più luminoso per i passeggeri (Fig.67).



Figura 70: Minibus Olli con all'interno coloro che han permesso la sperimentazione, tra cui la sindaca di Torino, Chiara Appendino.

Fonte: <https://www.ildigitale.it/un-giorno-viaggera-in-tutta-la-citta-a-torino-il-prim-minibus-elettrico-senza-autista/>

<sup>219</sup> Jacopo Scudellari, Luca Staricco, Elisabetta Vitale Brovarone, "Governare gli impatti territoriali della diffusione dei veicoli a guida autonoma", Rapporto progetto di ricerca - Politecnico di Torino Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, 2019

<sup>220</sup> <https://www.torinocitylab.com/it/>

<sup>221</sup> Il Centro Internazionale di Formazione (ITCILO) è un'agenzia di formazione professionale nel cuore di un parco lungo il fiume Po a Torino. Fondato nel 1964 dall'Organizzazione Internazionale del Lavoro e dal governo italiano, il Centro ha per missione la realizzazione del lavoro dignitoso per tutti, uomini e donne.

Fonte: <https://www.itcilo.org/it/about>.

<sup>222</sup> <https://mole24.it/2020/01/16/presentato-a-torino-il-bus-a-guida-autonoma-e-il-prim-in-italia-sara-sperimentato-in-citta/>

Per poter circolare senza che venga richiesto l'intervento di un driver, il bus è fornito di trenta sensori, fondamentali per coordinare i movimenti al meglio e per evitare situazioni che possano mettere in pericolo la sicurezza di chi si trova a bordo<sup>223</sup>.

All'interno del campus, quindi in ambiente "protetto", raggiunge una velocità massima di 25 km/h e oltre ai dipendenti e agli ospiti del Campus ITC, sarà consentito l'utilizzo del mezzo anche ad alcuni giovani che percepiscono il reddito di cittadinanza, al fine di coinvolgere i cittadini e far conoscere in maniera più approfondita il progetto.

La prima fase del progetto, che si sarebbe dovuta concludere nella prima metà del 2020, ma che ha subito dei rallentamenti causati dalla pandemia da Coronavirus, ha l'obiettivo di fornire due importanti valutazioni, propedeutiche alle fasi successive:

- 1) individuazione dei fattori di successo e delle barriere all'implementazione dei VGA;
- 2) l'attuazione di politiche che integrino gli aspetti di *public acceptance*.

- Fase 2: PRE-DEMO (2021)

Fase di pre-demo, per valutare la prontezza dei risultati dell'applicazione della navetta in uno scenario non protetto. Questa fase sarà sempre propedeutica alla terza.

- Fase 3: PILOT (2022)

La terza fase prevederà l'uso di due veicoli, il minibus shuttle Navya e un'auto a guida autonoma. L'area di prova, facente parte del circuito di 35 km individuato dal Comune di Torino<sup>224</sup>, sarà all'interno dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Città della Salute e della Scienza di Torino (fig.68).

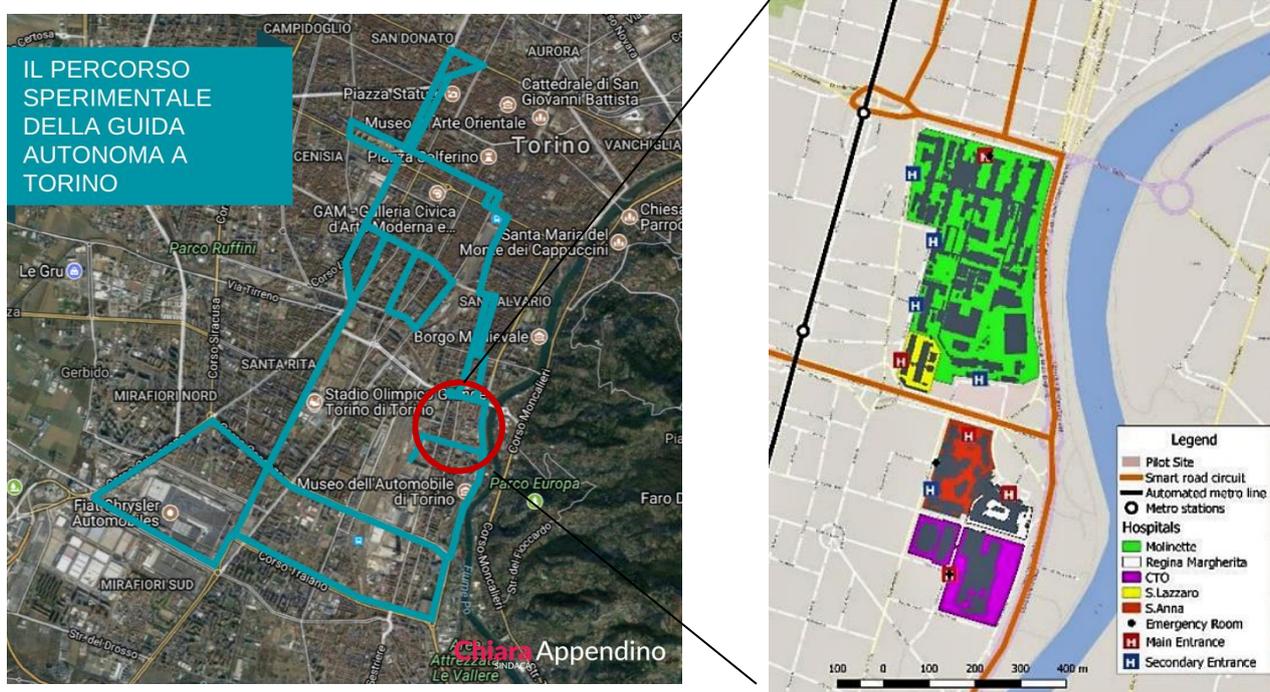


Figura 71: A sinistra il percorso, di 35km, preposto alle sperimentazioni sulla guida autonoma all'interno del Comune di Torino. A destra il dettaglio dell'area ospedaliera interessata dal progetto SHOW.

Fonti: <https://www.chiaraappendino.it/guida-autonoma-torino-mappa-percorso/> e Turin Satellite Pilot, SHOW kick-off meeting, 23/01/2020

<sup>223</sup> [https://localmotors.com/wp-content/uploads/2019/02/Olli\\_Specsheet.pdf](https://localmotors.com/wp-content/uploads/2019/02/Olli_Specsheet.pdf)

<sup>224</sup> <https://www.chiaraappendino.it/guida-autonoma-torino-mappa-percorso/>





## Capitolo

# 05

### VGA in zone a bassa densità abitativa

#### 5.1 Caso studio nel Comune di Trofarello (Torino)

5.1.1 Analisi dell'offerta di mobilità ferro-gomma nell'ora di punta 08.00-09.00

#### 5.2 Criteri per la determinazione del percorso di sperimentazione

5.2.1 La distribuzione della domanda

#### 5.3 Applicazione del software VRP Spreadsheet Solver (v3.43)

5.3.1 Risultati ottenuti

5.3.2 Confronto con altre modalità di spostamento

#### 5.4 Confronto finale e considerazioni

## 5. I VGA in zone a bassa densità abitativa

In questo capitolo si esaminerà il potenziale impatto dei VGA, dalle aree più popolate a quelle con una bassa densità abitativa, e successivamente si analizzeranno, in un caso studio specifico, i vari sistemi a guida autonoma disponibili al fine di determinare un quadro futuro in cui i mezzi automatici, ampiamente diffusi, possano incrementare l'accessibilità e l'intermodalità con altri mezzi di trasporto.

Andando con ordine, si possono confrontare varie tipologie territoriali con i relativi sistemi innovativi attuabili. Basandosi sempre sulla densità abitativa come parametro di riferimento, sono considerate le seguenti tipologie territoriali<sup>225</sup>:

- 

- **Grandi città**, come capoluoghi di provincia o di regione con un'elevata densità abitativa, in cui i sistemi di mobilità condivisa trovano una facile applicazione, in quanto l'elevato numero di spostamenti garantisce buoni livelli di utenza, che permette una redditività tale da recuperare i costi d'investimento. Vi è una struttura policentrica, in cui l'attrattività è concentrata nella zona centrale e nelle aree comprendenti i poli d'interesse. Gravitano attorno ad esse altri centri minori e medio-piccoli. Il trasporto collettivo è sviluppato in modo da coprire sostanzialmente tutta l'area urbana e quindi non sono presenti zone non raggiungibili, però ci sono alcune fasce orarie, soprattutto di notte e nelle ore di morbida (off-peak hours), in cui i servizi sono ridotti o totalmente assenti;
- 

- **Città medio-piccole**<sup>226</sup> in cui è presente una struttura urbana monocentrica con una modesta densità, con attività economiche e poli d'attrazione concentrati nel centro cittadino. Nelle zone periferiche si trovano residenze e attività meno redditizie. La mobilità condivisa potrebbe garantire un ruolo più importante rispetto alle grandi città, in quanto il trasporto collettivo è generalmente meno sviluppato, soprattutto verso i quartieri periferici. Inoltre, in questo caso, diventano importanti i flussi sia in entrata che in uscita dalla città, attraverso la stazione ferroviaria come punto nevralgico, che permettono di collegare queste categorie di città velocemente con la grande città in cui gravitano alcuni lavoratori e servizi (vedi il servizio SFM<sup>227</sup> nel torinese);
- 

- **Centri abitati minori** hanno uno sviluppo limitato, di pochi chilometri, quindi per gli spostamenti interni le distanze si coprono facilmente a piedi o in bicicletta. Per questo motivo non ha senso puntare sull'auto, anche per il fatto che spesso le carreggiate non hanno lo spazio per ospitare aree a parcheggio. Le attività commerciali e industriali sono a carattere locale, rivolte prevalentemente agli abitanti del centro abitato stesso o dei centri vicini. Possono essere presenti dei poli d'attrazione di rilievo anche per la popolazione circostante come scuole, ospedali e centri commerciali. Non è presente la distinzione centro-periferia, tipica delle città, ma tuttavia possono esserci differenze tra centri urbani diversi, in

<sup>225</sup> J. Andreoli, "Opportunità tecnologiche e organizzative per l'evoluzione del trasporto pubblico locale", 2019

<sup>226</sup> [https://www.urbanit.it/wp-content/uploads/2015/09/BP\\_A\\_Ciapetti.pdf](https://www.urbanit.it/wp-content/uploads/2015/09/BP_A_Ciapetti.pdf)

<sup>227</sup> <http://www.sfmtorino.it/>

funzione dello sviluppo del sistema dei trasporti, come con la presenza di stazioni ferroviarie, fermate extraurbane della metropolitana e uscite autostradali.

- **Aree rurali** in cui la domanda di mobilità è debole con una bassa densità abitativa e uno scarso numero di insediamenti, dispersi sul territorio. Si possono distinguere due tipologie, in funzione delle caratteristiche del territorio:



- aree di pianura, con una popolazione esigua, situata in piccoli paesi o in edifici sparsi nella campagna;
- aree di montagna, in cui gli insediamenti sono disposti lungo le valli e la popolazione è concentrata in alcuni paesi, che possono anche avere una discreta densità.

I servizi a chiamata risultano ideali, come alternativa al trasporto collettivo tradizionale.

Le tabelle seguenti (Tab.15-16) si pongono l'obiettivo di avere un quadro d'insieme di tutti i contesti territoriali e chiarire meglio la casistica di soluzioni adottate, e adottabili in futuro con l'intervento dei VGA. Le tabelle sono relative a ciascuna tipologia di territorio considerato precedentemente, e riportano la domanda di mobilità, l'offerta del sistema dei trasporti e le possibili soluzioni per i sistemi di trasporto innovativi e quelli futuri legati ai VGA.

Sono presenti due macrocategorie, rispettivamente, per le aree ad elevata e a bassa densità abitativa.

		Aree ad elevata densità abitativa			Aree a bassa densità abitativa	
		Grandi città	Città medio-piccole	Centri abitati minori	Aree rurali	
<b>Domanda di mobilità</b>	<p>Sono presenti due tipi di domanda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>interna</b>, distribuita in modo omogeneo in tutta l'area urbana;</li> <li>• <b>esterna</b>, costituita dagli utenti che provengono dalla periferia;</li> </ul> <p>La domanda è molto consistente e concentrata in punti ben definiti, corrispondenti alle stazioni e parcheggi d'interscambio e altri luoghi d'interesse. La domanda in uscita è molto inferiore rispetto a quella in entrata.</p>	<p>Domanda caratterizzata da diverse componenti rilevanti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>interna</b>, con origine e destinazione in città;</li> <li>• <b>entrante</b>, con origine fuori città, dai centri urbani circostanti;</li> <li>• <b>uscente</b>, riguarda l'utenza attratta dalla grande città più vicina.</li> </ul>	<p>La domanda è formata principalmente da due componenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>in uscita</b>, verso centri di maggiori dimensioni, riguarda buona parte dell'utenza, per motivi di lavoro, studio o svago;</li> <li>• <b>interna</b>, limitata prevalentemente alle persone non occupate.</li> </ul> <p>La domanda in entrata è molto limitata, può essere rilevante se sono presenti dei poli d'interesse particolari, attrattivi anche per l'area circostante.</p>	<p>La domanda interessa prevalentemente i <b>collegamenti con i centri abitati maggiori</b>, in cui si trovano le attività commerciali e i servizi. La componente in entrata è nulla, per l'assenza di poli d'attrazione. Gli spostamenti interni non sono rilevanti date le limitate distanze. Molto rilevante, per le aree di montagna, la <b>componente turistica</b>, che può far aumentare in modo considerevole la popolazione (in alcuni periodi), generando una domanda verso le attrazioni turistiche che può portare alla definizione di servizi di trasporto specifici.</p>		
	<b>Offerta sistema dei trasporti</b>	<p>Sistema dei trasporti centrato sulla stazione ferroviaria, principale nodo sia per la domanda entrante sia per quella uscente. La rete urbana è costituita dalle seguenti tipologie di linee:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>linee di forza</b>, lungo le direttrici principali, di tram, filobus e, più raramente, metropolitana;</li> <li>• <b>linee di adduzione di autobus</b>, a servizio delle zone più periferiche, utilizzate prevalentemente dai residenti.</li> </ul> <p>In alcune realtà in cui il trasporto collettivo è poco sviluppato, si trovano esclusivamente autolinee sulle direttrici principali, mentre le linee di adduzione sono completamente assenti.</p>	<p>Sistema dei trasporti <b>limitato ai collegamenti tra centri urbani diversi</b> (con autolinee), anche se spesso i servizi sono poco efficaci (scarso numero di corse, basse frequenze, fascia oraria di servizio ridotta). Gli spostamenti interni si coprono facilmente a piedi o in bicicletta. Eventuale presenza di fermate di servizi di trasporto di massa, se il centro abitato si trova lungo una direttrice di collegamento tra due città.</p>	<p>La rete stradale può avere uno sviluppo particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>molto fitta</b>, con strade che collegano tra loro tutti gli insediamenti, è il caso delle aree di pianura;</li> <li>• <b>limitata</b>, sviluppata solo lungo direttrici particolari, come nel caso delle aree di montagna, in cui la viabilità segue l'andamento delle valli, ma può verificarsi anche in aree pianeggianti.</li> </ul> <p>Il <b>trasporto collettivo è limitato o inesistente</b>, con eventualmente delle autolinee lungo le direttrici principali. Nelle zone turistiche il trasporto collettivo è maggiormente sviluppato, con buone frequenze ed eventuali percorsi aggiuntivi, anche se limitati ai periodi di alta stagione turistica.</p>		

Tabella 15: domanda di mobilità e offerta del sistema dei trasporti dalle grandi città alle aree rurali.

Fonte: elaborazione proprio su dati J. Andreoli, "Opportunità tecnologiche e organizzative per l'evoluzione del trasporto pubblico locale", 2019

		Aree ad elevata densità abitativa		Aree a bassa densità abitativa	
		Grandi città	Città medio-piccole	Centri abitati minori	Aree rurali
<b>Sistemi innovativi</b>	<p>I VGA come servizi collettivi dedicati potranno avere un <b>duplice scopo</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• coprire le ore di morbida e notturne;</li> <li>• attrarre utenza dal trasporto privato.</li> </ul> <p>Le possibili configurazioni attuali dei servizi dedicati sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• car-sharing a flusso libero su tutta l'area urbana (in futuro <b>car-sharing autonomo</b>);</li> <li>• taxi collettivo (in futuro <b>robotaxi</b>), per le ore di morbida, a sostegno del TPL;</li> </ul>	<p>Per far fronte alle molteplici forme di domanda di mobilità si possono adottare le seguenti soluzioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>car-sharing a flusso libero</b> per la zona centrale (in futuro car-sharing autonomo);</li> <li>• <b>car-sharing a stazioni fisse</b> per le aree più periferiche;</li> <li>• taxi collettivo (in futuro <b>robotaxi</b>), per le ore di morbida, a sostegno del TPL;</li> <li>• servizio a chiamata porta-a-porta con <b>Minibus automatici</b>, per le ore notturne.</li> </ul>	<p>Possibilità di introdurre un servizio, con orari e fermate prestabilite, di collegamento con la stazione ferroviaria, se presente, attraverso l'uso di <b>navette a guida autonoma</b>.</p> <p>Spostamenti interni effettuati a piedi o in bicicletta con la possibilità di introdurre un sistema di <b>bike-sharing</b>.</p> <p>Servizio di <b>car-sharing</b> (o in alternativa taxi) adottabile a scala regionale, per collegare vari centri abitati.</p> <p>Servizi a chiamata adottabili in varie forme (taxi collettivo poi <b>robotaxi</b>), in relazione alle caratteristiche dell'area da servire e alla presenza di servizi di massa con cui interscambiare.</p>	<p>Servizi a chiamata ideali per aree a domanda debole, in alternativa al trasporto collettivo tradizionale, in varie soluzioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• taxi collettivo per aree con direttrici ben definite (zone di montagna), oppure con rete stradale poco sviluppata (zone di pianura);</li> <li>• servizio porta-a-porta per le zone con una rete stradale più ramificata (tipico delle aree pianeggianti), oppure con insediamenti diffusi sul territorio.</li> </ul> <p>Le corse sono effettuate solo in caso di necessità (prevista la prenotazione), con fermate a richiesta dell'utenza (assenza di fermate fisse prestabilite).</p>	

Tabella 16: offerta dei sistemi innovativi per le diverse tipologie insediative.

Fonte: elaborazione propria su dati Fonte: elaborazione proprio su dati J. Andreoli, "Opportunità tecnologiche e organizzative per l'evoluzione del trasporto pubblico locale", 2019

Per quanto concerne l'analisi delle aree a bassa densità abitativa, il servizio di TPL potrebbe essere integrato, sfruttando le presenti linee principali (come linee ferroviarie o principali linee extraurbane), per favorire il raggiungimento dell'abitazione e/o la fermata/stazione con servizi on demand autonomi (vedi i progetti descritti nel capitolo precedente).

Infatti, esiste un grande potenziale nel servizio on demand completamente automatizzato nelle aree esterne, in cui la maggior parte della popolazione è concentrata nei più importanti nuclei urbani, con un elevato numero di piccoli comuni sparsi nel territorio.

L'ampia dispersione e la bassa densità della popolazione hanno logicamente effetti diretti sul costo della fornitura del servizio pubblico che per questo motivo, con i costi di gestione e servizio attuali, risulta insostenibile per un'azienda di trasporto locale<sup>228</sup>.

Quindi, in aree in cui la domanda è debole e non sono presenti molti autobus in circolazione, un servizio di navetta autonomo sarebbe teoricamente conveniente per gli utenti, con costi d'uso comparabili o inferiori a quelli odierni. Nell'ambiente urbano invece, l'implementazione di minibus senza conducente può avere senso nelle aree periferiche e in periodi in cui la domanda è debole, come le ore di morbida<sup>229</sup>.

I sistemi innovativi trovano diversa applicazione nei vari contesti territoriali, come descritto nelle tabelle precedenti.

Nelle aree ad elevata densità abitativa, come le città, il TPL è basato sui sistemi tradizionali, quindi dove vi è la necessità di coprire solamente i "buchi" lasciati da esso, riguardanti sia l'aspetto temporale, come nelle ore di morbida e notturne, sia quello spaziale, nei casi in cui il TPL non sia pienamente sviluppato, cosa che si verifica prevalentemente nelle città medio-piccole.

Per questo contesto i servizi a chiamata sono un adeguato supporto al TPL, nella modalità taxi collettivo per le ore di morbida, in quella porta-a-porta nelle ore notturne. In questo scenario, il robotaxi e il minibus autonomo potrebbero inserirsi permettendo di ridurre i costi d'esercizio<sup>230</sup> e quindi conseguentemente i costi all'utente finale.

Nella tabella di seguito (Tab.17) sono elencati i problemi principali legati all'accessibilità nelle aree a domanda debole (centri urbani minori e aree rurali).

---

<sup>228</sup> Interreg IVC Move On Green, "Good practices collection on sustainable mobility in EU" ([https://www.euromontana.org/wpcontent/uploads/2014/07/mog\\_good\\_practices\\_collection.pdf](https://www.euromontana.org/wpcontent/uploads/2014/07/mog_good_practices_collection.pdf))

<sup>229</sup> <https://blog.ptvgroup.com/en/city-and-mobility/self-driving-shuttles-research-project/>

<sup>230</sup> Con viaggi più efficienti e con l'assenza di personale a bordo (nelle fasi non sperimentali ovviamente).

<b>Problemi di accessibilità nelle aree a domanda debole</b>	
1	Struttura insediativa a <b>bassa densità</b> con un elevata presenza di piccoli agglomerati abitati e case sparse nel territorio.
2	<b>Attrattori</b> concentrati principalmente nei centri abitati di maggiori dimensioni (capoluoghi di provincia) a discapito delle aree più esterne
3	<b>Inefficienza del TPL tradizionale</b> data dalla bassa densità abitativa, dalla dispersione dei principali attrattori e dal basso numero di passeggeri trasportati per veicolo
4	<b>Elevata quota modale dell'auto</b> , utilizzata maggiormente per ovviare alle carenze del TPL e per una questione di comodità da parte dell'utente che può raggiungere direttamente l'abitazione soprattutto nelle aree più isolate
5	<b>Distanze non sempre percorribili a piedi e in bicicletta</b> , data la presenza di strade senza marciapiedi o aree protette, spesso per mancanza di spazio fisico
6	<b>Carenza di percorsi adeguati e in sicurezza</b> (collegato al punto precedente), in cui per la poca sicurezza per gli utenti deboli della strada si preferisce sempre l'uso del mezzo privato (auto)
7	<b>Isolamento di utenti che non hanno accesso all'auto</b> , per le categorie che non hanno accesso alla mobilità per motivi finanziari, fisici o culturali. Rientrano in questa categoria gli anziani senza auto, i giovani disoccupati senza mezzi finanziari per ottenere la patente di guida o l'auto, le donne in famiglie con una sola auto usata dall'altro coniuge e i disabili

Tabella 17: Principali problemi di accessibilità nelle aree a domanda debole, come quelle rurali.  
Fonte: elaborazione propria su dati: Elisabetta Vitale Brovarone, "La strategia nazionale per le aree interne e l'accessibilità nelle aree rurali e montane a bassa densità", 2020

Come anticipato, in questo capitolo si concentrerà proprio su queste aree a domanda debole e sui problemi di accessibilità ad esse relativi. Il caso studio, analizzato di seguito, verte proprio su un Comune (Trofarello in provincia di Torino) che può essere classificato come **centro abitato minore** in un ambito metropolitano con una forte dipendenza dalla grande città più vicina (Torino).

## 5.1 Caso studio nel Comune di Trofarello (Torino)

Dopo aver analizzato i vari sistemi di trasporto automatici (vedi capitoli 3 e 4), si cercano ora le soluzioni migliori per poterli applicare in un caso studio, con lo scopo di soddisfare la domanda di mobilità non coperta dal trasporto collettivo tradizionale e allo stesso tempo migliorare la ripartizione modale, cercando di ridurre l'uso di modalità molto onerose per la collettività (su tutte l'auto privata). Nella disamina dei vari sistemi attuabili si considerano unicamente i sistemi innovativi, dando per scontato che il sistema di trasporti tradizionali (autolinee e ferrovie) sia già completo, anche se in molti casi reali, come questo analizzato, non è sempre così.

Quindi, in questa parte conclusiva dell'elaborato di tesi, si prova ad immaginare, attraverso l'utilizzo di un software specifico (*VRP Spreadsheet solver*), come potrebbe essere strutturato un servizio di navetta con mezzi automatici, che collegherebbe la stazione ferroviaria di Trofarello, in provincia di Torino, con il suo centro cittadino.

Inoltre, verranno poste a **confronto** tra loro diverse modalità di trasporto automatiche per avere una panoramica più ampia sugli eventuali benefici e limiti dei vari servizi.

Il comune analizzato è stato scelto come caso studio in quanto possiede la peculiarità di avere la stazione ferroviaria lontana dal centro abitato e quindi, proprio per questa caratteristica, i mezzi a guida autonoma potrebbero essere utili al suo raggiungimento da parte degli utenti pendolari senza dover utilizzare l'auto o altri mezzi individuali.

Ulteriore obiettivo è quello di immaginare come il servizio potrebbe strutturarsi in un'area esterna al capoluogo piemontese, già capofila a livello nazionale per sperimentazioni sulla guida autonoma. Infatti, la fattibilità dell'esercizio qui svolto, non potrebbe essere utopica, in quanto, già dal 2022 (vedi il progetto SHOW), circoleranno delle auto e navette a guida autonoma per le strade di Torino e quindi, potrebbe essere possibile che altri Comuni esterni alla città vogliano intraprendere sperimentazioni in merito a questo tema.

Dopo un primo inquadramento territoriale e demografico, verrà descritta l'offerta sia su gomma che su ferro che il Comune presenta per collegarsi a Torino, nell'ora di punta mattutina dalle 08.00 alle 09.00. Successivamente, verranno analizzati i dati relativi il numero di pendolari e le aree più densamente abitate, al fine di determinare un numero di passeggeri per ogni fermata del percorso, rendendo l'esercitazione il più verosimile e concreta possibile.

Infine, grazie anche all'ausilio del software *VRP Spreadsheet solver*, si valuteranno i tempi di percorrenza, distanze e numeri di mezzi necessari per le varie modalità di spostamento poste a confronto, quali:

1. **Autobus automatico** da 60 posti;
2. **Minibus automatico** da 15 posti;
3. **Robotaxi** da 2 posti;
4. **Auto privata automatica** considerando un solo passeggero (il driver);
5. **Mobilità pedonale** (ovvio confronto con i soli tempi di spostamento).

### Inquadramento territoriale

Il Comune di Trofarello, è un comune italiano di 10.860 abitanti<sup>231</sup>, nell'area a sud est dell'hinterland torinese, facente parte della Città Metropolitana di Torino, in Piemonte (Fig.69).

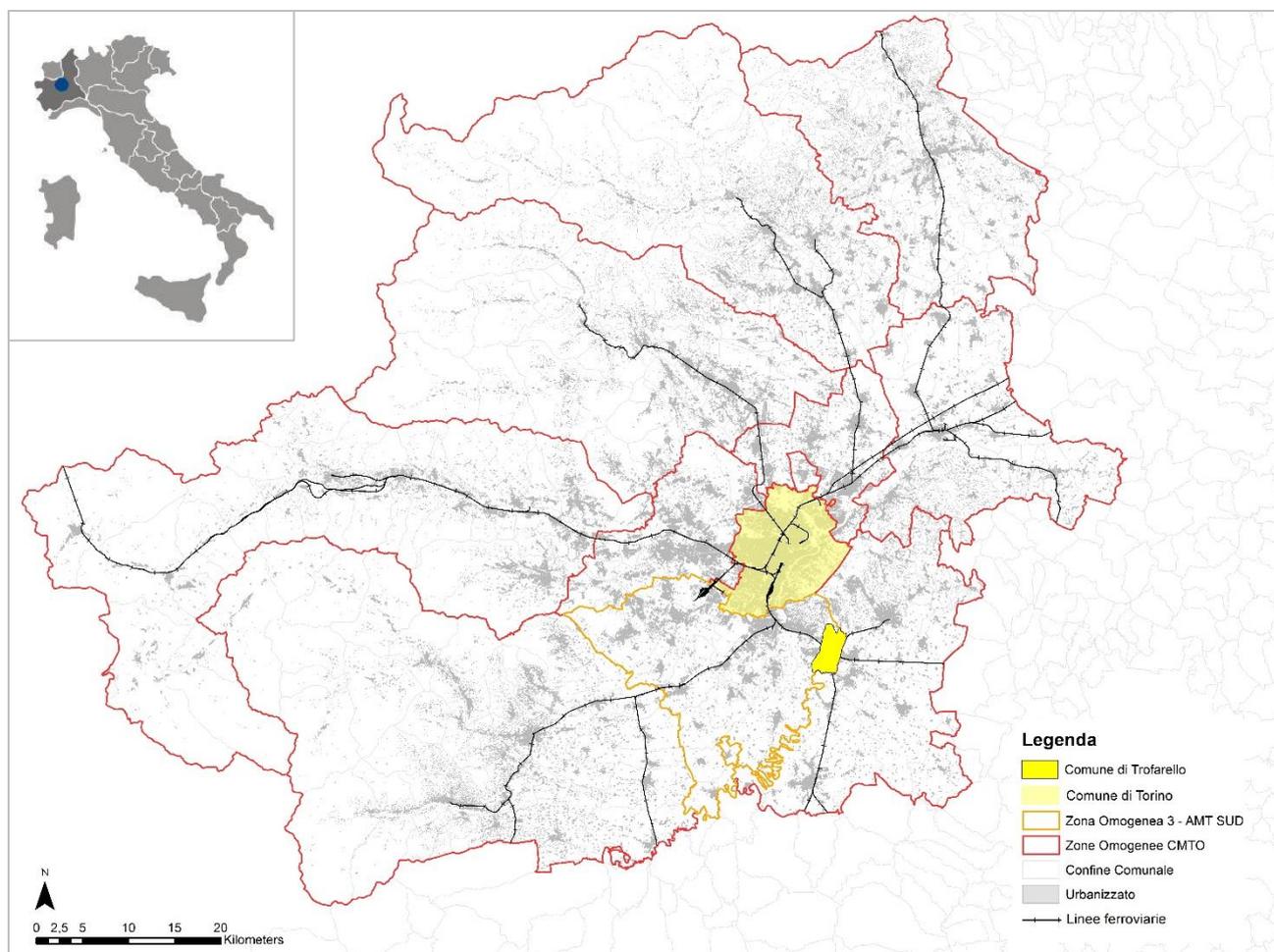


Figura 69: Inquadramento territoriale del Comune di Trofarello. L'unione delle Zone Omogenee (in rosso) forma la provincia di Torino.

Fonte: elaborazione propria su dati Città Metropolitana di Torino

Il Comune ha un andamento di popolazione stabile (-0.01% nel periodo 2011-2018<sup>232</sup>) con una densità abitativa pari a 8.8 Ab. /Ha<sup>233</sup> (Fig.70).

Dall'immagine 71, invece, si può osservare l'andamento demografico suddiviso per fasce d'età, nel periodo 2002-2020, in cui la popolazione giovane registra una lieve diminuzione a discapito di quella over 65 che verifica un costante incremento.

<sup>231</sup> Popolazione residente al 01/01/2020. Fonte Istat (<http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=18540>)

<sup>232</sup> Elaborazione propria su dati Istat

<sup>233</sup> Ottenuto dal rapporto tra il numero di abitanti complessivo e la superficie del comune (1234,8 ha)

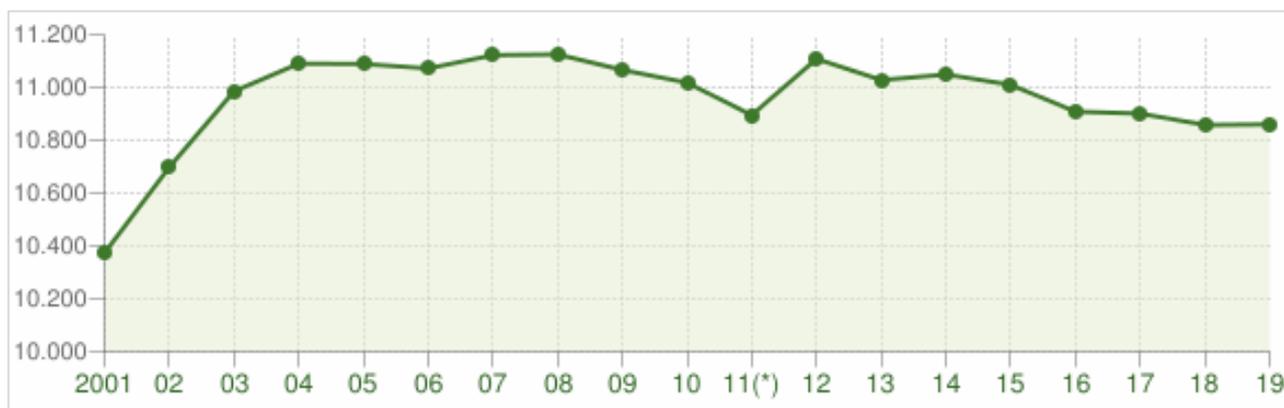


Figura 70: Andamento della popolazione residente per il Comune di Trofarello al 31 dicembre di ogni anno.

Fonte: <https://www.tuttitalia.it/piemonte/82-trofarello/statistiche/popolazione-andamento-demografico/>

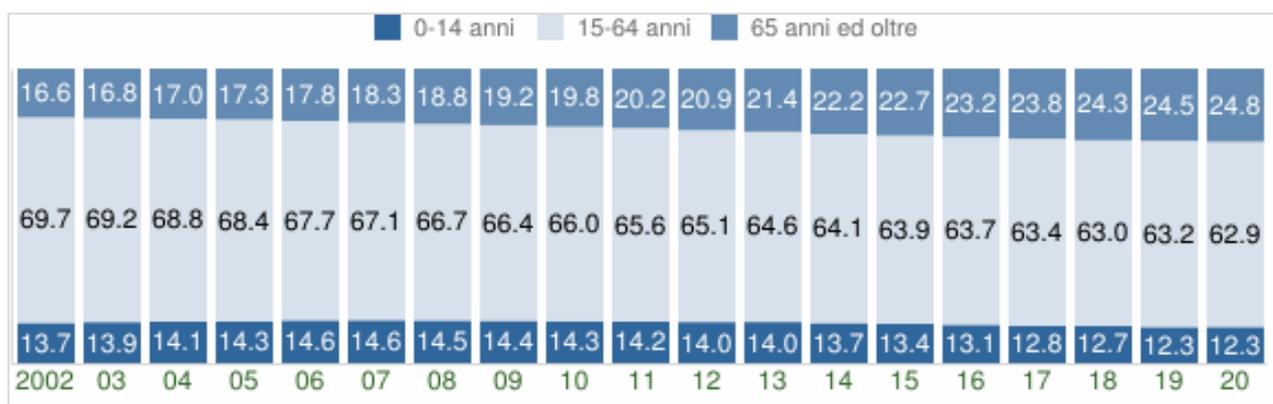


Figura 71: Struttura per età della popolazione (valori %) per il Comune di Trofarello al 1° gennaio di ogni anno.

Fonte: <https://www.tuttitalia.it/piemonte/82-trofarello/statistiche/indici-demografici-struttura-popolazione/>

Il Comune oggetto di studio confina con i Comuni di Cambiano, Moncalieri, Pecetto Torinese e Santena ed è attraversato dalle seguenti infrastrutture stradali di rilevanza sovracomunale, quali (Fig.72):

- Tangenziale Sud di Torino;
- S.R. 029 (Via Torino);
- Ferrovia con relativa stazione ferroviaria.

Le abitazioni sono concentrate prevalentemente a nord della stazione, con la S.P. 29, posta a circa 500m da essa, che taglia in due il centro abitato. A sud della ferrovia non sono praticamente edificate abitazioni in quanto è presente un'ampia area industriale, denominata *Moncalieri Tecno Polo (MONTEPO)*, in zona Vadò, tra i Comuni di Moncalieri e ovviamente di Trofarello<sup>234</sup>.

Le aree urbanizzate del Comune corrispondono a circa l'11%<sup>235</sup> (133 ha) sulla superficie totale e la restante parte è prevalentemente destinata ad aree agricole e boschive.

<sup>234</sup> <http://www.montepo.com/it/location/index.php>

<sup>235</sup> [http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/risorse/territorio/dwd/urbanistica/schede\\_comunali/1280.pdf](http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/risorse/territorio/dwd/urbanistica/schede_comunali/1280.pdf)

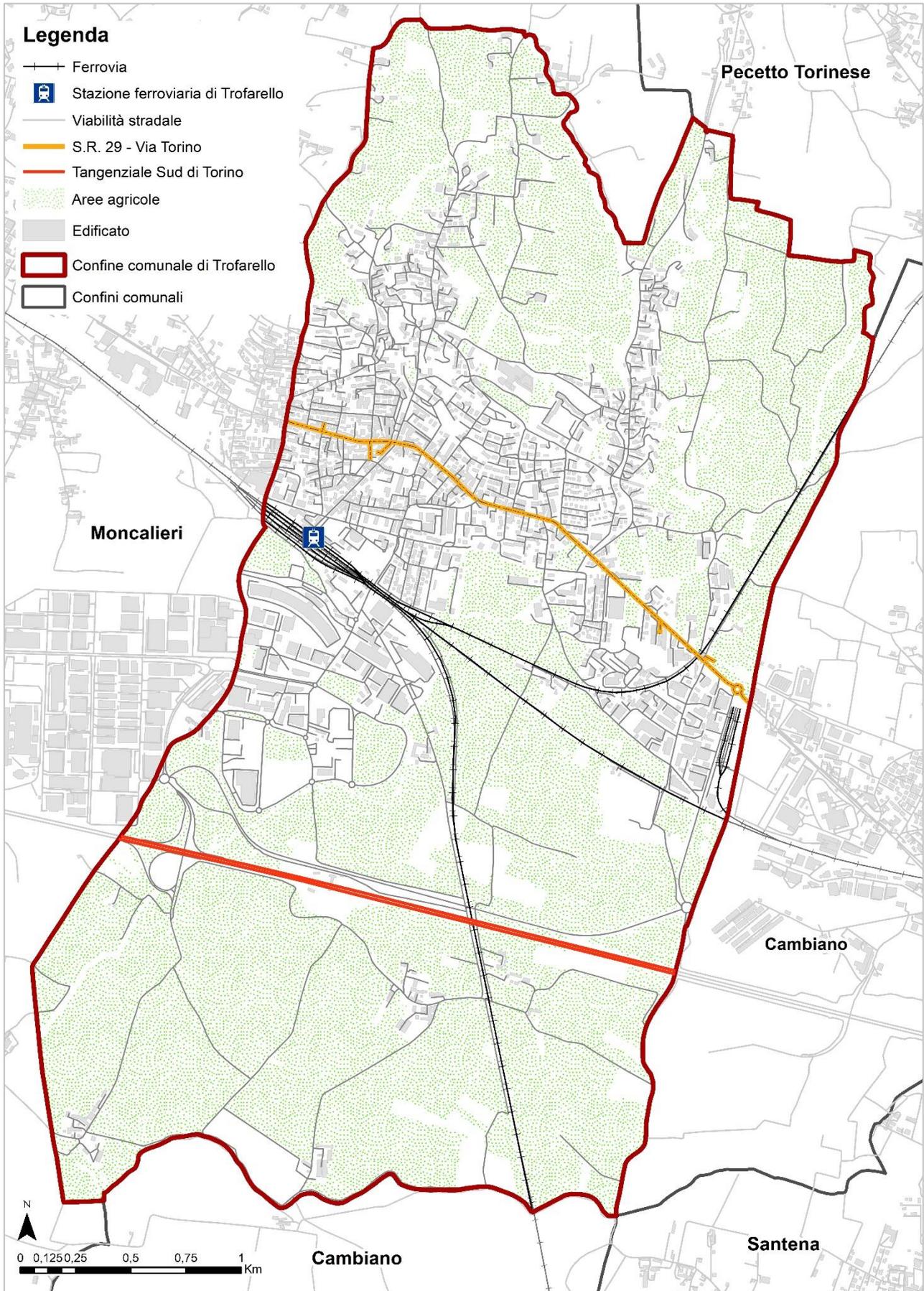


Figura 72: Inquadramento territoriale del Comune di Trofarello.  
Fonte: elaborazione propria su dati Città Metropolitana di Torino

### 5.1.1 Analisi dell'offerta di mobilità ferro-gomma nell'ora di punta 08.00-09.00

Prima di procedere con lo svolgimento dell'esercitazione, al fine di avere un quadro più chiaro sull'offerta di mobilità verso il capoluogo piemontese, bisogna effettuare un'analisi su due livelli, quali:

1. Offerta di mobilità su **ferro** verso Torino;
2. Offerta di mobilità su **gomma** verso Torino.

#### 1. Offerta di mobilità su **ferro** verso Torino

La stazione ferroviaria di Trofarello costituisce un nodo importante della rete ferroviaria metropolitana perché in essa confluiscono le linee da e per Torino, le direttrici Cuneo-Savona, Alessandria-Genova, e quella verso Chieri<sup>236</sup>.

La stazione risulta interessata dal passaggio di quattro linee del Servizio Ferroviario Metropolitano (SFM), con un passaggio ogni 30 minuti nelle ore di punta e di un ora nelle restanti fasce orarie (Fig.73), e da tre treni regionali veloci.



Figura 72: Estratto della mappa del SFM torinese. Cerchiata in rosso la fermata di Trofarello, interessata da quattro linee SFM.

Fonte: <http://www.sfmtorino.it/le-linee-sfm/>

<sup>236</sup> Accordo di programma quadro per una mobilità sostenibile: i nodi di interscambio persone – progetto movicentro, MEF e Regione Piemonte, 02/2003 ([http://mtm.torino.it/it/piani-progetti/progetti-a-scala-regionale/movicentro/apq\\_movi.pdf](http://mtm.torino.it/it/piani-progetti/progetti-a-scala-regionale/movicentro/apq_movi.pdf))

Le linee SMF interessate sono:

- SFM 1 - Pont – Rivarolo – Chieri



Figura 73: Elenco delle fermate dell'SFM 1. Cerchiata in rosso quella di Trofarello.

Fonte: <http://www.sfmtorino.it/le-linee-sfm/sfm1-pont-rivarolo-chieri/>

- SFM 4 - Torino – Bra – Alba



Figura 74: Elenco delle fermate dell'SFM 4. Cerchiata in rosso quella di Trofarello.

Fonte: <http://www.sfmtorino.it/le-linee-sfm/sfm4-torino-bra-alba/>

- SFM 6 - Torino – Asti



Figura 75: Elenco delle fermate dell'SFM 6. Cerchiata in rosso quella di Trofarello.

Fonte: <http://www.sfmtorino.it/le-linee-sfm/sfm6-torino-asti/>

- SFM 7 - Torino – Fossano



Figura 76: Elenco delle fermate dell'SFM 7. Cerchiata in rosso quella di Trofarello.

Fonte: <http://www.sfmtorino.it/le-linee-sfm/sfm7-torino-fossano/>

I treni regionali veloci interessati sono<sup>237</sup>:

- RV 2546 - Novi Ligure – Torino;
- RV 2547 – Torino – Alessandria;
- RV 33869 - Torino – Genova Brignole.

Come si può osservare nella tabella 18, i passaggi programmati nell'orario di punta prescelto, nella sola direzione Torino, sono in totale 7 e coinvolgono tutte le linee SFM passanti e la linea RV 2546 da Novi Ligure.

<b>Passaggi in stazione nell'orario 8:00 - 9:00 (direzione Torino)</b>	
08.01	SFM 1
08.07	SFM 4
08.07	RV 2546
08.31	SFM 1
08.42	SFM 7
08.53	SFM 6
09.01	SFM 1

Tabella 18: Passaggi nella stazione di Trofarello in un giorno ferialo.

Fonte: elaborazione propria su dati [www.rfi.it](http://www.rfi.it)

<sup>237</sup> [https://prm.rfi.it/qo\\_prm/QO\\_Partenze\\_SiPMR.aspx?Id=2725&lin=it&dalle=08.00&alle=08.59&ora=08.00&guid=](https://prm.rfi.it/qo_prm/QO_Partenze_SiPMR.aspx?Id=2725&lin=it&dalle=08.00&alle=08.59&ora=08.00&guid=)

## 2. Offerta di mobilità su **gomma** verso Torino

Come si può osservare dall'immagine seguente (Fig.78), le fermate degli autobus sono concentrate prevalentemente lungo la S.R. 029 (Via Torino), che tagliando da est a ovest il centro abitato lo collega direttamente con Torino, passando per Moncalieri.

A sud della ferrovia, troviamo due fermate che collegano la zona industriale *MONTEPO* con la stazione di Trofarello.

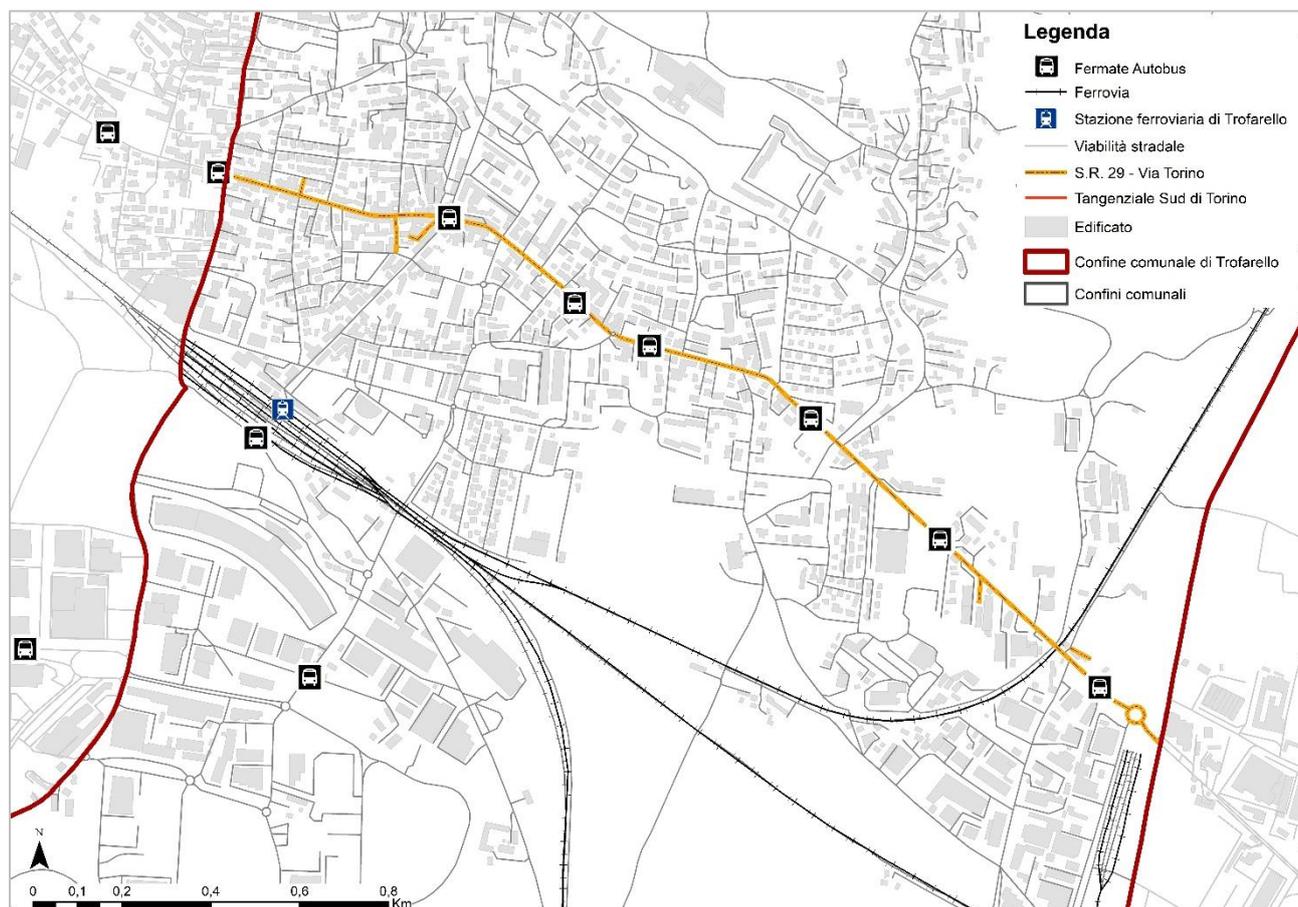


Figura 77: Rappresentazione cartografica delle fermate degli autobus nel Comune di Trofarello.

Fonte: elaborazione propria su dati Città Metropolitana di Torino

Sono presenti due linee di autobus, lungo la S.R. 029, che collegano Trofarello con Torino, quali<sup>238</sup>:

- Linea urbana GTT 45
- Linea extraurbana GTT 2014 Torino-Poirino-Alba

Nella fascia oraria considerata non sono previsti passaggi della linea GTT 2014<sup>239</sup> (è previsto un passaggio alle ore 7.13), e invece, la linea urbana GTT 45 effettua tre passaggi alle ore<sup>240</sup>: 08:26 - 09:02 - 09:49.

<sup>238</sup> [http://www.gtt.to.it/cms/percorari/index.php?option=com\\_gtt&view=comuni&comune=1001280](http://www.gtt.to.it/cms/percorari/index.php?option=com_gtt&view=comuni&comune=1001280)

<sup>239</sup> <http://www.gtt.to.it/cms/risorse/intercomunale/oraripdf/2014.pdf>

<sup>240</sup> <http://www.gtt.to.it/cms/percorari/urbano?view=fermate&bacino=U&linea=45&percorso=45AA1&verso=As&giorno=20200824&Regol=OR&fascia=tutte>

## 5.2 Criteri per la determinazione del percorso di sperimentazione

Per determinare il percorso *tipo* che dovranno seguire i mezzi autonomi, il più preciso e concreto possibile ai fini dell'esercitazione, oltre ad uno studio dei progetti simili già realizzati (analizzati nel capitolo precedente), sono stati sfruttati ed incrociati i dati comunali delle destinazioni d'uso degli edifici, dell'ultimo censimento Istat disponibile (2011) e delle sezioni censuarie.

In primis, analizzando la destinazione d'uso degli edifici (Fig.79) si può osservare come vi sia la concentrazione maggiore di edifici ad uso residenziale nell'area a nord del Comune e, invece, nelle aree a sud e ad est, nei pressi della ferrovia, vi siano zone prevalentemente industriali e/o commerciali.

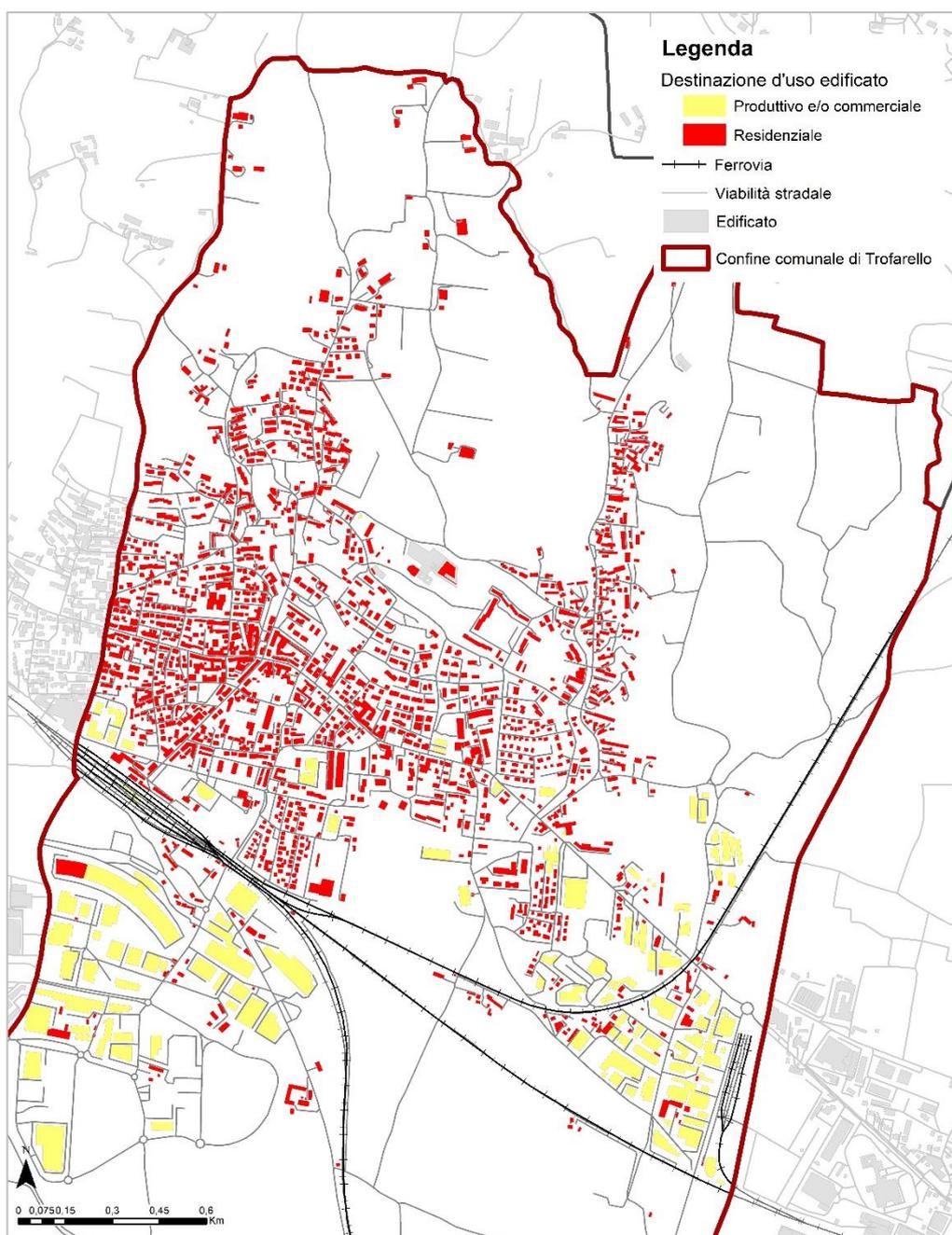


Figura 78: Destinazione d'uso dell'edificato.

Fonte: elaborazione propria su dati Città Metropolitana di Torino

Da una seconda analisi, incrociando i dati del censimento generale del 2011 con le sezioni di censimento comunali, si possono ottenere numerosi dati spazializzati nel territorio.

Il primo dato, riguardante l'indice **P1** – *Popolazione residente totale* (Fig.80), mostra come la maggior parte dei residenti siano concentrati nell'area nord della ferrovia e nell'area adiacente a Via Torino. Questo dato non è una sorpresa anzi una conferma, in quanto, si poteva facilmente prevedere uno scenario simile osservando la figura 79, in cui è rappresentata la destinazione d'uso degli edifici.

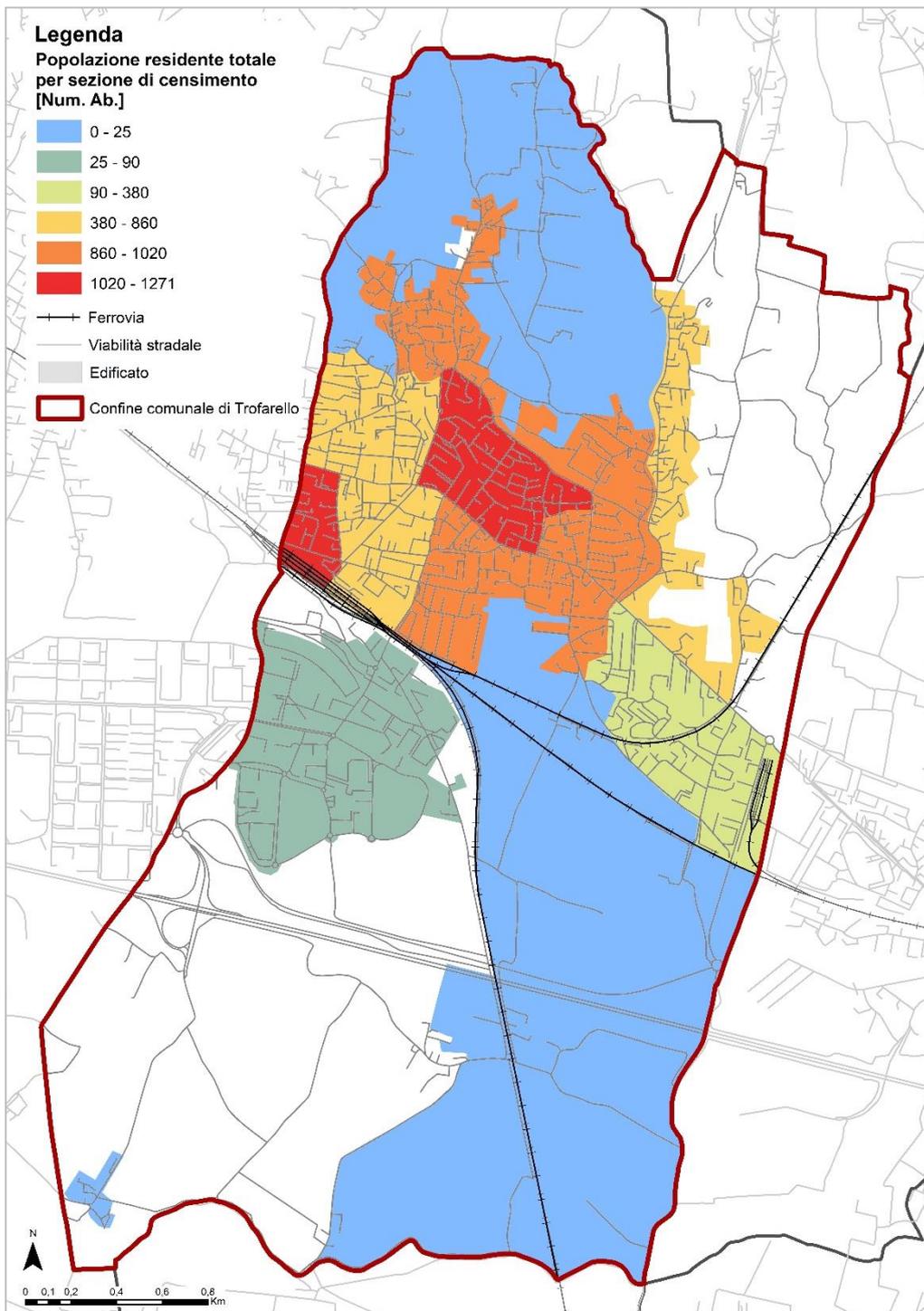


Figura 79: Popolazione residente totale (P1) per sezione di censimento.  
 Fonte: elaborazione propria su dati Città Metropolitana di Torino

Rilevante, al fine del lavoro, è anche conoscere il numero di pendolari che si spostano abitualmente dal comune di residenza. Per ottenere il seguente dato si analizza, tra vari indicatori forniti dall'Istat, il **P138** – *Popolazione residente che si sposta giornalmente fuori del comune di dimora abituale* (Fig.81).

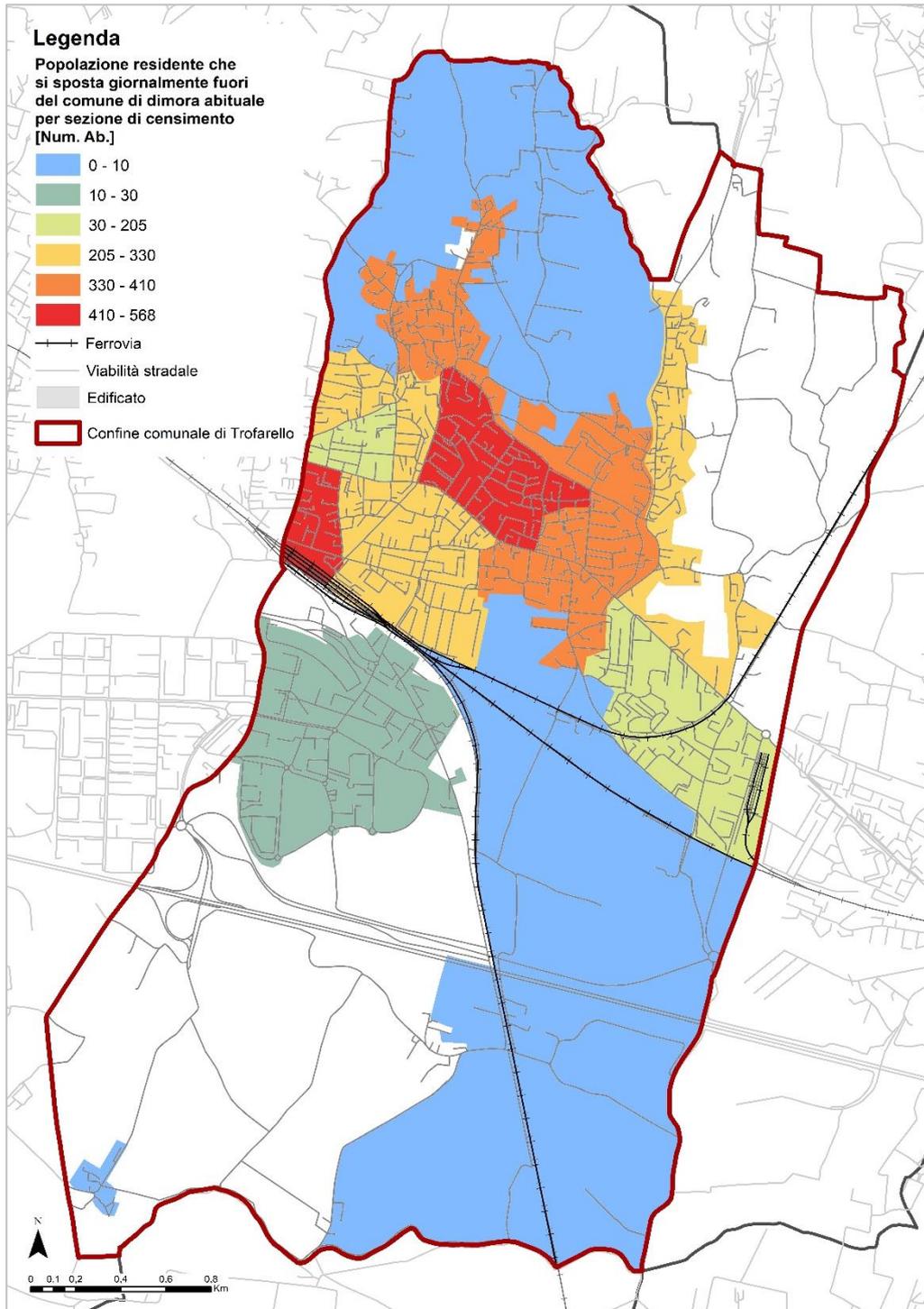


Figura 80: Popolazione residente che si sposta giornalmente fuori del comune di dimora abituale (p138) per sezioni di censimento.

Fonte: elaborazione propria su dati Città Metropolitana di Torino

Analizzando la figura 81 sorgono ovvie analogie con la rappresentazione grafica precedente (Fig.80), con alcune differenze solo per l'area compresa tra la ferrovia e la S.R. 029, che quindi determinerà sostanzialmente le aree comprese nella sperimentazione dei mezzi automatici, facendoli passare nelle zone più densamente popolate e con più persone pendolari al fine di rendere il più possibile valida e concreta la sperimentazione.

L'indicatore P138, con un valore complessivo pari a 4.028 persone<sup>241</sup>, circa il 37% della popolazione totale, permette di avere un'idea del volume di persone che si muovono da Trofarello ma non fornisce le indicazioni di dove siano dirette esattamente e a che ora effettuino lo spostamento.

Per ovviare in parte a queste criticità, si possono analizzare i dati rappresentati dall'Indagine sulla Mobilità delle persone e sulla Qualità dei trasporti (IMQ) del 2013<sup>242</sup>, focalizzata però sul cluster dei Comuni di Trofarello, Santena e Cambiano. Si può affermare come la maggior parte degli spostamenti sia diretta verso Torino (46%) e i comuni limitrofi (42%) e quindi, sulla base della tendenza di questi dati, si può attestare che la maggior parte degli spostamenti dal singolo Comune di Trofarello avverrebbe presumibilmente anch'essa verso Torino e i comuni della cintura torinese (Fig82).



Figura 81: Mobilità generata ed attratta dal cluster dei comuni. La freccia gialla rappresenta il numero di persone che si spostano al di fuori del cluster, invece la freccia rossa quelle che entrano.

Fonte: [http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagine-imq-2013/pdf/Report\\_Trofarello-Santena-Cambiano\\_rev01.pdf](http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagine-imq-2013/pdf/Report_Trofarello-Santena-Cambiano_rev01.pdf)

Per ottenere la stima del valore numerico della domanda nell'ora di punta considerata, si è proceduto come segue. Si arrotonda a 4.000 persone pendolari al giorno, da 4.028, e si stima che la metà, quindi il 50% (46% secondo IMQ 2013), siano dirette verso Torino. Supponendo che la domanda in ora di punta sia pari al 10% di quella totale giornaliera<sup>243</sup>, si ottengono così **200 passeggeri totali** da dover servire per l'ora di punta, 08.00-09.00, nel Comune di Trofarello.

<sup>241</sup> Dato aggiornato al 2011, ultimo censimento generale nazionale. Fonte: Istat

<sup>242</sup> [http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagine-imq-2013/pdf/Report\\_Trofarello-Santena-Cambiano\\_rev01.pdf](http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagine-imq-2013/pdf/Report_Trofarello-Santena-Cambiano_rev01.pdf)

<sup>243</sup> Il dato deriva dall'analisi dei profili giornalieri di mobilità dell'area

### 5.2.1 La distribuzione della domanda

In base alle informazioni precedentemente ricavate dalle analisi dei dati, sono stati definiti i centroidi<sup>244</sup> delle nove sezioni di censimento che potrebbero essere potenzialmente interessate dal passaggio dei mezzi a guida automatica (Fig.83). Sono stati considerati i centroidi per un duplice motivo. In primis, essendo un'esercitazione teorica e non uno studio di fattibilità sarebbe stato fin troppo dettagliato andare a determinare le singole fermate del servizio e, secondariamente, non avendo il dato della localizzazione esatta dei pendolari ma conoscendo il dato soltanto relativo alle sezioni di censimento è sembrato più opportuno utilizzare un punto centrale alle singole sezioni e attribuirgli un valore differente a seconda del dato in esso contenuto.

I centroidi ottenuti, collocati comunque a più di 500m dalla stazione ferroviaria, saranno le fermate del percorso *tipo* che effettueranno i mezzi automatici per permettere di raggiungere la stazione ferroviaria ai pendolari.

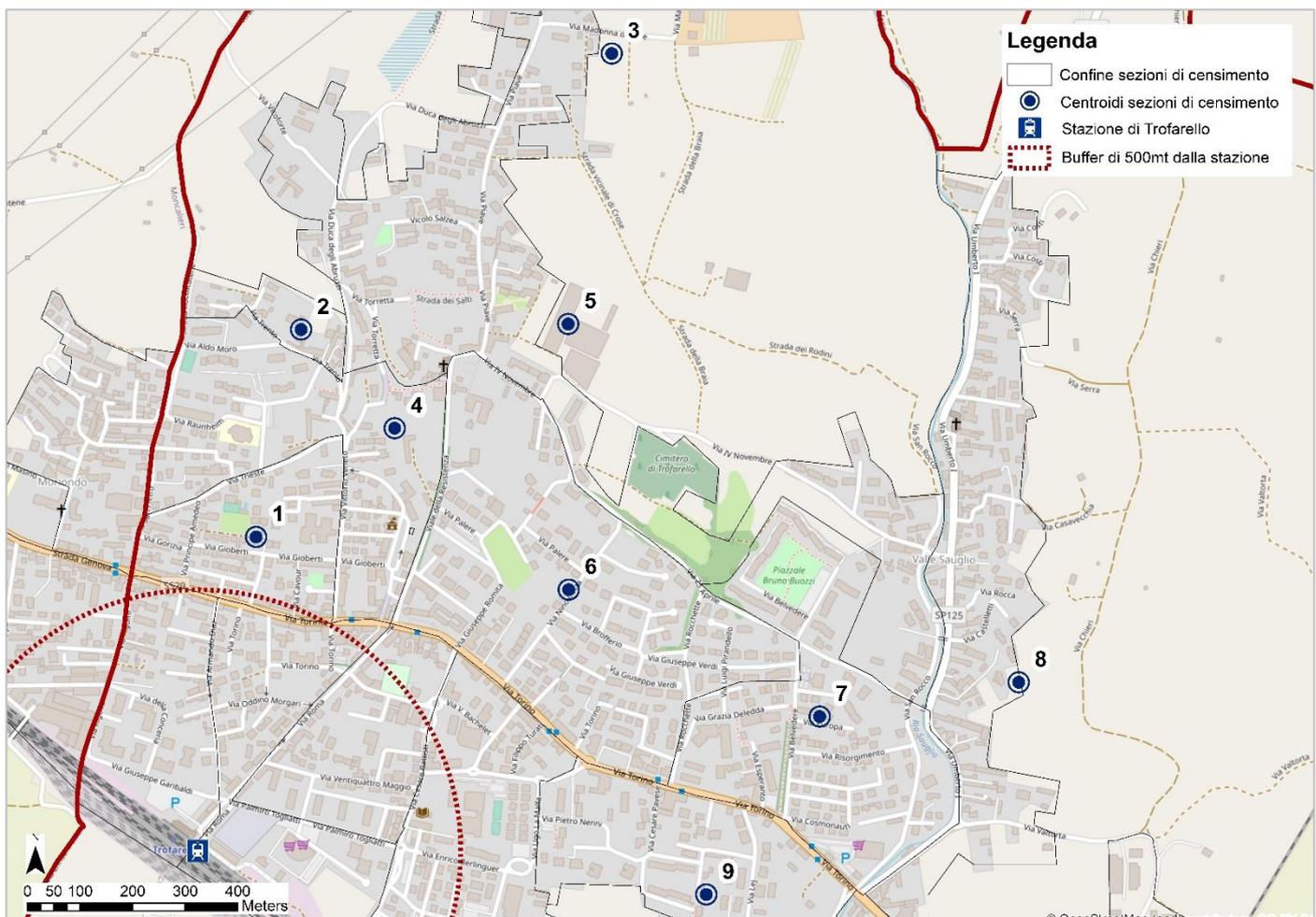


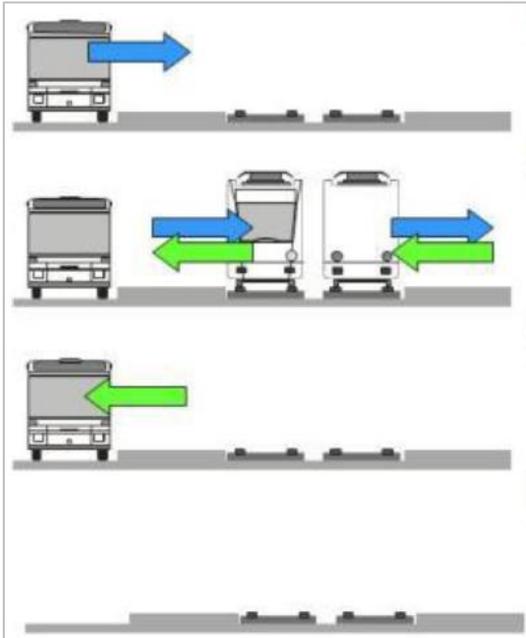
Figura 82: Rappresentazione dei centroidi delle sezioni di censimento prescelti.

Fonte: elaborazione propria su dati Città Metropolitana di Torino.

<sup>244</sup> Il centroide è il baricentro geometrico di un poligono. Il baricentro geometrico di un insieme di punti è il punto le cui coordinate, in un dato riferimento cartesiano, sono il risultato della media aritmetica delle rispettive coordinate dei punti. Fonte: <https://www.gissiamo.it/wp/2019/12/18/cosa-sono-i-centroidi/>

Il progetto prevede che gli orari di arrivo in stazione dei mezzi confrontati siano organizzati in modo da garantire l'intermodalità con il servizio SFM diretto a Torino.

Il funzionamento ideale di un nodo di interscambio su una stazione ferroviaria viene progettato a partire da un orario cadenzato e avviene in quattro fasi, quali (Fig.84):



1. arrivo dei bus in stazione qualche minuto prima dell'arrivo dei treni;

2. arrivo dei treni in stazione. Fasi di salita e discesa dei passeggeri;

3. ripartenza dei treni. I passeggeri scesi trovano a disposizione il bus fermo alla stazione per la coincidenza;

4. ripartenza dei bus. La stazione rimane vuota fino al ciclo successivo.

Figura 83: nodo di interscambio gomma-ferro.

Fonte: <https://slideplayer.it/slide/15257583/>

Per i mezzi confrontati in questa esercitazione, applicando il principio precedentemente descritto, si prevedono tre passaggi in stazione nell'ora di punta prescelta, quali: 7.55 – 8.25 – 8.45 (Tab.19).

Orario di arrivo in stazione delle navette	Passaggi in stazione nell'orario 8:00 - 9:00 (direzione Torino)	
Passaggio 1 - 7.55	08.01	SFM 1
	08.07	SFM 4
Passaggio 2 - 8.25	08.31	SFM 1
	08.42	SFM 7
Passaggio 3 - 8.45	08.53	SFM 6
	09.01	SFM 1

Tabella 19: Arrivo in stazione delle navette nell'ora di punta considerata.

Fonte: elaborazione propria

Al fine di determinare la domanda di mobilità per centroide suddivisa per le tre fasce, si suddivide la domanda complessiva di quell'ora di punta, 200 passeggeri, per il numero di treni del servizio SFM passanti in stazione, 6 in quella fascia oraria<sup>245</sup>, ottenendo una media di **circa 34 persone per treno**.

Considerando, quindi, che ogni passaggio in stazione serve due treni, si ipotizzano, arrotondando per eccesso, **70 persone per ciascun passaggio** (34 pax/treno \* 2 = 68 pax totali).

<sup>245</sup> Non si considera il passaggio del treno RV2546 delle 08.07 in quanto si colloca al di fuori del SFM.

### 5.3 Applicazione del software VRP Spreadsheet Solver (v3.43)

Il *VRP Spreadsheet Solver*<sup>246</sup> è un risolutore di fogli di calcolo open source, basato su Excel, per risolvere i problemi di instradamento dei veicoli (Vehicle Routing Problem - VRP).

Il VRP è uno dei **problemi di ottimizzazione** più frequenti nella logistica. La soluzione a queste problematiche mira a ridurre al minimo il costo delle operazioni di trasporto da parte di una flotta di veicoli che operano da un deposito di partenza<sup>247</sup>.

Il software utilizzato possiede diverse caratteristiche come la familiarità della sua interfaccia (dato che si appoggia un foglio di calcolo Excel), la facilità d'uso, la flessibilità e l'accessibilità. Microsoft Excel è probabilmente il software standard più utilizzato per l'analisi quantitativa su piccola e media scala per le imprese, ed è utilizzato in quasi ogni angolo del mondo, sia nel mondo accademico che nell'industria<sup>248</sup>. Inoltre, il codice per il solutore, sviluppato da Visual Basic for Applications (VBA), è open-source e può essere compreso e modificato da programmatori di medio livello.

Il *VRP Spreadsheet Solver* ha funzioni integrate per interrogare il servizio, attraverso l'inserimento di una licenza gratuita di Bing Maps<sup>249</sup>, per poter determinare la latitudine/longitudine del percorso, le distanze da percorrere, i tempi di guida, numero di mezzi necessari in base alla domanda e per generare la visualizzazione grafica dei luoghi e dei percorsi su una mappa.

Il programma opera sui seguenti presupposti:

- Il numero di fermate, definite *Customers*, è limitato a 200;
- I veicoli sostengono un costo fisso se effettuano un percorso (può essere pari a zero), e un costo per unità di distanza (può anche essere pari a zero), ma non sostengono altri costi;
- Le distanze e le durate del viaggio sono fisse e conosciute in anticipo. Si noti che Bing Maps restituisce i tempi di guida per un'auto, che possono essere notevolmente più brevi di quelli di un camion e quindi, è stato necessario utilizzare il comando *moltiplicatore di durata*;
- Ogni luogo diverso dal deposito può essere visitato al massimo da un veicolo, al massimo una volta sola. La visita deve ritirare tutta l'offerta e consegnare tutta la domanda, e non è consentito il servizio parziale. L'offerta, la domanda, il profitto ottenuto e la quantità di tempo che un veicolo trascorre in un luogo sono fissi e noti in anticipo.

<sup>246</sup> <https://people.bath.ac.uk/ge277/vrp-spreadsheet-solver/>

<sup>247</sup> Günes Erdogan, "An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems", School of Management, University of Bath, UK, 2017

<sup>248</sup> Ibid

<sup>249</sup> Bing Maps (in precedenza Live Search Maps, Windows Live Maps, Windows Live Local e MSN Virtual Earth) è un servizio di mappe virtuali del motore di ricerca Bing di Microsoft e motorizzato dalla struttura Bing Maps Platform. Fonte: <https://www.microsoft.com/en-us/maps>

## Dati di input da fornire al software

VRP Spreadsheet solver è stato progettato con un'interfaccia votata alla semplicità, ottenuta grazie all'integrazione con Excel. Il programma conserva i dati relativi gli elementi di un VRP in fogli di lavoro separati. Inizialmente, la barra dei fogli di lavoro contiene solo il foglio denominato *VRP Spreadsheet Solver Console*. I rimanenti fogli di lavoro, *1.Locations*, *2.Distances*, *3.Vehicles*, *4.Solution*, *5.Visualization* e *6.Solver* sono da compilare nella sequenza indicata dai loro indici numerici (Fig.85).



Figura 84: Visualizzazione grafica del pannello dei comandi del software nel foglio Excel.

Fonte: elaborazione propria

La Fig. 86 mostra il flusso di informazioni tra i vari fogli di lavoro, dove le frecce indicano la dipendenza di un foglio di lavoro da un altro.

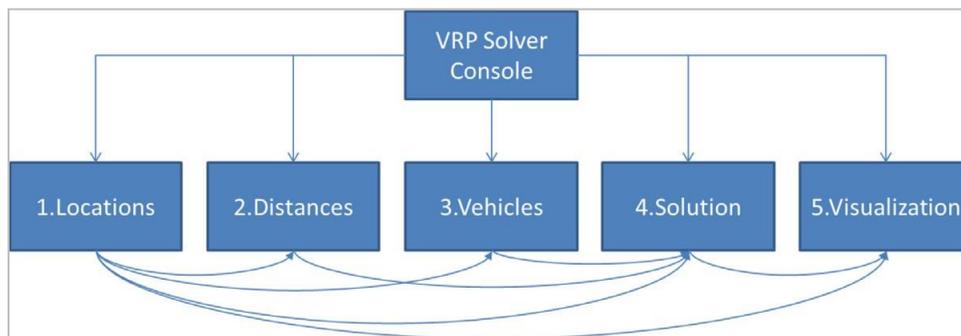


Figura 85: Struttura del foglio di calcolo del VRP Spreadsheet Solver.

Fonte: Günes Erdogan, 2017, "An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems", School of Management, University of Bath, UK

Di seguito verranno mostrate le fasi di svolgimento della simulazione nel caso dell'utilizzo dei vari mezzi considerati (Autobus, Minibus e Robotaxi a guida automatica).

### - VRP Solver Console

Questo foglio di lavoro memorizza e fornisce informazioni al resto dei fogli di lavoro. Contiene vari parametri relativi alle dimensioni della richiesta da risolvere e alle sue caratteristiche, tra cui il numero di depositi e di fermate, il numero di veicoli per tipologia e la larghezza delle finestre temporali. Inoltre, l'utente può impostare le opzioni relative al recupero dei dati GIS, e il tempo che l'utente consente il risolutore per lavorare sul problema.

Una schermata del foglio di lavoro è presentata nella Figura 87.

Sequence	Parameter	Value	Remarks
0.Optional - GIS License	Bing Maps Key	ArZ3RkIbJM6NVdIbBHjeLI6MB_PzJLo1yxkrBRzB6-OHHmPxTiz5r8chd9SPeI62	You can get a free trial key at <a href="https://www.bingmapsportal.com/">https://www.bingmapsportal.com/</a>
1.Locations	Number of depots	1	[1,20]
	Number of customers	10	[5,200]
2.Distances	Distance computation method	Bing Maps driving distances (km)	Recommendation: Use 'postcode, country' format for addresses
	Duration computation method	Bing Maps driving durations	
	Bing Maps route type	Fastest	Recommendation: Use 'Fastest'
	Average vehicle speed	20	
3.Vehicles	Number of vehicle types	1	
4.Solution	Do the vehicles return to their depot(s)?	Yes - only once at the end	
	Time window type	Hard	
	Backhauls?	No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations
5.Optional - Visualization	Visualization background	Bing Maps	
	Location labels	Location names	
6.Solver	Warm start?	Yes	
	Show progress on the status bar?	Yes	
	CPU time limit (seconds)	60	Recommendation: At least 60 seconds

Figura 86: Foglio di calcolo della VRP Solver Console.  
Fonte: elaborazione propria

-1.Locations

I dettagli sui luoghi, compresi i loro nomi, le coordinate, le finestre temporali e i requisiti per il ritiro e la consegna, sono contenuti in questo foglio di lavoro. Le coordinate (x e Y) sono state ottenute tramite l'utilizzo della banca dati di Bing Maps inserendo l'indirizzo completo in tabella.

La Fig. 88 mostra una schermata del foglio di lavoro.

Location ID	Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited?	Service time	Pickup amount	Delivery amount
0	Depot	Via Roma, 46, 10028 Trofarello TO	44,9808300	7,7358700	00:00	07:55	Starting location	0:00	0	70
1	Customer 1	Via Vincenzo Gioberti, 25, 10028 Trofarello TO	44,9853700	7,7368300	00:00	23:59	Must be visited	0:00	5	0
2	Customer 2	Via Trento, 44, 10028 Trofarello TO	44,9891500	7,7375400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	3	0
3	Customer 3	Via Madonna di Celle, 5, 10028 Trofarello TO	44,9947000	7,7446400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	8	0
4	Customer 4	Vicolo della Fontana, 16, 10028 Trofarello TO	44,9882600	7,7407300	00:00	23:59	Must be visited	0:00	8	0
5	Customer 5	Via Piave, 7, 10028 Trofarello TO	44,9903800	7,7412500	00:00	23:59	Must be visited	0:00	6	0
6	Customer 6	Via Nino Costa, 21, 10028 Trofarello TO	44,9851600	7,7448000	00:00	23:59	Must be visited	0:00	14	0
7	Customer 7	Via Europa, 1, 10028 Trofarello TO	44,9827400	7,7505800	00:00	23:59	Must be visited	0:00	10	0
8	Customer 8	Via Umberto I, 136, 10028 Trofarello TO	44,9882000	7,7546400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	7	0
9	Customer 9	Via Beppe Fenoglio, 37, 10028 Trofarello TO	44,9801800	7,7478800	00:00	23:59	Must be visited	0:00	9	0

Figura 87: Estratto del foglio di calcolo 1.Locations.  
Fonte: elaborazione propria

Come si può osservare dalla figura, per la colonna *Address*, sono stati inseriti gli indirizzi dei centroidi ricavati dall'elaborazione. Per le colonne *Pickup amount* e *Delivery amount*, al fine di raffinare ulteriormente la simulazione, sono inseriti rispettivamente i passeggeri che salgono alle fermate, in numero proporzionale al dato P138, e le persone che scendono al *depot*, il capolinea alla stazione.

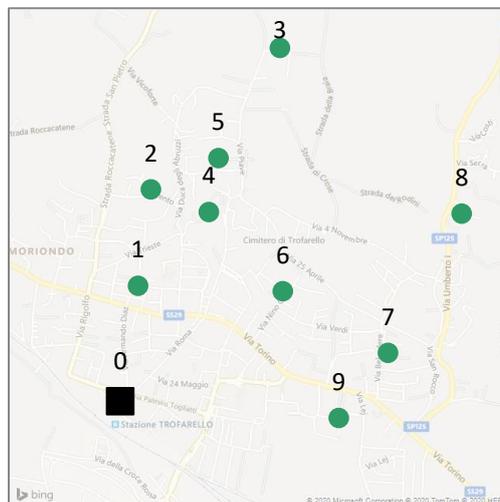


Figura 88: mappa dei Customer prodotta dal software. Fonte: elaborazione propria

### -2.Distances

Questo foglio di lavoro, basandosi sulle informazioni del foglio *1.Locations*, mostra tutte le possibili combinazioni tra le varie fermate e il deposito, definendo le distanze in chilometri e le durate di percorrenza. Una schermata del foglio di lavoro delle *2.Distances* è rappresentata nella Figura 90.

From	To	Distance	Duration
Depot	Depot	0,00	0:00
Depot	Customer 1	0,65	0:03
Depot	Customer 2	0,96	0:03
Depot	Customer 3	1,42	0:05
Depot	Customer 4	1,28	0:05
Depot	Customer 5	0,62	0:03
Depot	Customer 6	0,77	0:04
Depot	Customer 7	0,97	0:04
Customer 1	Depot	0,83	0:03
Customer 1	Customer 1	0,00	0:00
Customer 1	Customer 2	0,33	0:01
Customer 1	Customer 3	0,89	0:03
Customer 1	Customer 4	0,63	0:02
Customer 1	Customer 5	0,03	0:00
Customer 1	Customer 6	0,19	0:01
Customer 1	Customer 7	0,39	0:01
Customer 2	Depot	0,90	0:03

Figura 89: Estratto del foglio di calcolo 2.Distances.

Fonte: elaborazione propria

### -3.Vehicles

I dati relativi ai tipi di veicoli sono contenuti in questo foglio di lavoro. Si può impostare il numero di veicoli per ogni tipologia che vengono custoditi in ogni deposito. I dati includono i parametri di costo come il costo per unità di distanza e il costo per viaggio, così come i parametri operativi come il deposito, la capacità, il tempo limite di guida e il limite di distanza del veicolo.

Il parametro *capacity*, nel nostro caso del trasporto persone, corrisponde al numero massimo di passeggeri che possono essere caricati a bordo dal veicolo.

IL parametro *Duration multiplier* invece, permette di raffinare ulteriormente la simulazione, attribuendo un valore maggiore ad 1 per i veicoli che impiegano più tempo per effettuare lo spostamento (come un bus o camion). Per esempio, un valore di 1.20 significa che il mezzo impiega il 20% in più rispetto ad un'auto per effettuare il servizio.

La Fig. 91 mostra una schermata del foglio di lavoro nel caso del caso di utilizzo del minibus.

Starting depot	Vehicle type	Capacity	Fixed cost per trip	Cost per unit distance	Duration multiplier	Distance limit	Work start time
Depot	Minibus	15	0,00	1,00	1,30	560,00	07:30
			<b>Driving time limit</b>	<b>Working time limit</b>	<b>Return depot</b>	<b>Number of vehicles</b>	
			9:00	10:00 Depot		15	

Figura 90: Estratto del foglio di calcolo 3.Vehicles.

Fonte: elaborazione propria

#### - 4.Solution

Questo foglio di lavoro è generato per contenere una tabella per ogni veicolo messo a disposizione. Ogni tabella al suo interno contiene i dati inseriti nelle fasi precedenti, come una riga per ogni fermata prevista dalla sezione *1.Locations*. Le informazioni fornite per quanto riguarda i tempi di servizio e il numero di utenti nelle fasi di ritiro/consegna, così come la distanza e la durata definite in *2.Distances* per calcolare i tempi di partenza/arrivo.

Una schermata del foglio di lavoro *4.Solution* è fornita nella Fig. 92. Questa è la rappresentazione della tabella precedentemente all'utilizzo del comando finale *6.Solver* che provvederà, in base alla domanda per ogni fermata, a determinare il percorso e il numero di mezzi necessari al fine di soddisfare la domanda.

Vehicle:	V1	Stops:	0 Net profit:		0,00			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:30	0:00	0	0
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Figura 91: Estratto del foglio di calcolo *4.Solution*.  
Fonte: elaborazione propria

### 5.3.1 Risultati ottenuti

In questa sezione verranno posti a confronto i vari risultati ottenuti tramite l'utilizzo del software per le **tre** tipologie utilizzabili nel software, minibus automatici da 15 posti, autobus di dimensioni standard automatico da 60 posti e Robotaxi da 2 posti. Per ogni tipologia andrà a variare oltre al numero di persone trasportabili, il valore *Duration multiplier*, rispettivamente 1.3 per i Minibus, 1.5 per gli Autobus e 1.1 per i Robotaxi.

#### - 6.Solver applicato all'uso degli **Autobus**

Di seguito sono rappresentati i risultati tabellari ottenuti applicando il comando *6.Solver* nel caso degli Autobus automatici.

Risultano necessari **due** mezzi per coprire la domanda verso la stazione, data la buona capienza a bordo, in cui uno farebbe cinque fermate, e l'altro solamente quattro (Fig. 93).

Vehicle:	V1	Stops:	5	Net profit:	-5,55				
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0,00	0:00		07:25	0:00	0	0	
1	Customer 9	1,33	0:06	07:31	07:31	0:06	0	9	
2	Customer 7	1,87	0:09	07:34	07:34	0:09	0	19	
3	Customer 8	2,86	0:13	07:38	07:38	0:13	0	26	
4	Customer 6	4,30	0:21	07:46	07:46	0:21	0	40	
5	Depot	5,55	0:27	07:52		0:27	0	0	
6									
7									

Vehicle:	V2	Stops:	6	Net profit:	-5,03				
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0,00	0:00		07:25	0:00	0	0	
1	Customer 5	1,39	0:07	07:32	07:32	0:07	0	6	
2	Customer 3	2,00	0:10	07:35	07:35	0:10	0	14	
3	Customer 2	3,30	0:16	07:41	07:41	0:16	0	17	
4	Customer 4	3,75	0:19	07:44	07:44	0:19	0	25	
5	Customer 1	4,30	0:22	07:47	07:47	0:22	0	30	
6	Depot	5,03	0:27	07:52		0:27	0	0	
7									

Figura 92: estratto del foglio rappresentante la soluzione applicata dal software per gli Autobus.  
Fonte: elaborazione propria



### - 6.Solver applicato all'uso dei Minibus

Di seguito sono rappresentati i risultati tabellari, ottenuti applicando il comando 6.Solver, in cui mostrano come siano necessari **cinque** mezzi per coprire la domanda verso la stazione. Quattro mezzi passerebbero per due fermate, tranne uno, il veicolo due (V2), che raggiungerebbe il massimo della capienza con soltanto un solo stop (Fig.95).

Vehicle:	V1	Stops:	3	Net profit:	-4,27			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:30	0:00	0	0
1	Customer 5	1,39	0:06	07:36	07:36	0:06	0	6
2	Customer 9	3,01	0:11	07:41	07:41	0:11	0	15
3	Depot	4,27	0:15	07:45		0:15	0	0
4								

Vehicle:	V2	Stops:	2	Net profit:	-2,38			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:30	0:00	0	0
1	Customer 6	1,13	0:06	07:36	07:36	0:06	0	14
2	Depot	2,38	0:11	07:41		0:11	0	0
3								
4								

Vehicle:	V3	Stops:	3	Net profit:	-6,53			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:30	0:00	0	0
1	Customer 3	1,92	0:07	07:37	07:37	0:07	0	8
2	Customer 8	3,85	0:14	07:44	07:44	0:14	0	15
3	Depot	6,53	0:23	07:53		0:23	0	0
4								

Vehicle:	V4	Stops:	3	Net profit:	-3,80			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:30	0:00	0	0
1	Customer 7	1,58	0:06	07:36	07:36	0:06	0	10
2	Customer 1	3,08	0:11	07:41	07:41	0:11	0	15
3	Depot	3,80	0:15	07:45		0:15	0	0
4								

Vehicle:	V5	Stops:	3	Net profit:	-2,94			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:30	0:00	0	0
1	Customer 2	1,35	0:06	07:36	07:36	0:06	0	3
2	Customer 4	1,80	0:09	07:39	07:39	0:09	0	11
3	Depot	2,94	0:15	07:45		0:15	0	0
4								

Figura 94: estratto del foglio rappresentante la soluzione applicata dal software per i Minibus.

Fonte: elaborazione propria

### -5. *Visualization* applicato all'uso dei **Minibus**

Come si può osservare dall'immagine (Fig.96) in questo foglio di lavoro sono rappresentati i vari grafici di dispersione, uno per ogni mezzo previsto, con la mappa dell'area analizzata recuperata dal servizio Bing Maps. Si può osservare chiaramente come il veicolo 3 faccia il percorso più lungo sia in termini di distanze percorse che di tempo impiegato (6.53 km e 23 minuti di percorrenza).

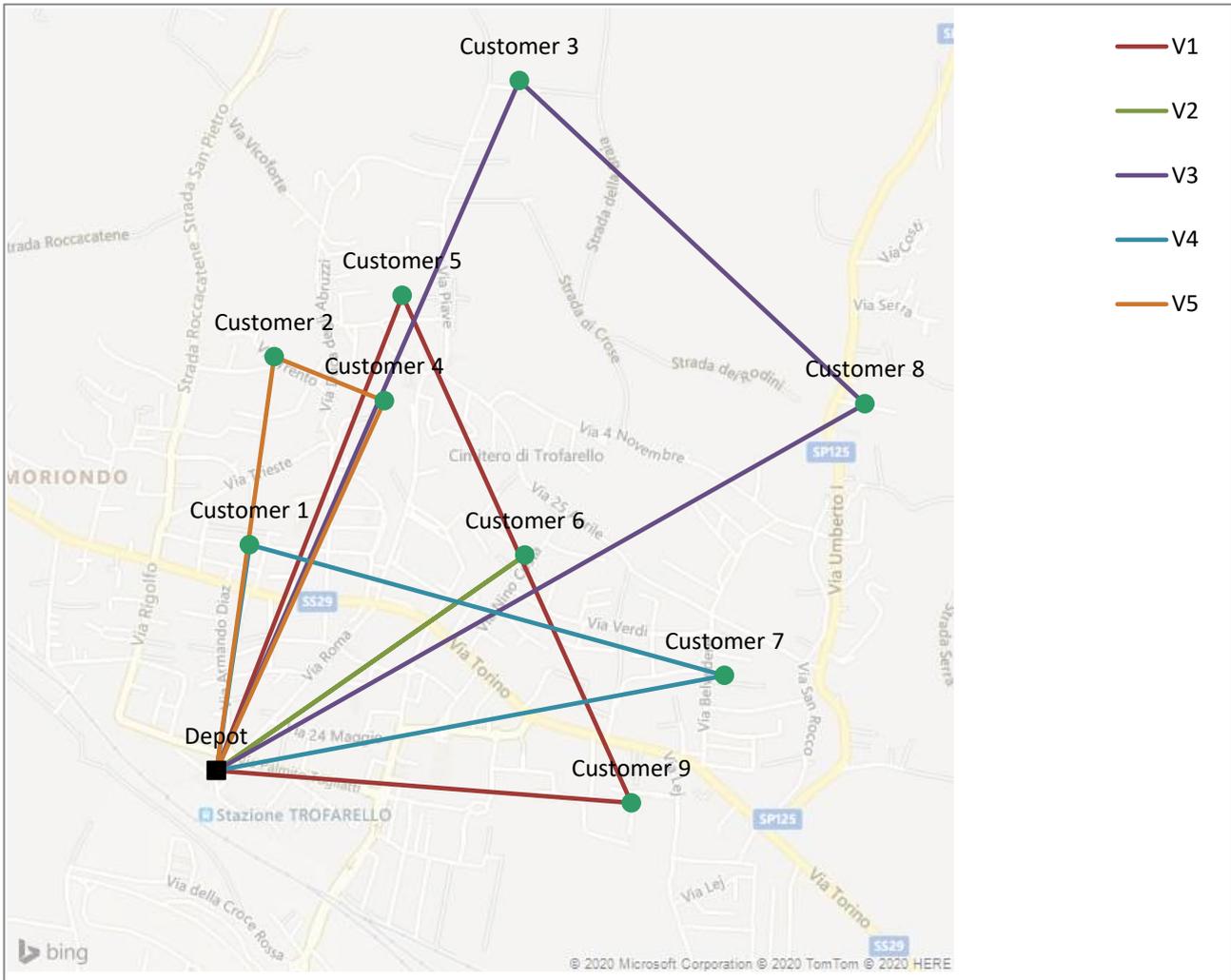


Figura 95: Estratto del foglio di calcolo 5. *Visualization* nel caso dei minibus.

Fonte: elaborazione propria

### - 6.Solver applicato all'uso dei Robotaxi

Per l'applicazione nel seguente caso, si sono dovuti andare a modificare alcuni parametri del software riguardanti il numero di fermate. Il motivo è legato ad un limite del programma, nella versione standard, che genera un errore ogni qual volta nelle fermate vi siano più utenti di quanto sia la capienza del mezzo. Quindi per ovviare al problema, sono state inserite più fermate con lo stesso indirizzo con massimo due passeggeri (in totale 37 stop), in modo tale da non far generare l'errore (Fig.97).

0	Depot	Via Roma, 46, 10028 Trofarello TO	44,9808300	7,7358700	00:00	07:55	Starting location	0:00	0	70
1	Customer 1	Via Vincenzo Gioberti, 25, 10028 Trofarello TO	44,9853700	7,7368300	00:00	23:59	Must be visited	0:00	2	0
2	Customer 2	Via Vincenzo Gioberti, 25, 10028 Trofarello TO	44,9853700	7,7368300	00:00	23:59	Must be visited	0:00	2	0
3	Customer 3	Via Vincenzo Gioberti, 25, 10028 Trofarello TO	44,9853700	7,7368300	00:00	23:59	Must be visited	0:00	1	0
4	Customer 4	Via Trento, 44, 10028 Trofarello TO	44,9891500	7,7375400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	2	0
5	Customer 5	Via Trento, 44, 10028 Trofarello TO	44,9891500	7,7375400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	1	0
6	Customer 6	Via Madonna di Celle, 5, 10028 Trofarello TO	44,9947000	7,7446400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	2	0
7	Customer 7	Via Madonna di Celle, 5, 10028 Trofarello TO	44,9947000	7,7446400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	2	0
8	Customer 8	Via Madonna di Celle, 5, 10028 Trofarello TO	44,9947000	7,7446400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	2	0
9	Customer 9	Via Madonna di Celle, 5, 10028 Trofarello TO	44,9947000	7,7446400	00:00	23:59	Must be visited	0:00	2	0

Figura 97: Estratto del foglio di calcolo 1.Locations. Nella colonna degli indirizzi vi sono dei doppi per ovviare all'errore generato dal programma.  
Fonte: elaborazione propria

Di seguito sono rappresentati alcuni dei più significativi risultati tabellari ottenuti applicando il comando 6.Solver nel caso dei Robotaxi. Risultano necessari **trentacinque** mezzi per coprire la domanda verso la stazione, data la minor capienza a bordo rispetto agli altri due mezzi considerati, facenti ognuno una fermata, tranne una coppia che effettuerebbe due stop (V3 e V19) (Fig. 98).

Vehicle:	V1	Stops:	2	Net profit:	-1,76			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:40	0:00	0	0
1	Customer 1	1,03	0:04	07:44	07:44	0:04	0	2
2	Depot	1,76	0:07	07:47		0:07	0	0
3								
4								

Vehicle:	V3	Stops:	3	Net profit:	-2,75			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:40	0:00	0	0
1	Customer 5	1,35	0:05	07:45	07:45	0:05	0	1
2	Customer 3	2,03	0:07	07:47	07:47	0:07	0	2
3	Depot	2,75	0:11	07:51		0:11	0	0
4								

Vehicle:	V19	Stops:	3	Net profit:	-5,62			
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0,00	0:00		07:40	0:00	0	0
1	Customer 32	2,70	0:07	07:47	07:47	0:07	0	1
2	Customer 37	4,36	0:13	07:53	07:53	0:13	0	2
3	Depot	5,62	0:16	07:56		0:16	0	0
4								

Figura 98: estratto del foglio rappresentante la soluzione applicata dal software per i Robotaxi. Il veicolo N°19 è evidenziato in rosso dal software perché sfiorerebbe di un minuto (segnalazione trascurabile dato il valore minimo) rispetto l'orario di arrivo previsto.

Fonte: elaborazione propria

### -5. Visualization applicato all'uso dei Robotaxi

Come si può osservare dall'immagine (Fig.99) in questo foglio di lavoro la mappa dell'area analizzata presenta tanti percorsi quanti il numero di mezzi necessari. Per ovvie ragioni di spazio, la visualizzazione non è delle più chiare, ma si può osservare, ad esempio, il percorso del mezzo numero 19 che effettua due fermate (cerchiato in rosso in figura).

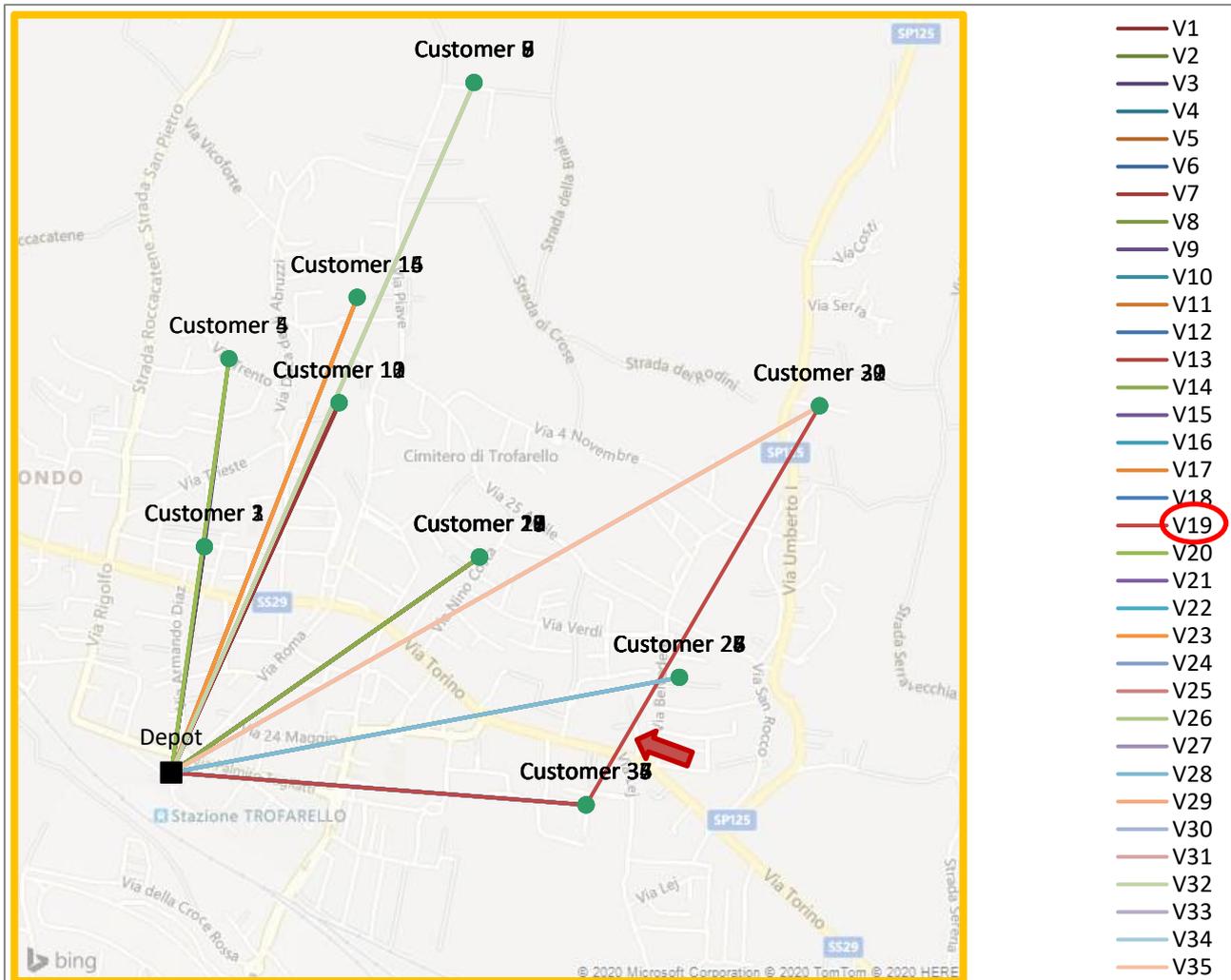


Figura 979: Estratto del foglio di calcolo 5.Visualization nel caso dei Robotaxi. In rosso (cerchio e freccia) il percorso del V19.

Fonte: elaborazione propria

### 5.3.2 Confronto con altre modalità di spostamento

Le altre modalità di spostamento considerate, al fine di affinare il confronto, sono:

- **Auto privata automatica** considerando un solo passeggero (il driver);
- **Mobilità** esclusivamente **pedonale**.

#### -Auto Privata

Per la determinazione delle distanze e tempi si è proceduto senza l'utilizzo del software in quanto è noto il numero di mezzi necessari per assolvere alla domanda (70). Per questo si è provveduto alla creazione di una tabella riassuntiva in cui sono presenti i seguenti dati (Tab.20):

- **Numero di fermata**, corrispondente al numero utilizzato nel software e all'immagine 83;
- **Numero di passeggeri per stop**, determinato precedentemente in modo proporzionale al valore dell'indicatore P138 per sezione di censimento e inserito nel software nella sezione *1.Locations*;
- **Numero di mezzi necessari** per assolvere alla domanda in base ai posti a bordo a disposizione (1 per le auto private);
- **Distanze singole**, espresse in chilometri, da ogni fermata al *Depot*, cioè la stazione ferroviaria, calcolate attraverso il calcolo percorso di Bing Maps;
- **Distanze totali** percorse, sempre, ottenute dal prodotto del numero di mezzi necessari e le singole distanze di ogni fermata;
- **Tempo di viaggio** per raggiungere il capolinea per ogni singola fermata (calcolato tramite l'uso di Bing Maps);
- **Tempo di viaggio totale**, ottenuto dal prodotto dei singoli tempi di viaggio con il numero di mezzi necessari per fermata.

N° fermata	N° passeggeri per stop	N° Auto necessarie per stop	Distanza alla stazione [km]	Distanze totali percorse [km]	Tempo di viaggio [min]	Tempo di viaggio totale [min]
1	5	5	0,7	3,5	3	15
2	3	3	1,3	3,9	4	12
3	8	8	2,1	16,8	7	56
4	8	8	1,4	11,2	6	48
5	6	6	1,6	9,6	6	36
6	14	14	1,2	16,8	5	70
7	10	10	1,6	16	5	50
8	7	7	2,7	18,9	9	63
9	9	9	1,3	11,7	4	36
<b>Totale</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>13,9</b>	<b>108,4</b>	<b>49</b>	<b>386</b>
						(pari a 6,45 ore)

Tabella 20: dati di percorrenze parziali e totali per l'uso dell'auto privata.  
Fonte: elaborazione propria

### - Mobilità pedonale (Tab.21)

In questo caso si è determinato soltanto il tempo per lo spostamento dal centroide della sezione di censimento verso la stazione ferroviaria. Ovviamente chi decide di effettuare a piedi il percorso partirà dalla propria abitazione e quindi non da una fermata/centroide, ma in questo caso, ai fini dell'esercitazione, non si tiene conto di questo dato e si considerano le fermate come punti di partenza dei pendolari.

Rispetto alla tabella precedente, variano logicamente soltanto i tempi di percorrenza da ogni fermata per via della minor velocità di marcia e la colonna del totale dei tempi di viaggio.

N° fermata	N° passeggeri per stop	N° persone da ogni stop	Distanza alla stazione [km]	Distanze totali percorse [km]	Tempo di viaggio [min]	Tempo di viaggio totale [min]
1	5	5	0,7	3,5	8	40
2	3	3	1,3	3,9	14	42
3	8	8	2,1	16,8	22	176
4	8	8	1,4	11,2	12	96
5	6	6	1,6	9,6	16	96
6	14	14	1,2	16,8	13	182
7	10	10	1,6	16	17	170
8	7	7	2,7	18,9	27	189
9	9	9	1,3	11,7	13	117
<b>Totale</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>13,9</b>	<b>108,4</b>	<b>142</b>	<b>1108</b>

(pari a 18,45 ore)

Tabella 21: dati di percorrenze parziali e totali senza l'uso di mezzi di spostamento.

Fonte: elaborazione propria

## 5.4 Confronto finale e considerazioni

Al fine di determinare un confronto tra le varie modalità di spostamento considerate sono stati ricavati e comparati i dati riguardanti il numero di mezzi totali necessari a coprire l'ora di punta, i chilometri percorsi per ogni modalità di spostamento e il tempo di viaggio medio per gli utenti a seconda della modalità considerata (Tab.25). Nella tabella di confronto sono presenti, in forma riassuntiva, sia i dati già ricavati, come il numero di mezzi necessari per ogni passaggio, sia nuovi dati, quali:

- **Numero totale di mezzi** necessari per l'ora di punta, calcolati in modo differente a seconda della modalità di spostamento. Per l'automobile privata è bastato moltiplicare il numero di passaggi previsti nell'ora (3) con il numero dei veicoli necessari per ogni passaggio (70). Invece, per determinare il numero di Autobus e Minibus, è stato necessario realizzare delle tabelle orarie (Tab.22-23), create in base ai tempi di percorrenza per ogni mezzo e al tipo di percorso previsto, entrambi valori determinati dal software. Queste sono servite per determinare se un mezzo, arrivato al capolinea fosse in tempo per ripartire per il passaggio successivo e così via. In conclusione, come si può osservare dalle tabelle, risultano necessari 4 Autobus e 6 Minibus per coprire interamente l'orario analizzato. Sempre su questo principio, risultano necessari 35 Robotaxi totali, in quanto i tempi di percorrenza medi per ogni passeggero sono sempre inferiori a venti minuti (tempo tra un arrivo previsto in stazione e l'altro).

N° Mezzo Autobus	T. di percorrenza [min]	Partenza passaggio 1	arrivo previsto passaggio 1	Partenza passaggio 2	arrivo previsto passaggio 2	Partenza passaggio 3	arrivo previsto passaggio 3
V1	27	7.28	7.55	7.58	8.25	8.18	8.45
V2	27	7.28		7.58		8.18	

Mezzi totali necessari per l'ora di punta: 4

Tabella 22: Determinazione degli Autobus necessari per coprire l'intera ora di punta considerata. In rosso gli orari che necessitano di ulteriori mezzi.

Fonte: elaborazione propria

N° Mezzo Minibus	T. di percorrenza [min]	Partenza passaggio 1	arrivo previsto passaggio 1	Partenza passaggio 2	arrivo previsto passaggio 2	Partenza passaggio 3	arrivo previsto passaggio 3
V1	15	7.40	7.55	8.10	8.25	8.30	8.45
V2	11	7.44		8.14		8.34	
V3	23	7.32		8.02		8.22	
V4	15	7.40		8.10		8.30	
V5	15	7.40		8.10		8.30	

Mezzi totali necessari per l'ora di punta: 6

Tabella 23: Determinazione dei Minibus necessari per coprire l'intera ora di punta considerata. In rosso gli orari che necessitano di ulteriori mezzi.

Fonte: elaborazione propria

- **Chilometri percorsi per ogni passaggio in stazione**, ottenuti, per gli Autobus, Minibus e Robotaxi, dalla sommatoria delle percorrenze di ogni singolo mezzo previsto dal software (*Distance travelled*). Invece, per le Auto private e per la Mobilità pedonale, dalla sommatoria di ogni singola percorrenza dei 70 mezzi/pedoni previsti.

- **Chilometri totali percorsi** nella fascia oraria considerata, ottenuti moltiplicando per tre i chilometri per ogni singolo passaggio.

- **Tempo di viaggio medio**, calcolati in modo differente a seconda della modalità di spostamento. Per le Auto private e la Mobilità pedonale è ottenuto dalla media dei tempi di viaggio rispetto le nove fermate previste. Invece, per le modalità calcolate con il software, è stata determinata la media pesata del tempo che ogni passeggero sta sull'autobus dalla fermata di salita a quella di arrivo (Fig.24).

N° Mezzo	N° fermata	N° passeggeri per stop	Tempo al Depot da ogni stop [min]	Tempo tot. al Depot da ogni stop in base ai passeggeri [min]
V1	5	6	9	54
	9	9	4	36
V2	6	14	5	70
V3	3	8	16	128
	8	7	9	63
V4	7	10	9	90
	1	5	4	20
V5	2	3	9	27
	4	8	6	48
<b>Totale</b>		<b>70</b>	<b>71</b>	<b>536</b>

N° Mezzo	N° fermata	N° passeggeri per stop	Tempo al Depot da ogni stop [min]	Tempo tot. al Depot da ogni stop in base ai passeggeri [min]
V1	9	9	21	189
	7	10	18	180
	8	7	14	98
	6	14	6	84
V2	5	6	20	120
	3	8	17	136
	2	3	11	33
	4	8	8	64
	1	5	5	25
<b>Totale</b>		<b>70</b>	<b>120</b>	<b>929</b>

Tempo medio di percorrenza [min]*	7,657
*ottenuto da 536/70	arrotondato a 8

Tempo medio di percorrenza [min]*	13,271
*ottenuto da 929/70	arrotondato a 13

Tabella 24: determinazione del tempo di percorrenza medio per gli Autobus e Minibus. Per i Robotaxi è stato considerato lo stesso medesimo procedimento calcolandolo sui 35 mezzi necessari.

Fonte: elaborazione propria

Analizzando i risultati ottenuti nelle ultime due colonne della tabella riassuntiva di seguito, quelle rappresentanti le scale di colori, si possono fare diversi ragionamenti<sup>250</sup>.

Modalità di spostamento analizzata	N° di passeggeri trasportati per mezzo	N° di mezzi necessari per ogni passaggio in stazione	N° totale di mezzi necessari per l'ora di punta	Km percorsi per ogni passaggio in stazione	Km totali percorsi nella fascia oraria 8.00-9.00 (3 passaggi/h)	Tempo di viaggio medio [min]
Autobus automatico	60	2	4	11	33	13
Minibus automatico	15	5	6	20	60	8
Robotaxi	2	35	35	108	324	7
Automobile privata	1	70	210	109	327	6
Mobilità pedonale	n.d.	n.d.	n.d.	109	327	15

Tabella 25 riassunto e confronto dei dati riguardanti le diverse modalità di spostamento considerate.

Fonte: elaborazione propria

Andando con ordine, gli **Autobus automatizzati** rappresentano, per quanto concerne i chilometri percorsi, sicuramente la scelta più conveniente a discapito però di un tempo medio di percorrenza più elevato rispetto a tutte le altre modalità motorizzate. Sicuramente, il vantaggio prevalente sarebbe il costo minore di esercizio (€/km), ma vi è una criticità, non trascurabile in fase progettuale, riguardante la conformazione geografica e morfologica del centro abitato che non permetterebbe il passaggio agevole dei mezzi con dimensioni importanti come quelli considerati (circa 10-12 metri di lunghezza).

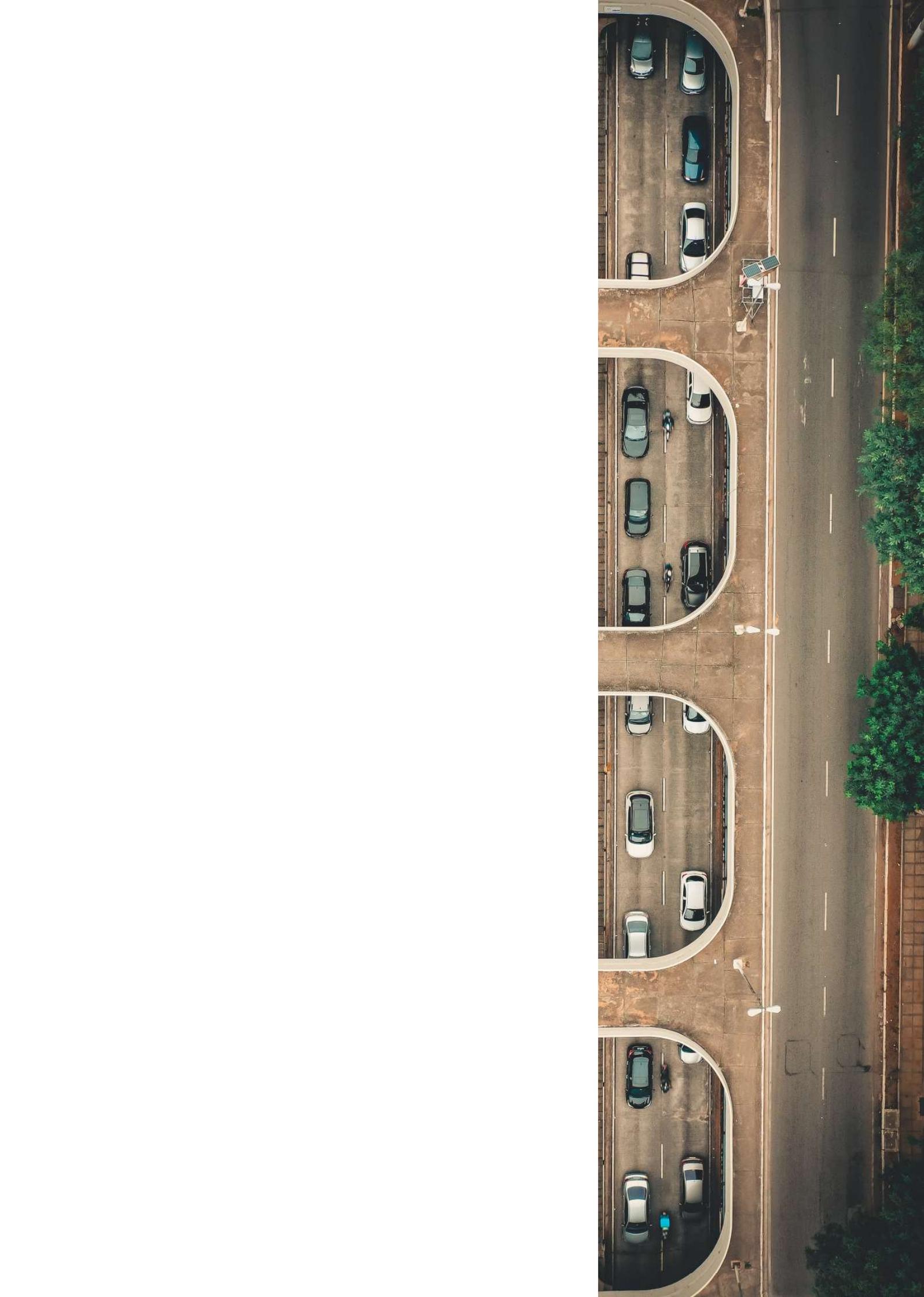
<sup>250</sup> In questa esercitazione è stato ipotizzato che i servizi di trasporto funzionino in condizioni ideali (tempo di servizio per le operazioni di salita e discesa = 0; con la presenza puntuale degli utenti alle fermate). Importante sottolineare però, come in condizioni reali questi due aspetti influiscano sulla regolarità del servizio di trasporto (e quindi sui tempi di attesa degli utenti) e sono sempre meno trascurabili quando i veicoli servono un numero maggiore di utenti, perché i ritardi si propagherebbero lungo la corsa su tutti gli utenti successivi, innescando una reazione a catena.

I **Minibus automatizzati**, sicuramente potrebbero essere la soluzione migliore per questo caso studio. Infatti, grazie alle loro dimensioni compatte non avrebbero problemi di percorrenza nelle strade strette e tortuose del Comune e garantirebbero un'elevata accessibilità per anziani e persone con mobilità ridotta (utenza debole). Anche per quanto concerne il numero di chilometri percorsi e tempi di percorrenza, non registrano valori elevati e infine, il numero ridotto di mezzi necessari (soltanto 6), non creerebbe eccessivo traffico e conseguente congestione stradale, che farebbe lievitare i tempi medi di percorrenza.

I **Robotaxi** e le **Automobili private** rappresentano uno scenario poco auspicabile, per un duplice motivo. Il primo rappresenterebbe la congestione stradale derivante, rispettivamente da 35 e/o 210 veicoli, che renderebbe praticamente insostenibile ogni spostamento e che condizionerebbe negativamente i tempi di percorrenza medi, attualmente vantaggiosi (tra i 6 e i 7 minuti), nonché i costi. Porterebbe gli utenti a preferire lo spostamento a piedi verso la stazione o addirittura lo spostamento direttamente alla destinazione finale (Torino in questo caso), considerando la possibilità di svolgere alcune attività a bordo al posto di concentrarsi sulla guida. Questo scenario è il peggiore immaginabile per raggiungere una mobilità sostenibile, integrata e multimodale che si collega a quanto spiegato nei capitoli precedenti riguardante uno dei rischi principali legati alla diffusione dei VGA.

Infine, sono stati considerati gli spostamenti effettuabili a **piedi**, quindi senza l'uso di mezzi motorizzati. Potrebbe essere vantaggioso sicuramente in un'ottica di risparmio economico ed energetico e quindi, conseguentemente, di impatto ambientale. Però, non sarebbe così vantaggioso per quanto riguarda il tempo medio di spostamento (il più elevato tra le modalità), in cui potrebbero esserci diverse criticità, come il problema legato alla sicurezza stradale (percorsi pedonali non sempre protetti, spesso senza marciapiedi), condizioni atmosferiche avverse e infine, potrebbe essere difficoltoso per quelle persone che possono avere degli impedimenti fisici, dovuti all'età o a qualche disabilità motoria. Stesso discorso si potrebbe fare anche per la mobilità **ciclabile**, che potrebbe essere preferibile rispetto alle altre modalità, e che impiegherebbe sicuramente meno della mobilità pedonale (circa dieci minuti come tempo medio di viaggio) ma sarebbe soggetta alle medesime criticità (percorsi sicuri, condizioni meteo, accessibilità ecc) e comunque sarebbe sempre un mezzo di trasporto individuale e non collettivo.

In conclusione, questa esercitazione non si pone l'obiettivo di determinare una modalità migliore a priori ma di fare un **quadro di possibili scenari** che si potrebbero presentare tra diversi anni in un'area al di fuori della grande città urbanizzata, quando i VGA saranno diffusi concretamente come lo sono oggi le auto a guida "tradizionale". Chiaramente, la diffusione di ogni modalità di spostamento e l'emergere di ogni singolo scenario non sarà indipendente ma sarà un'evoluzione costante e condivisa e pertanto, vi saranno infinite possibilità e sfaccettature tra i vari scenari presentati. Come rappresentato nella figura 45, a pagina 83, è importante da parte delle amministrazioni, sia a livello nazionale che locale, promuovere una crescita intelligente, investendo nel trasporto senza conducente, nell'aggiornamento delle infrastrutture, nell'incremento dell'accessibilità e dell'interscambio tra i vari mezzi di trasporto più efficienti (gomma-ferro).





Capitolo

# 06

Conclusioni

## 6. Conclusioni

In questo lavoro di tesi sono state affrontate diverse tematiche spaziando dalla coevoluzione delle città e dei trasporti, nel passato, ai VGA e i potenziali impatti futuri che essi potranno avere sul sistema dei trasporti e sul territorio.

Stiamo vivendo un'epoca di cambiamento per il mondo dell'auto e dei trasporti. Il settore automotive ha tradizionalmente un ruolo fondamentale nella società, sia in termini economici che di impatto sociale, ed è nel mezzo di una profonda e rapida trasformazione, che ha tra i temi dominanti la digitalizzazione e l'elettrificazione su larga scala<sup>251</sup>. Parallelamente, da alcuni anni, si raggiungono le prime sperimentazioni su strada di VGA, frutto di grandi investimenti economici da parte di numerose aziende leader a livello globale sia nel settore auto che in quello informatico (vedi Uber o Google con Waymo).

Sulla base di quanto analizzato e descritto nella presente tesi, la tabella seguente prova a riassumere i principali **vantaggi** e le **criticità** derivanti dall'introduzione dei veicoli a guida autonoma, classificati a seconda che siano **interni** (che riguardino direttamente gli utenti) o **esterni** (che riguardino la società) (Tab.26).

	Vantaggi	Problemi/criticità
<b>Impatti interni</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Riduzione dello stress</b> dei conducenti e aumento della produttività. Gli automobilisti possono riposare, lavorare e svolgere altre attività mentre viaggiano.</li> <li><b>Elevata mobilità e indipendenza</b> per chi non può guidare per svariati motivi come disabilità o semplicemente mancanza della patente. In questo modo si potranno ridurre, ad esempio, gli oneri dovuti alla presenza di un autista e altri sussidi per il trasporto.</li> <li><b>Riduzione dei costi di guida, rifornimento e manutenzione.</b> Ridotti anche i costi per i taxi e gli autisti dei trasporti commerciali in quanto non saranno fisicamente a bordo ma vi sarà un operatore (che monitorerà più mezzi) in teleguida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Aumento dei costi di acquisto</b> dei veicoli (almeno nella fase iniziale di diffusione su larga scala). Questi mezzi richiedono hardware e software specifici a bordo con annessi servizi on demand di supporto e aggiornamento.</li> <li><b>Rischi per l'utente causati da eventuali guasti del sistema.</b> Inoltre, se la velocità di marcia sarà maggiore dell'attuale (per via della costante comunicazione tra infrastrutture e veicoli) questi rischi saranno tanto maggiori quanto la velocità raggiunta dal mezzo.</li> <li><b>Sicurezza e privacy potenzialmente a rischio.</b> Il veicolo, come ogni computer odierno, potrà essere vulnerabile da attacchi informatici (hacking), e le informazioni contenute all'interno, come la localizzazione, i percorsi, gli indirizzi preferiti ecc, potrebbero ridurre la privacy degli utenti se violate.</li> </ol>
<b>Impatti esterni</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Maggiore sicurezza.</b> Si potranno ridurre i rischi di incidenti e di conseguenza i costi assicurativi, con un logico incremento della sicurezza per tutti gli utenti della strada.</li> <li><b>Riduzione del consumo di energia e dell'inquinamento atmosferico ed acustico.</b> Essendo veicoli a trazione elettrica non si avranno più emissioni locali di sostanze inquinanti e vi sarà una maggiore efficienza alla guida con una riduzione conseguente dei consumi energetici.</li> <li><b>Condivisione dei veicoli</b> incrementata. I VGA potrebbero facilitare il car sharing e il ridesharing, riducendo la proprietà totale del veicolo e i costi ad esso associati.</li> <li><b>Aumento della capacità stradale</b> e riduzione dei costi. Un traffico veicolare più efficiente può ridurre la congestione e di conseguenza i costi esterni delle infrastrutture stradali.</li> <li><b>Riduzione della domanda di parcheggio</b> nei luoghi di destinazione. I VGA potranno parcheggiare in luoghi anche un po' più distanti dalla destinazione finale dell'utente, con un conseguente alleggerimento e diminuzione di aree a parcheggio in luoghi attualmente saturi (come possono essere i centri cittadini).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Aumento dei rischi</b> per gli utenti della strada in caso di guasto del sistema o nel caso di utilizzo per attività criminali.</li> <li><b>Aumento dei problemi legati al traffico.</b> L'aumento degli spostamenti può incrementare la congestione, i consumi e quindi l'inquinamento e i costi legati all'espansione (sprawl urbano).</li> <li><b>Preoccupazioni di equità sociale.</b> Possono essere ridotte le opzioni di mobilità a prezzi accessibili dato che avranno un costo iniziale più elevato rispetto agli attuali mezzi non automatici (questo problema potrebbe verificarsi solo in una fase iniziale di diffusione).</li> <li><b>Diminuzione dei posti di lavoro.</b> I posti di lavoro per gli autisti possono diminuire (ma si creerebbero comunque altre figure professionali per la gestione e manutenzione delle flotte di veicoli).</li> <li><b>Aumento dei costi delle infrastrutture.</b> L'adattamento per la guida autonoma potrà richiedere un aumento degli standard di progettazione e dei costi di manutenzione delle strade.</li> <li><b>Investimenti ridotti per altre soluzioni di mobilità.</b> Previsioni ottimistiche di guida autonoma possono scoraggiare altri miglioramenti dei trasporti e strategie di gestione del traffico sul lungo periodo.</li> </ol>

Tabella 26: Previsione degli eventuali vantaggi e criticità derivanti dall'introduzione e diffusione dei VGA.

Fonte: elaborazione propria

<sup>251</sup> <https://modo.volkswagengroup.it/it/robotica/auto-connesse-e-smart-road-ecco-come-sara-la-mobilita-del-futuro>

In tabella sono rappresentati le principali caratteristiche di questi veicoli e sicuramente l'impatto totale dipenderà da come la tecnologia della guida autonoma influenzerà gli spostamenti delle persone e di conseguenza dei veicoli. Se verrà stimolata prevalentemente la guida con l'uso di veicoli privati sarà probabile che i costi esterni aumenteranno ma, se i VGA con le dovute politiche contribuiranno a **ridurre gli spostamenti totali**, gli impatti esterni negativi saranno probabilmente minori.

Proprio su questo tema, coloro che hanno un peso nella gestione e previsione dello sviluppo del sistema di pianificazione urbanistica e della mobilità in virtù dei VGA (come politici, pianificatori, urbanisti, ingegneri, tecnici, trasportisti, sociologi ecc), devono lavorare per guidare questa fase di transizione affinché i costi esterni siano ridotti il più possibile. Dovranno contribuire, avviando anche una governance estesa tra pubblico e privato, a definire gli standard di circolazione dei mezzi sulle strade pubbliche, valutare i rischi e le opportunità che presentano e sviluppare politiche per garantire che il loro impiego sostenga gli **obiettivi strategici della comunità**, tra cui la riduzione della congestione del traffico, la sicurezza, la salute pubblica e il generale miglioramento della vivibilità nelle aree urbanizzate.

Tuttavia, è molto complesso determinare oggi le varie fasi o strategie di diffusione della guida autonoma in futuro, in quanto questa rivoluzione avrà una portata globale e di lunga durata. Non vi sarà alcun settore dell'economia non interessato da questo cambiamento e quindi le **politiche di gestione** dei VGA dovranno tenere conto del contesto globale, considerando anche numerosi fenomeni economico-sociali, come, ad esempio, il cambiamento climatico, la disponibilità finanziaria sia della Pubblica Amministrazione che dei cittadini e l'invecchiamento della popolazione, che avranno un'influenza sulla loro applicazione. Importante sottolineare come la regolamentazione dei veicoli autonomi dovrà subire una standardizzazione dei sistemi di circolazione e della normativa, che non dovrà essere normata al livello locale ma, presumibilmente, in quello nazionale, europeo ecc.

Attualmente c'è una notevole incertezza riguardo ai **benefici** dei veicoli autonomi, ai costi, alla velocità di diffusione e alla domanda da parte dei consumatori<sup>252</sup>. Sono ancora necessari progressi significativi prima che i veicoli autonomi possano funzionare in modo affidabile in tutte le condizioni normali, compreso il traffico urbano misto con le frequenti interazioni con altri oggetti, spesso imprevedibili (come animali, pedoni, ciclisti e altri veicoli), le condizioni meteorologiche avverse, le strade non asfaltate e non mappate e le aree con scarse connessioni Internet.

Saranno necessari diversi anni di test e di approvazione normativa prima che i veicoli autonomi possano diventare disponibili in commercio. Gli ottimisti prevedono che entro il 2030, i veicoli di livello 5, saranno in grado di operare autonomamente in tutte le condizioni, sarà sufficientemente affidabile, economico e fornirà molti vantaggi agli utenti e alla società in generale<sup>253</sup>. Tuttavia, ci sono buone ragioni per essere scettici per via delle numerose questioni politiche e sociali descritte in tesi, anche se poi, Elon Musk numero uno di Tesla, ha affermato come le sue auto saranno pronte

---

<sup>252</sup> Litman Todd, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020

<sup>253</sup> Ibid

per la guida di livello 5 già nel 2021<sup>254</sup>. Sicuramente c'è un'intenzione propagandistica e visionaria in questa affermazione, ma non si può negare che la sua azienda sia stata la pioniera nel settore delle auto elettriche e successivamente della guida assistita con il celebre "autopilot".

C'è stato spazio, nella parte conclusiva della tesi, per l'analisi riguardanti alcune tematiche relative le possibili soluzioni organizzative del trasporto pubblico locale nel **Comune di Trofarello**, prendendo in considerazione i possibili scenari futuri derivanti la diffusione dei VGA, con lo scopo di valutare in che modo potranno essere applicate le varie soluzioni e opportunità offerte da questi nuovi mezzi, per risolvere i problemi dei vari territori e dei cambiamenti della domanda di mobilità, e mettere in guardia dai possibili problemi che ne possono derivare.

L'esercitazione ha messo in evidenza l'importanza del TPL e dell'integrazione non solo più tra modi diversi ma anche tra trasporto automatico e non, al fine di massimizzare i vantaggi per i singoli e per la collettività e, con le dovute precauzioni essendo un esempio prettamente teorico, conferma come non vi sia un mezzo automatico giusto a priori per tutte le esigenze insediative e demografiche. In questo caso infatti, il mezzo più adatto a soddisfare le necessità di mobilità del Comune con un servizio di feeder verso la stazione ferroviaria sembrerebbe essere il **Minibus automatico**, rispetto agli altri mezzi considerati. Questi veicoli, coniugando compattezza e agilità, potranno districarsi facilmente nelle vie strette del centro abitato garantendo comunque una buona capacità di trasporto, sicuramente maggiore di quella delle automobili private o dei Robotaxi.

Proprio questi mezzi sono idonei a completare la catena degli spostamenti casa-lavoro effettuando i "tragitti dell'ultimo miglio", cioè le brevi distanze percorse da o verso la fermata del TPL o la stazione ferroviaria (del SFM in questo caso specifico). Infatti, se treni e metropolitane veloci coprono spesso la parte principale del tragitto casa-lavoro, le poche centinaia di metri che quotidianamente numerosi cittadini percorrono per raggiungere la stazione o la fermata rappresentano difatti una parte essenziale della mobilità nei centri urbani. Sviluppare ed implementare servizi ad hoc utili a coprire i brevi tragitti significa pertanto migliorare la mobilità urbana e, con essa, anche la qualità di vita degli stessi cittadini con meno traffico e conseguente minor inquinamento.

Gli altri mezzi considerati, **Robotaxi e Automobili private**, non sarebbero utili al raggiungimento di una mobilità sostenibile, integrata e multimodale in questo caso studio, in quanto porterebbero all'incremento della congestione stradale, dato l'elevato numero di mezzi necessari per soddisfare la domanda concentrata nell'ora di punta. Inoltre, alcuni utenti potrebbero preferire il trasporto automatico direttamente al luogo di destinazione, portando ad un ulteriore incremento del traffico e congestione verso la città.

Il verificarsi di questo scenario è una delle più importanti criticità e rischio relativo alla diffusione su larga scala dei VGA e come questi possano sostituire il TPL andando a complicarne sempre più la funzionalità e l'efficienza. Infatti, è impensabile un futuro in cui ognuno avrà la propria auto autonoma o in cui tutte le auto autonome saranno condivise, a causa degli impatti che ciò potrà generare sul traffico.

---

<sup>254</sup> <https://www.quattroruote.it/news/industria/finanza/2020/07/09/guida-autonoma-elon-musk-confidiamo-di-raggiungere-il-livello-5-entro-la-fine-dell-anno.html>

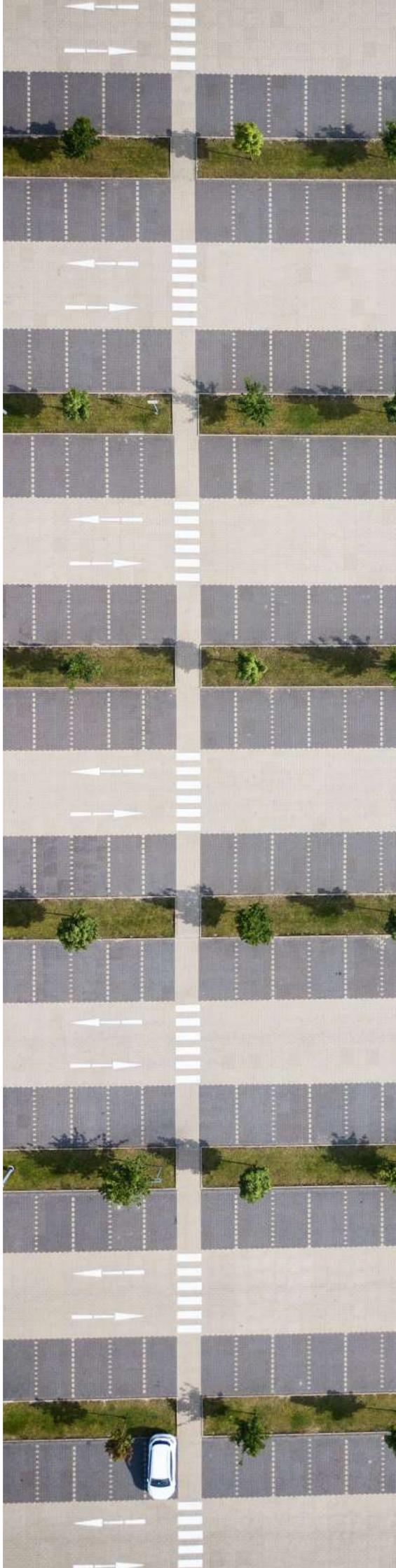
Il TPL, anche se più automatizzato, sarà sempre la spina dorsale della mobilità in quanto permette di muovere grandi volumi di persone con costi e impatti contenuti.

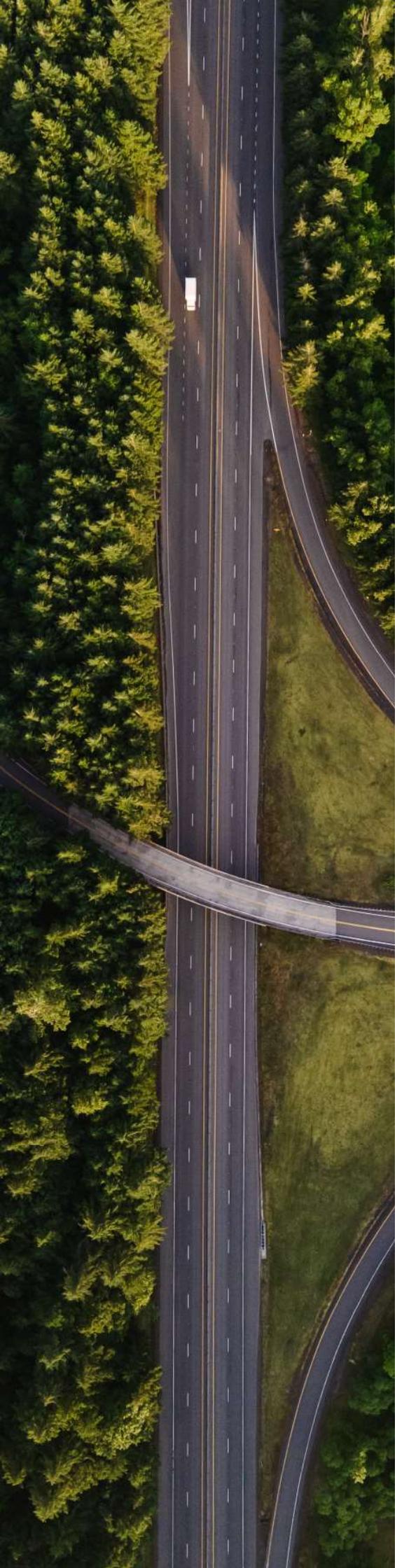
Chiaramente, la diffusione di ogni soluzione, quindi l'emergere di ogni singolo scenario, non sarà indipendente l'una dall'altra ma sarà probabilmente un **processo costante e duraturo** nel tempo. Pertanto, è importante ricordare che ci sono infinite possibilità e sfaccettature tra le diverse modalità di spostamento considerate, e che lo scenario finale verosimilmente potrebbe anche comprenderle tutte. Su questo, collegandomi a quanto espresso precedentemente, è fondamentale la presenza della politica, in modo da gestire al meglio la futura transizione alla guida autonoma, mettendo dei paletti dove necessario al fine di rendere la mobilità il più sostenibile ed efficiente possibile.

I grandi cambiamenti, come quelli che sta vivendo la società contemporanea, all'inizio spaventano le masse e faticano ad essere accettati nel breve periodo, ma se risultano essere inevitabili tanto vale farsi trovare preparati e pronti per assimilare al meglio gli eventuali impatti, sia positivi che negativi, da essi derivati.

Questa tesi non ha la pretesa di rispondere in maniera esaustiva a chi si domanda come dovranno essere governati i VGA o di determinare una previsione certa della loro diffusione, ma prova a rappresentare un sunto sul mondo dei VGA e sugli impatti che potranno avere in futuro sulla mobilità, e non solo.

Sicuramente sono presenti alcuni limiti e criticità che potranno essere esaminati in futuro, quando si saprà con più certezza lo sviluppo concreto di questa tecnologia, e potranno servire da stimolo per ulteriori nuovi studi, più approfonditi.





Capitolo

# 07

Fonti bibliografiche e sitografiche

## 7. Fonti bibliografiche e sitografiche

### Bibliografia:

- Ainsalu Jaagup, Arffman Ville, Bellone Mauro, Ellner Maximilian, Haapamäki Taina, Haavisto Noora, [...], "State of the Art of Automated Buses", 2018
- Alessandrini Adriano, Delle Site Paolo, Campagna Andrea, Filippi Francesco, "Automated Vehicles and the Rethinking of Mobility and Cities", 2015
- Andreoli Jacopo, "Opportunità tecnologiche e organizzative per l'evoluzione del trasporto pubblico locale", 2019
- Banister David, "The sustainable mobility paradigm", Transport Studies Unit, Oxford University Centre for the Environment, Oxford, UK, 2007
- Bertolini A., Palmerini E., "Regulating robotics: A challenge for Europe, in EU Parliament, Workshop on Upcoming issues of EU law for the IURI Committee", Publications Office of the EU Parliament, Bruxelles, 2014
- Brovarone Elisabetta Vitale, "La strategia nazionale per le aree interne e l'accessibilità nelle aree rurali e montane a bassa densità", 2020
- Boersma Reanne, Mica Dennis, Van Arem Bart, Rieck Frank, "Driverless electric vehicles at Businesspark Rivium near Rotterdam (the Netherlands): from operation on dedicated track since 2005 to public roads in 2020", 2018
- De Molli Valerio, Tavazzi Lorenzo, Sartori Massimiliano, Lovati Silvia, Donadonibus Jonathan, Galletti Francesco, Tartaglia Mario, Fiduccia Andrea, Casciaro Guglielmo, dell'Orefice Fabrizio, Biserni Stefano, "Il futuro della mobilità urbana – Integrazione e nuovi modelli di gestione del caso italiano", The European House-Ambrosetti, 2017
- Decker, B.L. National Transportation Safety Board (NTSB) Preliminary Report Highway: HWY18MH010. Technical Report; 2018
- Erdogan Günes, "An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems", School of Management, University of Bath, UK, 2017
- ERTRAC Working Group "Connectivity and Automated Driving", "Automated Driving Roadmap - Status: final for publication", 2017
- Grava Sigurd, "Urban Transportation System – Choise for communities", The McGraw-Hill Companies, 2004
- Hagenzieker Marjan P, Öztürker Maryna, Boersma Reanne, Nuñez Velasco Juan Pablo, Zubin Irene, Heikoop Daniël, "Automated busses in Europe: an Inventory of Pilots, version 0.5", 2020
- Hars Alexander, "Autonomous cars: The next revolution looms", 2010

- Hartwig Matthias, "Self-driving and cooperative cars", 2019
- Isaac L, "Driving Towards Driverless: A Guide for Government Agencies", New York City: WSP Parsons Brinckerhoff, 2015
- Kosonen Leo, "The Three Fabric Strategy in Finland", 2015
- Kuhnert F., Stürmer C., "Five trends transforming the automotive industry", Price Waterhouse Coopers, Frankfurt, Germany, 2018
- Litman Todd, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute, 2020
- Lo Feudo Fausto, "How to build an alternative to sprawl and auto-centric development model through a TOD scenario for the North-Pas-de-Calais region? Lessons from an integrated transportation-land use modelling", 2014
- Lugosz Patrycja Maria, "The Rise of the Sharing City - Examining Origins and Futures of Urban Sharing", Master of Science in Environmental Management and Policy, 2014
- Marchetti Cesare, "Anthropological Invariants in Travel Behaviour", International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, 1994
- Martínez-Díaz Margarita, Soriguera Francesc, Pérez Ignacio, "Autonomous driving: a bird's eye view", 2018
- Malysheva E. V., "Impact of Automated Vehicles on Urban Form", IOP Conf. Ser.: Cricchetto. Sci. 753 032013, 2020
- Newman Peter, Kosonen Leo and Kenworthy Jeff, "Theory of Urban Fabrics: Planning the Walking, Transit and Automobile Cities for Reduced Automobile Dependence", 2015
- Newman Peter, Kenworthy Jeff, "Sustainability e Citier: Orevcoming Automobile Dependence", 1999
- Newman Peter e Kenworthy Jeff, "Cities and Automobile Dependence", 1989
- Pojani Dorina e Stead Dominic, "Sustainable Urban Transport in the Developing World: Beyond Megacities", 2015
- Price John A., "Sharing: The Integration of Intimate Economies", Published by: Canadian Anthropology Society, 1975
- Prieto M., Baltas G., Stan V., "Car sharing adoption intention in urban areas: What are the key sociodemographic drivers?", Transportation Research Part A 101 (2017) 218–227, 2017
- Report del JRC Science Hub of the European Commission, "An analysis of possible socio-economic effects of a Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) in Europe", 2018
- Schofer Joseph L. and Mahmassani Hani S., "Mobility 2050 – A vision for transportation infrastructure", Northwestern Engineering – Transportation Centre, 2016

- Scudellari Jacopo, Staricco Luca, Brovarone Elisabetta Vitale, "Governare gli impatti territoriali della diffusione dei veicoli a guida autonoma", Rapporto progetto di ricerca - Politecnico di Torino Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, 2019
- Smolnicki P.M., Softys, J., "Driverless mobility: The impact on metropolitan spatial structures", 2016
- Steck F., Kolarova V., Bahamonde-Birke F., Trommer S., Lenz B., "How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for Commuting", 2018
- Tachieva Galina , "Sprawl Repair Manual", 2010
- Thomson Giles, Newman Peter, "Urban fabrics and urban metabolism – from sustainable to regenerative cities", Pubblicato da Elsevier B.V, 2017
- Thompson J. Michael, "Great Cities and their Traffic", 1977
- Tullio Paolo, " Da Uber ai robotaxi: spunti comparatistici per una riforma degli autoservizi pubblici non di linea", 2018
- Vukan R. Vuchic, "Urban transit systems and technology", 2007
- West Geoffrey, " SCALA - Le leggi universali della crescita, dell'innovazione, della sostenibilità e il ritmo di vita degli organismi, delle città, dell'economia e delle aziende", Mondadori, 2018

**Sitografia:**

## Capitolo 1:

-Ministero della Salute, dipartimento della sanità pubblica e dell'innovazione, [http://www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_pubblicazioni\\_1662\\_allegato.pdf](http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1662_allegato.pdf), ultima consultazione il 01/09/2020.

## Capitolo 2:

- Federico Tibone, TorinoScienza, aggiornato al 2016, <https://www.torinoscienza.it/personaggi/james-watt> , ultima consultazione il 25/08/2020;

- BBC online, aggiornato al 2014, [http://www.bbc.co.uk/history/historic\\_figures/stephenson\\_george.shtml](http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/stephenson_george.shtml), ultima consultazione il 25/08/2020;

- United Nation, Dipartimento per gli affari economici e sociali, dinamica della popolazione, <https://population.un.org/wup/>, ultima consultazione il 25/08/2020.

## Capitolo 3:

- Matthias Hartwig, "Sulla strada verso la guida autonoma", <https://www.bmw.com/it/innovation/lo-sviluppo-della-guida-autonoma.html> ,ultima consultazione il 25/08/2020;

- SAE International, <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>, ultima consultazione il 25/08/2020;

-Tesla, Autopilot, [https://www.tesla.com/it\\_IT/autopilot](https://www.tesla.com/it_IT/autopilot), ultima consultazione il 25/08/2020;

- Audi Intelligent assistance, <https://www.audi.it/it/web/it/nuovi-pacchetti-audi-innovative/intelligent-assistance.html>, ultima consultazione il 25/08/2020;

-Steffen Heuel, Tobias Köppel, Andreas Reil, Sherif Ahmed, StrumentazioneElettronica.it, aggiornato al 06/12/2019, <https://www.strumentazioneelettronica.it/tecnologie/wireless/verso-la-guida-autonoma-201912062449/>, ultima consultazione il 25/08/2020;

-Altran, 5G on the highway to V2X, <https://www.altran.com/it/it/insight/5g-on-the-highway-to-v2x/>, ultima consultazione il 25/08/2020;

- Simonluca Pini, Contributor Editor de Il Sole 24 Ore, aggiornato al 02/2019 <https://www.autopromotec.com/it/Auto-connesse-5g/a355>, ultima consultazione il 25/08/2020;

- Sami Haj-Assaad, AutoGuide.com, aggiornato al 03/2014, <https://www.autoguide.com/auto-news/2014/03/top-10-mobile-apps-car-owners.html>, ultima consultazione il 25/08/2020;

- Fabio Orecchini, Vehicle to grid – come funziona, aggiornato al 27/05/2019  
<https://www.fabioorecchini.it/vehicle-to-grid-come-funziona/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Siam Ahmed, Geotab.com, aggiornato al 27/09/2019, <https://www.geotab.com/blog/vehicle-to-infrastructure-communication/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Ford Motor Company, 2020, <https://www.ford.it/mondo-ford/storia-henry-ford>, ultima consultazione il 01/09/2020;
- La Repubblica, aggiornato al 24/02/2020,  
[https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2020/02/24/news/auto\\_a\\_guida\\_autonoma\\_l\\_a\\_cina\\_punta\\_al\\_primato-249470918/#:~:text=La%20Cina%20svela%20i%20suoi,di%20sistemi%20di%20automazione%20condizionale.&text=Entro%20il%202025%2C%20si%20legge,conducente%20prodotti%20secondo%20standard%20cinesi](https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2020/02/24/news/auto_a_guida_autonoma_l_a_cina_punta_al_primato-249470918/#:~:text=La%20Cina%20svela%20i%20suoi,di%20sistemi%20di%20automazione%20condizionale.&text=Entro%20il%202025%2C%20si%20legge,conducente%20prodotti%20secondo%20standard%20cinesi), ultima consultazione il 01/09/2020;
- Alessia Cruciani, Il Corriere della Sera, aggiornato al 27/02/2020,  
<https://corriereinnovazione.corriere.it/cards/futuro-guida-autonoma-visione-stereo-creata-parma-silicon-valley/matrimonio-30-milioni.shtml>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Department for transport, UK,  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/401562/pathway-driverless-cars-summary.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/401562/pathway-driverless-cars-summary.pdf), ultima consultazione il 25/08/2020;
- Commissione Europea, 2018, “Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Verso la mobilità automatizzata: una strategia dell'UE per la mobilità del futuro”,  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0283&from=EN>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Parlamento Europeo, Auto a guida autonoma in UE: dalla fantascienza alla realtà ,  
<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20190110STO23102/auto-a-guida-autonoma-in-ue-dalla-fantascienza-alla-realta>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Commissione Europea, Mobilità e trasporti, Sistemi di trasporto intelligenti, Piano d’azione e direttiva, [https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action\\_plan\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action_plan_en), ultima consultazione il 25/08/2020;
- Direttiva 2010/40/ue del parlamento europeo e del consiglio del 7 luglio 2010, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:207:0001:0013:IT:PDF>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- ERTRAC Working Group “Connectivity and Automated Driving”, “Automated Driving Roadmap - Status: final for publication”, 2017,  
[https://www.ertrac.org/uploads/images/ERTRAC\\_Automated\\_Driving\\_2017.pdf](https://www.ertrac.org/uploads/images/ERTRAC_Automated_Driving_2017.pdf), ultima consultazione il 25/08/2020;

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Gazzetta Ufficiale, decreto 28 febbraio 2018 <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/04/18/18A02619/sg>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Mit: operativo Osservatorio tecnico di supporto per Smart Road, <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/smart-road-smart-mobility-mezzi-stradali/mit-operativo-osservatorio-tecnico-di-supporto-per>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Vislab.it, <https://vislab.it/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Smart Road, da Mit prima autorizzazione a guida autonoma su strada, aggiornato al 07/05/2019, <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/smart-road/smart-road-da-mit-prima-autorizzazione-guida-autonoma-su-strada>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Concetta Desando, Economyup.it, aggiornato al 11/12/2019, <https://www.economyup.it/innovazione/paola-pisano-ministro-per-linnovazione-quel-che-resta-del-2019-e-da-dove-ripartire-nel-2020/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Paolo Magliocco, La Stampa, aggiornato al 16/06/2019, <https://www.lastampa.it/motori/attualita/2018/02/01/news/le-auto-senza-guidatore-possono-circolare-in-italia-1.33974846>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Gov.UK, Department for transport, aggiornato al 11/02/2015, <https://www.gov.uk/government/publications/driverless-cars-in-the-uk-a-regulatory-review>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Andrea Barsanti, La Stampa, aggiornato al 24/09/2019, <https://www.lastampa.it/motori/tecnologia/2019/09/24/news/guida-autonoma-dalla-gran-bretagna-la-proposta-un-angelo-custode-che-accosti-in-caso-di-pericolo-1.37505173>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Parlamento tedesco, Modifica della legge sulla circolazione stradale per la guida automatizzata, <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2017/kw13-de-automatisiertes-fahren-499928>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Virgin hyperloop.com, <https://hyperloop-one.com/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Massimiliano Del Barba, Corriere della Sera, aggiornato al 15/08/2017, <http://corriereinnovazione.corriere.it/2017/08/15/ecco-perche-auto-senza-pilota-treni-iperveloci-non-ci-faranno-risparmiare-tempo-andare-lavoro-5e3eee64-81af-11e7-9831-672d22e52341.shtml>, ultima consultazione il 25/08/2020.

#### Capitolo 4:

- Eni Enjoy, [https://enjoy.eni.com/it/torino/muoversi\\_con\\_enjoy](https://enjoy.eni.com/it/torino/muoversi_con_enjoy), ultima consultazione il 25/08/2020;

- Car2go, <https://www.car2go.com/IT/it/turin/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- BlueTorino, <https://www.bluetorino.eu/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Mobilità.org, Torino, aggiornato al 26/03/2019, <https://torino.mobilita.org/2019/03/26/parte-maas-un-progetto-per-disincentivare-lutilizzo-del-mezzo-privato/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Waymo, <https://waymo.com/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Decker, B.L. National Transportation Safety Board (NTSB) Preliminary Report Highway: HWY18MH010. Technical Report; 2018, <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- GTT Torino, Sistema VAL, metropolitana Torino, <http://www.gtt.to.it/cms/linee-e-orari/torino-e-cintura/urbana/240-metropolitana#sistemaVAL>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Easymile, <https://easymile.com/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Navya, <https://navya.tech/en/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Local Motors, Olli, <https://localmotors.com/meet-olli/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Progetto AutoNV, <https://www.autonv.de/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Progetto SwissTransitLab, Route 12, <https://www.swisstransitlab.ch/de/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Descrizione progetto AutoNV, <https://www.autonv.de/das-projekt/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Progetto AutoNV, Informazioni sul veicolo, <https://www.autonv.de/automatisierte-fahrzeuge/informationen-zum-fahrzeug/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- progetto AutoNV, Risultati sperimentazione, <https://www.autonv.de/wp-content/uploads/2016/12/Zwischenbericht-Fahrgastbefragung-13.12.19.pdf>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Report finale progetto SwissTransitLab, [https://www.swisstransitlab.com/images/Studie/20200108\\_finalreport\\_route12.pdf](https://www.swisstransitlab.com/images/Studie/20200108_finalreport_route12.pdf), ultima consultazione il 25/08/2020;
- Navya, <https://navya.tech/en/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Commissione Europea, CORDIS, Horizon 2020, Progetto SHOW, <https://cordis.europa.eu/project/id/875530/it>, ultima consultazione il 25/08/2020;

- Advancing Public Transport, progetto SHOW, <https://www.uitp.org/news/towards-safer-sustainable-cities-launch-show-project-marks-major-milestone-automated-transport>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- TorinoCityLab, <https://www.torinocitylab.com/it/experiment-to/circuito-smartroad>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Moleventiquattro.it, aggiornato al 20/02/2020, <https://mole24.it/2020/02/20/veicoli-a-guida-autonoma-porteranno-i-disabili-in-ambulatorio-a-torino-il-progetto-europeo/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Fondazione Links, <https://linksfoundation.com/chi-siamo/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- 5T Torino, <http://www.5t.torino.it/chi-siamo/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Centro Internazionale di Formazione (ITCILO), <https://www.itcilo.org/it/about>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Moleventiquattro.it, aggiornato al 16/01/2020 <https://mole24.it/2020/01/16/presentato-a-torino-il-bus-a-guida-autonoma-e-il-primo-in-italia-sara-sperimentato-in-citta/>, ultima consultazione il 25/08/2020;
- Percorso mezzi autonomi a Torino, <https://www.chiaraappendino.it/guida-autonoma-torino-mappa-percorso/>, ultima consultazione il 25/08/2020.

## Capitolo 5:

- Stefanie Schmidt, PTVgroup, aggiornato al 17/12/2019, <https://blog.ptvgroup.com/en/city-and-mobility/self-driving-shuttles-research-project/>, ultima consultazione il 26/08/2020;
- Lorenzo Ciapetti, Urban@it, Working papers, Rivista online di Urban@it - 1/2015 ISSN 2465-2059, [https://www.urbanit.it/wp-content/uploads/2015/09/BP\\_A\\_Ciapetti.pdf](https://www.urbanit.it/wp-content/uploads/2015/09/BP_A_Ciapetti.pdf), ultima consultazione il 26/08/2020;
- SFM di Torino, <http://www.sfmtorino.it/>, ultima consultazione il 26/08/2020;
- Area industriale MONTEPO, <http://www.montepo.com/it/location/index.php>, ultima consultazione il 26/08/2020;
- Provincia di Torino, Aggiornamento e adeguamento del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, scheda comunale, luglio 2011, [http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/risorse/territorio/dwd/urbanistica/schede\\_comunali/1280.pdf](http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/risorse/territorio/dwd/urbanistica/schede_comunali/1280.pdf), ultima consultazione il 26/08/2020;
- RFI, Orario programmato 14 Giugno 2020 - 12 Dicembre 2020, Stazione di Trofarello, [https://prm.rfi.it/go\\_prm/QO\\_Partenze\\_SiPMR.aspx?Id=2725&lin=it&dalle=08.00&alle=08.59&ora=08.00&guid=](https://prm.rfi.it/go_prm/QO_Partenze_SiPMR.aspx?Id=2725&lin=it&dalle=08.00&alle=08.59&ora=08.00&guid=), ultima consultazione il 26/08/2020;

- GTT, Linee che passano per Trofarello,  
[http://www.gtt.to.it/cms/percorari/index.php?option=com\\_gtt&view=comuni&comune=1001280](http://www.gtt.to.it/cms/percorari/index.php?option=com_gtt&view=comuni&comune=1001280)  
ultima consultazione il 26/08/2020;
- GTT, Programmazione linea 2014,  
<http://www.gtt.to.it/cms/risorse/intercomunale/oraripdf/2014.pdf>, ultima consultazione il 26/08/2020;
- GTT, Programmazione passaggi linea 45,  
<http://www.gtt.to.it/cms/percorari/urbano?view=fermate&bacino=U&linea=45&percorso=45AA1&verso=As&giorno=20200824&Regol=OR&fascia=tutte>, ultima consultazione il 26/08/2020;
- Agenzia per la Mobilità Metropolitana e Regionale, IMQ 2013- Indagine sulla Mobilità delle persone e sulla Qualità dei trasporti, Analisi sull'Area dei Comuni di Trofarello, Santena e Cambiano, [http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagine-img-2013/pdf/Report\\_Trofarello-Santena-Cambiano\\_rev01.pdf](http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/indagine-img-2013/pdf/Report_Trofarello-Santena-Cambiano_rev01.pdf), ultima consultazione il 26/08/2020;
- Güneş Erdoğan, Risolutore di fogli di calcolo VRP, aggiornato al 02/05/2017,  
<https://people.bath.ac.uk/ge277/vrp-spreadsheet-solver/>, ultima consultazione il 26/08/2020.

#### Capitolo 6:

- Osservatori Digital Innovation, aggiornato al 13/07/2020,  
<https://modo.volkswagengroup.it/it/mobotica/auto-connesse-e-smart-road-ecco-come-sara-la-mobilita-del-futuro>, ultima consultazione il 04/09/2020.
- Quattroruote.it, ultimo aggiornamento al 09/07/2020,  
<https://www.quattroruote.it/news/industria/finanza/2020/07/09/guida-autonoma-elon-musk-co-nfidiamo-di-raggiungere-il-livello-5-entro-la-fine-dell-anno.html>, ultima consultazione il 05/09/2020.



## *Ringraziamenti*

*In primis ringrazio il Professor Luca Staricco, relatore, e i correlatori, il Professor Francesco Paolo Deflorio, Ing. Maurizio Arnone e Arch. Phd. Stefano Pensa di Links Foundation, che si sono dimostrati sempre disponibili con suggerimenti e critiche costruttive al fine di permettermi di concludere il lavoro nonostante il periodo complesso e travagliato.*

*Grazie alla mia famiglia che mi ha permesso di completare anche questo percorso di studi in serenità e tranquillità.*

*Ringrazio i miei amici e tutti coloro che sono stati fondamentali per quei momenti di svago e di respiro durante questi mesi intensi. Voi sapete.*

*A te, che saresti stato il più orgoglioso di tutti, avrei voluto fossi presente fisicamente in questi momenti così importanti della mia vita, ma so che ci sei e ci sarai sempre.*

*Grazie*