

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e territoriale

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Civile

Orientamento Infrastrutture di trasporto



**OPPORTUNITÀ TECNOLOGICHE E  
ORGANIZZATIVE PER L'EVOLUZIONE DEL  
TRASPORTO PUBBLICO LOCALE**

Relatore: Prof. Roberto Maja

Correlatore: Ing. Salvatore Bonfante

Tesi di Laurea di:

Jacopo Andreoli

897433

Anno accademico: 2018-2019

# INDICE DEI CONTENUTI

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
CAPITOLO 1 - CONTESTI TERRITORIALI.....	8
1.1 Grandi città.....	8
1.2 Città medio-piccole.....	11
1.3 Centri abitati minori.....	13
1.4 Aree con insediamenti diffusi.....	14
1.5 Aree rurali.....	17
CAPITOLO 2 - VARIAZIONE DELLA DOMANDA MOBILITÀ NEL TEMPO.....	19
2.1 Fattori esogeni.....	21
2.2 Fattori endogeni.....	23
2.3 Caratteristiche della mobilità in Italia.....	25
2.3.1 Popolazione mobile.....	25
2.3.2 Spostamenti giornalieri pro capite.....	26
2.3.3 Motivazioni della mobilità.....	27
2.3.4 Frequenza e orari della mobilità.....	28
CAPITOLO 3 - SISTEMI DI TRASPORTO INNOVATIVI.....	31
3.1 Car-sharing.....	33
3.1.1 Problema del riposizionamento dei veicoli.....	36
3.1.2 Car-sharing nelle aree rurali.....	37
3.2 Ride-sharing.....	40
3.2.1 Sviluppo del ride-sharing e contrapposizione al servizio taxi.....	40
3.2.2 Contraddizioni del servizio taxi.....	41
3.2.3 Integrazione e prospettive dei sistemi taxi e ride-sharing.....	43
3.3 Car-pooling.....	44
3.4 I servizi a chiamata.....	46
3.5 Impatti dei sistemi innovativi.....	49
CAPITOLO 4 - IMPLEMENTAZIONE DEI SISTEMI INNOVATIVI.....	53
4.1 Grandi città.....	53
4.2 Città medio-piccole.....	55
4.3 Centri abitati minori.....	57
4.4 Aree con insediamenti diffusi.....	58

4.5 Aree rurali.....	60
4.6 Riepilogo delle tipologie territoriali e dei sistemi innovativi attuabili.....	62
4.6.1 Confronto tra le varie soluzioni dei sistemi innovativi adottati.....	68
4.7 Esempi di servizi car-sharing.....	69
4.8 Esempi di sistemi a chiamata.....	70
4.8.1 Milano.....	71
4.8.2 Genova.....	72
4.8.3 Provincia di Piacenza.....	73
4.8.4 Valle d’Aosta.....	73
CAPITOLO 5 - SVILUPPO DEI VEICOLI AUTONOMI.....	75
5.1 Livelli di automazione.....	78
5.2 I sistemi ARTS.....	81
5.2.1 Applicazioni dei sistemi ARTS.....	82
5.2.2 Analisi del Rischio e comportamento in caso di incidente.....	83
5.2.3 Integrazione urbanistica degli ARTS.....	85
5.2.4 Limiti degli ARTS.....	86
5.3 Applicazione della guida autonoma ai sistemi di trasporto.....	88
CAPITOLO 6 - APPLICAZIONE DEI SISTEMI INNOVATIVI A UN CASO REALE .....	91
6.1 Definizione delle caratteristiche di un sistema di trasporto pubblico.....	92
6.1.1 Valutazione di un sistema tramviario.....	92
6.1.2 Applicazione del metodo ai sistemi di car-sharing.....	95
6.1.3 Verifica del metodo.....	99
6.1.4 Metodo inverso – sostituzione del trasporto collettivo tradizionale con la mobilità condivisa.....	100
6.1.5 Valutazione dei costi dei sistemi di car-sharing.....	101
6.2 Applicazione al caso di studio di Brescia.....	104
6.2.1 SCENARIO 1 - Sostituzione della rete di autobus con il car-sharing.....	107
6.2.2 SCENARIO 2 - Sviluppo del car-sharing per assorbire l’aumento di utenza del TPL.....	115
6.2.3 SCENARIO 3 - Sviluppo di una rete ARTS in sostituzione dei sistemi collettivi tradizionali.....	124
CONCLUSIONI.....	131
BIBLIOGRAFIA.....	135
INDICE DELLE TABELLE.....	138
INDICE DELLE FIGURE.....	140

# SOMMARIO

La presente tesi ha l'obiettivo di definire delle soluzioni per migliorare il Trasporto Pubblico Locale, considerando vari contesti territoriali (dalle grandi città alle aree rurali) e la rispettiva domanda di mobilità, sfruttando i vantaggi dei sistemi innovativi attualmente disponibili (mobilità condivisa, servizi a chiamata), che si rivelano più efficaci rispetto ai servizi tradizionali (autobus, tramvie, metropolitane) nelle situazioni di domanda debole.

In dettaglio, sono state analizzate le caratteristiche dei vari territori e della domanda di mobilità, è stata fatta una disamina dei sistemi innovativi esistenti, in particolare la mobilità condivisa (car-sharing, ride sharing, car-pooling) e i servizi a chiamata (taxi collettivo, servizi dial-a-ride), e sono state formulate delle soluzioni applicative per ciascun territorio. Sono stati presi in considerazione poi i veicoli a guida autonoma, che in ottica futura potrebbero rivoluzionare la mobilità, valutandone le tipologie di sistemi, le caratteristiche e le applicazioni possibili.

Infine, con un'applicazione numerica si mostra in quali casi risulta conveniente implementare un servizio di mobilità condivisa o, in prospettiva futura, un servizio di veicoli autonomi, rispetto al TPL tradizionale, dal punto di vista sia economico sia dell'efficacia presso l'utenza. Per questa analisi comparativa è stato sviluppato un metodo di confronto tra sistemi tradizionali e innovativi, basato su specifici indicatori di produttività, già definiti per i servizi programmati e riadattati per quelli condivisi.



# INTRODUZIONE

Il lavoro di tesi tratta le possibili soluzioni che possono essere messe in atto, sfruttando tutte le innovazioni tecnologiche disponibili e in corso di sviluppo, per risolvere alcuni problemi legati al Trasporto Pubblico Locale, in particolare riguardo le aree a domanda debole. L'obiettivo è analizzare le possibili soluzioni per soddisfare la domanda di mobilità in vari contesti territoriali, dalle grandi città fino alle aree rurali, utilizzando tutti i sistemi di trasporto innovativi disponibili attualmente, come la mobilità condivisa e i servizi a chiamata, con la possibilità di introdurre, in futuro, sistemi di veicoli autonomi. Si tratta di una problematica di pianificazione tipica di un Programma di Trasporto Pubblico di Bacino, in cui è necessario adattare l'offerta TPL a varie zone dalle caratteristiche molto differenti.

Il Trasporto Pubblico Locale si trova a far fronte a notevoli cambiamenti della domanda di mobilità, rispetto al passato, dovuti ai mutamenti della società negli ultimi decenni. 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, sia riguardo le motivazioni degli spostamenti sia riguardo gli orari (appiattimento dei picchi delle ore di punta caratteristici del passato).

Nel frattempo, l'offerta di trasporto collettivo è rimasta quasi immutata rispetto a qualche decennio fa, riguardo la tipologia e l'organizzazione, senza essere in grado di intercettare le nuove componenti della domanda, che si è quindi orientata verso i mezzi individuali (auto private). Questo ha comportato un aggravio dei problemi dovuti al traffico stradale, già presenti in passato, come la congestione delle strade, l'inquinamento e l'occupazione di suolo (dovuto ai parcheggi).

Nel corso di questi ultimi anni, sono stati introdotti diversi sistemi di trasporto innovativi, come i sistemi di mobilità condivisa (car-sharing, ride-sharing, car-pooling) e i sistemi a chiamata (taxi collettivo, servizi porta-a-porta, servizi multi-a-uno), che

hanno 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.

Nonostante ciò, questi sistemi hanno trovato applicazione, finora, prevalentemente in contesti con utenza elevata (nelle città e nelle aree maggiormente abitate), in quanto si è trattato spesso di investimenti privati, con la necessità di un ritorno economico sicuro e immediato. Invece nelle zone a bassa densità, come i piccoli centri abitati e le aree rurali, i servizi di trasporto rimangono molto limitati, sia quelli tradizionali (autolinee con basse frequenze e concentrate nelle ore di punta) sia quelli innovativi (mobilità condivisa inesistente; presenza di servizi a chiamata in qualche zona di montagna). Il problema dei servizi nelle aree a domanda debole non è trascurabile, considerando che complessivamente riguarda la maggior parte della popolazione (in Italia e non solo).

Occorre analizzare anche i problemi che possono generare i sistemi innovativi, in particolare i servizi condivisi, in quanto possono causare un aumento del numero di veicoli in circolazione, aggravando i problemi citati in precedenza, oppure la perdita definitiva dei sistemi collettivi tradizionali, in quanto ritenuti meno comodi e affidabili e quindi meno utilizzati dagli utenti.

Un altro aspetto da considerare è lo sviluppo della guida autonoma, che in futuro sarà in grado di rivoluzionare ulteriormente la mobilità, in quanto non sarà più necessario guidare il veicolo. Questo consente, a livello individuale, di spostarsi con meno stress; inoltre permette spostamenti più agevoli anche a persone non in grado di guidare un veicolo (persone con disabilità, problemi fisici, sprovviste di patente). Inoltre consente alle aziende di TPL di migliorare il servizio, aumentandone l'efficacia (a parità di risorse investite).

La guida autonoma sarà quindi presa in considerazione, per valutare i servizi nei vari contesti territoriali. In particolare verrà analizzato il sistema ARTS, sviluppato nell'ambito del progetto europeo CityMobil 2, che si pone l'obiettivo di portare i veicoli autonomi sulle strade normali, senza richiedere percorsi completamente segregati come altri sistemi (ad esempio i PRT), molto impattanti in contesti urbani e molto costosi da realizzare.

Per affrontare tutte le problematiche individuate, la tesi si sviluppa attraverso i seguenti passi:

- definizione dei vari contesti territoriali, analizzandone le caratteristiche, la domanda di mobilità tipica e l'offerta di trasporto relativamente ai servizi collettivi tradizionali e alle infrastrutture;
- analisi della variazione della domanda di mobilità nel tempo, con l'individuazione di tutti i fattori che influiscono in questo processo;
- disamina dei sistemi innovativi, dalla mobilità condivisa ai servizi a chiamata, riportando, per entrambe le tipologie, alcuni esempi di servizi attualmente operativi;
- applicazione dei sistemi innovativi a ciascun contesto territoriale, tenendo conto degli elementi indicati in precedenza;
- introduzione della guida autonoma, con i vari livelli di automazione indicati convenzionalmente dalla SAE, e analisi delle tipologie di sistemi autonomi, con particolare attenzione verso il sistema ARTS.

Infine verrà considerato un caso di studio reale in cui applicare le soluzioni innovative. Come caso reale è stata individuata la città di Brescia, trattandosi di un contesto di città medio-piccola, in cui i sistemi innovativi non trovano ancora una diffusione su larga scala (a differenza delle grandi città), quindi più interessante.

Saranno analizzati dei possibili scenari di piano, in cui si confronteranno i sistemi innovativi con quelli tradizionali, sia riguardo all'efficacia (rendimento dei sistemi) sia riguardo la sostenibilità economica. Per determinare il rendimento dei sistemi negli scenari è stato messo a punto un metodo studiato appositamente, sulla base di una procedura definita per i servizi programmati, che utilizza degli indicatori di produttività (dipendenti da parametri come la quantità di passeggeri trasportati, lo sviluppo spaziale delle linee di trasporto collettivo) per effettuare i confronti tra le reti di trasporto.

Nello sviluppo degli scenari vengono presi in considerazione anche i veicoli elettrici, altro grande tema della mobilità del futuro prossimo, che invece in questa sede non è trattato a livello generale.

# CAPITOLO 1

## CONTESTI TERRITORIALI

In questo capitolo vengono esaminate le varie **tipologie di assetto del territorio**, in base alla quantità degli insediamenti presenti e alla loro distribuzione spaziale, per determinare per ciascuna le **caratteristiche della domanda di mobilità** generata (o generabile, considerando la domanda potenziale). Dato che la domanda dipende anche dall'offerta di trasporto già presente, si deve analizzare anche questo aspetto (intendendo sia la rete infrastrutturale, soprattutto stradale, sia i servizi di trasporto collettivo).

Una volta determinate le caratteristiche della domanda si può valutare quali tipi di servizi è opportuno adottare per soddisfarla, in ogni contesto territoriale<sup>1</sup>.

### 1.1 Grandi città

Le città di grandi dimensioni sono caratterizzate da un'**alta densità di abitanti** e un'**ampia diffusione delle attività commerciali**. L'assetto territoriale delle città varia in funzione della ricchezza, sia per quanto riguarda gli abitanti (ricchezza posseduta), sia per le attività commerciali (ricchezza generata); in particolare gli immobili e le attività di maggior pregio si concentrano nella parte centrale della città, mentre la popolazione meno abbiente e le attività meno redditizie sono relegate alle zone periferiche (o eventualmente esterne alla città).

---

1 La classificazione delle tipologie di territorio contenuta in questo capitolo è stata fatta sulla base di quella contenuta nel testo "Urban Transit-Systems and Technology" di V. R. Vuchic. Una descrizione di questo tipo è contenuta anche nella dispensa "Il sistema ferroviario della Lombardia e l'Area Metropolitana di Milano" di C. Podestà, R. Maja, L. Studer, con riferimento specifico al territorio della Lombardia e dell'area metropolitana di Milano.

Questa organizzazione urbanistica delle città genera una marcata **domanda di mobilità lungo le direttrici radiali**, verso il centro, dove si concentrano le attività lavorative oppure dove ci si reca per motivi commerciali (spese nei negozi) o di svago (visite a musei, intrattenimento nei cinema e teatri, svolgimento di attività sportive nei rispettivi impianti).

Esistono poi numerosi altri **poli attrattori** all'interno della città (scuole, università, ospedali, stadi, uffici postali), distribuiti in zone diverse dal centro, che contribuiscono in modo considerevole sulla domanda di mobilità, la quale può anche essere piuttosto diffusa, se i poli si trovano dispersi (cioè non vicini tra loro); situazione che si verifica spesso in quanto la posizione di questi edifici è generalmente casuale e dovuta a ragioni storiche, salvo in città di nuova costruzione o eventualmente in interventi urbanistici pianificati appositamente.

Inoltre si deve considerare che le grandi città sono esse stesse un **polo attrattore per tutta la regione** afferente, da cui gli utenti provengono per motivi di lavoro, di svago o anche per usufruire dei servizi (uffici amministrativi provinciali, regionali) che si trovano solo in città, in quanto per motivi di costi non risulta conveniente distribuirli su tutto il territorio.

In città si formano quindi **due tipi di domanda, una interna e una esterna** (riguardo la provenienza degli utenti), anche se rimangono alcuni elementi comuni, tra cui le destinazioni, che sono le stesse, in quanto le zone di rilevanza economica (per lavoro o svago) e i poli d'interesse sono i medesimi.

Le origini sono invece diverse, poiché per gli abitanti della città l'origine è la propria residenza, mentre per coloro che arrivano dall'esterno le origini sono tutti i punti d'interscambio tra i modi di trasporto extraurbani (ferrovie, metropolitane extraurbane, strade) e la rete urbana cittadina.

Quindi si può considerare che per i residenti in città le origini siano distribuite omogeneamente in tutte le zone, tranne eventualmente in quelle non ad uso residenziale, mentre per coloro che arrivano da fuori città le origini sono tutti i punti d'interscambio, cioè si tratta di **origini puntuali**. Da questo deriva che nel primo caso gli utenti sono sparsi lungo le reti di trasporto, con pochi elementi sui vari archi, mentre nel secondo

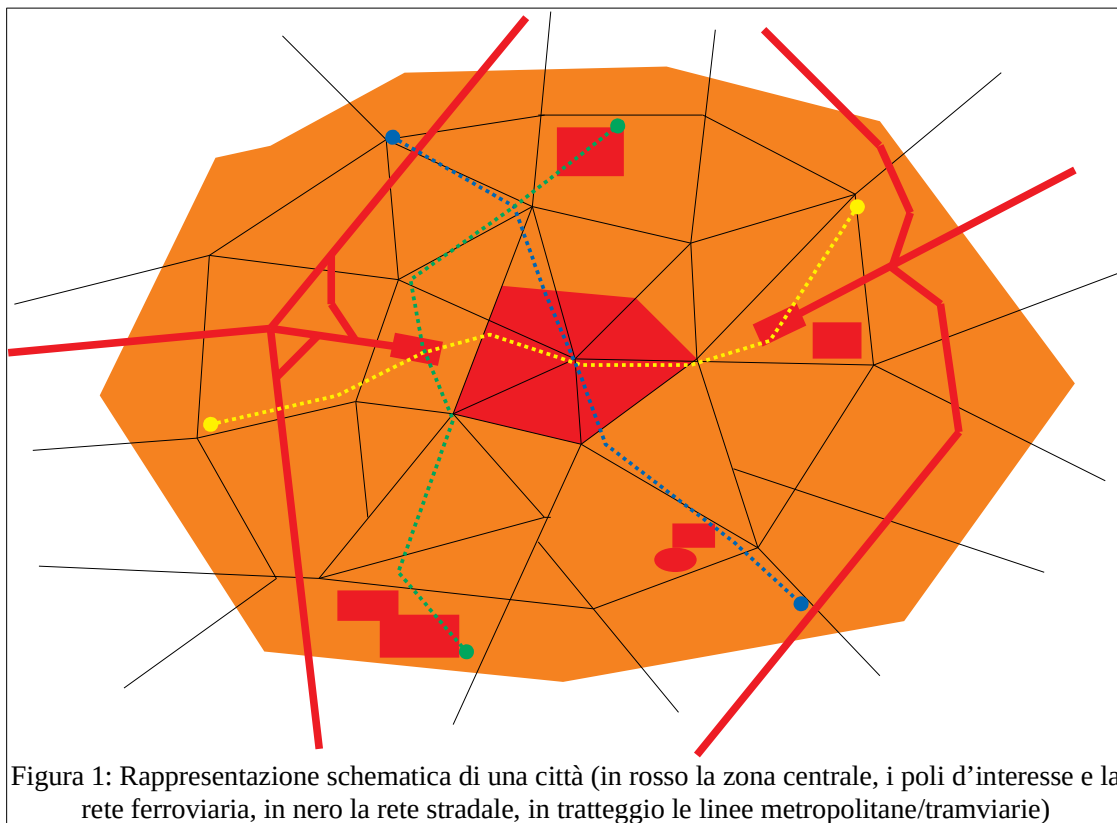
caso gli utenti sono concentrati su determinate direttrici, in grande quantità. Riguardo quest'ultimo aspetto, i numeri tra le due tipologie di utenti non si possono generalizzare, in quanto dipendono dalle caratteristiche di ciascuna città e della regione circostante; in ogni caso, si può considerare, in modo del tutto approssimativo, che il numero di utenti provenienti dall'esterno sia almeno pari al numero di abitanti della città (in molti casi è superiore).

La **rete di trasporto** nelle grandi città è costituita in genere da **linee di massa**, quasi sempre metropolitane, con sviluppo radiale dal centro alla periferia, per soddisfare la domanda quantitativamente più elevata. Sono presenti ulteriori linee per collegare i vari poli d'interesse posizionati in altre aree della città, comprendendo anche gli interscambi con le stazioni ferroviarie da cui provengono gli utenti esterni (seconda componente della domanda di mobilità della città).

Alla rete cosiddetta "portante", costituita dalle linee di forza, si affianca la **rete di adduzione**, costituita da linee di autobus oppure, per le tratte più importanti, da linee tramviarie o filoviarie. Queste linee servono a coprire tutte le aree della città non servite direttamente dalla rete portante, e sono utilizzate prevalentemente dai residenti (prima componente della domanda), eventualmente come accesso alle linee di forza.

Le città di recente realizzazione (soprattutto in America e in Asia) sono caratterizzate da una **rete stradale molto sviluppata**, favorita dal fatto di non avere vincoli spaziali, quindi si è deciso di puntare tutto sul trasporto individuale privato, a scapito del trasporto collettivo. Questa scelta necessita comunque di molto spazio esterno per la circolazione (grandi viali) e per il parcheggio (ampi spazi occupati), in quanto per soddisfare la domanda è necessario un numero molto elevato di mezzi. Nelle città più vecchie ovviamente non si possono ottenere questi spazi, in quanto non è possibile sventrare i nuclei urbani storici, nelle città più recenti invece queste infrastrutture sono presenti e, benché ormai risulti evidente che è impossibile rinunciare completamente al trasporto collettivo (più avanti sarà trattato questo aspetto), occorre tenerne conto per un possibile sviluppo dei servizi di trasporto innovativi (car-sharing, trasporto a chiamata) che possono contribuire al soddisfacimento della domanda.

In alcune città sono presenti anche le **ferrovie urbane**, che costituiscono i prolungamenti delle ferrovie regionali che, invece di fermarsi in stazioni di testa al confine urbano, attraversano il centro, con un certo numero di fermate intermedie, e proseguono verso la parte opposta; in questo caso alcuni spostamenti di utenti provenienti da fuori città possono non esserci, in quanto l'utente arriva direttamente a destinazione (si può dire che la "presunta" origine coincide con la destinazione, rendendo lo spostamento di lunghezza nulla), andando quindi a sgravare la rete urbana.



## 1.2 Città medio-piccole

Le città di medie-piccole dimensioni, con una popolazione media di 100-200.000 abitanti, possiedono le stesse caratteristiche delle città più grandi, in scala ridotta, anche

se l'influenza di città più grandi genera una mobilità differente, in quanto si aggiunge l'interazione con la grande città (si forma un *sistema urbano di secondo livello*<sup>2</sup>).

Le **attività e residenze di maggior rilievo si trovano nella zona centrale**, e generalmente anche i **poli attrattori** si trovano prevalentemente in questa zona, difficilmente sono sparsi sul territorio, come avviene nelle grandi città, ad eccezione eventualmente di edifici storici particolari (ad esempio le ville signorili dei secoli passati realizzate in campagna).

Anche in questo caso viene attratta utenza dalle aree circostanti (in questo caso l'area geografica di riferimento è la provincia, di cui la città media costituisce il capoluogo) per motivi di lavoro, studio, svago, però è presente anche una componente di popolazione residente che si sposta nella grande città più vicina, essendo questa più attrattiva.

Si innescano quindi delle **dinamiche di spostamento che riguardano maggiormente lo scambio di persone tra diversi comuni**, piuttosto che il movimento all'interno di un centro abitato, anche se comunque in una città di medie dimensioni entrambi gli aspetti sono presenti e non trascurabili, quindi il sistema dei trasporti ne deve tenere conto. Naturalmente, se nella regione non è presente una città più grande, le caratteristiche degli insediamenti e dei poli attrattori sono analoghe a quelle della grande città, anche se le dimensioni ridotte comportano una conseguente riduzione di scala anche della rete di trasporto.

Il **sistema dei trasporti** è centrato sulla **stazione ferroviaria**, praticamente sempre presente in queste realtà, che permette il collegamento con la grande città e con i centri minori presenti sulle varie linee ferroviarie che si sviluppano da essa.

La **rete urbana** si sviluppa partendo dalla stazione ferroviaria e può essere composta da **una o più linee di forza** che attraversano il centro cittadino e raggiungono tutti i poli d'attrazione, servendo le zone più rilevanti, che richiamano più utenza. I sistemi prevalenti in questo caso sono tram, filobus o metropolitana, con quest'ultima poco utilizzata in queste realtà, a causa della ridotta quantità di utenza.

---

<sup>2</sup> Questa definizione è contenuta nella dispensa "Il sistema ferroviario della Lombardia e l'Area Metropolitana di Milano" di C. Podestà, R. Maja, L. Studer.



La **rete di adduzione**, meno ramificata rispetto alle grandi città ma comunque in grado di coprire buona parte della città, è costituita esclusivamente da linee di autobus, utilizzate soprattutto dai residenti delle aree servite.

Nelle città in cui il sistema di trasporto collettivo è meno sviluppato l'intera rete è basata su autolinee, il che può essere dovuto al fatto che l'utenza è bassa e quindi è sufficiente l'autobus per soddisfare la domanda, oppure deriva da una scarsa pianificazione politica, che non possiede la capacità o la volontà di sviluppare un sistema più importante ma anche più oneroso; naturalmente il primo motivo può essere conseguenza del secondo, in quanto se il sistema di trasporto collettivo non è adeguato l'utenza si orienta verso altri sistemi, in particolare l'auto individuale, con tutte le problematiche che ne derivano.

### 1.3 Centri abitati minori

I centri abitati minori, con una popolazione inferiore ai 20000 abitanti, sono caratterizzati da una **mobilità che riguarda prevalentemente i suoi abitanti, o eventualmente quelli dei centri vicini più prossimi**, in quanto le attività sia commerciali sia industriali sono a carattere locale. A questa situazione può fare eccezione, in alcuni casi, la presenza di **poli attrattori rilevanti anche per la popolazione che risiede in altri centri più lontani** (ad esempio scuole, ospedali, centri commerciali).

Normalmente non si registrano marcate differenze a livello economico tra zone diverse, sia per i residenti sia per le attività commerciali, solo la presenza di una stazione ferroviaria o di una metropolitana (extraurbana) può far aumentare significativamente il valore delle attività e degli immobili nell'area circostante; la presenza di un'infrastruttura su ferro (comprendendo anche le linee tramviarie) può creare differenze anche tra i vari centri urbani, rispetto a quelli che non ne possono beneficiare, a parità di abitanti.

Dunque in questo caso è il sistema dei trasporti (collettivo ma anche solamente la rete stradale, ad esempio se il centro si trova vicino a un'autostrada), che incide sul sistema

economico del centro urbano, mentre nel caso delle grandi città avviene il contrario, cioè è il sistema dei trasporti che si adatta al tessuto economico e sociale del territorio.

Per quanto riguarda il **sistema di trasporti a livello locale**, solitamente questi centri non possiedono un servizio di trasporto collettivo, sia per la scarsità di domanda dovuta a un ridotto numero di abitanti, sia perché si tratta di centri di piccole dimensioni, con un diametro compreso entro i 3-4 km, quindi le distanze si coprono facilmente a piedi o in bicicletta.

Tralasciando l'eventualità che sia presente una fermata di un trasporto di massa (ferrovia, metropolitana extraurbana, tramvia), in quanto dovuta unicamente al fatto (casuale) che il centro abitato si trovi lungo la direttrice che collega due centri maggiori, può comunque esistere un servizio collettivo di collegamento tra vari centri urbani di piccole dimensioni, tipicamente una linea di autobus.

In questo caso dunque il trasporto collettivo non serve per spostarsi all'interno del centro abitato, ma per **collegare centri diversi**, con una funzione interurbana. In molte realtà però gli orari di questi servizi non sono favorevoli a un loro utilizzo su larga scala; in particolare, le frequenze sono estremamente ridotte, con lunghe attese alle fermate, oppure il servizio è presente solo in determinate fasce orarie di punta, al mattino, al pomeriggio e a metà giornata per gli studenti (tipico il caso di servizi concepiti appositamente per gli studenti, che non possono disporre dell'auto individuale, con corse effettuate solo negli orari scolastici e nei periodi dell'anno scolastico, escludendo quindi i mesi estivi), vanificando quindi l'efficacia del servizio stesso (e le risorse impiegate per sostenerlo).

## **1.4 Aree con insediamenti diffusi**

Le aree con insediamenti diffusi sono caratterizzate da una popolazione residente complessiva elevata, in alcuni casi paragonabile a quella di una città, ma con una **densità abitativa più bassa**, dovuta alla prevalenza di edifici monofamiliari o piccoli

condomini di 2-3 piani al massimo, distribuiti in modo omogeneo (eventualmente inframmezzati da modeste aree agricole o naturali) su un'ampia superficie territoriale.

In molti casi questo tipo di insediamento deriva dall'edificazione massiccia di zone in precedenza agricole, senza regolamentazione (speculazione edilizia), in cui anche la rete stradale si è sviluppata in modo casuale, a partire dalle (piccole) strade di campagna presenti in passato. Per questo motivo sono composte prevalentemente da insediamenti residenziali, che generano quasi esclusivamente una domanda di mobilità in uscita, verso le città più vicine.

Possono essere presenti dei **poli attrattivi in punti particolari**, come scuole, ospedali, centri commerciali, in grado di generare domanda in entrata. Inoltre possono essere presenti **insediamenti industriali**, in passato molto diffusi nelle città ma ormai scomparsi da esse, per motivi di inquinamento e di valore dei terreni, diventati più proficui per altre attività (terziarie); anche in questo caso i lavoratori generano una domanda di mobilità da tenere in considerazione.

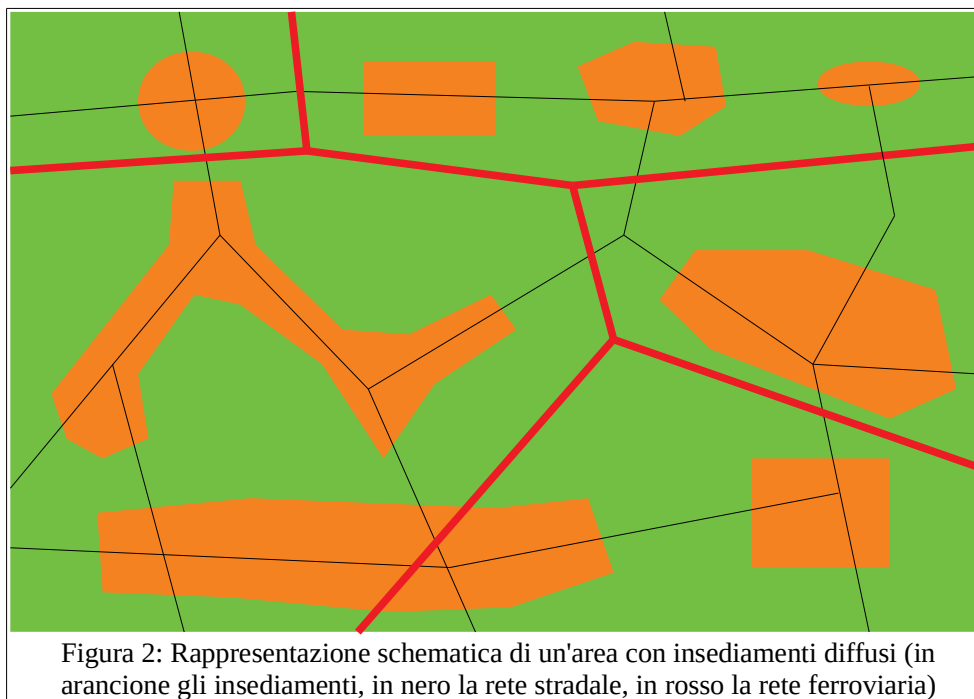
Non trascurabile anche l'eventuale presenza di **aree naturali** (parchi), che solitamente trovano luogo, tra un insediamento e l'altro, nei contesti in cui il territorio si è sviluppato in modo casuale; queste aree possono attrarre diverse persone per motivi di svago (attività all'aria aperta) anche da zone più lontane, come le grandi città, in cui è difficile trovare questi ambienti, per mancanza di spazio, quindi la quantità di domanda può essere molto rilevante per la pianificazione dei sistemi di trasporto, in zone apparentemente prive d'interesse.

Quindi in queste aree è presente una **domanda in uscita distribuita omogeneamente** sul territorio, in base allo sviluppo degli insediamenti, e una **domanda in entrata puntuale**, localizzata nei punti in cui si trovano i poli d'interesse.

In queste aree il **sistema dei trasporti** è generalmente poco sviluppato, con la maggior parte degli spostamenti che avvengono con l'auto privata. **La rete stradale è abbastanza fitta**, trattandosi di un territorio molto insediato in termini spaziali, anche se spesso presenta caratteristiche non omogenee (in riferimento alla geometria delle strade), in quanto realizzata a partire dalle (piccole) strade di campagna presenti in passato.

Il **trasporto collettivo** invece non ha visto un adeguato sviluppo, in parte a causa della dispersione degli insediamenti, che generano un'utenza limitata, a livello locale, pur essendo distribuita su tutto il territorio, quindi i sistemi collettivi tradizionali rischiano di essere sottoutilizzati; in parte è dovuto all'assenza di pianificazione che ha caratterizzato l'intero sviluppo di queste aree, e al fatto che nei decenni passati, quando sono stati realizzati questi insediamenti (negli ultimi 60 anni le regioni periferiche delle grandi città si sono sviluppate in questo modo, e in alcuni casi il fenomeno continua a verificarsi tuttora), l'intero sistema dei trasporti era incentrato (a livello pianificatorio) sull'auto privata.

Nel corso del tempo si è cercato di porre rimedio implementando delle **autolinee** per servire le direttrici principali, anche se in molti casi la densità abitativa è tale da rendere questi servizi insufficienti, oltre al fatto che, condividendo la rete stradale già congestionata, i tempi di percorrenza sono eccessivamente elevati.



## 1.5 Aree rurali

Per aree rurali si intendono quelle zone caratterizzate da una densità abitativa molto bassa. Occorre distinguere all'interno di questa categoria le zone di pianura e le zone di montagna.

Le **aree rurali di pianura** hanno una popolazione molto esigua, in parte raggruppata in piccoli paesi e in parte residente in edifici isolati in mezzo alla campagna. In questo caso le esigenze non riguardano gli spostamenti all'interno dei paesi, che per le distanze ridotte si possono compiere senza problemi a piedi, ma i collegamenti coi centri abitati più grandi, in cui sono presenti le attività commerciali e i servizi minimi necessari, che possono essere distanti anche parecchi chilometri. Non sono presenti praticamente mai poli d'attrazione, quindi la domanda di mobilità (in uscita) riguarda esclusivamente gli abitanti.

In queste realtà il trasporto collettivo è spesso assente, per l'esiguità della domanda, a meno che non si trovino sul percorso di una linea che collega due centri di maggiori dimensioni, con la presenza di fermate (eventualmente a richiesta) per servire tali aree.

La rete stradale può avere caratteristiche diverse, trattandosi di un territorio aperto (senza rilievi montuosi): in alcuni casi è molto fitta, formata da strade che collegano tra loro tutte le località, in altre situazioni sono presenti poche strade, sulle direttrici principali, e per raggiungere le varie località è necessario effettuare percorsi più lunghi e tortuosi; nelle aree coltivate spesso la rete stradale si sviluppa lungo i canali d'irrigazione, seguendo il loro percorso. Questi elementi sono determinanti per l'impostazione di un servizio di trasporto collettivo.

Le **aree di montagna** hanno la caratteristica di avere gli insediamenti concentrati lungo le valli, in quanto le caratteristiche orografiche del territorio non permettono uno sviluppo omogeneo, quindi a parità di popolazione la densità abitativa è maggiore rispetto alle aree rurali di pianura. In ogni caso si tratta comunque di una quantità di residenti esigua, nella maggior parte dei casi, non sufficiente per rendere convenienti sistemi di trasporto collettivo continui nel tempo. Inoltre la rete stradale, sviluppata

lungo le valli e attraverso i valichi di montagna, risulta molto tortuosa e con distanze considerevoli, di qualche decina di chilometri, tra i vari centri abitati.

Tuttavia molte regioni di montagna hanno una valenza turistica, che porta in molti casi a raddoppiare o addirittura triplicare la popolazione presente, nei periodi di punta del turismo. In questo caso la domanda si modifica radicalmente, in quanto le esigenze dei turisti sono molto diverse rispetto a quelle della popolazione locale (sia riguardo le destinazioni sia gli orari di spostamento). Inoltre i primi tendono a superare i secondi a livello di quantità, quindi si arriva al punto che i servizi collettivi vengono pianificati sulla base della domanda turistica, con rinforzi nei periodi a domanda più alta (mesi estivi e, per le località sciistiche, il periodo di Natale e il mese di febbraio), mentre sono disattivati nei mesi in cui le presenze turistiche sono nulle.

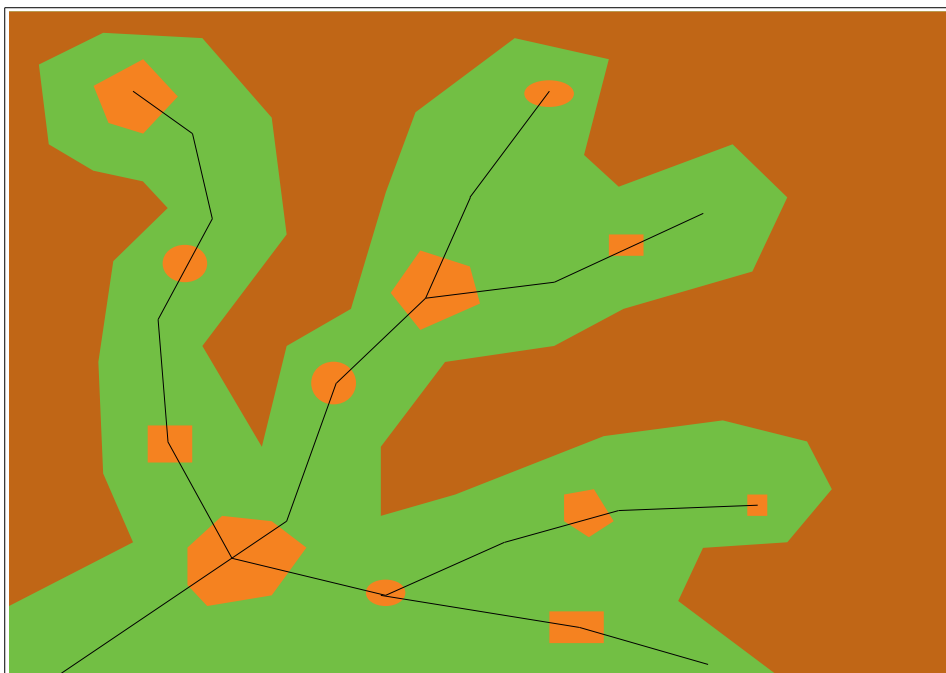


Figura 3: Rappresentazione schematica di un'area di montagna (con la ramificazione della rete stradale)

## CAPITOLO 2

# VARIAZIONE DELLA DOMANDA MOBILITÀ NEL TEMPO

La domanda di mobilità ha subito dei notevoli cambiamenti nel corso del tempo, in particolare negli ultimi decenni, sia in termini quantitativi sia in relazione alle sue caratteristiche. È fondamentale tenere conto di questa situazione, nell'analisi degli assetti territoriali, soprattutto quando si considera il sistema dei trasporti attualmente presente. Infatti, i sistemi tradizionali si trovano in una situazione di crisi, in quanto l'offerta non è in grado di far fronte alla domanda di mobilità attuale.

Questo cambiamento è dovuto all'evoluzione della società, dal punto di vista demografico, economico e tecnologico, che ha comportato negli ultimi decenni delle profonde modifiche all'assetto storico delle città, con conseguenze sulla domanda di mobilità, sulle motivazioni degli spostamenti e sui comportamenti nella scelta del modo di trasporto<sup>3</sup>.

Negli ultimi decenni si è registrato un **aumento della popolazione nelle città**, con l'allargamento delle cinture periferiche esterne, fenomeno amplificato dal fatto che le residenze nelle zone centrali sono state sostituite con attività di tipo terziario, di maggior pregio.

La diffusione, nelle zone periferiche, di insediamenti a bassa densità è stata possibile, storicamente, con lo sviluppo della motorizzazione individuale, mentre il trasporto collettivo tradizionale è poco compatibile con questa soluzione urbanistica, in quanto richiede zone densamente urbanizzate (soprattutto quello su ferro), in grado di generare una forte domanda di mobilità.

Questa differente articolazione spaziale, con insediamenti dispersi in periferia e poli di attrazione (luoghi di lavoro, studio, svago) rimasti in città, ha generato una forte

<sup>3</sup> Gli aspetti analizzati in questo capitolo sono contenuti nello studio "Il futuro della mobilità urbana" di The European House-Ambrosetti.

domanda di scambio periferia-centro, realizzata generalmente con auto, almeno nel primo tratto (fino all'inizio nell'area urbana), in quanto l'espansione urbanistica non è andata di pari passo con l'espansione del sistema dei trasporti. La conseguenza di questo modello di comportamento è stato il progressivo aumento della congestione stradale, divenuto al giorno d'oggi un problema rilevante, oltre al peggioramento della qualità dell'ambiente (inquinamento atmosferico, inquinamento acustico,...) e della vita, e questa è una delle cause che, in tempi più recenti, hanno modificato la ripartizione modale verso il trasporto collettivo.

Nel tempo sono emersi nuovi bisogni di mobilità, in particolare riguardo gli **spostamenti “non sistematici”**, cioè quelli in cui la destinazione e la fascia oraria di spostamento non sono ripetitive, includendo anche l'unione di più spostamenti (formando una catena di spostamenti) per soddisfare più bisogni in sequenza. Anche il mercato del lavoro si è modificato, con l'introduzione di attività terziarie caratterizzate da una maggiore flessibilità degli orari di lavoro.

Questo ha generato una maggiore variabilità nella domanda sia riguardo il tempo (spostamento e appiattimento delle punte, riempimento delle morbide) sia riguardo lo spazio (nuovi poli di attrazione), a cui l'offerta di trasporto non è stata in grado di rispondere, rimanendo orientata prevalentemente verso gli spostamenti “sistematici” (o pendolari), concentrati nelle ore di punta di lavoratori o studenti su direttrici principali di collegamento casa-lavoro o casa-scuola.

A questo si aggiunge una tendenza comportamentale da parte degli utenti che, attualmente, attribuisce un peso crescente alla qualità complessiva del servizio di trasporto, soprattutto riguardo il tempo di percorrenza, a scapito del costo monetario; questo è dovuto a un aumento del benessere economico, che porta a richiedere un servizio migliore.

Appare evidente quindi la necessità di adeguare l'offerta di trasporto, contando anche sullo sviluppo tecnologico dei sistemi e dei mezzi che permette l'adozione di soluzioni innovative, non disponibili in passato. Per capire come migliorare l'offerta occorre analizzare i fattori che influiscono sul sistema dei trasporti; si tratta di fattori esterni (esogeni) e interni (endogeni).



## 2.1 Fattori esogeni

Tra i fattori esogeni, il principale è l'**urbanizzazione**, che, come già accennato, ha modificato notevolmente l'assetto delle città; in particolare, attualmente si sta evidenziando il fenomeno della **dispersione urbana** (definita col termine «sprawl»), cioè l'espansione delle aree urbane nelle zone agricole periferiche, con insediamenti a bassa densità abitativa.

In particolare, si ha (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; allo stesso tempo anche le attività produttive si spostano dal centro alla periferia, per fare posto ad attività più remunerative. Questo comporta una **maggiore dispersione spaziale delle origini e delle destinazioni**, uscendo dalle direttrici principali (radiali) servite dal trasporto collettivo, causando conseguentemente una ripartizione modale sbilanciata verso il trasporto stradale. Nei casi più estremi, si arriva al paradosso che l'utenza a reddito "alto" ha potuto mantenere la residenza nelle zone più centrali e più servite dal trasporto collettivo, pur non avendone necessità (il reddito elevato consente soluzioni di mobilità individuali), mentre l'utenza a reddito "basso" si è dovuta spostare verso le zone periferiche, non servite dal trasporto collettivo, che costringono all'uso dell'auto privata (rischiando l'esclusione sociale nel caso in cui non possa permettersela).

Nelle nuove aree insediate, la **densità degli agglomerati** che si vengono a formare è un elemento fondamentale da considerare per caratterizzare la domanda di mobilità, perché maggiore è la densità maggiore sarà l'efficienza dei sistemi di trasporto collettivo, soprattutto quelli su ferro (tramvie, ferrovie e metropolitane), mentre con una grande dispersione degli insediamenti si rischia di avere una domanda frammentata, che non riesce a garantire un profitto al sistema di trasporto collettivo.

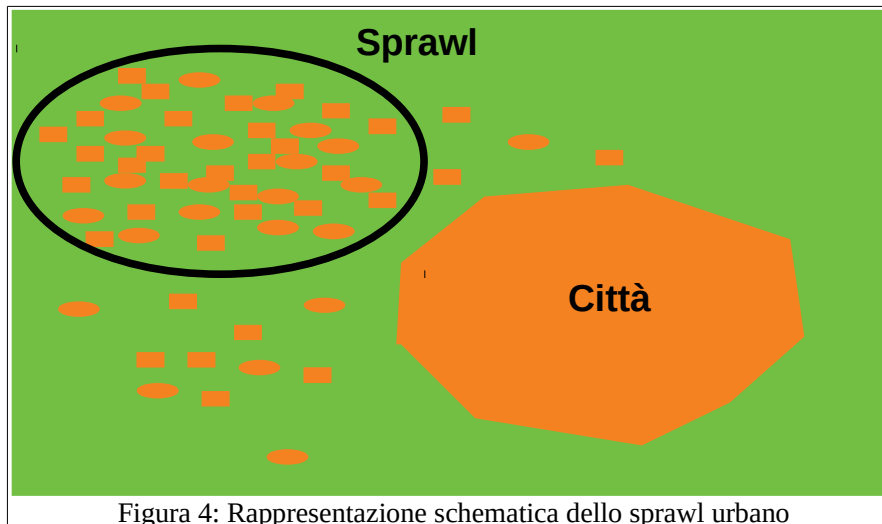


Figura 4: Rappresentazione schematica dello sprawl urbano

Un altro elemento rilevante nella formazione della domanda di mobilità è la **posizione dei poli di attrazione**, che corrispondono alle destinazioni da raggiungere (luogo di lavoro, studio, attività di tempo libero,...). Se i poli di attrazione rimangono in città, si genera una domanda prevalentemente monodirezionale, dai vari centri urbani dispersi alla città, creando uno squilibrio tra posti offerti dal servizio di trasporto collettivo e la domanda da servire, in quanto i mezzi caricano al massimo della loro capacità in entrata nella città, mentre in uscita dalla città, un viaggio che devono comunque sostenere per prendere il carico successivo, sono vuoti.

Nella pianificazione urbanistica è quindi fondamentale tenere conto non solo degli insediamenti abitativi (nel caso peggiore l'urbanizzazione avviene del tutto a caso, senza regolamentazione), ma anche dei poli di attrazione; soprattutto, essa deve andare di pari passo con la pianificazione del sistema dei trasporti, ad esempio posizionando i poli di attrazione nei punti in cui si prevede di realizzare servizi di trasporto collettivo (grandi poli attrattori in corrispondenza di linee di trasporto su ferro), in modo da generare una domanda a cui si può facilmente far fronte con un'offerta che genera profitti e minimizza i costi operativi.

Questo influisce anche sulla **ripartizione modale**, in quanto la concentrazione degli insediamenti (sia le abitazioni sia i poli di attrazione) favorisce l'inserimento di servizi di trasporto collettivo (dagli autobus, per una domanda limitata, a tram, ferrovie e metropolitane per una domanda forte), mentre la dispersione degli insediamenti generalmente limita i servizi collettivi e comporta la scelta prevalente dell'auto (anche

se con l'ausilio dei sistemi più innovativi è possibile istituire servizi di trasporto per aree a domanda debole, come indicato in seguito).

Un altro fattore esogeno, che sarà sempre più rilevante in futuro, è l'**invecchiamento della popolazione** (una stima indica che nel 2050 in Europa il 28% della popolazione avrà più di 65 anni); questo influisce sulla domanda di mobilità, in particolare le limitazioni al movimento, alla vista e all'udito non consentono una mobilità basata sul trasporto individuale (auto), ma richiedono un servizio di trasporto accessibile e che sia economicamente conveniente per gli utenti, per non generare delle barriere alla mobilità. Naturalmente, trattandosi di una quantità di persone non trascurabile, si deve fare in modo che questi servizi, necessari, siano sostenibili, dal punto di vista economico, per la collettività.

## **2.2 Fattori endogeni**

Tra i fattori endogeni si ha la notevole **crescita della mobilità non sistematica**, dovuta non solo all'aumento degli spostamenti per motivi di svago o tempo libero, caratterizzati quindi da una dispersione sia temporale sia spaziale, ma anche della tendenza attuale delle attività lavorative di concedere un orario flessibile, quindi con una dispersione unicamente temporale degli spostamenti (il luogo di lavoro, solitamente, rimane il medesimo).

La distribuzione temporale e spaziale degli spostamenti rende difficile la pianificazione e la gestione dei servizi di trasporto collettivo tradizionali, anche se per la prima si può agire adattando le frequenze e le composizioni dei veicoli in modo da mantenere un livello di servizio adeguato, senza far girare i veicoli vuoti, mentre per la seconda diventa difficile adottare dei servizi tradizionali, in quanto per servire tutti i punti di interesse dispersi il servizio dovrebbe avere una capillarità non sostenibile economicamente. Il problema si può risolvere adottando i servizi per aree a domanda debole.

Un altro fattore è lo **sviluppo della mobilità condivisa** (car-sharing, bike-sharing, car-pooling), che in parte risponde alle problematiche indicate in precedenza, contribuendo in ogni caso alla modifica della ripartizione modale, attraendo utenti sia dal trasporto individuale sia dal trasporto collettivo.

Riguardo il trasporto individuale, questa soluzione può essere adottata non solo per scelte relative al sistema dei trasporti, ma anche per scelte economiche individuali, ad esempio rinunciando al possesso dell'auto privata. In questo caso la mobilità condivisa assume una posizione di maggior rilievo rispetto a una pura scelta modale di trasporto, benché nella realtà attuale questo sia possibile solo nelle città, dove generalmente sono disponibili questi servizi (in futuro la situazione potrebbe essere diversa).

Legato al fattore precedente, è il concetto di “*mobility as a service*” (*MaaS*), che consiste nell'integrazione di vari servizi di trasporto in un unico servizio a richiesta, generalmente offerto da determinate piattaforme. L'utente ha la possibilità di selezionare pacchetti di viaggio che includono l'intera catena di spostamenti, eventualmente con diverse modalità di trasporto; sono comprese anche le funzioni di prenotazione e pagamento del viaggio.

Un ultimo fattore di cambiamento endogeno riguarda le **politiche di accesso alla città**, che generalmente prevedono l'istituzione di *Zone a Traffico Limitato* (ZTL) per ridurre gli accessi, per motivi ambientali o per ridurre la congestione stradale (si parla invece di *congestion charge* se l'accesso è consentito dietro pagamento di un pedaggio).

Questo porta inevitabilmente (come voluto da chi adotta questi provvedimenti) uno **spostamento della ripartizione modale verso il trasporto collettivo** e, in misura più limitata, verso i modi non motorizzati (piedi e bicicletta) in città, tuttavia è opportuno stabilire come raggiungere il confine urbano dai centri di periferia. Sono possibili due soluzioni:

- realizzazione di grandi parcheggi di interscambio ai confini della città, in modo che gli utenti arrivino dai centri esterni in auto e continuino il percorso utilizzando il trasporto collettivo;

- integrazione della rete di trasporto collettivo all'esterno della città, in modo che gli utenti (almeno la maggior parte) compiano l'intero spostamento senza ricorrere al mezzo individuale.

Per quanto detto in precedenza è preferibile la seconda soluzione, soprattutto se la domanda di mobilità verso la città è consistente, in ogni caso con la possibilità di introdurre, anche per aree a domanda debole, appositi servizi.

In ogni caso è necessario, per adottare questi provvedimenti, avere un perfetto coordinamento tra i vari enti decisori, in modo da integrare le varie reti di trasporto, altrimenti è facile che, in modo naturale, si realizzi la prima soluzione, con tutte le problematiche indicate prima.

## 2.3 Caratteristiche della mobilità in Italia

Per pianificare i servizi di trasporto, in città e nelle aree esterne, è necessario conoscere in dettaglio le caratteristiche della domanda, in particolare riguardo la disposizione delle origini e delle destinazioni, le fasce orarie, la periodicità degli spostamenti, la frequenza e la scelta modale.

Di seguito sono riportati, a titolo di esempio per il caso italiano, i dati dell'osservatorio AUDIMOB, dedotti da indagini statistiche condotte ogni anno, a livello nazionale, per ottenere tutte le informazioni riguardante la mobilità degli italiani, con la possibilità anche di confrontare tra loro i vari anni. I dati si riferiscono all'ultima indagine disponibile, condotta nel 2015<sup>4</sup>.

### 2.3.1 Popolazione mobile

La percentuale di **popolazione** che ha effettuato almeno uno spostamento, in un giorno feriale medio, è del 79.2%.

---

<sup>4</sup> Si veda "Rapporto AUDIMOB 2015".

La distribuzione per età è piuttosto uniforme, intorno al 82% fino a 65 anni, mentre per le età più elevate cala fino al 66%.

Considerando invece le tipologie di insediamento territoriale, si osserva una variazione dal 75% al 85% passando dai centri abitati più piccoli alle grandi città; nella tabella 1 sono riportati in dettaglio tutti i dati.

<b>POPOLAZIONE MOBILE</b>	
<b>N° abitanti</b>	<b>%</b>
Fino a 5000 ab.	75.5
5000-20000 ab.	76.5
20000-200000 ab.	80.5
Oltre 200000 ab.	85.2

Tabella 1: Percentuale popolazione mobile (fonte: Rapporto AUDIMOB 2015)

### **2.3.2 Spostamenti giornalieri pro capite**

Il **numero di spostamenti giornalieri pro capite** è calcolato sulla *popolazione mobile*, ovvero solo per le persone che hanno effettuato almeno uno spostamento in un giorno medio feriale (per spostamento si intende ogni viaggio effettuato per raggiungere una destinazione).

Il dato generale indica 2.68 spostamenti effettuati da ciascuno; differenziando per età e per tipologia territoriale, si osserva nel primo caso un aumento dai 30 ai 65 anni (da 2.65 a 2.73) per poi calare in età più avanzata (a 2.58), mentre nel secondo caso è evidente un aumento costante del numero di viaggi all'aumentare delle dimensioni del centro abitato (da 2.52 per i centri più piccoli a 2.76 per le città).

Nella tabella 2 sono riportati i dati complessivi relativi al numero di spostamenti giornalieri per fasce di età, mentre nella tabella 3 sono riportati quelli riferiti alla dimensione dei centri abitati.

SPOSTAMENTI GIORNALIERI	
Età	N°
14-30 anni	2.65
30-45 anni	2.71
45-65 anni	2.73
Oltre 65 anni	2.58

Tabella 2: Numero di spostamenti giornalieri per fasce di età (fonte: Rapporto AUDIMOB 2015)

SPOSTAMENTI GIORNALIERI	
N° abitanti	N°
Fino a 5000 ab.	2.52
5000-20000 ab.	2.68
20000-200000 ab.	2.73
Oltre 200000 ab.	2.76

Tabella 3: Numero di spostamenti giornalieri per dimensione dei centri abitati (fonte: Rapporto AUDIMOB 2015)

### 2.3.3 Motivazioni della mobilità

Un elemento determinante nella caratterizzazione della domanda è il **motivo** per cui viene effettuato lo spostamento. Escludendo i viaggi di ritorno, in quanto si tratta di spostamenti non propri ma derivati, si considerano le seguenti motivazioni:

- lavoro o studio (sia sede abituale, sia altra sede);
- gestione familiare (acquisti, cure personali e mediche, accompagnare figli a scuola, attività di servizi come posta, banca, assicurazione, etc.);
- tempo libero (attività culturali, sportive, di svago, vacanze, ristoranti, etc.).

Nel 2015 la ripartizione percentuale (sul totale degli spostamenti effettuati) è stata: 35.5% per lavoro/studio, 35.9% per gestione familiare e 28.7% per tempo libero. Questo è un dato molto rilevante, in quanto storicamente il trasporto collettivo era pianificato esclusivamente sugli spostamenti pendolari, rientranti prevalentemente nella categoria lavoro/studio, che però attualmente comprende solo poco più di un terzo degli

spostamenti complessivi. Non è più possibile dunque programmare i servizi come nei decenni scorsi, occorre una visione della mobilità più ampia.

Per quanto riguarda le motivazioni suddivise per tipologie territoriali, i cui dati sono riportati nella tabella 4, si osservano dei piccoli scostamenti rispetto ai valori medi, in particolare gli spostamenti per lavoro/studio sono maggiori nelle piccole città e nelle aree metropolitane, in cui si concentrano maggiormente i pendolari; gli spostamenti per gestione familiare sono più comuni nelle piccole e medie città, probabilmente per una minore occupazione della popolazione residente (maggiore presenza di casalinghe o persone anziane), mentre quelli per tempo libero sono maggiormente presenti nelle grandi città e nelle aree metropolitane, per la maggiore presenza di attività di svago.

<b>MOTIVAZIONI DELLA MOBILITÀ</b>			
	<b>Lavoro/studio</b>	<b>Gestione familiare</b>	<b>Tempo libero</b>
Piccole città	36.2	36.1	27.7
Medie città	33.9	38.1	27.9
Grandi città	34.1	35.3	30.6
Area metropolitana	36.8	32.0	31.2

Tabella 4: Motivazioni della mobilità (fonte: Rapporto AUDIMOB 2015)

### 2.3.4 Frequenza e orari della mobilità

La **frequenza degli spostamenti** riguarda la periodicità, cioè la suddivisione tra spostamenti sistematici e occasionali. La suddivisione è stata fatta, su base settimanale, utilizzando il seguente criterio:

- spostamento effettuato tutti i giorni (sistematico);
- spostamento effettuato 3 o 4 giorni la settimana (occasionale);
- spostamento effettuato 1 o 2 giorni la settimana, o più raramente (occasionale).

Gli spostamenti sistematici, effettuati tutti i giorni, sono il 44.5% sul totale, mentre quelli occasionali sono il 14.8% per 3-4 giorni la settimana e il 40.7% per 1-2 giorni (o più rari). Anche in questo caso, come in precedenza per la motivazione, emerge la rilevanza della componente occasionale degli spostamenti, che ormai ha superato (da circa un decennio) quella sistematica. I dati sono riassunti nella tabella 5.



FREQUENZA SPOSTAMENTI	
Periodicità	%
Tutti i giorni	44.5
3-4 giorni	14.8
1-2 giorni o meno	40.7

Tabella 5: Frequenza degli spostamenti  
(fonte: Rapporto AUDIMOB 2015)

Per quanto riguarda le **fasce orarie degli spostamenti**, intendendo in questo caso l'orario di partenza, è stata fatta la seguente suddivisione:

- dalle 6.00 alle 9.00;
- dalle 9.00 alle 14.00;
- dalle 14.00 alle 20.00;
- oltre le 20.00.

Le percentuali sono, rispettivamente, del 22.4%, 32.1%, 37.8% e 7.7%, come indicato nella tabella 6.

ORARI DELLA MOBILITÀ	
Fascia oraria	%
6.00-9.00	22.4
9.00-14.00	32.1
14.00-20.00	37.8
Oltre le 20.00	7.7

Tabella 6: Orari della mobilità (fonte:  
Rapporto AUDIMOB 2015)

Dunque metà degli spostamenti sono effettuati al mattino, e si può ipotizzare che essi riguardino prevalentemente le motivazioni lavoro/studio e gestione familiare, mentre il tempo libero dovrebbe concentrarsi maggiormente nel pomeriggio.

Conseguentemente, si può ipotizzare che gli spostamenti sistematici avvengano prevalentemente al mattino, mentre al pomeriggio prevalgono quelli occasionali; tuttavia occorre tenere presente, nella pianificazione dei servizi, anche dei viaggi di ritorno, non considerati nell'analisi statistica ma comunque rilevanti.

I viaggi per lavoro/studio, che comprende in modo prevalente la componente sistematica, generalmente avvengono al mattino per l'andata e al pomeriggio per il

ritorno (primo pomeriggio per gli studenti, tardo pomeriggio per i lavoratori). Riguardo la componente occasionale, si può suddividere in due gruppi, uno riguardante la gestione familiare, più frequente al mattino, un altro riguardante il tempo libero, più frequente al pomeriggio (per entrambi si può assumere che l'attività, compresi i viaggi di andata e ritorno, si esaurisca in poco tempo, nell'arco di mezza giornata). Quindi **la componente occasionale è sempre presente**, durante l'intera giornata.

Si nota infine la scarsità di spostamenti in orario serale/notturno; questo si può spiegare considerando che in questa fascia si concentrano i rientri al termine delle attività, mentre sono pochi gli utenti che iniziano lo spostamento in questo orario.

## CAPITOLO 3

# SISTEMI DI TRASPORTO INNOVATIVI

I sistemi di trasporto collettivo tradizionali non sono riusciti a garantire un'offerta adeguata al cambiamento della domanda di mobilità, sia a causa della loro intrinseca rigidità sia per scelte politiche mancanti o errate, che non ne hanno permesso lo sviluppo. Questo ha comportato, nella maggior parte dei casi, a uno spostamento dell'utenza verso l'auto privata.

Le politiche di tipo regolatorio (limitazione dell'uso dell'auto mediante l'adozione di ZTL o misure di road pricing) non sempre risultano efficaci, in parte per l'assenza di un consenso generalizzato presso la popolazione, in parte per mancanza di alternative valide per effettuare gli spostamenti.

Il problema riguarda soprattutto le aree a domanda debole, cioè zone in cui la dispersione spaziale degli insediamenti e dei poli di attrazione comporta la generazione di una domanda di mobilità scarsa, che non garantisce redditività a un servizio di trasporto collettivo tradizionale; inoltre riguarda (anche in zone generalmente non a domanda debole) fasce orarie con traffico scarso o nullo (ore di morbida e ore notturne).

Per far fronte a questi problemi sono stati sviluppati dei sistemi innovativi, definiti *Servizi di Trasporto Collettivo Dedicati* (STDC)<sup>5</sup>, che si basano sull'uso di veicoli in condivisione, cioè veicoli **non di proprietà degli utenti** che li usano (in alcuni casi è comunque possibile) ma di società che effettuano il servizio (che possono essere pubbliche o private).

Questi servizi sono effettuati mediante **veicoli di piccole dimensioni**, con pochi posti a sedere (solitamente si tratta di auto tradizionali, da 4-5 posti, o al massimo minibus da 10-15 posti), quindi sono l'ideale per coprire le zone o le fasce orarie a domanda debole,

---

<sup>5</sup> Questa definizione, così come gli elementi contenuti nella parte introduttiva del capitolo, è contenuta nel testo "Trasporto Pubblico Locale" di G. Corona e D. C. Festa. Sono inoltre presenti, sia qui sia nei paragrafi seguenti, elementi della dispensa "TPL" del corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti, di R. Maja.

in cui non è presente il trasporto collettivo tradizionale; inoltre sono in grado di attirare l'utenza più propensa all'uso dell'auto privata, in quanto richiamano le stesse caratteristiche di comodità, affidabilità e riservatezza.

Gli STDC si possono suddividere in due categorie, quelli che si **basano sull'auto individuale** e quelli che **derivano dal trasporto collettivo tradizionale**. I primi, facenti parte del gruppo di servizi di mobilità condivisa (definiti generalmente col termine "*sharing-mobility*"), nascono dall'idea di sostituire l'auto di proprietà con dei mezzi, di proprietà delle società che effettuano il servizio, a disposizione di tutti gli utenti. Questi servizi sono car-sharing, ride-sharing e car-pooling.

Si possono ottenere così diversi **vantaggi**, tra cui:

- riduzione del numero di veicoli in circolazione;
- diminuzione dell'occupazione del territorio per le aree di sosta, con la possibilità di destinare lo spazio per altri usi;
- possibilità di rinunciare al possesso dell'auto privata, con un vantaggio economico individuale (eliminazione delle spese fisse);
- riduzione dell'inquinamento atmosferico e miglioramento della qualità della vita.

Tuttavia possono nascere anche delle **problematiche**, se l'introduzione di nuove tipologie di servizi comporta degli squilibri nello stato attuale delle cose, dovuti a mancanza di regolazione dei nuovi servizi o di quelli precedentemente esistenti (caso del contrasto tra i tassisti e gli esercenti dei servizi di ride-sharing, che verrà illustrato in seguito).

I servizi derivanti dal trasporto collettivo tradizionale invece costituiscono l'estensione di quest'ultimi alla situazione di domanda debole, con l'utilizzo di **veicoli di dimensioni ridotte** e con l'utilizzo del **sistema della prenotazione**, in modo che il servizio venga effettivamente svolto solo se necessario. Questi servizi sono definiti "*servizi a chiamata*" e, per la tipologia dei veicoli e per le caratteristiche del servizio richiamano il tradizionale servizio di taxi, pur potendo includere elementi propri del trasporto collettivo (come la definizione a priori di percorsi e orari).

Di seguito vengono analizzate le diverse tipologie di STDC.

### 3.1 Car-sharing<sup>6</sup>

Il car-sharing è una forma di noleggio di un veicolo, messo a disposizione dalla società che gestisce il servizio, che l'utente può utilizzare per effettuare lo spostamento (purché sia compreso nell'area in cui il servizio è erogato), pagando la tariffa corrispondente.

Dal punto di vista dell'utente si tratta quindi di un **sistema equivalente all'auto privata**, con la possibilità però di non possederla, conseguendo un risparmio a livello economico; tuttavia, inevitabilmente non possiede la stessa **versatilità**, in quanto per utilizzare il servizio è necessario compiere varie operazioni: prima di effettuare il viaggio occorre verificare la disponibilità del veicolo, ci si deve recare nel punto di prelievo (che non è detto sia esattamente nel punto in cui ci si trova al momento del bisogno) e poi, a destinazione, lo si deve lasciare in un punto definito, che può essere distante dal luogo in cui ci si deve recare.

Tutti questi elementi, dalla disponibilità al posizionamento dei veicoli, dipendono dall'**organizzazione del servizio**, che può essere di due tipi:

- tradizionale, a stazioni fisse (station-based): i veicoli sono posizionati in parcheggi ben definiti, e possono essere prelevati o depositati solo in queste aree (la stazione di prelievo può essere diversa da quella di deposito);
- a flusso libero (free-floating): i veicoli si trovano ovunque, nell'area in cui viene effettuato il servizio, e possono essere lasciati in qualunque parcheggio (quelli normali, adibiti alla sosta di tutti i veicoli, non esistono parcheggi dedicati), sempre all'interno dell'area prevista.

Si tratta di modelli diversi che svolgono funzioni diverse. Il **car-sharing a stazioni fisse (tradizionale)**, basato su stazioni fisse di prelievo e deposito, è destinato a utenti che

<sup>6</sup> Le informazioni contenute in questo paragrafo derivano dallo studio ICS (Iniziativa Car Sharing) "Il car sharing come paradigma della sharing economy" di M. Mastretta. Il contenuto dello studio è riportato direttamente sul sito ICS ("www.icscarsharing.it").

effettuano **spostamenti occasionali** e sporadici, che generalmente hanno la stessa origine e destinazione (casa o ufficio), su **distanze medio-lunghe** (eventualmente con destinazione intermedia fuori città). Mira a sostituire l'auto di proprietà per quegli spostamenti che, per varie ragioni, possono essere effettuati **solo in auto** (ad esempio perché è necessario recarsi in zone non servite dal trasporto collettivo, oppure perché si ha la necessità di trasportare oggetti ingombranti). La **disponibilità del veicolo** è fondamentale, data la necessità di percorrere distanze di rilievo e la puntualità (spaziale) delle stazioni fisse, quindi la prenotazione per questo sistema è indispensabile.

Il **car sharing a flusso libero**, invece, serve soprattutto per **spostamenti brevi in ambito urbano** (durate medie delle corse di circa 15' e distanze di pochi chilometri), eventualmente anche per spostamenti sistematici (purché sussista una convenienza economica). In questo caso, non essendoci stazioni di prelievo e deposito ma essendo i veicoli posizionati ovunque, **non è necessario prevedere la prenotazione**; tuttavia, dal punto di vista degli utenti, ci deve essere la possibilità di effettuare lo spostamento con altri mezzi in caso di indisponibilità dei veicoli di car-sharing, quindi questo sistema è adatto in zone in cui sia comunque garantita una buona offerta di trasporto collettivo (naturalmente l'alternativa non può essere l'auto privata, altrimenti tutti i vantaggi verrebbero annullati). Inoltre, essendo i veicoli distribuiti omogeneamente sull'intera area di servizio, è necessaria una **grande dotazione di mezzi**, con un grosso investimento iniziale per introdurre il sistema, quindi è necessario avere una domanda di mobilità molto elevata e spazialmente densa, per garantirsi una redditività adeguata, pertanto questo sistema è adatto solo ai grandi centri urbani.

I due modelli, quindi, servono esigenze di mobilità molto differenti tra di loro, che si potrebbero in gran parte anche considerare **complementari**. Invece che contrapporsi, potrebbero utilmente integrarsi in quelle realtà dove si giustificano entrambi, ad esempio in aree a domanda debole il primo, nei grandi centri urbani il secondo, oppure nelle città possono anche coesistere entrambi, per soddisfare sia le esigenze dei viaggi occasionali (il primo) sia quelle di chi necessita di un uso più sistematico (il secondo). Le loro differenze influenzano però non solo la tipologia di utenza, ma richiedono anche organizzazioni differenti e possono rivestire per le città un ruolo differente nel panorama della mobilità.

La tabella 7 sintetizza le caratteristiche che i due modelli assumono per i tre tipi di soggetti coinvolti: l'utente, l'operatore del servizio e l'autorità di regolazione (solitamente i Comuni).

<b>TIPOLOGIE DI CAR-SHARING</b>		
<b>Schema servizio</b>	<b>Tradizionale – A stazioni fisse (station based)</b>	<b>Flusso libero (free floating)</b>
<b>Utente</b>	<p>Senza auto o con un numero inferiore di auto rispetto alle esigenze del nucleo familiare.</p> <p>Spostamenti sistematici con il TPL.</p> <p>Utilizzi sporadici di medio-lungo raggio che esigono la certezza della disponibilità (prenotazione).</p> <p>Economicamente vantaggioso per chi ha una percorrenza limitata con l'auto di proprietà.</p>	<p>Prevalentemente per spostamenti brevi e in ambito urbano.</p> <p>Spostamenti effettuabili con altro mezzo in caso di indisponibilità. Compatibile con spostamenti sistematici (vincolo: convenienza economica).</p> <p>Di utilizzo immediato ed estemporaneo.</p>
<b>Autorità – Comune</b>	<p>Offre, assieme al TPL (e altri modi) uno strumento per ridurre l'uso della vettura e il tasso di proprietà.</p> <p>Complementare al TPL.</p> <p>Vantaggioso nella misura in cui assume dimensioni significative. Richiede stalli dedicati.</p>	<p>Servizio aggiuntivo al TPL in particolare nei grandi centri urbani.</p> <p>Vantaggioso nella misura in cui sostituisce l'uso dell'auto privata nei grandi centri urbani e raggiunge tassi di utilizzo delle vetture elevati.</p> <p>Può entrare in competizione con altri modi pubblici (taxi, bus/metro/treno).</p> <p>Introduce un numero significativo di vetture operanti nelle zone più densamente trafficate delle città (pressione sulla domanda di sosta).</p>
<b>Mercato – Operatore</b>	<p>Aggredibile in modo incrementale con criteri di distribuzione geografica del servizio.</p> <p>Di nicchia.</p> <p>Adottabile nelle grandi e medie città.</p>	<p>Adeguate soprattutto alle grandi aree urbane.</p> <p>Ha costi di gestione più elevati, legati anche alle necessità di riposizionamento del parco vetture.</p> <p>Richiede flotte numericamente molto consistenti sin dall'inizio.</p>

Tabella 7: Caratteristiche e vantaggi delle tipologie di car-sharing dal punto di vista dell'utente, dell'operatore e delle autorità di regolazione (fonte: ICS)

Confrontando le due tipologie di car-sharing, **il modello a flusso libero è maggiormente gradito all'utenza**, per la facilità e l'immediatezza di utilizzo, quindi è molto attraente per i grandi operatori, che mirano spesso ad una dimensione internazionale e inquadrano il car sharing in una più complessa strategia aziendale. Esso comporta però degli oneri di gestione maggiore, in quanto la possibilità di lasciare l'auto ovunque gli utenti desiderino può comportare uno squilibrio sul posizionamento dei veicoli (problema che comunque riguarda entrambe le tipologie).

### **3.1.1 Problema del riposizionamento dei veicoli**

Il problema del posizionamento dei veicoli è generato da una **domanda non omogenea nello spazio e nel tempo**, ma concentrata su direttrici particolari e in determinati orari. Questa situazione si presenta soprattutto nel caso in cui il car-sharing sia utilizzato per spostamenti sistematici per motivi di lavoro/studio (cioè se utilizzato dai pendolari), in quanto essi effettuano il viaggio di andata al mattino, concentrando i veicoli nei pressi del luogo di lavoro fino al pomeriggio, quando rientrano alla propria abitazione. Lo stesso fenomeno si presenta nel caso in cui, in generale, le destinazioni siano concentrate in pochi punti (in corrispondenza di determinati poli attrattori come ospedali, università, centri commerciali).

Naturalmente non è ammissibile che i veicoli rimangano fermi per molto tempo in un posto, in quanto il sistema diventerebbe antieconomico (nella condizione ideale i veicoli non devono mai fermarsi, quando un utente termina il viaggio deve essercene subito un altro che necessita di spostarsi) e si perderebbero tutti i vantaggi derivanti dal car-sharing nei confronti delle auto private (su tutti, sarebbe necessario nuovamente disporre di ampi parcheggi, senza la possibilità di recuperare lo spazio per un uso alternativo).

La **domanda occasionale** permette di utilizzare i veicoli durante l'intera giornata, andando a riempire il vuoto generato dalla domanda sistematica per lavoro/studio, però occorre valutare se le domande si generano nello stesso spazio, cioè se le destinazioni degli spostamenti sistematici corrispondono alle origini di quelli occasionali. Questo può avvenire più facilmente nelle città, anche se probabilmente non con le stesse



quantità, cioè il numero di destinazioni concentrate potrebbe essere superiore a quello delle origini, causando comunque il fermo di alcuni veicoli (che in tal caso occorre spostare); nelle città piccole o nelle aree con insediamenti diffusi invece è difficile che si verifichi questa condizione, per la scarsità di poli attrattivi e per la minore domanda occasionale.

In ogni caso, quando la domanda non è omogenea, è necessario provvedere al **riposizionamento dei veicoli**, per garantirne una diffusione omogenea, operazione che deve essere eseguita dal personale della società che fornisce il servizio, con costi operativi aggiuntivi.

Il modello di car-sharing è indipendente dal fatto che si presenti o meno questo problema, in quanto dipende esclusivamente dalle caratteristiche della domanda. È possibile comunque eliminare il problema alla base, prevedendo che gli utenti debbano **riconsegnare il veicolo nella stessa stazione di prelievo** (solo per il modello di car-sharing a stazioni fisse); questo sistema però è poco flessibile per l'utenza, in quanto costringe a tenere il veicolo durante lo svolgimento dell'attività, con un maggiore prezzo da pagare, e limita la possibilità di spostarsi verso altre destinazioni, quindi è poco appetibile e poco utilizzato.

### 3.1.2 Car-sharing nelle aree rurali

Da quando sono stati introdotti i servizi di car-sharing, essi sono sempre stati sviluppati quasi esclusivamente **nelle aree urbane**, mentre nelle aree rurali hanno trovato applicazione solo dei sistemi peer to peer (condivisione del veicolo tra singoli utenti, a livello privato). Questo è dovuto al fatto che l'**investimento iniziale** per implementare il car-sharing è considerevole e richiede un buon bacino di utenza, per recuperare i costi, cosa estremamente difficile per le aree a bassa densità abitativa. Inoltre gli utenti, per usufruire del servizio, richiedono una disponibilità immediata del mezzo per spostarsi, quindi per garantire uno sviluppo del sistema adeguato in una determinata rete è necessario avere una **buona dotazione di veicoli fin dall'inizio**.

Questi fattori, utenti e numero di veicoli, sono mutuamente dipendenti, quindi è difficile che lo sviluppo di una piccola rete di car-sharing sia sufficientemente attrattiva per

mantenersi dal punto di vista finanziario, pur prevedendo successivi ampliamenti man mano che l'utenza aumenta. È più facile dunque iniziare sviluppando una rete di car-sharing all'interno di una città.

Uno studio condotto nel 2018<sup>7</sup> ha determinato delle **possibili soluzioni per sviluppare dei servizi di car-sharing nelle zone rurali**, considerando l'iniziale domanda debole di queste regioni, anche in considerazione del fatto che nelle realtà in cui la mobilità condivisa è sviluppata da tempo il mercato è saturo, quindi le imprese che forniscono questi servizi sono incentivate ad espandersi nelle zone a più bassa densità abitativa, per ampliare il loro mercato.

Si può, ad esempio, sfruttare l'**effetto scala su un'intera regione** per incrementare la domanda su tutta la rete, compensando gli investimenti non ripagati nelle zone a bassa densità abitativa e bassa redditività. Il car-sharing può essere offerto a **livello nazionale**, incoraggiando gli utenti a utilizzarlo, in luogo dell'auto privata, per qualunque spostamento, dalle zone rurali alle città e viceversa, per motivi di studio e lavoro oppure per turismo.

In alcuni casi è possibile che l'**evoluzione dell'assetto delle città** modifichi, nel tempo, anche le aree rurali circostanti, ad esempio spostando all'esterno istituzioni pubbliche, ospedali e attività ricreative, generando quindi una nuova domanda, inizialmente non presente, che può essere raccolta da un servizio di car-sharing, soprattutto se il trasporto collettivo non è pienamente sviluppato.

Per limitare questi problemi, è possibile **appoggiarsi a una rete urbana** già sviluppata, che consegua dei buoni profitti. In questo modo si possono ottenere dei risultati promettenti, raggiungibili **adottando alcune misure strategiche**:

- se un servizio diffuso su un'area più ampia risulta più attrattivo, aumentando la domanda nella zona urbana, l'utilizzo urbano compensa lo scarso uso del servizio nelle aree a domanda debole, ottenendo nei casi migliori un utilizzo medio dei veicoli superiore a quello della sola rete urbana;

---

<sup>7</sup> Si veda "Establishing car sharing services in rural areas" di S. Illgen, M. Höck.

- maggiori distanze tra le aree rurali e le aree urbane aumenta il coefficiente di utilizzo totale dei veicoli e compensa le tratte a più bassa domanda; un tempo di viaggio compreso tra 30 e 55 min garantisce buoni coefficienti di utilizzo;
- i viaggi dalle zone urbane a quelle rurali aumentano l'utilizzo generale dei veicoli, in quanto l'area urbana garantisce sempre un ampio spettro di utenti e, in generale, un buon livello di domanda che, unito al fatto che i viaggi verso l'esterno sono più lunghi rispetto a quelli interni alla città, comporta maggiori guadagni per l'intera rete, purché l'area rurale rappresenti una destinazione attrattiva (ad esempio abbia rilevanza turistica);
- se organizzato come un sistema monodirezionale, i veicoli che si spostano dall'area rurale a quella urbana, nelle ore di punta, consentono di aumentare temporaneamente la flotta all'interno della città, aumentando il livello di servizio, tuttavia in questo caso è necessario adottare un sistema di prenotazione per garantire agli utenti la disponibilità un veicolo per il ritorno, verso l'area rurale;

Considerando tutti questi fattori si può concludere che il car-sharing in aree rurali può essere redditizio, se si riesce a compensare l'inevitabile scarsità della domanda di queste zone. Occorre comunque indagare sulla **domanda di trasporto delle aree a domanda debole** e sull'opportuno livello minimo di riempimento dei veicoli per giustificare l'implementazione di questo servizio, così come il fatto che il car-sharing possa arrivare a **sostituire completamente il trasporto collettivo tradizionale**, che in alcuni casi può anche essere giustificato, se il riempimento di mezzi capienti come quelli del TPL non dovesse essere sufficiente per sostenere il servizio dal punto di vista finanziario e di impatto ambientale.

Sembra comunque evidente che una rete di car-sharing in area rurale **non possa sostenersi autonomamente**, ma debba affidarsi a una rete urbana esistente, costituendo un ampliamento di quest'ultima. Può anche essere un **traino per lo sviluppo delle zone rurali**, incentivando lo spostamento di alcuni elementi della città che portano ad un aumento della domanda di mobilità, con la possibilità, a questo punto, di realizzare una rete indipendente, che sia redditizia per conto proprio.

Un problema non considerato in questo caso è quello del **ricolloccamento dei veicoli**, che può rendersi necessario se la rete di car-sharing si sviluppa in aree con una domanda disomogenea, come può essere il caso di una rete che comprenda sia aree urbane sia aree rurali. L'organizzazione e i relativi costi di questa operazione sono da valutare caso per caso, in base alle caratteristiche della zona servita.

## 3.2 Ride-sharing

Il ride-sharing (definito anche “ride-hailing” in America) è un servizio che prevede il **noleggio di un veicolo con conducente a bordo**, quindi l'utente effettua lo spostamento senza la necessità di guidare il veicolo. Dal punto di vista trasportistico si tratta dunque di un **sistema equivalente al taxi** (o di noleggio con conducente, come è stato definito in Italia).

Tuttavia, questo tipo di servizi è in grado di attirare una parte di domanda, derivante sia dal trasporto collettivo sia dai modi individuali (sia motorizzati sia non motorizzati), che in assenza di essi non si sposterebbe verso il taxi (ma verso i modi che sono stati sostituiti).

### 3.2.1 Sviluppo del ride-sharing e contrapposizione al servizio taxi<sup>8</sup>

Le differenze nascono dall'origine del ride-sharing, ideato come **soluzione trasportistica tra privati**, in cui una persona dotata di auto di proprietà si mette a disposizione (la persona, in qualità di autista, e la vettura) di un utente che necessita di effettuare uno spostamento. Trattandosi di un accordo “tra privati”, come avviene quando un persona chiede un passaggio con l'autostop, **non è soggetto a particolari regolamentazioni** (non è necessaria una licenza per compiere questa operazione).

---

<sup>8</sup> Questo paragrafo contiene elementi dello studio “Ridesourcing, the sharing economy, and the future of cities” di S. Jin, H. Kong, R. Wu, D. Sui, che evidenzia la situazione americana, dove i servizi di ride-sharing sono maggiormente sviluppati e utilizzati.

Lo sviluppo delle moderne tecnologie però ha **notevolmente facilitato l'organizzazione di questa attività**, coinvolgendo molte persone disposte a condividere il veicolo (e loro stesse) per servire utenti decisamente lontani dalla propria sfera di conoscenze, divenendo a tutti gli effetti un servizio pubblico.

Grandi compagnie hanno approfittato di queste possibilità per entrare nel mercato del trasporto pubblico individuale (ad esempio Uber e Lyft negli Stati Uniti), ponendosi in **diretta concorrenza coi taxi**, ma in una posizione di vantaggio, in quanto rimane una modalità di trasporto di basso livello, con **autisti non qualificati per effettuare un servizio pubblico** (non in possesso della stessa licenza richiesta per i tassisti) e con un **parco auto non soggetto alla manutenzione** (perlomeno senza una certificazione, la gestione del mezzo rimane a discrezione dell'autista), con conseguente inconsapevolezza di chi sale a bordo sull'effettiva sicurezza del veicolo (come del resto avviene per l'autostop).

Tutto questo permette però di **limitare le tariffe** (le quali corrispondono, sostanzialmente, a un rimborso spese per lo spostamento effettuato), mentre i taxi hanno la necessità di **perseguire il massimo profitto**, sia per recuperare i costi della licenza, sia perché garantiscono un livello di servizio superiore (e, almeno sulla carta, più sicuro).

### 3.2.2 Contraddizioni del servizio taxi

Il taxi è il servizio di trasporto pubblico individuale più antico, concepito quando ancora non esistevano le autovetture. Nel corso del tempo essi hanno acquisito un ruolo determinante, non solo nell'ambito del servizio pubblico, ma anche dal punto di vista politico, arrivando a **condizionare le scelte degli amministratori** delle città e dei paesi. L'elemento più rilevante è la **licenza**, che da molti decenni regola il settore dei taxi e del noleggio con conducente. Essa viene concessa dall'ente pubblico che amministra l'area servita (tipicamente il comune della città in cui avviene il servizio) ai tassisti, in numero limitato, con lo scopo di mantenere un numero fisso di mezzi. Questo sistema viene utilizzato ormai da molti decenni in tutte le città del mondo.

Col tempo sono nati dei problemi notevoli, poiché il fatto di mantenere fisso il numero di licenze in una città ha reso **impossibile l'inserimento di nuovi tassisti**, l'unica possibilità era la cessione della licenza da parte di chi se ne trovava in possesso (ad esempio per pensionamento). Si è diffusa così la pratica di **mettere in vendita le licenze**, a prezzi sempre maggiori nel tempo, anche se in origine si trattava esclusivamente di una concessione messa a disposizione dall'ente pubblico (comune), gratuitamente.

Questa situazione, sfuggita di mano alle amministrazioni pubbliche, ha portato alla **formazione di una lobby** (o corporazione), peraltro molto potente, in quanto ha il potenziale di bloccare le strade, in caso di protesta, paralizzando l'intera città. Le amministrazioni quindi, sia a livello locale sia a livello governativo centrale, sono molto **restie a introdurre riforme al sistema**, come l'aumento del numero di licenze (che comporta la perdita di valore di quelle preesistenti), la regolamentazione del passaggio delle licenze da una persona a un'altra (limitandone l'aumento del prezzo, ad esempio a Milano è arrivato fino a 180mila €, poco meno a Roma), o l'apertura verso nuovi servizi, come il noleggio con conducente basato su applicazioni informatiche (cosiddette "app"). Senza contare che in ogni caso si tratta di **beni volatili**, in quanto, teoricamente, sarebbe possibile, per i comuni, revocare le licenze in qualunque momento, annullandone il valore (infatti le banche difficilmente sono disposte a finanziarne l'acquisto)<sup>9</sup>.

Un altro fenomeno, che può derivare da questo sistema, è quello delle **bolle speculative**, come accaduto a New York. Nei primi anni 2000 il prezzo delle licenze è stato gonfiato, da 200mila a oltre 1 milione di dollari, da parte delle società che le avevano messe in vendita (il possesso da parte loro deriva da ragioni storiche), concedendo prestiti anche a chi non li avrebbe potuti ripagare, a interessi altissimi. Il sistema ha retto fino a quando è stato garantito il **monopolio ai taxi**; nel momento in cui sono arrivati i servizi di noleggio con autista (Uber e Lyft), in **regime di concorrenza** non era più possibile, per i tassisti, sostenere i costi per pagare la licenza, quindi il valore di esse è **crollato**,

---

<sup>9</sup> Le informazioni utilizzate per la stesura di questo paragrafo sono contenute nell'articolo "Licenze gratis e silenzio dei governi, così i taxi sono diventati la lobby più potente" di Business Insider Italia (si può trovare all'indirizzo "[it.businessinsider.com/taxi-uber-mytaxi-licenze-lobby/](http://it.businessinsider.com/taxi-uber-mytaxi-licenze-lobby/)").

mandando in rovina molte persone e riducendo anche il valore delle nuove licenze (attualmente compreso tra i 160mila e i 250mila dollari)<sup>10</sup>.

### 3.2.3 Integrazione e prospettive dei sistemi taxi e ride-sharing

Le contraddizioni del servizio taxi, descritte in precedenza, non hanno impedito al sistema di svolgere la **funzione di servizio pubblico**, almeno finora, in quanto non erano presenti alternative valide. Con l'avvento dei sistemi ride-sharing, facenti parte delle nuove tendenze identificate col termine di "sharing-economy" (economia condivisa, un ramo della più generale economia circolare), si è **rotto il monopolio che caratterizzava il sistema taxi** (e che ha causato la nascita delle problematiche relative ad esso), generando un **regime di concorrenza** che inevitabilmente **non lascia spazio ad inefficienze**.

Questa situazione ha portato a conflitti di tipo sociale tra le varie categorie, dovute anche alla mancanza di regolamentazione generale dei vari servizi, senza la quale non è possibile definire l'esatta posizione di ciascuno di essi nell'ambito globale del servizio di trasporto (e del mercato, in quanto l'aspetto economico diventa fondamentale, quando si passa da un regime di monopolio a uno di concorrenza).

In alcuni casi si è scelta una soluzione conservativa, cioè **limitare i nuovi servizi** e lasciare invariato l'attuale stato delle cose (ad esempio, Uber è stata bandita in alcuni paesi, tra cui l'Italia, in cui è rimasto solo un servizio di lusso denominato "UberBlack"), tuttavia questa non è la strada migliore da percorrere, in quanto è preferibile effettuare una **valutazione su tutti i sistemi disponibili** (nuovi e vecchi) e favorire, con la normativa, la **soluzione più efficiente**.

Inoltre, riguardo l'aspetto trasportistico, è necessario avere dei servizi che non necessitano di guidare il veicolo, per certe categorie di utenti che non hanno la possibilità di farlo, quindi è un sistema da tenere in considerazione in ogni contesto.

---

<sup>10</sup> Il caso esempio di New York è stato preso dall'articolo "La bolla delle licenze dei taxi a New York" de Il Post (si può trovare all'indirizzo "[www.ilpost.it/2019/06/15/taxi-new-york-licenze-criisi/](http://www.ilpost.it/2019/06/15/taxi-new-york-licenze-criisi/)").

Nel seguito di questo lavoro, per evitare fraintendimenti, si preferisce utilizzare un'unica terminologia per indicare il tipo di sistema, dal punto di vista prettamente trasportistico, quindi si utilizzeranno i termini *taxi* o *noleggio auto con conducente*. Le questioni amministrative e sociali invece esulano dall'obiettivo di questo lavoro e pertanto non verranno più considerate.

### 3.3 Car-pooling

Il car-pooling consiste nella **condivisione del veicolo tra più utenti**, che effettuano lo stesso spostamento (stesso percorso nello stesso momento); il veicolo è generalmente di **proprietà di uno degli utenti**, che lo mette a disposizione degli altri (naturalmente condividendo le spese per il viaggio e la quota parte di costi fissi dovuti al possesso dell'auto).

Questa è la soluzione di mobilità condivisa più efficiente, in quanto gli utenti, che in condizioni normali avrebbero usato ciascuno la propria auto privata, si muovono in gruppi di (mediamente) 2 o più elementi su un numero minore di auto, permettendo quindi di ridurre effettivamente i flussi di traffico (a parità di spostamenti effettuati).

In particolare, si ottengono i seguenti **vantaggi**:

- riduzione dei costi di trasporto per gli utenti;
- viaggio in compagnia, permette di socializzare con nuove persone (o colleghi di lavoro) e riduce lo stress da traffico, più sopportabile insieme ad altri;
- possibilità di rinunciare al possesso del veicolo, se si viaggia come passeggero;
- vantaggi legati al minor numero di veicoli in circolazione, come la riduzione dell'inquinamento atmosferico, della congestione stradale e dell'incidentalità;

Si tratta però di un servizio più **difficile da organizzare**, in quanto devono coincidere per più utenti il percorso e la fascia oraria in cui viene effettuato lo spostamento. Risulta quindi più facile organizzarlo all'interno di una cerchia di persone che si conoscono, piuttosto che pianificarlo in modo esteso su larga scala, anche se negli ultimi anni ci



sono stati degli sviluppi in tal senso, sfruttando la tecnologia attuale che permette di organizzare le richieste e le disponibilità in modo molto più facilitato rispetto al passato. Un ulteriore problema da considerare, soprattutto per l'organizzazione del servizio su larga scala, è la disponibilità degli utenti a **condividere il viaggio con persone sconosciute**; pur essendo potenzialmente un vantaggio a livello sociale (come indicato in precedenza), per alcuni può comunque rappresentare una situazione disagiata, per mancanza di riservatezza, o addirittura un pericolo, sia in termini di safety (mancanza di fiducia nelle capacità di guida dell'utente che conduce il mezzo), sia in termini di security (nei confronti dei compagni di viaggio). Si rischia quindi di raccogliere meno utenza rispetto a quella potenziale.

A livello **aziendale** invece, per i lavoratori, può essere una soluzione indicata, in quanto permette di migliorare l'accesso al luogo di lavoro, con una maggiore puntualità di arrivo del personale, di recuperare spazio dalle aree dedicate al parcheggio dei veicoli, necessario in quantità ridotta (per il minor numero di mezzi in arrivo), che può essere destinato ad altri usi, e migliora complessivamente l'immagine dell'azienda, in quanto promotrice di misure vantaggiose per l'ambiente e la società.

Naturalmente richiede un'organizzazione particolare, in quanto i lavoratori devono **risiedere in zone vicine** (almeno a gruppi), o comunque devono arrivare agevolmente in un punto di ritrovo da cui partire con un unico veicolo verso l'azienda, e devono avere lo stesso orario di lavoro. Il secondo requisito è certamente più facile da ottenere, in quanto dipende dall'**organizzazione del lavoro interno all'azienda** e può essere gestita al meglio, mentre il primo può essere difficile da conseguire, se i lavoratori abitano lontani gli uni dagli altri.

Occorre inoltre prevedere una **soluzione di emergenza** nel caso in cui il lavoratore che ha messo a disposizione l'auto abbia la necessità, per un qualunque motivo, di lasciare in anticipo (prima della fine del turno) il luogo di lavoro, perché ovviamente non è possibile lasciare senza servizio gli altri lavoratori.

### 3.4 I servizi a chiamata

Tra i vari sistemi STDC, quelli più rilevanti nell'ambito del trasporto collettivo, finalizzato al generale soddisfacimento della domanda di mobilità (escludendo cioè i casi in cui il trasporto riguarda un'utenza specifica, come ad esempio le navette aziendali) sono i servizi a chiamata, definiti in questo modo in quanto l'utente, per usufruire del servizio, deve prenotare il viaggio.

Esistono diverse **tipologie** di servizi a chiamata, le più importanti sono le seguenti:

- taxi collettivo: il percorso è definito a priori, con fermate (a richiesta) in punti precisi;
- servizio porta-a-porta (denominato dial-a-ride): il percorso è definito in linea di massima, varia di volta in volta in base alle esigenze degli utenti;
- servizio verso poli attrattori (molti a uno): il servizio porta gli utenti, raccolti in vari punti origine, verso un unico polo attrattore (molte origini, un'unica destinazione);
- servizio da poli attrattori (uno a molti): servizio opposto a quello precedente, distribuisce gli utenti da un'unica origine a varie destinazioni.

Il **taxi collettivo** è il servizio che assomiglia maggiormente a un servizio collettivo tradizionale, avendo un percorso definito (rappresentabile in modo schematico), quindi è particolarmente adatto ad aree a domanda debole, sostanzialmente per sostituire gli autobus, che in questa situazione non sono redditizi (uno schema esemplificativo è riportato nella figura 5); allo stesso tempo, avendo i veicoli impiegati caratteristiche simili a quelle di un'auto (comodità, numero di posti limitato), rende l'esperienza di viaggio simile a quella di un taxi normale, quindi il servizio è in grado di attirare l'utenza orientata verso il mezzo individuale, che in questo caso è disposta a rinunciare all'uso dell'auto privata.

Possono essere implementate **diverse linee di taxi collettivo**, con interscambi tra ciascuna di esse, andando a formare una vera rete di trasporto collettivo. Questo sistema può essere adottato anche per sostituire il servizio tradizionale nelle ore di morbida,

sempre nel caso di domanda debole (mentre nelle ore di punta, quando la domanda è più forte, rimane la linea di autobus tradizionale).

Invece, per sostituire i servizi di trasporto collettivo tradizionali nelle ore notturne, è opportuno adottare i **servizi porta-a-porta**, dato che generalmente, in questa fascia oraria, la quantità di utenti è limitata, pertanto è preferibile garantire la massima accessibilità possibile.

I servizi a chiamata possono essere adottati anche nel caso in cui sia necessario **integrare il servizio tradizionale**, nelle ore di punta, se quest'ultimo è saturo e non riesce a soddisfare completamente la domanda. Questo potrebbe favorire ad esempio una parte di utenti che magari è costretta, utilizzando i servizi tradizionali, a cambiare più mezzi, oppure a percorrere dei tratti a piedi in quanto il trasporto collettivo non è prossimo all'origine o alla destinazione; in questo modo si sgravano le linee di trasporto collettivo, inoltre può essere attratta una parte di utenza nuova, dai sistemi di trasporto individuali.

Quindi i servizi a chiamata possono essere impiegati non solo in aree a domanda debole, ma anche **in aree con una domanda consistente**, per integrare le linee tradizionali di autobus, tram e metropolitana (in questo caso si può scegliere una qualunque tipologia di servizio, dipende dall'obiettivo da perseguire), anche per servire particolari categorie di utenti, ad esempio disabili, che non possono o faticano ad utilizzare il trasporto collettivo tradizionale.

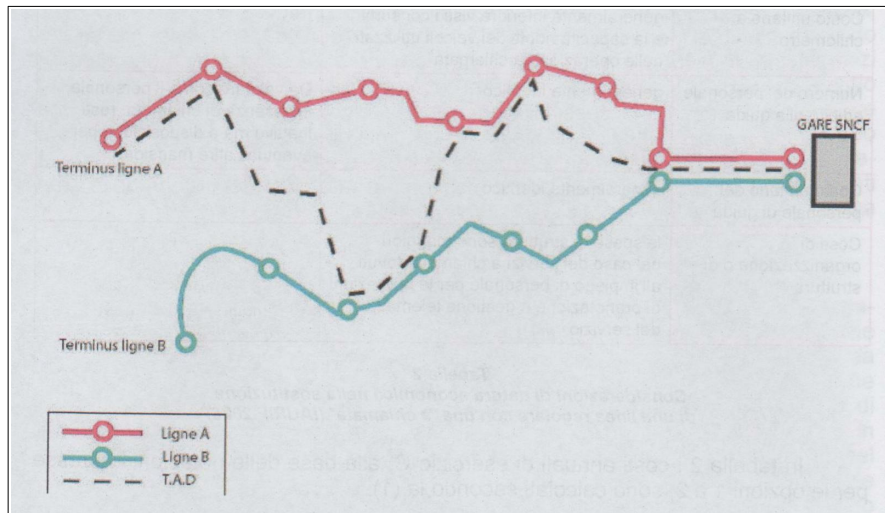


Figura 5: Esempio di sostituzione di due linee tradizionali con un servizio a chiamata (fonte: “Trasporto Pubblico Locale” di G. Corona, D. C. Festa)

Le tipologie di servizio “*molti a uno*” e “*uno a molti*” si applicano in contesti particolari, generalmente in ambito di periferia, in cui sono presenti tante origini e un’unica destinazione (viceversa per gli spostamenti in senso opposto); ad esempio, per collegare una zona di campagna, caratterizzata da insediamenti abitativi dispersi, con la città si può realizzare un servizio a chiamata di questo tipo tra l’area e la stazione ferroviaria o metropolitana (il polo di attrazione, in questo caso) più vicina. In città difficilmente si trovano condizioni di questo tipo, in quanto normalmente si ha una dispersione sia delle origini sia delle destinazioni.

In generale, per fare in modo che il servizio sia attrattivo, devono essere garantiti una modalità di prenotazione agevole, un adeguato comfort di viaggio e una buona relazione con le altre modalità di trasporto, cioè deve essere formata **un’unica rete di trasporto collettivo**, con interscambi facilmente accessibili.

Riguardo la **modalità di prenotazione**, quella classica è per via telefonica, essendo l’unica disponibile negli anni passati; attualmente, è molto più facile adottare la prenotazione per via informatica, sia per una maggiore facilitazione e immediatezza nell’uso da parte degli utenti, sia per una gestione più semplice del sistema, tuttavia la prenotazione via telefono deve essere comunque garantita, per l’utenza che non è in grado di utilizzare i sistemi informatici (ad esempio gli anziani).

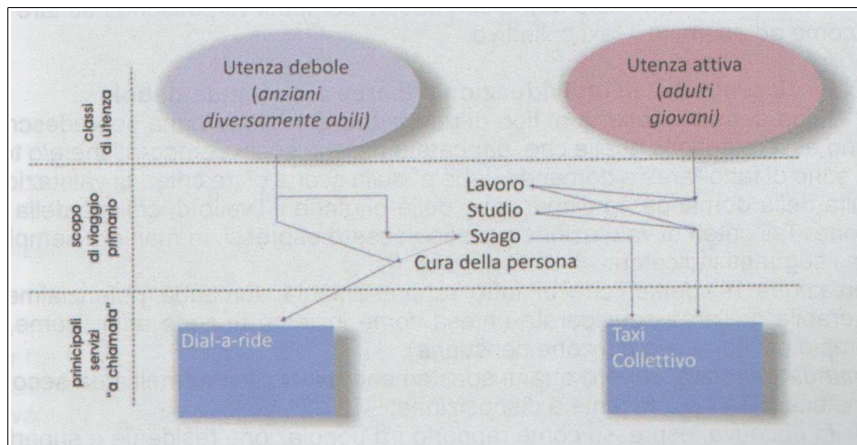


Figura 6: Relazioni tra tipo di utenza, motivo del viaggio e tipo di servizio a chiamata scelto (fonte: "Trasporto Pubblico Locale" di G. Corona, D. C. Festa)

### 3.5 Impatti dei sistemi innovativi

I servizi collettivi dedicati permettono di ottenere diversi **vantaggi**, a livello sociale ed economico:

- possibilità di implementare un servizio in aree a domanda debole o nelle ore di morbida e notturne, più esiguo e a minor impatto economico rispetto ai sistemi tradizionali ma comunque sufficientemente efficace per soddisfare la domanda;
- possibilità di servire zone, anche in città, non coperte dal trasporto collettivo tradizionale, inoltre questi servizi possono integrare il trasporto collettivo stesso, rendendo possibili relazioni che altrimenti richiederebbero diversi cambi di mezzi;
- possibilità, per gli utenti, di rinunciare al possesso dell'auto privata (o eventualmente possederne una invece di 2 o più), con eliminazione di tutti i costi fissi;
- riduzione del numero di auto presenti sul territorio, sia per quanto riguarda la circolazione sia per le aree di sosta (in relazione alla tipologia di sistema adottato);

- generale miglioramento della qualità dell'ambiente e della vita, soprattutto nelle città e nelle aree afflitte da congestione stradale;
- accesso alla mobilità garantito a tutte le persone, anche quelle che, per motivi fisici, economici o sociali, non possono disporre e guidare un veicolo, che sarebbero quindi impossibilitate a spostarsi.

Bisogna comunque tenere in considerazione anche gli **impatti** derivanti dall'adozione dei sistemi innovativi (STDC).

Per quanto riguarda la mobilità urbana e la **congestione stradale**, gli impatti non sono definibili a priori. Considerando il car-sharing, in linea di principio, se tutti gli utenti che attualmente utilizzano l'auto privata venissero dirottati sul car-sharing, i flussi di traffico rimarrebbero invariati, in quanto si avrebbe lo stesso numero di auto sulla rete stradale (l'unica differenza riguarderebbe la proprietà dei veicoli, in carico alla società che gestisce il sistema invece che agli utenti, ma essi manterrebbero comunque lo stesso tasso di occupazione).

Diversi studi comunque dimostrano, sia per il car-sharing tradizionale (su cui sono presenti numerosi studi) sia per quello a flusso libero (su cui il numero di studi è più limitato, si cita ad esempio il caso studio sulla città di Basilea<sup>11</sup>, in Svizzera), il traffico in realtà si riduce, in quanto il non possesso dell'auto di proprietà induce a un **uso più consapevole del mezzo individuale**, solo quando è veramente indispensabile, mentre per gli spostamenti abituali (che prima sarebbero stati anch'essi compiuti con l'auto) si prediligono gli altri modi (trasporto collettivo, piedi, bicicletta).

A tal proposito gli studi evidenziano anche che nella maggior parte dei casi **chi utilizza il car-sharing possiede anche l'abbonamento al trasporto collettivo**, quindi è portato ad utilizzare entrambi i sistemi. Questo risultato non è scontato, in quanto potenzialmente il car-sharing potrebbe attirare utenti dal trasporto collettivo, andando ad aumentare le percorrenze in auto e di conseguenza peggiorando le condizioni di traffico; al momento questo possibile sviluppo non è evidenziato dagli studi condotti nelle città europee, dove il car-sharing è la forma di mobilità condivisa più diffusa.

---

<sup>11</sup> Si veda "Measuring the car ownership impact of free-floating car-sharing - A case study in Basel, Switzerland" di H. Becker, F. Ciari, K. W. Axhausen.

Nel caso del ride-sharing, invece, si evidenzia il fatto che negli Stati Uniti, dove questa tipologia di mobilità condivisa è la più diffusa, **questi servizi stanno sottraendo utenti**, oltre che dal trasporto stradale individuale, anche **dal trasporto collettivo e dai modi individuali non motorizzati** (piedi e bicicletta). Due studi americani, uno per la città di Boston<sup>12</sup> (che analizza l'intera area metropolitana) e uno per la città di New York<sup>13</sup> (limitato al distretto commerciale di Manhattan) evidenziano che negli ultimi anni il traffico è aumentato, sia riguardo il numero di veicoli sia riguardo le distanze percorse da ciascuno, e questo è dovuto ai servizi di ride-sharing, che hanno sottratto utenti a tutti i modi di trasporto (taxi compresi).

Il motivo di questo cambiamento di abitudini da parte degli utenti non è dovuto a un motivo economico (nello studio di Boston si evidenzia che in generale il trasporto collettivo ha tariffe più basse rispetto al ride-sharing), ma a una questione di **maggiore comodità e affidabilità**, in quanto questi servizi permettono di muoversi a qualsiasi ora (anche di notte) e anche in zone periferiche, in cui solitamente il trasporto collettivo non è sviluppato a un livello adeguato.

In effetti, uno degli scopi del ride-sharing (così come del car-sharing) dovrebbe essere facilitare gli spostamenti di ultimo miglio, dall'ultima fermata del trasporto collettivo a destinazione (o viceversa), e da zone esterne alla città, invece dagli studi emerge che questa teoria è stata disattesa, in quanto il ride-sharing ormai tende a sostituire completamente il trasporto collettivo (da servizio complementare è diventato servizio sostitutivo).

Questo può generare un **circolo vizioso**, in quanto se il trasporto collettivo perde un certo numero di utenti, esso viene tagliato, incentivando anche gli altri utenti a cambiare modo, fino alla completa sparizione; si otterrebbe quindi una situazione in cui il trasporto collettivo è azzerato e l'intera domanda di mobilità è affidata ai servizi di mobilità condivisa.

Quando sono stati introdotti i servizi di car-sharing e ride-sharing, il dibattito ha riguardato anche la possibilità che questi sistemi possano, in futuro, **sostituire**

---

12 Si veda "A Survey of Ride-Hailing Passengers in Metro Boston" di S. R. Gehrke, A. Felix, T. Reardon, commissionato da MAPC Boston.

13 Si veda "Empty Seats, Full Streets - Fixing Manhattan's Traffic Problem" di B. Schaller.

**completamente il trasporto collettivo tradizionale.** Questa possibilità era sostenuta soprattutto dai promotori di tali sistemi.

Uno studio dell'ITF (International Transport Forum), condotto sulla città di Lisbona<sup>14</sup>, ha analizzato diversi possibili scenari con riduzione o totale eliminazione del trasporto collettivo. Il risultato ha evidenziato che **la viabilità**, in una città grande ma comunque non paragonabile alle grandi metropoli del mondo, **non può reggere la presenza di tutti i veicoli necessari per trasportare gli utenti del trasporto collettivo**, nemmeno nel caso in cui i veicoli siano condivisi contemporaneamente (cioè nello stesso tempo), quindi contengano più di un utente (car-pooling).

Questo risultato, che può apparire scontato, è importante per la definizione dei sistemi di trasporto in una città, in modo che sia sempre garantito l'equilibrio giusto tra mobilità collettiva e individuale. Ad esempio, un possibile incentivo a non utilizzare il car-sharing (o ride-sharing) in completa sostituzione del trasporto collettivo può essere l'adozione di sconti sugli abbonamenti di quest'ultimo per chi usa questi servizi, come fatto nella città di Ulm (Germania) nel 2009, quando è stato introdotto il car-sharing<sup>15</sup>.

Infine, a livello **sociale**, è sempre necessario garantire dei servizi basati sul trasporto collettivo, in quanto esiste sempre una parte di **utenza che non può mettersi alla guida dei veicoli**, in modo permanente (per non possesso della patente di guida o per ridotta mobilità fisica) o in modo temporaneo (ad esempio per stato di alterazione psicofisico dovuto ad alcolici o altre sostanze), che rischierebbero l'esclusione sociale (cosa ovviamente non accettabile).

Quindi è necessario sempre prevedere dei sistemi a chiamata, come il taxi collettivo, oppure anche sistemi come il ride-sharing e il car-pooling (in cui in tale situazione l'utente può essere solo un passeggero), che in questo caso svolgono la funzione del taxi, possono essere utili per questa parte di domanda. Il car-sharing invece non permette questa versatilità di utilizzo, pertanto non può essere l'unico sistema su cui si basa la mobilità in una determinata area.

---

14 Si veda "Urban Mobility System Upgrade - How shared self-driving cars could change city traffic" di ITF.

15 Si veda "What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm" di J. Firnkorn, M. Müller.



# **CAPITOLO 4**

## **IMPLEMENTAZIONE DEI SISTEMI INNOVATIVI**

Dopo aver analizzato i vari sistemi di trasporto innovativi, si cercano ora le soluzioni migliori per poterli applicare nei vari casi di distribuzione territoriale degli insediamenti descritti nei capitoli precedenti, con lo scopo di soddisfare la parte di 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 in ciascuno dei tipi di territorio si considerano unicamente i sistemi innovativi, dando per scontato che il sistema di trasporti tradizionali (dalle autolinee fino alle metropolitane e ferrovie) sia già completo, anche se in molti casi reali non è così (le reti infrastrutturali sono in continua espansione). Inoltre non si considera l'aumento di capacità stradale, in linea teorica necessario in presenza di una specifica domanda, o comunque di congestione, in parte perché si vuole cercare di ridurre l'uso dei veicoli stradali, limitandone quindi il numero, in parte perché si ipotizza che non vi sia lo spazio per interventi di questo tipo (non è possibile, al giorno d'oggi, sventrare interi quartieri cittadini per realizzare strade di grande capacità).

### **4.1 Grandi città**

I sistemi di mobilità condivisa trovano una facile applicazione nelle grandi città, in quanto l'elevato numero di spostamenti garantisce buoni livelli di utenza, che permette una redditività tale da recuperare i costi d'investimento.

Il trasporto collettivo è sviluppato in modo da coprire sostanzialmente tutta l'area urbana, quindi non esistono zone non raggiungibili, però ci sono alcune fasce orarie, soprattutto di notte e nelle ore di morbida, in cui i servizi sono ridotti o totalmente assenti; inoltre nelle città buona parte degli spostamenti viene effettuata mediante l'uso dell'auto privata, anche quando il trasporto collettivo è efficace.

Gli STDC nelle grandi città hanno quindi una duplice **funzione**:

1. coprire le fasce orarie in cui il trasporto collettivo non è pienamente funzionale;
2. attrarre la maggior quantità di utenza dal trasporto individuale motorizzato, in modo da rendere gli spostamenti (individuali) più sostenibili, dal punto di vista sociale e ambientale.

Le possibili configurazioni degli STDC, non alternative tra loro, sono:

- un servizio di car-sharing a flusso libero esteso a tutta l'area urbana, in modo da garantire a qualunque ora ogni tipo di relazione all'interno della città;
- un servizio a chiamata di tipo taxi collettivo, con percorsi e orari predeterminati, lungo le relazioni in cui il trasporto collettivo è meno efficace, eventualmente funzionante solo nelle ore di morbida giornaliera;
- un servizio porta-a-porta (dial-a-ride) per le ore notturne, sempre in alternativa al trasporto collettivo, ma in questo caso con percorsi dettati dalle esigenze degli utenti, in modo che non debbano percorrere lunghi tratti a piedi o attendere alle fermate (problemi di scarsa sicurezza percepita nelle ore di buio).

In particolare, è importante che il car-sharing **sottragga utenza quasi esclusivamente dalla mobilità individuale motorizzata, non dal trasporto collettivo tradizionale**, per non aumentare il numero di auto in circolazione e quindi il traffico stradale. In alcuni casi di sovraccarico della rete di trasporto collettivo si può considerare di alleggerire le linee più critiche puntando sul car-sharing, ma questo deve essere limitato eventualmente a delle relazioni particolari, ad esempio se sono necessari più cambi di mezzi, così si ha un vantaggio diretto anche per l'utenza. In ogni caso questa soluzione non deve essere generalizzata, altrimenti aumenterebbe la congestione stradale nelle ore di punta, quando anche sulle strade il carico è massimo.

Riguardo le **ore notturne**, in alcune città esistono linee notturne (di autobus), sulle direttrici principali, però coprono comunque solo una piccola porzione dell'area urbana, quindi la restante parte della domanda, comunque limitata, può essere coperta dal car-sharing e dai servizi a chiamata.

I **servizi a chiamata** devono essere sempre garantiti, sia di giorno (nelle situazioni in cui il trasporto collettivo è limitato) che di notte, per l'utenza che non può mettersi alla guida dei veicoli. Inoltre occorre prevedere **servizi per i disabili**, sicuramente presenti nelle grandi città, che siano **diversificati** rispetto ai normali servizi a chiamata, in modo da avere dei veicoli allestiti appositamente per le esigenze specifiche di questa categoria di utenti.

## 4.2 Città medio-piccole

Nelle città medio-piccole la mobilità condivisa gioca un ruolo più importante rispetto alle grandi città, in quanto il trasporto collettivo è generalmente meno sviluppato, soprattutto verso i quartieri più periferici. Inoltre, in questo caso, diventano importanti i flussi in entrata e in uscita dalla città, rispetto ai flussi interni, con la stazione ferroviaria come punto nevralgico di tutti gli spostamenti.

In questo caso si possono adottare le seguenti **soluzioni**:

- car-sharing a flusso libero per la zona centrale, in modo da avere un servizio capillare e di uso immediato (senza necessità di prenotazione) verso i punti più attrattivi;
- car-sharing basato su stazioni fisse, per servire le aree più periferiche, dove la domanda è ridotta e può essere concentrata in punti particolari, ed eventualmente i centri abitati più prossimi;
- servizio a chiamata tipo taxi collettivo, di supporto al trasporto collettivo nelle ore di morbida (come in precedenza);
- servizio a chiamata tipo porta-a-porta, per le ore notturne (come in precedenza).

I differenti modelli di car-sharing permettono di ottimizzare la gestione, rivolgendosi a differenti tipi di domanda. Quello a flusso libero è il più flessibile, dal punto di vista degli utenti, però necessita di un cospicuo numero di veicoli, quindi è indicato per la zona centrale, dove si concentra maggiormente la domanda di mobilità. Il car-sharing a stazioni fisse invece è più economico da gestire, per il minor numero di mezzi, ma più limitativo per l'utenza, poiché richiede la prenotazione; è adatto a spostamenti più lunghi e più sistematici (o comunque pianificabili in un tempo precedente), quindi per servire le zone più periferiche, non coperte dal trasporto collettivo, ed eventualmente i centri abitati esterni. Il car-sharing a stazioni fisse può essere utilizzato anche per collegare tra loro i vari poli d'interesse della città (con le stazioni poste in prossimità di essi), rivolgendosi quindi a un'utenza specifica.

Se la città ha uno sviluppo spaziale limitato, cioè se le distanze da percorrere sono limitate, si può decidere di implementare **un unico tipo di servizio car-sharing**, scegliendo in base alle esigenze specifiche del caso in questione.

I **servizi a chiamata** sono necessari, come per il caso della grande città, per gli utenti impossibilitati a guidare veicoli (ovviamente possono essere utilizzati da tutti, senza limitazioni). In questo caso si può decidere se adottare entrambe le tipologie o solo un servizio porta-a-porta, se la domanda per il servizio è limitata; è possibile anche gestire il sistema con entrambe le tipologie ma sotto un'unica gestione, ad esempio impiegando gli stessi mezzi, oppure cambiare tipologia in determinate fasce orarie (taxi collettivo di giorno e servizio porta-a-porta di notte).

Per i disabili occorre scegliere se organizzare un servizio dedicato, oppure se **integrarlo in un unico servizio a chiamata** rivolto a tutti; in questo secondo caso i mezzi non avrebbero l'allestimento ottimale per l'utenza normale (è necessario molto spazio a bordo per i disabili, che per gli altri risulterebbe sprecato), ma può essere un compromesso (dal punto di vista economico e di gestione) se la quantità di persone con disabilità è ridotta.

### 4.3 Centri abitati minori

I 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 strade non hanno lo spazio per ospitare i parcheggi. Anche la mobilità condivisa basata sull'auto è di difficile applicazione, in quanto la scarsità di domanda rende poco redditizio il sistema. Si può quindi prevedere, ad esempio, un sistema di **bike-sharing**, più economico e più indicato per brevi spostamenti, anche nell'ottica di rendere il centro del paese pedonale, quindi eliminando completamente la circolazione delle auto (salvo per mezzi particolari, per emergenze o per trasporto disabili).

Il car-sharing può trovare applicazione a livello **regionale**, per collegare tra loro i vari centri abitati vicini. Si può prevedere un sistema a stazioni fisse, integrato con la rete di trasporto collettivo regionale (postazioni situate nei pressi delle stazioni ferroviarie), per permettere gli interscambi con le altre modalità di trasporto (ad esempio per raggiungere le città più grandi), evitando di ricorrere all'auto privata. In alternativa può essere adottato un sistema di taxi, o noleggio auto con conducente, se l'utenza predilige questo tipo di servizio (da valutare la convenienza economica, eventualmente intervenendo con la regolamentazione delle tariffe).

I **servizi a chiamata** possono essere utili, sempre a livello regionale, come collegamento tra paesi, soprattutto in assenza di trasporto collettivo. In questo caso occorre scegliere la forma più adatta alla situazione:

1. sistema tipo taxi collettivo, con pianificazione di percorsi, fermate e orari, se il servizio sostituisce il trasporto collettivo tradizionale;
2. sistema porta-a-porta, se si tratta, in presenza di trasporto collettivo tradizionale, di un servizio di supporto per una domanda molto limitata, oppure in particolari momenti (ore notturne);

3. sistema molti a uno, per collegare diversi centri abitati verso una stazione d'interscambio del trasporto collettivo (stazione ferroviaria, fermata di metropolitana o tramvia), con cui si prosegue verso destinazione.

I servizi a chiamata sono necessari anche per i disabili; in questo caso è opportuno che il servizio sia porta-a-porta, data l'esigua domanda (eventualmente può essere organizzato anch'esso a livello regionale, coprendo più centri abitati), con i mezzi che ovviamente hanno la possibilità di raggiungere qualunque luogo, anche in caso di restrizioni alla circolazione.

#### **4.4 Aree con insediamenti diffusi**

In queste aree è difficile pianificare un sistema di trasporto collettivo, in quanto la diffusione degli insediamenti porta ad avere dei flussi di traffico dispersi su tutta l'area, con quantità che in alcuni casi richiedono dei **trasporti di massa** (ferrovie, metropolitane o tramvie). La realizzazione di questi sistemi è ostacolata dalla scarsità di spazio disponibile, a meno di realizzazioni in sotterranea, molto onerose da sostenere dal punto di vista economico. In ogni caso, se si tratta di un'area metropolitana (cioè un'area periferica di una grande città), è fondamentale che ci sia almeno un collegamento con la città più vicina (di riferimento) mediante un'infrastruttura su ferro, su cui convogliare i maggiori flussi di spostamento.

Il trasporto interno all'area si deve basare sui possibili **interscambi con la rete su ferro**, in seguito occorre individuare le direttrici principali e verificare se sussistono le condizioni per organizzare una rete di trasporto collettivo tradizionale, che può essere costituita da autolinee o eventualmente anche da reti su ferro, tramvie o metropolitane (se i flussi sono elevati).

In seguito si deve stabilire come garantire la mobilità nelle **aree a domanda più debole**, in cui il trasporto collettivo tradizionale non trova applicazione. È possibile adottare qualunque soluzione di STDC, in base alle necessità specifiche della zona,

escludendo il ride-sharing (noleggio auto con conducente), per evitare i problemi indicati in precedenza.

Il **car-sharing** può essere una buona soluzione, sia come supporto agli altri servizi sia come sistema principale nelle aree a domanda debole, tuttavia sorge il problema della scelta di tipologia da adottare, non immediata.

In linea teorica, per insediamenti diffusi in modo omogeneo sul territorio, si può pensare a un sistema a flusso libero, però l'investimento iniziale per la dotazione di mezzi è ingente, quindi può non essere sostenibile per una domanda comunque limitata.

Il sistema basato su stazioni fisse sembra più indicato, anche se in questo caso la scelta del posizionamento delle stazioni può essere complicata. Si può adottare, ad esempio, il criterio di uniformità spaziale, cioè disporre le stazioni secondo una maglia regolare, in modo da garantirne una a distanza pedonale da qualunque punto (non oltre i 500 m).

Si potrebbe prevedere anche un sistema **misto**, a flusso libero per quanto riguarda il parcheggio del veicolo (può trovarsi ovunque, senza stazioni fisse) ma con il sistema di prenotazione, in modo da limitare il numero di veicoli da immettere in servizio. È comunque necessario il riposizionamento dei veicoli, in quanto è improbabile che la loro disposizione all'interno della zona servita rimanga uniforme durante l'utilizzo, quindi un costo in più da considerare (dovuto agli autisti), almeno fino alla diffusione della guida autonoma su larga scala.

Anche i **servizi a chiamata** possono essere utili, come forma alternativa al trasporto collettivo tradizionale. Può essere adottata una qualunque tipologia, in base alle necessità:

- taxi collettivo, con percorsi e orari pianificati, come alternativa al trasporto collettivo tradizionale (autolinee) nelle aree a domanda più debole;
- servizio porta-a-porta, per zone in cui risulta difficile stabilire a priori dei percorsi, data l'elevata distribuzione spaziale dei flussi;
- servizio molti a uno, per collegare zone diverse, in sequenza, a una stazione d'interscambio di una linea ferroviaria o metropolitana.

Naturalmente è possibile adottare più di una tipologia, in base alle caratteristiche di una zona specifica. Può risultare più semplice, anche a livello di gestione, implementare sistemi diversi, suddividendo l'area in settori con esigenze uniformi, purché siano garantiti facili interscambi tra un sistema e l'altro, senza perdite di tempo, altrimenti l'auto privata rimane il mezzo più comodo e versatile per effettuare gli spostamenti.

## 4.5 Aree rurali

Per le **aree rurali**, in cui la domanda di mobilità è debole, i servizi a chiamata risultano ideali, come alternativa al trasporto collettivo tradizionale. In base alla disposizione degli insediamenti e alla configurazione della rete stradale, si possono adottare le seguenti soluzioni:

- taxi collettivo, per le aree in cui gli insediamenti sono disposti lungo direttrici ben definite, come nel caso delle zone di montagna, oppure se la rete stradale non è molto sviluppata, quindi anche in questo caso si possono individuare delle direttrici su cui impostare il percorso;
- servizio porta-a-porta, per le zone in cui la rete stradale è più ramificata (come capita solitamente nelle aree pianeggianti), oppure se gli insediamenti sono sparsi sul territorio (invece che concentrati in pochi punti).

In ogni caso, data la limitata esigenza di spostamenti, è opportuno prevedere le corse **solo in caso di reale necessità**, se un utente ha bisogno di spostarsi, altrimenti è meglio annullarle; deve essere previsto quindi il sistema della prenotazione (via telefono o via computer/dispositivi elettronici).

Inoltre è preferibile non fissare a priori la **posizione delle fermate**, per agevolare la limitata utenza nello spostamento, anche nel caso di servizio con taxi collettivo, che quindi diventa simile a un servizio porta-a-porta (con il percorso comunque vincolato a un dato itinerario). Se l'utenza assume un certo rilievo, ad esempio in vallate alpine in cui sono presenti insediamenti con una densità abitativa relativamente alta, si può



comunque considerare di fissare le fermate in punti precisi (eventualmente anche gli orari).

Il **car-sharing** presenta la problematica, comune al trasporto collettivo, della scarsità di domanda, per cui può essere implementato solo se riesce a sostenersi dal punto di vista economico.

È possibile se all'interno dell'area si trova un polo d'interesse (ad esempio che abbia rilevanza turistica, quindi in grado di attrarre utenza dalle aree circostanti) e se l'area si trova vicino a un centro abitato con una domanda maggiore (che può compensare le perdite dell'area a domanda debole).

In questo caso risulta più conveniente un servizio di **taxi** (o noleggio auto con conducente), su un'area vasta, in modo che le (eventualmente poche) richieste siano soddisfabili con un numero limitato di mezzi, che rispetto al car-sharing presenta il vantaggio di non necessitare del riposizionamento dei veicoli (per la presenza dell'autista), con la possibilità che un mezzo presti servizio anche in zone molto distanti tra loro.

Da valutare anche la possibilità di istituire un servizio di **car-pooling**, tra i residenti dell'area rurale, cioè prevedendo che il veicolo sia messo a disposizione da parte di uno di loro. La situazione risulta vantaggiosa nell'organizzazione, visto che generalmente in queste realtà le persone si conoscono, e anche riguardo la compagnia di viaggio (non c'è il rischio di avere compagni di viaggio sconosciuti e quindi non graditi); occorre tuttavia verificare se esiste una domanda di mobilità comune (persone che si spostano lungo lo stesso percorso con gli stessi orari), per andare a sostituire una parte di veicoli individuali, altrimenti non ha senso istituire il servizio.

## **4.6 Riepilogo delle tipologie territoriali e dei sistemi innovativi attuabili**

Per chiarire meglio la casistica di soluzioni adottate, e avere un quadro d'insieme di tutti i contesti territoriali, è opportuno riassumere quanto detto finora mediante delle tabelle.

Le tabelle sono relative a ciascuna tipologia di territorio, e riportano le caratteristiche degli insediamenti, la domanda di mobilità, l'offerta del sistema dei trasporti (elementi contenuti nel capitolo 1) e le possibili soluzioni per gli STDC (discusse nel presente capitolo). Nel prossimo paragrafo è riportato un confronto tra le varie tipologie territoriali, relativamente alle soluzioni adottabili per gli STDC.

<b>GRANDI CITTÀ</b>	
<b>Caratteristiche insediamento</b>	Struttura policentrica, attrattività della zona centrale e delle aree con poli d'interesse. La ricchezza determina la locazione delle attività, dal centro verso la periferia.
<b>Domanda di mobilità</b>	<p>Sono presenti due tipi di domanda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>interna</u>, distribuita in modo omogeneo in tutta l'area urbana;</li> <li>• <u>esterna</u>, costituita dagli utenti che provengono dalla periferia; si tratta di una domanda molto consistente e concentrata in punti ben definiti, corrispondenti alle stazioni e parcheggi d'interscambio.</li> </ul> <p>La domanda in uscita è molto inferiore rispetto a quella in entrata.</p>
<b>Offerta sistema dei trasporti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>rete portante</u> formata da linee di trasporto di massa (metropolitane lungo le direttrici principali, tramvie lungo le altre direttrici);</li> <li>• <u>rete di adduzione</u> formata prevalentemente da linee di autobus capillari, in modo da coprire tutte le zone della città, è utilizzata prevalentemente dai residenti (componente interna della domanda);</li> <li>• <u>ferrovie urbane</u>, corrispondenti ai prolungamenti delle linee regionali all'interno della città, sono utilizzate prevalentemente dagli utenti provenienti da fuori città (componente esterna della domanda).</li> </ul> <p>Alcune città, soprattutto quelle più recenti (in America e Asia), hanno una rete stradale molto sviluppata, con autostrade urbane e viali di scorrimento.</p>
<b>Implementazione STDC</b>	<p>I servizi collettivi dedicati hanno un duplice scopo:</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 dei servizi dedicati sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>car-sharing a flusso libero</u> su tutta l'area urbana;</li> <li>• <u>taxi collettivo</u>, per le ore di morbida, a sostegno del TPL;</li> <li>• <u>servizio a chiamata porta-a-porta</u>, per le ore notturne.</li> </ul> <p>Possibilità di organizzare un servizio a chiamata esclusivo per i disabili.</p>

Tabella 8: Caratteristiche e soluzioni per le grandi città

<b>CITTÀ MEDIO-PICCOLE</b>	
<b>Caratteristiche insediamento</b>	Struttura monocentrica, con attività economiche e poli d'attrazione concentrati nel centro. Nelle zone periferiche si trovano residenze e attività meno redditizie. Possibile presenza, anche in aree esterne, di edifici storici particolari.
<b>Domanda di mobilità</b>	Domanda caratterizzata da diverse componenti rilevanti: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>interna</u>, con origine e destinazione in città;</li> <li>• <u>entrante</u>, con origine fuori città, dai centri urbani circostanti;</li> <li>• <u>uscite</u>, riguarda l'utenza attratta dalla grande città più vicina (capoluogo regionale).</li> </ul>
<b>Offerta sistema dei trasporti</b>	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: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>linee di forza</u>, lungo le direttrici principali, di tram, filobus e, più raramente, metropolitana;</li> <li>• <u>linee di adduzione</u> di autobus, a servizio delle zone più periferiche, utilizzate prevalentemente dai residenti (domanda interna o uscente).</li> </ul> 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.
<b>Implementazione STDC</b>	Per far fronte alle molteplici forme di domanda di mobilità si possono adottare le seguenti soluzioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>car-sharing a flusso libero</u> per la zona centrale, per avere un servizio capillare e di uso immediato verso i poli attrattivi;</li> <li>• <u>car-sharing a stazioni fisse</u> per le aree più periferiche ed eventualmente i centri abitati più prossimi;</li> <li>• <u>taxi collettivo</u>, per le ore di morbida, a sostegno del TPL;</li> <li>• <u>servizio a chiamata porta-a-porta</u>, per le ore notturne.</li> </ul> In caso di sviluppo spaziale limitato della città, è possibile unificare il car-sharing in un'unica tipologia. Per i disabili è possibile organizzare un servizio a chiamata dedicato, oppure integrare la funzione nel servizio generale.

Tabella 9: Caratteristiche e soluzioni per le città medio-piccole

<b>CENTRI MINORI</b>	
<b>Caratteristiche insediamento</b>	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 (scuole, ospedali, centri commerciali). Non è presente la distinzione centro-periferia, tipica delle città, tuttavia possono esserci differenze tra centri urbani diversi, in funzione dello sviluppo del sistema dei trasporti (presenza di stazioni ferroviarie, fermate extraurbane della metropolitana, autostrade).
<b>Domanda di mobilità</b>	La domanda è formata principalmente da due componenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>in uscita</u>, verso centri di maggiori dimensioni, riguarda buona parte dell'utenza, per motivi di lavoro, studio o svago;</li> <li>• <u>interna</u>, limitata prevalentemente alle persone non occupate (pensionati, casalinghe).</li> </ul> La domanda in entrata è molto limitata, può essere rilevante se sono presenti dei poli d'interesse particolari, attrattivi anche per l'area circostante.
<b>Offerta sistema dei trasporti</b>	Sistema dei trasporti limitato ai collegamenti tra centri urbani diversi (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.
<b>Implementazione STDC</b>	Spostamenti interni effettuati a piedi o in bicicletta, possibilità di introdurre un sistema di bike-sharing. Servizio di car-sharing (o in alternativa taxi) adottabile a scala regionale, per collegare vari centri abitati. Servizi a chiamata adottabili in varie forme (taxi collettivo, porta-a-porta, sistema multi-a-uno), in relazione alle caratteristiche dell'area da servire e alla presenza di servizi di massa con cui interscambiare.

Tabella 10: Caratteristiche e soluzioni per i centri minori

<b>INSEDIAMENTI DIFFUSI</b>	
<b>Caratteristiche insediamento</b>	<p>Popolazione residente molto elevata ma densità abitativa bassa, con insediamenti diffusi su un'ampia superficie territoriale.</p> <p>Possibile presenza di poli d'interesse di grande attrattività (ad esempio centri commerciali); inoltre ci possono essere insediamenti industriali, trasferitisi dalle grandi città alle zone periferiche, e aree naturali di rilievo (parchi) nelle aree libere.</p>
<b>Domanda di mobilità</b>	<p>La domanda è presente in tutte le componenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>in uscita</u>, verso le città, distribuita in modo omogeneo sul territorio;</li> <li>• <u>in entrata</u>, in corrispondenza dei poli d'interesse, degli insediamenti industriali (per i lavoratori) e delle aree naturali (per motivi di svago);</li> <li>• <u>interna</u>, generata dai residenti verso i poli attrattivi, la cui posizione è determinante per i flussi di traffico.</li> </ul>
<b>Offerta sistema dei trasporti</b>	<p>Rete stradale piuttosto fitta, anche se spesso la funzionalità delle strade non è adeguata alle caratteristiche degli insediamenti.</p> <p>Il trasporto collettivo è generalmente poco sviluppato, con l'eccezione dei collegamenti tra le città maggiori, e limitato ad autolinee lungo le direttrici principali.</p>
<b>Implementazione STDC</b>	<p>Sistema dei trasporti difficile da pianificare, a causa degli squilibri tra le varie zone.</p> <p>Necessità di integrare i servizi tradizionali, disposti lungo le direttrici principali, e gli STDC, a servizio di tutta l'area.</p> <p>Car-sharing adatto al contesto, soprattutto in presenza di grande domanda, ma occorre valutare il modello più opportuno, che può essere eventualmente un sistema misto (a flusso libero ma con sistema di prenotazione), per ottimizzare le risorse.</p> <p>Servizi a chiamata adottabili in varie forme (taxi collettivo, porta-a-porta, sistemi multi-a-uno), eventualmente implementando sistemi di tipo diverso nelle varie zone, in base alle necessità.</p>

Tabella 11: Caratteristiche e soluzioni per gli insediamenti diffusi

<b>AREE RURALI</b>	
<b>Caratteristiche insediamento</b>	<p>Aree con una bassa densità abitativa e un scarso numero di insediamenti, dispersi sul territorio. Si possono distinguere due tipologie, in funzione delle caratteristiche del territorio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>aree di pianura</u>, con una popolazione esigua, situata in piccoli paesi o in edifici sparsi nella campagna;</li> <li>• <u>aree di montagna</u>, in cui gli insediamenti sono disposti lungo le valli e la popolazione è concentrata in alcuni paesi, che possono anche avere una discreta densità.</li> </ul>
<b>Domanda di mobilità</b>	<p>La domanda interessa prevalentemente i collegamenti coi centri abitati maggiori, in cui si trovano le attività commerciali e i servizi; riguarda quindi la componente in uscita, mentre quella in entrata è nulla, per l'assenza di poli d'attrazione. Gli spostamenti interni non sono rilevanti, per le limitate distanze.</p> <p>Molto rilevante, per le aree di montagna, la componente turistica, 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>La rete stradale può avere uno sviluppo particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>molto fitta</u>, con strade che collegano tra loro tutti gli insediamenti, è il caso delle aree di pianura;</li> <li>• <u>limitata</u>, 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 trasporto collettivo è limitato o inesistente, 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>
<b>Implementazione STDC</b>	<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>• <u>taxi collettivo</u> per aree con direttrici ben definite (zone di montagna), oppure con rete stradale poco sviluppata (zone di pianura);</li> <li>• <u>servizio porta-a-porta</u> 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). Possibilità di fissare orari e fermate in caso di aumento della domanda.</p> <p>Car-sharing difficilmente adottabile, in alternativa si può prevedere un servizio taxi.</p> <p>Possibile organizzazione del car-pooling tra utenti privati.</p>

Tabella 12: Caratteristiche e soluzioni per le aree rurali

#### 4.6.1 Confronto tra le varie soluzioni dei sistemi innovativi adottati

I sistemi innovativi trovano diversa applicazione nei vari contesti territoriali, in base alle caratteristiche della domanda.

Nelle **città** il trasporto collettivo è basato sui sistemi tradizionali, quindi è necessario coprire solamente i “buchi” lasciati da esso, in genere riguardanti l’aspetto temporale (ore di morbida e notturne), mentre quello spaziale diventa rilevante solo nei casi in cui il TPL non sia pienamente sviluppato, cosa che si verifica prevalentemente nelle città medio-piccole.

In 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.

Il **car-sharing** offre anch’esso supporto al TPL, nelle ore in cui è ridotto oppure nelle ore di punta per ridurre i carichi sulle linee più affollate e per agevolare relazioni che col TPL sono più scomode (necessità di cambiare più mezzi). Il modello migliore in area urbana è quello a flusso libero, mentre nelle zone periferiche, o fuori città, dove la domanda è più limitata e concentrata è favorevole il modello a stazioni fisse.

Nei **centri minori** gli spostamenti urbani diventano secondari, in quanto effettuabili a piedi o in bicicletta per le ridotte distanze. Diventano più rilevanti i collegamenti tra i vari centri e con le città più vicine.

In questo contesto il **car-sharing** può essere adottato, col modello a stazioni fisse, se sussiste una domanda adeguata per renderlo economicamente conveniente, altrimenti si deve ripiegare su un servizio tradizionale di taxi.

I **servizi a chiamata** possono essere adottati secondo varie forme, in base alle caratteristiche del territorio, con particolare rilievo al sistema multi-a-uno, adatto se è presente nella regione un sistema di trasporto di massa, a cui convogliare i flussi provenienti da tutta la regione.

Per le **aree rurali** valgono gli stessi sistemi dei centri minori, con l’estremizzazione della domanda debole, che comporta, per quanto riguarda i **servizi a chiamata**, la



limitazione delle corse alle reali necessità dell'utenza; il **car-sharing** invece non è applicabile ed è sostituito dal **taxi** o da un sistema di **car-pooling** organizzato tra privati.

Nelle **aree con insediamenti diffusi** si possono trovare un po' tutti i sistemi tipici sia delle città sia delle aree rurali, in quanto la disposizione degli insediamenti, ma soprattutto della popolazione, può generare situazioni paragonabili agli altri casi territoriali. I servizi di trasporto devono essere progettati di conseguenza, eventualmente adottando soluzioni diverse in varie zone, in modo da rispondere nel modo più efficace alla domanda locale.

## 4.7 Esempi di servizi car-sharing

I servizi di car-sharing sono ormai presenti in buona parte delle città del mondo, dalle grandi metropoli fino alle città più piccole, in cui spesso sono attivi diversi operatori (anche multinazionali, nelle grandi città, è il caso ad esempio di *Car2Go*), con la possibilità per gli utenti di scegliere il modello di servizio più conveniente (a stazioni fisse o a flusso libero).

Meno diffusi sono invece i sistemi di car-sharing nelle zone periferiche delle città, nelle aree rurali e, più in generale, nelle zone a domanda debole. Questo è dovuto, come già indicato in precedenza, alla scarsità di utenza in queste aree, a una maggior difficoltà nell'organizzare il servizio (posizionamento efficace delle stazioni di prelievo, dotazione di un parco veicolare considerevole) e a una bassa redditività, che difficilmente è in grado di coprire l'investimento iniziale.

In Italia il servizio di car-sharing più diffuso sul territorio è quello di *E-Vai*, in Lombardia, un sistema a stazioni fisse, caratterizzato da un parco veicoli esclusivamente elettrico. Le aree servite, in cui sono presenti le stazioni, sono:

- le principali città, tra cui Milano e i capoluoghi di Provincia;
- l'area metropolitana a nord di Milano (zona compresa tra Milano e Como in direzione nord-sud, tra Busto Arsizio e Vimercate in direzione ovest-est);

- la zona a est di Milano (tra Magenta, Abbiategrasso e Vigevano);
- l'area tra Varese e il Lago Maggiore;
- Valtellina.

Non sono coperte invece le zone della pianura a sud di Milano e le provincie di Bergamo e Brescia.

I veicoli devono essere prenotati, per poterli prelevare, e possono essere lasciati, al termine del viaggio, in stazioni differenti rispetto a quelle di prelievo. Questo è utile, ad esempio, per dirigersi in aeroporto, situazione in cui è problematico utilizzare l'auto privata per il problema di doverla lasciare in parcheggio per molti giorni (con costi notevoli).

Altri servizi presenti in Italia, in aree esterne alle città, sono:

- Alto Adige: sistema basato su stazioni fisse, simile a quello presente in Lombardia, con poche stazioni ma diffuse equamente su tutto il territorio della provincia di Bolzano;
- Trentino: sistema basato su stazioni fisse, con l'obbligo però di riconsegnare il veicolo nella stessa stazione di prelievo, anche a causa dello scarso numero di stazioni (presenti solo a Trento, Rovereto e Riva del Garda), che lo rendono poco efficace su distanze medio-elevate;
- Salento: sistema a flusso libero con dotazione di veicoli elettrici, che permette di effettuare spostamenti nella penisola salentina fino a Lecce e Brindisi.

## 4.8 Esempi di sistemi a chiamata

Attualmente sono attivi molti servizi a chiamata, in Italia e nel mondo, in vari contesti territoriali (dalle grandi città alle aree a domanda debole), per diverse funzioni. Nelle grandi città sono impiegati a supporto del trasporto collettivo tradizionale, nelle ore diurne, costituendo una modalità alternativa, oppure nelle ore notturne in completa sostituzione di esso. Nelle aree a domanda debole invece la loro introduzione ha avuto due possibili motivazioni: la necessità di avere un servizio in un'area in cui fino a quel

momento non ne erano disponibili, oppure la sostituzione di linee di trasporto collettivo tradizionale, caratterizzate da una scarsa utenza e quindi una scarsa convenienza economica.

Di seguito vengono illustrati alcuni esempi di sistemi a chiamata in Italia.

#### **4.8.1 Milano**

A Milano è presente un servizio notturno, chiamato *Radiobus di Quartiere*, che opera in alcuni quartieri della città (in prevalenza quelli periferici) e permette di effettuare spostamenti al loro interno. Il percorso è flessibile, in base alle richieste degli utenti, a parte alcuni punti fissi (tra cui i capolinea), in cui sono noti gli orari. La prenotazione non è indispensabile, in quanto si può fermare il veicolo al passaggio, tuttavia è fortemente raccomandata, altrimenti il servizio non è garantito (il percorso è stabilito secondo le necessità degli utenti). Il servizio funziona tutti i giorni, ma soltanto dalle 22.00 alle 2.00, quindi non è coperta la seconda parte della notte.

Milano dispone anche di una rete di trasporto collettivo notturna (si tratta autolinee che sostituiscono i servizi giornalieri, tra cui le metropolitane), quindi il servizio a chiamata in questo caso non è esclusivo, nella fascia oraria serale/notturna.

Al di fuori della città sono presenti altri due servizi a chiamata. Il primo, chiamato *Smart Bus*, effettua servizio nei comuni di Rozzano, Basiglio e Pieve Emanuele; il secondo, denominato *Chiama Bus*, collega Peschiera Borromeo con la metropolitana a San Donato e la stazione ferroviaria di Segrate. Si tratta in entrambi i casi di servizi in aree a domanda più debole rispetto alle altre zone della cintura milanese, in cui i servizi di trasporto collettivo tradizionali sono meno sviluppati. Sono coperte le fasce orarie diurne (non c'è servizio notturno) e sono effettuati solo nei giorni feriali.

## 4.8.2 Genova

Genova è una città molto particolare, caratterizzata da una orografia molto accidentata, che comporta dislivelli notevoli tra un quartiere e l'altro. A causa di questo, la rete stradale è formata da molte vie ripide e tortuose, che non consentono lo svolgimento di servizi di autolinee tradizionali, per la difficoltà di movimento dei mezzi. Sono stati sviluppati dunque diversi servizi alternativi, elencati di seguito:

- *servizi integrativi*: si tratta di servizi effettuati (da operatori differenti) con veicoli di dimensioni ridotte, più agili nel percorrere strade tortuose; a parte questa differenza, i servizi si svolgono con percorsi e orari prestabiliti, come le autolinee tradizionali;
- *Drinbus*: servizio a chiamata attivo in tre zone della città (Valpolcevera, Valbisagno, Nervi), disponibile nei giorni feriali in orario diurno, con prenotazione (è comunque possibile accedere anche senza prenotazione, purché ci siano posti liberi a bordo); il percorso è predefinito in linea di massima, con fermate precise, ma modificabile in base alle richieste degli utenti;
- *Taxibus*: servizio a chiamata effettuato con vetture taxi, con lo scopo di coprire tutte le aree della città, anche quelle a domanda debole in cui non sono previsti servizi di trasporto collettivi tradizionali. Anche questo servizio è attivo durante il giorno nei giorni feriali (non nei giorni festivi); in questo caso la prenotazione è obbligatoria, in quanto i taxi effettuano le corse solo in seguito a richieste da parte degli utenti (è possibile eventualmente usufruire di corse prenotate da altri, fino a esaurimento posti in vettura).

Per tutti i servizi elencati è possibile utilizzare i biglietti a normale tariffa urbana (per il *Drinbus* è previsto un supplemento, non obbligatorio, che fornisce alcuni vantaggi), quindi si tratta di servizi ben integrati tra loro, che costituiscono delle scelte efficaci (da parte dell'utente) nella definizione della modalità di spostamento.

Non sono invece previsti servizi nelle ore notturne.

### **4.8.3 Provincia di Piacenza**

In Val Nure (Piacenza) è stato attivato il primo servizio a chiamata in Italia, a fine anni '80. Sviluppato dal Politecnico di Milano, si trattava di un primo esperimento per un servizio non convenzionale in area montana, in cui al posto delle tradizionali autolinee è stato introdotto un servizio, svolto con minibus (da 15-20 posti), organizzato in base alle richieste degli utenti (tramite prenotazione telefonica), senza un percorso stabilito a priori (rispettando comunque l'area operativa definita per il servizio).

Il servizio ha avuto successo, infatti è stato mantenuto negli anni successivi, e nel 2011 è stato riorganizzato, in base alla attuale tipologia e distribuzione territoriale della domanda nei principali comuni della valle (a seguito di indagini sulla popolazione residente), per migliorare ulteriormente l'offerta e ottimizzare le risorse.

Nello stesso periodo (tra il 2008 e il 2014) sono state condotte indagini approfondite anche nelle valli adiacenti, per attivare servizi di trasporto a chiamata in ambito montano analoghi a quello della Val Nure. I servizi sono stati attivati e sono ora disponibili nelle valli di Gropparello, Morfasso, Bobbio e Coli.

### **4.8.4 Valle d'Aosta**

Nei pressi della città di Aosta è attivo un servizio a chiamata interurbano, a servizio delle aree montane circostanti, in cui il trasporto collettivo tradizionale è limitato. L'area coperta riguarda il comune di Aosta e quelli limitrofi, fino a una distanza di 15 km dal capoluogo. Il servizio è differenziato in due tipologie:

- *Allô Bus*: si tratta di un servizio svolto in orario diurno, con orari e percorsi variabili, in base alle richieste degli utenti, che vengono elaborate tramite un sistema informatizzato per programmare tutte le corse necessarie;
- *Allô Nuit*: è un servizio a chiamata serale e notturno, disponibile dalle 21.00 alle 5.30, che coinvolge sempre la medesima area. Il sistema è piuttosto grezzo, in quanto non esiste la prenotazione a un centralino ma si deve chiamare

direttamente l'autista del mezzo (ogni vettura ha il suo numero di telefono), rendendo la fruizione del servizio più macchinosa e meno certa (per l'utenza). Nei giorni di venerdì, sabato e prefestivi sono disponibili 3 vetture, negli altri giorni una sola. Gli utenti vengono prelevati in corrispondenza delle fermate TPL<sup>16</sup>.

---

16 Sul sito della SVAP (“[www.svap.it](http://www.svap.it)”), la società che gestisce i servizi a chiamata in Valle d'Aosta, è riportato solo il servizio *Allô Nuit*, quindi può essere che attualmente il servizio *Allô Bus* non sia più attivo (sul sito del comune di Aosta invece sono riportati entrambi).

## CAPITOLO 5

# SVILUPPO DEI VEICOLI AUTONOMI<sup>17</sup>

La tecnologia maggiormente in fase di sviluppo al momento attuale, potenzialmente in grado di rivoluzionare il mondo dei trasporti, è l'**automatizzazione dei veicoli stradali**. L'obiettivo è ottenere dei veicoli che si muovano autonomamente, senza l'intervento di una persona, eliminando quindi il conducente. Questo, oltre a consentire un modo diverso di spostarsi in auto (per quanto riguarda il trasporto individuale), permetterebbe di adottare soluzioni innovative per il trasporto pubblico, maggiormente efficienti, impossibili da ottenere in condizioni normali. Andrebbe inoltre ad incidere sull'organizzazione delle aziende di trasporto pubblico; ad esempio, il fatto di poter avere degli autobus senza conducenti consente, a parità di risorse investite, di aumentare il numero di corse e quindi le frequenze.

Lo sviluppo delle nuove tecnologie si è indirizzato verso due tipologie di sistemi:

- veicoli autonomi (o "*autonomous vehicles*"), corrispondenti alle normali auto attualmente in circolazione sulle reti stradali, rese autonome;
- sistemi di derivazione ferroviaria, in cui vengono curate non solo le caratteristiche del veicolo, ma anche quelle dell'infrastruttura che devono percorrere (eventualmente da adeguare, se non possiedono i requisiti richiesti).

Entrambe le tipologie di veicoli mirano ad ottenere lo stesso obiettivo, cioè la **guida autonoma dei veicoli su qualunque tipo di strada**, ma si basano su principi diversi.

Il primo tipo (figura 7) riguarda l'automatizzazione delle auto, da ottenere **aggiungendo progressivamente vari sistemi automatici ausiliari al guidatore**, fino ad ottenere la guida completamente automatizzata. Questo sistema si concentra quindi esclusivamente sui veicoli, **lasciando l'infrastruttura invariata** (la rete stradale attuale), quindi

---

<sup>17</sup> I contenuti di questo capitolo sono tratti dal testo "Trasporto Pubblico Locale" di G. Corona e D. C. Festa.

mantenendo alcune vulnerabilità (le cause degli incidenti stradali non sono attribuibili solo all'errore umano del conducente, ma anche allo stato dell'infrastruttura e del veicolo). In ogni caso è il sistema preferito dalle case automobilistiche e dalle società che sviluppano software, su cui si stanno concentrando maggiormente, anche se la tecnologia non ancora disponibile per l'utilizzo diffuso (attualmente sono in commercio veicoli con alcuni dispositivi di assistenza alla guida, mentre per l'automazione completa si dovrà attendere ancora diversi anni).



Figura 7: "Autonomous vehicle" (fonte: Wikipedia)

Il secondo tipo di veicoli derivano dai sistemi ettometrici (in particolare gli APM, Automated People Moover), quindi utilizzano una tecnologia già sviluppata e disponibile. In questo caso diventa rilevante anche la **condizione dell'infrastruttura**, in quanto il sistema segue la logica ferroviaria di **sicurezza intrinseca** (fail safe), operando in modo da eliminare ogni possibile vulnerabilità e imprevisto. Questo comporta il problema della **protezione della via**, per evitare eventuali intrusioni (infatti i sistemi ettometrici sono sistemi a guida vincolata con protezione totale della sede). L'obiettivo è **ridurre progressivamente la protezione della via**, fino ad arrivare alla circolazione su strada in promiscuità con gli altri mezzi.

Attualmente esistono dei sistemi PRT (Personal Rapid Transit), con veicoli simili a possibili auto autonome, circolanti su piste realizzate appositamente (di asfalto o cemento) ma assimilabili a strade normali (cioè la guida è libera, non è vincolata), tuttavia richiedono necessariamente la protezione completa della sede. Alcuni esempi



sono i PRT dell'aeroporto di Heathrow (Londra), sviluppato dalla società Ultra Global PRT (di cui nella figura 8 è riportata una rappresentazione figurativa), e Masdar city (Abu Dhabi).



Figura 8: Sistema PRT (fonte: Ultra Global PRT)

Un passo avanti è stato fatto nel progetto europeo CityMobil2<sup>18</sup> (condotto a partire dal 2014), che ha portato allo sviluppo del sistema ARTS (Automated Road Transport System), con veicoli simili a quelli impiegati nei PRT ma con l'obiettivo di portarli sulle strade normali, mantenendo comunque la logica di sicurezza intrinseca. Questo sistema sarà trattato in dettaglio successivamente.

La figura 9 mostra l'obiettivo comune a cui le due tipologie di veicoli tendono, cioè **portare ovunque la guida autonoma**. Questo obiettivo è perseguito in modo differente, nel primo caso (*autonomous vehicles*) **aggiungendo sempre più aiuti tecnologici** al conducente fino al punto da renderlo inutile, nel secondo caso (ARTS) **riducendo progressivamente la protezione della via di corsa**, mantenendo immutate, con le nuove tecnologie, le condizioni di sicurezza.

---

<sup>18</sup> Si possono trovare informazioni su questo progetto sul sito della Commissione Europea, all'indirizzo "cordis.europa.eu/project/rcn/105617/factsheet/it".

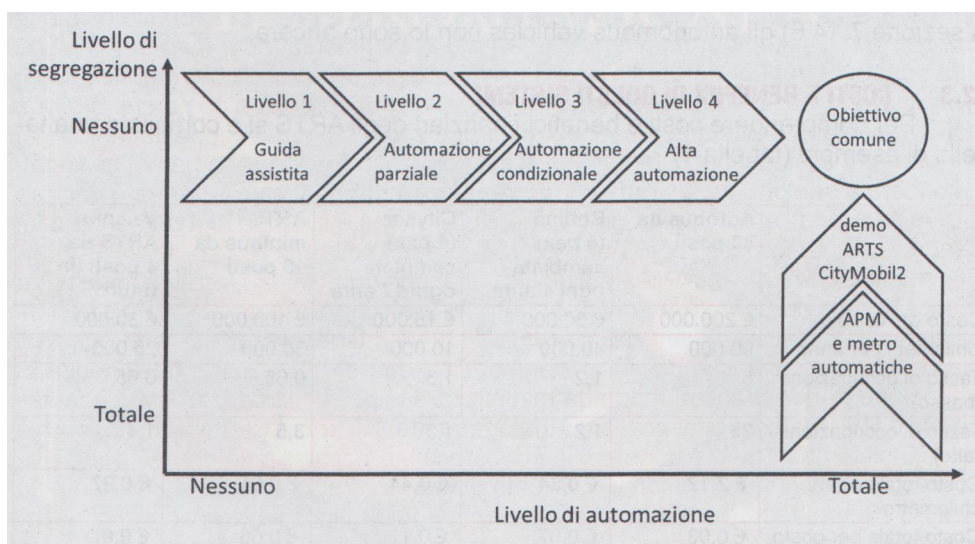


Figura 9: Percorsi differenti verso l'obiettivo comune dell'automazione (fonte: “Trasporto Pubblico Locale” di G. Corona, D. C. Festa)

## 5.1 Livelli di automazione

Per identificare le caratteristiche dell'automazione di un veicolo la SAE (Society of Automotive Engineers) ha introdotto, nel 2013, una classificazione, la quale risulta essere attualmente quella più adottata a livello internazionale. Essa è caratterizzata dalle seguenti **proprietà**:

- identifica 6 livelli di automazione, dall'assenza di automazione (livello 0) all'automazione completa (livello 5);
- a ogni livello corrisponde una definizione precisa riguardo gli aspetti funzionali e tecnologici dell'automazione;
- la progressione tra i vari livelli è definita in modo categorico attraverso di essi;
- è pratica e versatile, può essere utilizzata in numerose discipline, anche al di fuori dell'ingegneria, evitando possibili fraintendimenti;
- indica quale ruolo deve svolgere il conducente (umano), nella guida del veicolo, quando viene implementato un sistema automatico.

I livelli si distinguono in modo particolare nel passaggio dal livello 2, in cui il conducente deve occuparsi di buona parte della guida, al livello 3, in cui è il sistema

automatico a guidare il veicolo, anche se non in modo completo. Per ogni livello sono indicati gli elementi che lo caratterizzano, da cui derivano le capacità del sistema di guida autonoma, da un minimo a un massimo potenziale di intervento. L'automazione è basata sulla funzionalità di interi sistemi, o combinazione di essi, non sono previsti allarmi o interventi temporanei, in quanto il ruolo sia del sistema automatico sia del conducente devono essere sempre ben definiti.

Questa classificazione è puramente descrittiva e tecnica, non appartiene alla normativa, pertanto non costituisce alcun obbligo di legge e non implica alcun vincolo nell'introduzione di questi sistemi nel mercato. I veicoli possono anche essere dotati di sistemi di automazione diversi, e possono quindi operare in differenti livelli di guida autonoma.

In dettaglio, i **livelli** di automazione sono:

- livello 0: nessuna automazione, la guida è effettuata esclusivamente dal conducente;
- livello 1: guida assistita, un sistema interviene su acceleratore/freno o sullo sterzo (eventualmente su entrambi) in particolari condizioni determinate dall'ambiente in cui si trova il veicolo, lasciando comunque tutte le funzioni di controllo al conducente;
- livello 2: automazione parziale, uno o più sistemi intervengono su acceleratore/freno e sterzo in base alle informazioni derivanti dall'ambiente esterno, lasciando comunque il controllo del veicolo al conducente;
- livello 3: automazione condizionale, il veicolo è guidato dal sistema automatico per lunghi tratti, in cui il conducente può eventualmente distrarsi, tuttavia deve essere pronto ad acquisire il controllo completo della situazione a seguito della richiesta di intervento da parte del sistema;
- livello 4: alta automazione, il veicolo è autonomo sull'intera rete stradale, è necessario l'intervento del conducente solo in situazioni particolari (ad esempio in condizioni meteo avverse);
- livello 5: automazione completa, tutte le funzioni sono svolte dal veicolo, il conducente non è più necessario.

La tabella 13 riassume i vari livelli, con l'indicazione delle caratteristiche di ciascuno, in particolare quale grado di automazione viene raggiunto.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
<b>Human driver monitors the driving environment</b>						
<b>0</b>	<b>No Automation</b>	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
<b>1</b>	<b>Driver Assistance</b>	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>2</b>	<b>Partial Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	<b>System</b>	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>						
<b>3</b>	<b>Conditional Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	<b>System</b>	Human driver	Some driving modes
<b>4</b>	<b>High Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	<b>System</b>	Some driving modes
<b>5</b>	<b>Full Automation</b>	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	<b>All driving modes</b>

Tabella 13: Livelli di automazione (fonte: SAE International)

Nella tabella 13 vengono utilizzati alcuni termini, definiti come segue:

- **Dynamic Driving Task**: si intende una serie di decisioni dinamiche (prese al momento, una dopo l'altra) adottate durante la guida, di tipo operativo (accelerazione, freno, sterzo, controllo della strada e degli altri veicoli) e tattico (reazione agli eventi, determinazione del momento in cui cambiare linea, uso degli indicatori di bordo), ma non di tipo strategico, cioè relativo alla scelta della destinazione e delle eventuali tappe intermedie;
- **Driving Mode**: si intende un tipo di scenario di guida in cui sono richiesti determinati Dynamic Driving Task (ad esempio guida in autostrada, guida ad alta velocità di crociera, guida nel traffico).

Tra i vari livelli, il più controverso è il livello 3, in quanto il conducente, che può distrarsi e svolgere altre attività (pur mantenendosi sempre disponibile, quindi non può

dormire), deve essere in grado di **riprendere il controllo completo del mezzo** quando la guida autonoma non è più possibile, **dopo un opportuno preavviso**.

Il problema è proprio l'opportuno preavviso, cioè stabilire quanto tempo è necessario al conducente per acquisire il controllo completo della situazione; secondo alcuni studi questo tempo varia da 10 a 40 secondi, che per un veicolo che viaggia a 120 km/h in autostrada significa percorrere da 360 metri a 1.5 km. Il problema è stabilire con oltre un chilometro di anticipo che il veicolo non è più in grado di procedere autonomamente; se questa controversia non si risolverà è possibile che l'evoluzione dell'automazione possa **saltare il livello 3** e passare direttamente dal livello 2 al livello 4.

## 5.2 I sistemi ARTS

I sistemi ARTS (figura 10) sono costituiti da due componenti, il veicolo automatizzato e l'infrastruttura dedicata (anche se spesso con il termine ARTS si identifica solamente il veicolo, soprattutto se vengono utilizzate strade già esistenti). La differenza, rispetto ad altri sistemi dello stesso tipo (i PRT), riguarda proprio l'infrastruttura, in quanto non è necessario avere la separazione completa della sede, quindi è possibile utilizzare le strade esistenti. Il vantaggio è evidente, il sistema può essere implementato sulla rete stradale attuale, senza dover realizzare una nuova infrastruttura, con vantaggi economici, di occupazione del territorio e di impatto visivo.

È necessario comunque assicurarsi che l'infrastruttura sia adeguata, per garantire condizioni di sicurezza; per questo viene eseguita, in fase di progettazione, un'analisi del rischio (descritta nel seguito), per valutare eventuali situazioni di pericolo e adottare le adeguate contromisure, che possono consistere nella modifica dell'infrastruttura, nell'impedire l'accesso a determinate categorie di utenti o nella riduzione delle prestazioni del veicolo (nello specifico la velocità).



Figura 10: Veicolo ARTS (fonte: CityMobil2)

### 5.2.1 Applicazioni dei sistemi ARTS

Anche se pensati come mezzi di trasporto pubblico, gli ARTS possono essere adatti anche per un uso individuale e privato (anche se in questo caso bisogna definire come avviene il controllo del veicolo).

Nell'ambito del **trasporto pubblico**, gli ARTS possono svolgere diverse **funzioni**, ad esempio:

- bus automatici ad alta velocità e capacità, su corridoi riservati;
- servizi di taxi collettivo automatizzati in aree a domanda media, per l'ultimo miglio, a complemento del servizio di trasporto collettivo;
- servizi di taxi individuale, con veicoli a due posti, per aree a domanda debole, per raggiungere le fermate della rete di trasporto collettivo.

Queste funzioni possono anche essere accorpate, tramite l'**implotonamento dei veicoli**, in modo da formare un "treno" nei tratti di percorso in comune, per poi dividersi per raggiungere le destinazioni finali (viceversa nel caso di partenza da origini diverse). Questa soluzione eliminerebbe il "fastidio" del cambio di mezzo, un elemento che attualmente incide in modo determinante nella scelta modale.

Inoltre, con la guida automatica, i mezzi possono andare a prendere l'utente successivo autonomamente, risolvendo quindi il problema della dispersione delle origini e delle destinazioni.

## 5.2.2 Analisi del Rischio e comportamento in caso di incidente

Nell'ambito del progetto europeo CityMobil2 è stata sviluppata una **procedura di Analisi del Rischio**, per integrare gli ARTS in ambito urbano garantendo la sicurezza<sup>19</sup>. Sono coinvolti cinque attori: le autorità cittadine, quelle responsabili della sicurezza (solitamente il ministero dei trasporti), i promotori del progetto, i costruttori del sistema di trasporto e l'operatore del sistema.

La procedura, derivata dallo standard ferroviario, è articolata in **8 passi**:

- 1: Definizione del progetto;
- 2: Identificazione preliminare dei rischi, partendo dalla definizione degli obiettivi di sicurezza per definire successivamente quali sono effettivamente i rischi;
- 3: Analisi di sicurezza e progetto del sistema, si deve dimostrare che il malfunzionamento di un componente tecnologico non comporti un rischio per il sistema e per gli utenti;
- 4: Verifica di funzionalità e sicurezza del sistema progettato, sia in condizioni normali sia con qualche componente fuori uso;
- 5: Descrizione dell'operatività del sistema, in tutte le condizioni ambientali e climatiche;
- 6: Verifica della preparazione dell'operatività (preparazione dei manuali per gli operatori, dei programmi di addestramento e manutenzione);
- 7: Approvazione della sicurezza nei casi operativi;
- 8: Test degli scenari operativi (collaudo).

---

<sup>19</sup> La descrizione dell'Analisi del Rischio contenuta in questo paragrafo è sintetica, pur contenendo tutti gli elementi. La versione completa si può trovare sul testo "Trasporto Pubblico Locale" di G. Corona e D. C. Festa, oppure sul rapporto finale del progetto CityMobil2, pubblicato sul sito della Commissione Europea citato in precedenza ("[cordis.europa.eu/project/rcn/105617/factsheet/it](http://cordis.europa.eu/project/rcn/105617/factsheet/it)").

Un esempio di come considerare il rischio riguarda la **visuale libera**. Il veicolo è dotato di vari sensori, ciascuno con un proprio campo visivo (definito dall'angolo di apertura e dalla distanza massima di visione), per identificare gli ostacoli presenti lungo il percorso. Gli **ostacoli fissi** (cioè sempre presenti nella medesima posizione) non sono un problema, in quanto possono essere mappati, quindi il veicolo conosce la loro presenza anche senza vederli; per quelli **mobili** (ad esempio i pedoni) invece è necessario che il veicolo sia in grado di vederli per tempo, cioè a una distanza sufficiente per garantire l'arresto con una frenata normale o di emergenza (in caso di spazi ridotti). La visione degli ostacoli mobili però dipende dalla **posizione degli ostacoli fissi**, in quanto quest'ultimi possono oscurare lo spazio retrostante, da cui potrebbe arrivarne uno mobile (può essere un ostacolo fisso un elemento di grandi dimensioni, come un edificio, ma anche uno piccolo, come un albero o una panchina). La posizione degli ostacoli fissi, in particolare la loro distanza dalla via di corsa, definisce la velocità massima che può tenere il veicolo in quella sezione di tracciato, che deve essere tale per cui sia possibile arrestare il veicolo in caso di arrivo di un ostacolo mobile dalla zona d'ombra (attenzione, è necessario ipotizzare anche la velocità dell'ostacolo in avvicinamento, con opportuno margine). Se si tratta di ostacoli fissi **rimovibili** (come alberi o elementi di arredo urbano, non edifici) si può decidere (in fase di progetto dell'infrastruttura) di procedere alla rimozione per aumentare il campo visivo, e quindi **le prestazioni del veicolo ARTS**.

Un altro problema, per i veicoli autonomi in generale, è il **comportamento in caso di incidente**. Per gli ARTS l'analisi del rischio garantisce che il veicolo non possa causare un incidente, cioè che “non abbia mai torto”, mentre in caso di torto altrui assume un comportamento che minimizza il rischio d'incidente (esempio frenata di emergenza); al contrario gli *autonomous vehicles* cercano in prima istanza di limitare il rischio d'incidente e, in secondo luogo, minimizzare le conseguenze dell'impatto con manovre “creative”.

Questo genera un **problema etico e giuridico**, ad esempio nel caso in cui queste manovre, per salvare la vita di una persona, portano alla morte di un pedone. Se questo comportamento viene adottato da un conducente alla guida del veicolo, egli può essere processato per omicidio colposo, in quanto una manovra istintiva ha causato il decesso;



se lo stesso comportamento viene adottato da un veicolo autonomo, il programmatore che ha scritto il software del veicolo può essere processato per omicidio premeditato, avendo progettato appositamente questa situazione. Considerando che un programmatore di successo realizza il software per milioni di veicoli, è praticamente certo di sostenere almeno un processo per omicidio volontario (probabilmente anche più di uno).

Si può affermare dunque che, mentre gli ARTS sarebbero in teoria **già pronti** per poter operare (ma ci sono ancora dei problemi, soprattutto a livello normativo), gli *autonomous vehicles* hanno ancora **bisogno di sviluppo**, sia dal punto di vista tecnologico sia dal punto di vista normativo e giuridico, per diffondersi su larga scala.

### 5.2.3 Integrazione urbanistica degli ARTS

Per definire il servizio svolto dagli ARTS occorre definire le **caratteristiche dell'infrastruttura** percorsa dai veicoli. Il progetto europeo CityMobil2 ha definito i livelli di condivisione delle vie tra gli ARTS e gli altri utenti della strada:

- corsie segregate: i veicoli ARTS sono gli unici autorizzati a circolare e l'infrastruttura è separata fisicamente, con barriere, in modo da evitare intrusioni. Queste corsie sono opportune per sistemi ad alta capacità (con plotoni di veicoli in grado di trasportare fino a 40000 passeggeri/ora), senza limite massimo di velocità (a partire da 30 km/h);
- corsie dedicate: la presenza dei veicoli ARTS è indicata chiaramente mediante segnaletica orizzontale, ma è comunque consentito l'uso della corsia ad altri utenti della strada, purché siano rispettate determinate regole (diritto di precedenza per i veicoli ARTS, divieto di fermata o di sorpasso, mantenere una distanza di sicurezza dal veicolo ARTS che precede). Queste corsie sono le più indicate per i sistemi di ultimo miglio, in quanto garantiscono il miglior compromesso prestazioni-costi, mantenendo un livello di sicurezza adeguato e un inserimento urbanistico poco impattante;

- corsie condivise: si tratta di corsie stradali normali, in cui i veicoli ARTS circolano in modo promiscuo con gli altri utenti della strada, mantenendo tuttavia una velocità molto bassa (per motivi di sicurezza), al punto da disturbare gli altri veicoli. Pur essendo le più economiche da realizzare (è sufficiente adattare le vie già presenti, con interventi modesti), è opportuno utilizzarle solo in mancanza di alternative.

Un problema nell'inserimento degli ARTS nelle strade di quartiere riguarda la **sosta**, in quanto essa **non è compatibile** con questi sistemi, per due motivi: primo, i veicoli in sosta impediscono al sistema automatico la visione della presenza di eventuali pedoni sul marciapiede, costringendo gli ARTS a ridurre drasticamente la velocità (per sicurezza nell'eventualità che un pedone attraversi la strada); secondo, gli ARTS sono programmati in modo che si fermino nel caso in cui ci sia una vettura normale davanti a loro, fermo per parcheggiare, ma non hanno la possibilità di indietreggiare, impedendo alla vettura di fare manovra e causando il blocco della strada (se a corsia unica).

Per questi motivi **è necessario eliminare la sosta lungo le corsie percorse da ARTS**; questo può essere un problema notevole durante la fase transitoria di realizzazione del servizio, in quanto i veicoli privati attualmente in circolazione (che non si riducono in questa fase) si trovano con meno spazio per parcheggiare (e per circolare, nel caso di chiusura di alcune corsie stradali), aggravando i problemi di congestione già presenti. A regime invece il numero di veicoli privati dovrebbe diminuire, quindi il problema non si pone più.

#### 5.2.4 Limiti degli ARTS

**La diffusione degli ARTS è ancora frenata da problemi normativi**, dato che i codici della strada di diversi paesi non consentono la circolazione di veicoli senza conducente. Oltre a questioni relative alla tecnologia e alla sicurezza ad essa connesse, ci sono altri problemi di natura politica, infatti questi sistemi sono generalmente visti come alternativi all'uso del trasporto collettivo tradizionale o dei taxi, con conseguente rischio di perdita di posti di lavoro per tassisti e conducenti di autobus.

Inoltre, se questi sistemi si rivelassero redditizi dal punto di vista finanziario, gli investitori privati sarebbero attratti ad entrare nella realizzazione e nella gestione; in questo modo si ridurrebbe l'impegno economico degli enti pubblici ma genererebbe attriti con le aziende di trasporto pubblico locale, da essi sovvenzionate.

Finché non si risolveranno tutte queste controversie, e l'orizzonte temporale al momento non è certo, l'adozione su larga scala di questi sistemi non può avvenire.

Un altro problema, che potrebbe limitare la diffusione di questi sistemi, riguarda le **caratteristiche dell'infrastruttura**. I limiti riguardano soprattutto i sistemi **PRT**, che, secondo Vuchic (2007) non riescono a raggiungere un livello di efficienza adeguato<sup>20</sup>, in quanto sono concepiti per garantire agli utenti lo spostamento su una determinata rete in un unico viaggio, senza cambi, con l'impiego di mezzi piccoli (con una capienza pari a quella di un'auto) e numerosi, per mettere a disposizione tutte le relazioni possibili. Questo però richiede un'infrastruttura **completamente segregata**, in quanto non sono ammesse interferenze di alcun genere, comportando la realizzazione di intersezioni a livelli sfalsati, oltre a stazioni di ampie dimensioni per permettere il **superamento dei veicoli** in sosta da parte di quelli che non necessitano di fermarsi (mediante una doppia corsia).

La realizzazione dell'infrastruttura comporta dunque **notevoli risorse economiche**, che non vengono recuperate dagli introiti generati dal servizio, in quanto per definizione si tratta di un sistema a bassa capacità. Questo problema non ha consentito lo sviluppo dei sistemi PRT, che, a parte qualche esperimento, non hanno visto una diffusione su larga scala (nel caso di Masdar City, dopo la prima applicazione l'idea è stata abbandonata a favore di un sistema alternativo<sup>21</sup>, mentre nel caso dell'aeroporto di Heathrow ha avuto maggiore successo, e attualmente ci sono propositi di ampliamento).

Gli ARTS dovrebbero, secondo le intenzioni, superare questo limite, in quanto l'obiettivo è **eliminare la segregazione dell'infrastruttura**, cioè fare in modo che i veicoli possano circolare sulla rete stradale ordinaria, ammettendo la possibilità (il

---

20 Questo tema è spiegato dettagliatamente nel testo "Urban Transit-Systems and Technology" di V. R. Vuchic. Da segnalare che il testo è stato pubblicato nel 2007, quando ancora non esistevano i sistemi tecnologicamente più avanzati, come gli ARTS.

21 Si veda "[web.archive.org/web/20131213234856/http://www.prtconsulting.com/blog/index.php/2010/10/16/why-has-masdar-personal-rapid-transit-prt-been-scaled-back/](http://web.archive.org/web/20131213234856/http://www.prtconsulting.com/blog/index.php/2010/10/16/why-has-masdar-personal-rapid-transit-prt-been-scaled-back/)").

rischio) di avere interferenze. Quindi è necessario, anche ai fini della sostenibilità economica, tendere all'obiettivo comune indicato in precedenza, quello di **formare un unico genere di mezzi** tra gli ARTS e gli *autonomous vehicles* di derivazione stradale. Naturalmente è possibile procedere per gradi, eliminando i vincoli uno alla volta, valutando quindi la possibilità di realizzare infrastrutture separate, limitandosi ad esempio alla separazione longitudinale (realizzazione di corsie protette), rinunciando a quella trasversale (più onerosa, richiede intersezioni a livelli sfalsati). Inoltre la separazione longitudinale può giustificarsi anche per motivi di **gestione del traffico**, come avviene anche per il TPL tradizionale. In ogni caso occorre verificare la sostenibilità del sistema nel contesto in cui è inserito, prima di realizzarlo, per evitare che risulti non efficace.

### **5.3 Applicazione della guida autonoma ai sistemi di trasporto**

La guida autonoma sarà in grado di cambiare radicalmente le modalità di trasporto, sia dal punto di vista dell'organizzazione del sistema sia per gli utenti. Per quanto riguarda il **trasporto collettivo**, già da molti anni esistono metropolitane automatiche, e non ci sarebbero ostacoli a livello tecnologico per introdurre l'automazione su tutti i treni, anche se ci sono problemi di tipo normativo riguardanti la protezione della sede (problema che non riguarda le metropolitane sotterranee), quindi il trasporto su ferro manterrà le stesse caratteristiche odierne anche negli anni a venire.

Il trasporto su strada naturalmente è quello più coinvolto dall'innovazione della guida autonoma, per i vantaggi che ne deriverebbero, pertanto è quello su cui si stanno concentrando le ricerche nel campo della tecnologia. La **guida autonoma sugli autobus** consentirebbe alle società che effettuano il servizio un risparmio notevole sulle spese del personale conducente (anche se l'inevitabile conflitto, a livello sindacale, che la soluzione comporterebbe, potrebbe essere un freno alla sua introduzione, almeno nei

primi tempi), con la possibilità di investire le risorse per ottimizzare il servizio a favore degli utenti, ad esempio aumentando il numero di mezzi in linea e quindi le frequenze, che a parità di utenza permetterebbe di utilizzare veicoli più piccoli, con risparmi anche sui costi ad essi dovuti.

Riguardo il **trasporto individuale**, esisteranno due tipi di veicoli, quelli per uso individuale e quelli in condivisione<sup>22</sup>. I primi corrisponderanno all'auto privata e saranno veicoli a guida autonoma, anche se continueranno ad avere volante e pedali per poter essere guidati manualmente, a scelta dell'utente, quindi non ci saranno sostanziali differenze coi veicoli attuali, a parte la dotazione tecnologica per l'automazione.

I secondi invece saranno i veicoli destinati all'uso collettivo, cioè gli attuali servizi di taxi, car-sharing e tutto l'ambito della sharing-mobility sarà riunito in un'unica tipologia, senza le attuali distinzioni, che non avranno più senso, in quanto in nessun caso ci sarà bisogno di un conducente a bordo. I veicoli non avranno i comandi (niente pedali e volante), quindi la guida autonoma sarà l'unica possibilità, e 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.

Questo è un fattore importante nel caso in cui il tempo a bordo venga impiegato per lavorare, 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>23</sup>. Inoltre il vantaggio a livello organizzativo sarebbe notevole, poiché la possibilità di avere dei veicoli che si muovono autonomamente permetterebbe di risolvere i problemi del riposizionamento del car-sharing, per soddisfare la domanda in zone diverse.

Occorre comunque tenere in considerazione il **problema della congestione**, in quanto se il numero di veicoli non diminuisce il traffico rimane invariato, anche con la guida autonoma (con tutti i problemi ambientali e sociali che ne derivano). Non si può puntare tutto sul riposizionamento automatico dei veicoli, per coprire le distanze economicamente irrilevanti (ma necessarie per spostare i veicoli dove c'è richiesta), che

---

<sup>22</sup> Questo scenario è previsto dallo studio "How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for Commuting" di F. Steck, V. Kolarova, F. Bahamonde-Birke, S. Trommer, B. Lenz.

<sup>23</sup> Elemento contenuto nel sopracitato studio.

oggi necessitano di conducenti (da retribuire), ma occorre pianificare e regolamentare i servizi per raggiungere la massima efficienza possibile.

# CAPITOLO 6

## APPLICAZIONE DEI SISTEMI INNOVATIVI A UN CASO REALE

Dopo aver esaminato i vari sistemi di trasporto innovativi e i loro possibili sviluppi nei diversi ambiti territoriali, in funzione delle caratteristiche degli insediamenti e della domanda di mobilità, si è deciso di procedere applicando queste soluzioni a un **caso reale**, per dare un senso pratico alle considerazioni svolte fino ad ora.

Il contesto di questa applicazione è stato scelto rinunciando alle grandi città, in cui le caratteristiche territoriali, sociali ed economiche rendono più facili le applicazioni di nuove soluzioni, per l'elevata quantità di utenza e la grande diffusione di poli d'interesse. Al contrario, una città medio-piccola è caratterizzata da una popolazione residente limitata, una domanda di mobilità più concentrata su poche direttrici verso il centro e una diffusione degli insediamenti compresa prevalentemente nel nucleo centrale, quindi è più difficile mettere in discussione i sistemi tradizionali a favore di quelli innovativi. Inoltre le grandi città trovano già da anni, ormai, diverse applicazioni di vari sistemi di mobilità condivisa, che sono in continuo sviluppo per le grandi potenzialità economiche di queste realtà; viceversa, nelle città più piccole i sistemi innovativi sono poco sviluppati, per il maggiore rischio d'investimento che spaventa gli operatori privati, risultando poco efficaci.

Si è scelto quindi come caso di studio la **città di Brescia**, una città classificabile come media rispetto agli standard italiani (circa 200000 abitanti).

Nei paragrafi seguenti è stato sviluppato un metodo per descrivere e classificare i sistemi di trasporto condivisi, necessario per effettuare confronti coi sistemi tradizionali; in seguito sono state effettuate delle proposte di progetto di sistemi innovativi nell'ambito della città di Brescia, tenendo conto delle soluzioni trasportistiche previste nel Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS), per rimanere il più possibile aderenti alla realtà.

## 6.1 Definizione delle caratteristiche di un sistema di trasporto pubblico

Per poter scegliere il servizio da sviluppare, tra diverse possibilità, è necessario disporre di parametri descrittivi che permettano di confrontare in modo omogeneo le alternative. Per i *Servizi di Trasporto Collettivo Dedicati* (STDC) basati sul mezzo individuale (car-sharing, ride-sharing, car-pooling) non esiste una procedura predefinita per effettuare questo tipo di valutazione, benché siano già stati definiti degli indicatori standard di riferimento<sup>24</sup>. È stato quindi necessario sviluppare un **metodo per caratterizzare gli STDC di tipo individuale**, utilizzando i parametri caratteristici (e disponibili nelle fonti di dati), sulla base di un metodo sviluppato per i sistemi tramviari<sup>25</sup> (ma generalizzabile a tutti i sistemi programmati). Tale metodo è stato poi riadattato, introducendo gli indicatori citati nella nota precedente, per i sistemi di car-sharing (in generale, per tutti i sistemi collettivi individuali, o non programmati). Nel seguito sono illustrati il metodo e le applicazioni sviluppate in questo lavoro.

### 6.1.1 Valutazione di un sistema tramviario

Preliminarmente, per analizzare il rendimento e la produttività di un sistema di trasporto qualunque (sia programmato sia individuale o a chiamata), occorre definire l'**area urbana di riferimento**, corrispondente all'estensione dell'area costruita contigua. Questa figura (ente morfologico) non coincide quasi mai con il perimetro amministrativo del comune di riferimento (ente amministrativo), sia nel caso delle grandi città, in quanto l'area urbana si estende senza soluzione di continuità nei comuni limitrofi, sia nel caso delle città più piccole, dato che in queste realtà spesso gli insediamenti coprono solo una parte dell'area comunale, mentre intorno si sviluppa la campagna.

24 Nel testo "Il car sharing: un'analisi economica e organizzativa del settore" di M. Mastretta, C. Burlando, sono definiti degli indicatori di valutazione, in parte utilizzati e riadattati in questa trattazione, nel cap. 4, per descrivere i sistemi di car-sharing in Italia.

25 Il metodo è sviluppato nel testo "Progetto Tram-Treno, volume 4: tecnica di base" di A. Spinosa, A. Alessandri, per classificare dal punto di vista produttivo (cioè dell'efficacia rispetto all'utenza) le reti tramviarie di alcune città, alcune delle quali sono state riportate in questa trattazione.



Un altro parametro generale è il **numero di abitanti** della città, che corrisponde a quello del comune della città stessa se il sistema si sviluppa esclusivamente all'interno dei confini comunali, altrimenti si deve sommare il numero di abitanti di tutti i comuni in cui viene effettuato il servizio.

Riguardo la valutazione specifica dei sistemi tramviari<sup>26</sup>, sono stati definiti i seguenti descrittori:

- **indice di produttività del sistema**, definito dal numero di passeggeri km anno per abitante ( $pp \cdot km \cdot anno / ab$ );
- **indice di copertura territoriale**, definito come rapporto (espresso in per mille) tra la superficie servita dalla rete (lunghezza per una fascia di 500 m per lato, corrispondente alla distanza massima che un utente è disposto a percorrere a piedi per raggiungere una stazione o una fermata.) e l'area urbana;
- **indice di densità della rete**, definito come rapporto tra la lunghezza complessiva della rete (in km) e il numero di abitanti (espresso in milioni di abitanti);
- **rendimento del sistema**, definito come il rapporto tra l'indice di produttività e l'indice di copertura territoriale.

Il rendimento del sistema, che dipende solo dai primi due descrittori, non indica se un sistema è il migliore tra quelli possibili, restituisce un valore positivo se il sistema in esercizio è adeguatamente messo in possibilità di operare a regime con elevati indici prestazionali; più è elevato questo valore meglio è sfruttato il sistema.

L'indice di densità della rete, insieme all'indice di copertura territoriale, offre una panoramica completa della reale estensione della rete rispetto al carattere insediativo della città in esame. Indici in fase (entrambi elevati o entrambi bassi) indicano una rete estesa o insufficiente in una città con densità residenziale elevata (città compatta). Indici sfasati indicano una rete che può essere:

- con un buon rapporto di densità della rete ma un basso valore di copertura territoriale, se la città è del tipo statunitense ovvero molto estesa con densità abitativa medio-bassa;

---

<sup>26</sup> Si veda la nota sopra.

- con un basso indice di densità ma un alto valore di copertura territoriale, se la linea è sì estesa ma la città ha densità molto elevata.

Nell'ambito della definizione del metodo<sup>27</sup> sono stati analizzati alcuni esempi di reti tramviarie in città europee, di dimensioni variabili,; in questo caso è utile riferirsi a quelle con circa 200000 abitanti, simili alla città di Brescia (oggetto del caso di studio), anche se è stata comunque presa in considerazione la città di Torino, utile per i confronti successivi. Nelle tabelle 14 e 15 sono riportati i dati e i valori che assumono gli indicatori appena definiti.

		CAEN	LE MANS	MULHOUSE
Numero abitanti		196'326	191'220	227'972
Area urbana	km <sup>2</sup>	108	162	173
Passeggeri giornalieri	pass/giorno	42'000	48'000	47'500
IPS	ppkm anno/ab	1'210	1'411	1'004
Lunghezza rete	km	15.5	15.4	13.2
Area servita totale	km <sup>2</sup>	15.5	15.4	13.2
ICT		143	95	76
IDR	km/milione ab	79	81	58
<b>RENDIMENTO</b>		<b>8</b>	<b>15</b>	<b>13</b>

Tabella 14: Rendimento di alcune reti tramviarie (fonte: "Progetto Tram-Treno, volume 4: tecnica di base" di A. Spinosa, A. Alessandri)

		ORLEANS	TORINO
Numero abitanti		277'617	886'837
Area urbana	km <sup>2</sup>	202	130
Passeggeri giornalieri	pass/giorno	45'000	122'640
IPS	ppkm anno/ab	1'059	9'237
Lunghezza rete	km	17.9	183
Area servita totale	km <sup>2</sup>	17.9	183
ICT		88	1'406
IDR	km/milione ab	64	206
<b>RENDIMENTO</b>		<b>12</b>	<b>7</b>

Tabella 15: Rendimento di alcune reti tramviarie (fonte: "Progetto Tram-Treno, volume 4: tecnica di base" di A. Spinosa, A. Alessandri)

Questa procedura può essere applicata anche agli altri servizi programmati, in quanto la modalità tram non influisce sul calcolo degli indicatori. Sono stati calcolati quindi gli

<sup>27</sup> Nel testo "Progetto Tram-Treno, volume 4: tecnica di base" di A. Spinosa, A. Alessandri.

stessi indicatori per le reti metropolitane delle città di Torino e Brescia, accomunate dal fatto di avere attualmente un'unica linea attiva. È stata aggiunta anche la rete tramviaria di Milano, per avere un confronto tra una grande città e le altre città di medie dimensioni<sup>28</sup>.

		<b>TORINO (metro)</b>	<b>BRESCIA (metro)</b>	<b>MILANO (tram)</b>
Numero abitanti		886'837	196'670	1'351'562
Area urbana	km <sup>2</sup>	130	91	182
Passeggeri giornalieri	pass/giorno	155'000	49'556	366'431
IPS	ppkm anno/ab	842	1'260	17'991
Lunghezza rete	km	13.2	13.7	181.8
Area servita totale	km <sup>2</sup>	13.2	13.7	181.8
ICT		101	151	1000
IDR	km/milione ab	15	70	135
<b>RENDIMENTO</b>		<b>8</b>	<b>8</b>	<b>18</b>

Tabella 16: Rendimento delle reti metropolitane e tramviarie di alcune città italiane

Dalla tabella 16 si evidenzia che il rendimento delle reti metropolitane di Torino e Brescia è in linea con quello delle altre città (peraltro su valori non molto alti); la rete tramviaria di Milano invece risulta avere un rendimento più elevato, come logico per una grande città in cui i flussi di passeggeri sono sicuramente maggiori, anche se nel caso specifico i valori effettivi potrebbero essere diversi, a causa della non accuratezza dei dati di partenza.

### 6.1.2 Applicazione del metodo ai sistemi di car-sharing

Questa procedura di valutazione può essere estesa ai sistemi di car-sharing (anche agli altri modi individuali), utilizzando gli stessi indicatori di prestazione, che però devono essere calcolati in modo diverso, per la differente natura del sistema di trasporto a cui sono applicati e in base alla disponibilità dei dati di partenza.

<sup>28</sup> Le informazioni riguardanti i passeggeri trasportati sono state ricavate dai dati delle aziende TPL locali che effettuano il servizio.

La prima differenza riguarda la definizione dell'**unità di traffico**, per calcolare l'indice di produttività del sistema. Nel caso dei servizi programmati si considerava il dato sul numero di passeggeri al giorno, mentre per il car-sharing si utilizzano i dati sul numero di noleggi effettuati in un anno (corrispondenti al numero complessivo di viaggi effettuati dalle auto a noleggio) e sulla percorrenza media di ciascun veicolo. Non essendo disponibili dati sul riempimento dei veicoli, si ipotizza che il coefficiente di riempimento sia pari a quello delle auto private, cioè 1.3<sup>29</sup>, che risulta ragionevole in entrambi i casi.

L'**indice di produttività del sistema (IPS)** si calcola quindi con la formula seguente:

$$IPS = \frac{n_{nol} * p_{nol} * c_{riemp}}{n_{ab}}$$

dove  $n_{nol}$  corrisponde al numero di noleggi annuali,  $p_{nol}$  alla percorrenza media di ciascun noleggio,  $c_{riemp}$  al coefficiente di riempimento medio dei veicoli e  $n_{ab}$  al numero di abitanti della città. l'IPS è espresso in [ppkm anno/ab].

La seconda differenza è relativa alla definizione dell'**area servita** dal sistema (definibile anche come “area d’influenza” della rete di trasporto), che nel caso dei servizi programmati viene ricavata considerando un'impronta di 500 m per lato per la lunghezza complessiva della rete. Analogamente può essere definita per i sistemi car-sharing, considerando in questo caso come elementi attrattori gli stalli in cui si trovano i veicoli; trattandosi di elementi puntuali (invece che lineari come per i servizi di linea) l'area d'influenza è circolare, mantenendo sempre la distanza pedonale pari a 500 m (il raggio, in questo caso). Per il car-sharing a flusso libero non esistono stalli, l'area servita in questo caso coincide con l'area in cui è possibile utilizzare il servizio (che può essere eventualmente l'intera area urbana).

L'**indice di copertura territoriale (ICT)** si calcola come per i servizi programmati:

$$ICT = \frac{A_{serv}}{A_{urb}} * 1000$$

---

<sup>29</sup> Dato ricavato dal testo “Trasporto Pubblico Locale” di G. Corona e D. C. Festa.

con  $A_{serv}$  area servita dal sistema di trasporto e  $A_{urb}$  area urbana complessiva. Il rapporto è espresso in per mille.

Infine, per calcolare l'**indice di densità della rete** (del sistema di car-sharing, in questo caso), è opportuno considerare il numero di veicoli messi a disposizione dal sistema, in modo da avere una misura della disponibilità di veicoli per ciascun abitante. L'IDR si può calcolare quindi nel seguente modo:

$$IDR = \frac{n_{veic}}{n_{ab}} * 1000$$

con  $n_{veic}$  numero di veicoli totale e  $n_{ab}$  numero di abitanti, esprimendo questi ultimi in migliaia. l'unità di misura dell'IDR è quindi [veic/1000 ab].

Il **rendimento** è definito, analogamente al caso dei servizi programmati, come rapporto tra l'indice di produttività e l'indice di copertura territoriale.

$$R = \frac{IPS}{ICT}$$

La procedura è stata applicata ai servizi attualmente presenti in alcune città italiane, tra cui grandi città come Milano e Torino, e città di medie dimensioni, come Brescia, Parma e Padova; i dati sono riportati nelle tabelle 17 e 18<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> I dati di partenza sono stati ricavati da "1° Rapporto Nazionale – La Sharing Mobility in Italia: numeri, fatti e potenzialità".

		MILANO	TORINO	BRESCIA
Numero abitanti		1'351'562	886'837	196'670
Area urbana	km <sup>2</sup>	1'578.90	130.17	90.68
Numero noleggi annuali		3'415'969	484'770	888
Percorrenza per noleggio	km/nol	7.2	5	13.4
Coefficiente riempimento		1.3	1.3	1.3
Unità di traffico	ppkm anno	31'973'470	3'151'005	15'469
IPS	ppkm anno/ab	23.657	3.553	0.079
Numero parcheggi		-	-	6
Area servita totale	km <sup>2</sup>	1'578.90	130.17	4.71
ICT		1'000	1'000	52
Numero veicoli		1'959	930	6
IDR	veic/1000 ab	1.45	1.05	0.03
<b>RENDIMENTO</b>		<b>0.024</b>	<b>0.004</b>	<b>0.002</b>

Tabella 17: Rendimento delle reti car-sharing in alcune città italiane

		PARMA	PADOVA
Numero abitanti		194'417	209'829
Area urbana	km <sup>2</sup>	260.77	92.85
Numero noleggi annuali		4'140	1'319
Percorrenza per noleggio	km/nol	26.9	29.9
Coefficiente riempimento		1.3	1.3
Unità di traffico	ppkm anno	144'776	51'270
IPS	ppkm anno/ab	0.745	0.244
Numero parcheggi		13	15
Area servita totale	km <sup>2</sup>	10.21	11.78
ICT		39	127
Numero veicoli		22	25
IDR	veic/1000 ab	0.11	0.12
<b>RENDIMENTO</b>		<b>0.019</b>	<b>0.002</b>

Tabella 18: Rendimento delle reti car-sharing in alcune città italiane

Si nota una variabilità degli indici di rendimento, i cui risultati migliori si registrano a Milano e a Parma, probabilmente per una migliore organizzazione e capillarità del servizio rispetto alle altre città. Rispetto alle reti di trasporto collettivo tradizionali, il rendimento è notevolmente inferiore, a causa (come si noterà in seguito nello sviluppo del caso applicativo) delle dimensioni ridotte dei servizi di car-sharing (in termini di numero di veicoli e passeggeri trasportati).

### 6.1.3 Verifica del metodo

Per avere la certezza che il metodo sia attendibile è stata effettuata una verifica.

Prendendo in considerazione la metropolitana di Brescia, i cui indicatori di prestazione sono già stati calcolati in precedenza, è stato ricalcolato l'**indice di produttività del sistema** seguendo l'approccio utilizzato per il car-sharing, cioè sulla base del numero di viaggi e del riempimento dei veicoli (treni, in questo caso).

Il numero di passeggeri annuali è stato calcolato in base ai seguenti dati<sup>31</sup>:

- numero di treni: 14
- portata di ciascun treno: 350 passeggeri
- arco di servizio giornaliero: 18 ore (dalle 6.00 alle 24.00)

VERIFICA – METROPOLITANA DI BRESCIA		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
Passeggeri annuali	16'096'500	pass/anno
Lunghezza linea	13.7	km
Unità di traffico	220'522'050	ppkm anno
IPS	1'121	ppkm anno/ab
Lunghezza rete	13.7	km
Area servita totale	13.7	km <sup>2</sup>
ICT	151	
<b>RENDIMENTO</b>	<b>7</b>	

Tabella 19: Calcolo del rendimento della metropolitana di Brescia con lo stesso metodo usato per il car-sharing

Si nota nella tabella 19 che il valore di IPS ottenuto in questo modo approssimato (la distribuzione dei passeggeri non è costante nell'intero arco di servizio, e soprattutto non si ha il costante riempimento ai massimi livelli dei mezzi) è simile a quello calcolato precedentemente coi dati effettivi, quindi si può affermare che anche per i sistemi di mobilità condivisa i valori assunti dagli indicatori sono attendibili.

<sup>31</sup> I dati sono stati ricavati dalla presentazione "Monitoraggio Trasporto Pubblico Locale anno 2018", disponibile sul sito del comune di Brescia ("www.comune.brescia.it").

### 6.1.4 Metodo inverso – sostituzione del trasporto collettivo tradizionale con la mobilità condivisa

Data l'equivalenza degli indicatori di prestazione tra sistemi di trasporto collettivo tradizionale e sistemi di mobilità condivisa, è possibile effettuare il calcolo inverso, quindi **calcolare il flusso di veicoli che si genera in seguito alla sostituzione del trasporto collettivo tradizionale con la mobilità condivisa.**

Considerando sempre il caso della metropolitana di Brescia, dall'IPS si può derivare il numero di noleggi auto annuali di un sistema di car-sharing equivalente (in grado cioè di far fronte all'intero traffico che interessa la metropolitana), invertendo la formula vista in precedenza:

$$n_{nol} = \frac{IPS * n_{ab}}{p_{nol} * c_{riemp}}$$

Dal dato annuale si può risalire ai dati giornalieri e orari.

<b>SOSTITUZIONE METROPOLITANA CON CAR-SHARING</b>		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
IPS	1260	ppkm anno/ab
Unità di traffico	247804463	ppkm anno
Percorrenza per noleggio	13.4	km/nol
Coefficiente riempimento	1.3	
Numero noleggi annuali	14225285	nol/anno
Numero noleggi giorno	38973	nol/giorno
Numero noleggi ora	2165	nol/h
Tempo utilizzo veicoli	30	min
<b>Numero auto in servizio</b>	<b>1083</b>	

Tabella 20: Calcolo della rete car-sharing equivalente alla metropolitana di Brescia

Nella tabella 20 si nota che in questo caso, sostituire la metropolitana col car-sharing comporta avere più di 2000 noleggi in un'ora, il che significa avere, ipotizzando che i veicoli vengano utilizzati mediamente per 30 min (2 volte in un'ora), si hanno circa



1000 auto in più ogni ora sulla rete stradale cittadina (con concentrazioni maggiori lungo l'asse della metropolitana, in questo esempio). Naturalmente è probabile che avvenga un certo ricambio dei veicoli, trattandosi di un sistema condiviso, però occorre notare che si tratta di una media sull'intera giornata, quindi nelle ore di punta i flussi (da sommare a quelli già presenti dovuti alle auto private) sono sicuramente maggiori.

### 6.1.5 Valutazione dei costi dei sistemi di car-sharing

Insieme all'indicatore del rendimento di un sistema, che misura l'efficacia del servizio nei confronti dell'utenza, è importante anche valutarne i **costi**, in modo da garantirne l'efficienza.

Per calcolare i costi dei sistemi di car-sharing si è deciso, in assenza di riferimenti attendibili e aggiornati<sup>32</sup>, di procedere definendo le varie voci di costo, da sommare per ottenere il costo totale. Le voci considerate sono:

- **ammortamento per l'acquisto dei veicoli**, determinato con la formula seguente:

$$P = C \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1}$$

in cui P corrisponde alla rata annua unitaria, C al costo di acquisto di un veicolo, i al tasso d'interesse e n al periodo di ammortamento. La rata annua unitaria deve essere moltiplicata per il numero di veicoli acquistati;

- **costi fissi**, comprendenti la manutenzione dei veicoli, le spese amministrative (assicurazione, tassa di circolazione,...) ed eventuali spese di gestione per effettuare il servizio (ad esempio il mantenimento di una sede operativa); si assume che i costi fissi annuali siano pari al 6% del costo di acquisto di un veicolo, valore plausibile in quanto, per un'auto tradizionale (a motore termico)

---

<sup>32</sup> Nel testo "Il car sharing: un'analisi economica e organizzativa del settore" di M. Mastretta, C. Burlando, è stato fatto un confronto, su vari elementi tra cui i costi, tra alcuni sistemi di car-sharing, tuttavia, trattandosi di un testo del 2006, i dati non sono più attendibili rispetto alla realtà attuale, che si è molto evoluta rispetto a 10 anni fa. In particolare, con questi dati viene dato troppo peso ai costi variabili, dipendenti dalle percorrenze, a scapito dei costi fissi.

del costo di 18000 €, si ottiene un costo di circa 1100 €, di cui 150 € per la tassa di circolazione, 450 € per l'assicurazione e 500 € per la manutenzione, più eventuali altre spese;

- **costo per il carburante**, determinato in base al prezzo del carburante e del consumo medio dei veicoli (queste voci variano nel tempo, il primo in funzione dell'andamento del prezzo del petrolio, il secondo in funzione delle caratteristiche dei veicoli, quindi in questo caso vengono ipotizzati dei valori plausibili), dipende poi dalle percorrenze totali dei veicoli.

Sono stati quindi calcolati i costi per i sistemi di car-sharing esaminati in precedenza, illustrati nella tabella 22. In particolare sono stati calcolati i **costi totali annuali** e il **costo unitario chilometrico**; quest'ultimo, definito come rapporto tra i costi totali e le percorrenze totali, corrisponde al prezzo da praticare per ottenere una remunerazione dal servizio. Se il prezzo praticato è minore del costo unitario chilometrico, il sistema risulta in perdita.

Per i calcoli sono stati utilizzati i parametri indicati nella tabella 21, in particolare:

- costo di acquisto del veicolo pari a 18000 €, prezzo medio per una city car;
- prezzo del carburante pari a 1.60 €/km, valore plausibile per effettuare i calcoli ma soggetto a notevoli variazioni nella realtà, secondo l'andamento del prezzo del petrolio;
- consumo di carburante medio per veicolo pari a 5 l/km, valore leggermente inferiore alla media, considerando che in città i consumi sono superiori per effetto delle continue frenate e accelerazioni;
- ammortamento calcolato per un periodo di 10 anni, corrispondente alla durata media delle auto, anche se nel caso del car-sharing spesso i veicoli vengono rinnovati più frequentemente, per logoramento dovuto alle maggiori percorrenze (rispetto alle auto private) e per questioni d'immagine (veicoli datati, anche se in perfette condizioni, perdono attrattività).

Parametri calcolo costi		
Costo acquisto veicolo	18'000	€
Prezzo carburante	1.60	€/l
Consumo medio veicoli	5	l/100 km
Parametri calcolo ammortamento		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	

Tabella 21: Parametri utilizzati per i calcoli dei costi

		MILANO	TORINO	BRESCIA	PARMA	PADOVA
Ammortamento	€	250'000	1'185'000	7'600	28'000	32'000
Costi fissi gestione	€	2'115'000	1'000'000	6'500	23'700	27'000
Costo carburante	€	2'750'000	270'000	1'300	12'500	4'400
<b>Costo totale annuale</b>	<b>€</b>	<b>5'115'000</b>	<b>2'455'000</b>	<b>15'400</b>	<b>64'200</b>	<b>63'400</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>€/km</b>	<b>0.30</b>	<b>1.02</b>	<b>1.30</b>	<b>0.58</b>	<b>1.61</b>

Tabella 22: Costi delle reti car-sharing attualmente presenti in alcune città italiane

In questo lavoro non sono stati analizzati in dettaglio i ricavi, data l'estrema variabilità del prezzo praticato da un caso all'altro. Ipotizzando, a livello generale, un costo di 0.50 €/km, plausibile considerando che la tariffa solitamente si compone di una parte chilometrica (mediamente pari a 0.30 €/km) e una parte temporale (che si può stimare in 0.20 €/km, considerando una percorrenza media di 5 km in 30 min e una tariffa oraria di 2 €/h), si ottiene che quasi tutti i servizi di car-sharing (eccetto quelli di Milano) sono in perdita. Fermo restando che le tariffe possono essere superiori rispetto alla stima appena fatta, soprattutto nelle realtà in cui questi sistemi sono meno sviluppati (come ad esempio a Brescia), il fatto che la maggior parte delle compagnie di car-sharing in Italia siano in perdita trova conferme presso la stampa<sup>33</sup>, i cui articoli evidenziano anche che è molto difficile valutare realmente i ricavi delle società, in quanto esse sono poco disponibili a divulgare i dati.

<sup>33</sup> Si segnalano gli articoli "Il car sharing ci piace, ma non decolla. E i conti (ancora) non tornano | Analisi" di Smartmoney (si può trovare all'indirizzo "smartmoney.startupitalia.eu/economia-digitale/60545-20170601-il-car-sharing-ci-piace-ma-non-decolla-perche-deve-ricucire-i-centri-alle-periferie) e "Il sorpasso del car sharing: nel 2016 superato il milione di utenti" de Il Corriere della Sera (si può trovare all'indirizzo "www.corriere.it/cronache/17\_maggio\_29/sorpasso-car-sharing-italia-tutti-numeri-statistiche-enjoy-car2go-drivenow-sharengo-5be85792-43e1-11e7-b108-f8a0cce08e60.shtml").

## 6.2 Applicazione al caso di studio di Brescia

Dopo aver determinato i parametri da utilizzare per valutare un *Sistema di Trasporto Collettivo Dedicato* e la procedura da seguire, si può progettare l'applicazione al caso reale della città di Brescia. In particolare, vengono elaborati dei **possibili scenari di progetto**, da confrontare con la situazione attuale o con le soluzioni tradizionali previste dal PUMS, per valutare se costituiscono una **possibile alternativa vantaggiosa**. Gli scenari che verranno proposti nel seguito riguardano esclusivamente l'area urbana, per quanto concerne lo sviluppo spaziale dei sistemi di trasporto, anche se l'utenza origina sia dal centro urbano (componente interna ed eventualmente uscente) sia da zone esterne (componente entrante); in ogni caso, si tiene conto di tutte le componenti.

Per l'elaborazione degli scenari si è fatto riferimento a quanto previsto nel PUMS della città di Brescia, in cui è stato analizzato lo stato attuale della mobilità (riferito al 2016, l'anno di pubblicazione del documento), in relazione ai sistemi di trasporto collettivo esistenti, e sono state effettuate delle proiezioni a 10 anni (quindi al 2026) su diverse ipotesi progettuali. Tra queste, assumono particolare rilievo, in questa sede, gli **scenari B e T**, in cui si prevede lo sviluppo di linee di forza del TPL, a prestazioni elevate rispetto al resto della rete, in aggiunta all'esistente metropolitana. Nello specifico, gli scenari previsti nel PUMS (*attenzione a non confondersi con quelli sviluppati in questo lavoro*) sono così composti:

- **scenario B** (figura 11): 3 linee di forza di tipo busvie, con corsie stradali riservate e separate dal resto della rete stradale;
- **scenario T** (figura 12): 2 linee di tipo tramviario e una linea di tipo busvia, tutte in sede riservata, con percorso coincidente a quelle dello scenario precedente.

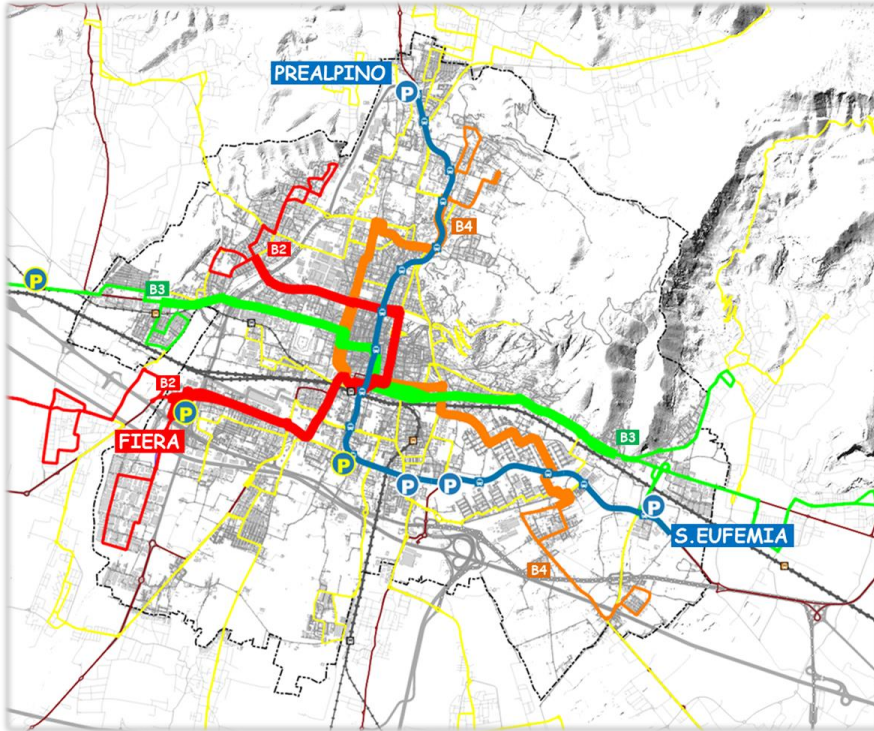


Figura 11: Schema delle linee previste nello scenario B del PUMS (fonte: PUMS di Brescia)

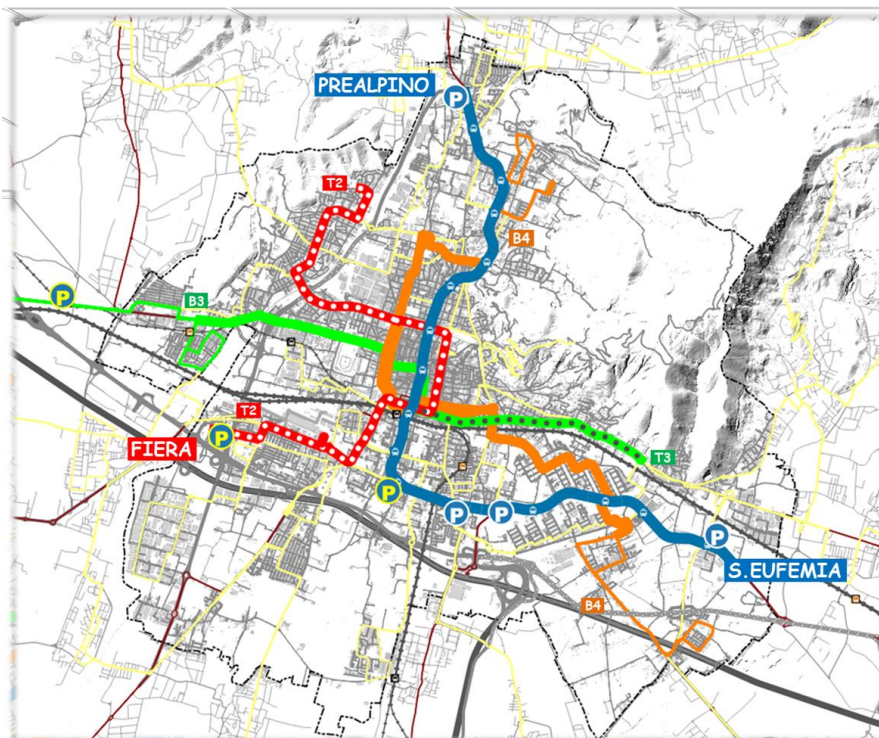


Figura 12: Schema delle linee previste nello scenario T del PUMS (fonte: PUMS di Brescia)

In questo lavoro si è pensato di **sostituire**, completamente o parzialmente, **i sistemi di trasporto collettivo tradizionali**, considerando sia quelli esistenti sia quelli da progetto previsti nel PUMS, con **sistemi innovativi equivalenti**, cioè in grado di trasportare la stessa quantità di utenti dei sistemi sostituiti<sup>34</sup>.

Gli scenari proposti in questa applicazione sono i seguenti:

- **scenario 1:** sostituzione dell'intera rete di autobus attuale (riferita al 2016) con un sistema di car-sharing;
- **scenario 2:** sviluppo di un sistema di car-sharing per assorbire l'aumento previsto di utenza del TPL al 2026;
- **scenario 3:** sviluppo di una rete di linee ARTS corrispondenti alle linee di forza previste negli scenari B e T del PUMS, in sostituzione dei sistemi tradizionali.

Nei primi due scenari vengono quindi sviluppate delle reti di car-sharing usuali, come quelle già presenti in diverse città del mondo, anche se di dimensioni decisamente maggiori; nel terzo scenario invece verrà progettato un sistema di veicoli automatici (ARTS), inedito rispetto alle applicazioni attualmente esistenti. Per il car-sharing, si considerano due possibili soluzioni: impiego di veicoli tradizionali (con motore termico) o veicoli elettrici.

Gli elementi da determinare sono la dimensione dei servizi, quindi il numero di veicoli da introdurre (da acquistare), e i costi annuali da sostenere per l'esercizio (comprendenti i costi di costruzione e acquisto veicoli, da ammortare nel tempo, e i costi propri di esercizio, dipendenti dalle percorrenze chilometriche dei mezzi), da confrontare con i sistemi di trasporto tradizionali.

---

<sup>34</sup> Si precisa che gli scenari previsti nel PUMS costituiscono solo un punto di riferimento, in modo che i progetti qui elaborati abbiano un significato nella realtà, ma non costituiscono un vincolo assoluto nello sviluppo di questo lavoro (infatti nel seguito non vengono utilizzati tutti, ma solo quelli più significativi).

## 6.2.1 SCENARIO 1 - Sostituzione della rete di autobus con il car-sharing

Il primo scenario riguarda la **sostituzione integrale del trasporto collettivo tradizionale con un servizio di car-sharing equivalente**. Questa soluzione è stata considerata, nel corso degli ultimi anni, soprattutto da parte delle società che effettuano servizi di noleggio con conducente (come Uber, molto diffusa soprattutto in America), come naturale evoluzione futura nell'ambito del trasporto pubblico. Alcuni studi, come già illustrato nei capitoli precedenti, hanno indicato che non si potrà rinunciare ai trasporti tradizionali, nonostante lo sviluppo tecnologico in atto.

In questo scenario si mostrerà cosa significa, in termini quantitativi, affidare tutto (o quasi) il TPL al car-sharing, in una città di medie dimensioni come Brescia. In realtà è coinvolta, nella sostituzione, soltanto la rete di autobus, in quanto si suppone, anche negli altri contesti territoriali (come nelle grandi città), che le metropolitane non verranno mai sostituite, anche nel caso in cui dovesse trovare applicazione questo scenario, in quanto si tratta di sistemi molto efficienti e che godono di un'ottima considerazione nell'utenza, quindi la loro eliminazione, oltre a non essere ragionevole, sarebbe difficile da giustificare presso la cittadinanza.

Si procede quindi con la sostituzione della rete attuale di autobus (al 2016) con un servizio di car-sharing, in grado di coprire tutta la città. Preliminarmente, occorre **valutare la rete attuale** (illustrata nella figura 13), con la procedura indicata in precedenza, per calcolare gli indicatori da utilizzare successivamente per il dimensionamento del nuovo servizio.



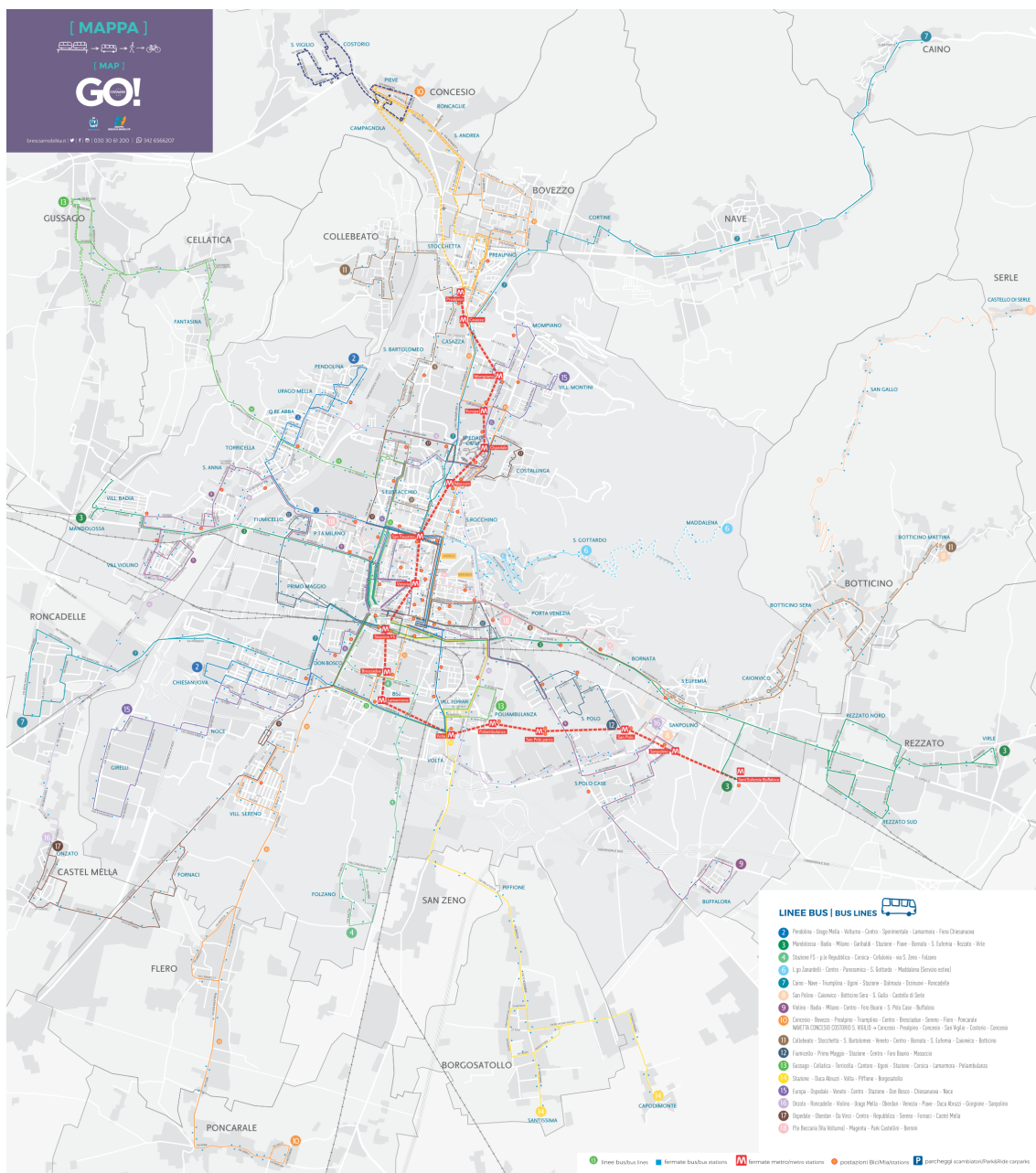


Figura 13: Mappa della rete attuale di autobus di Brescia (fonte: Brescia Mobilità)

Nella tabella 23 sono riportati i valori corrispondenti (si noterà che l'area servita è superiore a quella urbana di Brescia, questo perché la rete di autobus si espande verso i comuni esterni alla città; in ogni caso è stato fissato il valore di ICT a 1000, per considerare unicamente l'area urbana)<sup>35</sup>.

<sup>35</sup> I dati relativi ai passeggeri trasportati sono stati ricavati dalla presentazione “Monitoraggio Trasporto Pubblico Locale anno 2018”, disponibile sul sito del comune di Brescia (“www.comune.brescia.it”).



<b>RETE AUTOBUS BRESCIA</b>		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
Passeggeri annuali	36'186'088	pp/anno
IPS	42'871	ppkm anno/ab
Lunghezza rete	233	km
Area servita totale	233	km <sup>2</sup>
ICT	1'000	
IDR	1'185	km/milioni ab
<b>RENDIMENTO</b>	<b>42.87</b>	

Tabella 23: Calcolo rendimento della rete di autobus della città di Brescia

Si procede ora al **dimensionamento del sistema di car-sharing**, utilizzando lo stesso valore di IPS (o di unità di traffico, che, a meno del numero di abitanti, è la stessa grandezza), per mantenere l'equivalenza tra i due sistemi. Sono state fatte le seguenti ipotesi:

- percorrenza media per passeggero pari a 13.4 km, corrispondente al valore attuale della rete car-sharing di Brescia;
- tempo medio di utilizzo dei veicoli pari a 30 min, dato che il valore reale attualmente si attesta tra i 20 e i 25 min<sup>36</sup>, nei calcoli è stato aumentato per garantire un minimo margine, ottenendo che ogni veicolo in un'ora è utilizzato 2 volte;
- coefficiente di riempimento pari a 1.3, utilizzato già in precedenza (nel paragrafo 6.1.2).

<sup>36</sup> Indicazione riportata nel "1° Rapporto Nazionale – La Sharing Mobility in Italia: numeri, fatti e potenzialità".

<b>SCENARIO 1 – DIMENSIONAMENTO CAR-SHARING</b>		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
Unità di traffico	8'431'358'504	ppkm anno
IPS	42'871	ppkm anno/ab
Percorrenza passeggeri	13.4	km/pp
Numero passeggeri orario	95'770	pp/h
Tempo utilizzo veicoli	30	min
Coefficiente riempimento	1.3	
<b>Numero veicoli totale</b>	<b>36'800</b>	
Area servita totale	90.68	km <sup>2</sup>
ICT	1'000	
Numero parcheggi	115	
Veicoli per parcheggio	319	
IDR	187.29	veic/1000 ab
RENDIMENTO	42.87	

Tabella 24: Dimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 1

Come evidenziato nella tabella 24, sono necessari quindi circa 37000 auto, dislocate ipoteticamente in 115 postazioni. In realtà, si prevede che il sistema sia a flusso libero, quindi non sono presenti postazioni definite, ma i veicoli occupano i parcheggi comuni, insieme alle auto private. È comunque necessario pianificare attentamente la **sosta**, in quanto è vero che in teoria i veicoli dovrebbero sempre essere in movimento (quando un utente arriva a destinazione un altro è pronto a iniziare lo spostamento), ma questa è una condizione ideale praticamente impossibile da raggiungere, una sosta è comunque necessaria, anche per pochi minuti. Inoltre i valori calcolati corrispondono alla **media sull'intera giornata**, senza tenere conto di eventuali **picchi nelle ore di punta** (in cui gli spostamenti sono maggiori, necessitando probabilmente di un numero maggiore di auto), se presenti, e degli orari con meno spostamenti (in cui le auto devono rimanere parcheggiate da qualche parte, occupando spazio).

Riguardo gli **impatti dello scenario sulla circolazione stradale**, oltre alla questione della sosta, occorre considerare i flussi dei veicoli in movimento. Senza entrare nei dettagli della teoria della Circolazione Stradale, che esula dagli scopi di questo lavoro,

si può avere un'idea del livello di congestione calcolando la densità veicolare, che corrisponde al numero di veicoli presenti in 1 km di strada.

La figura 14 mostra il **diagramma teorico tra densità e flusso veicolare**, da manuale HCM (Highway Capacity Manual); in particolare esso è diviso in due parti, a sinistra la zona di flusso stabile, a destra la zona di flusso instabile (in cui si ha congestione), il cui punto di separazione corrisponde alla **densità critica** (definita anche densità ottimale, in quanto massimizza la capacità)<sup>37</sup>.

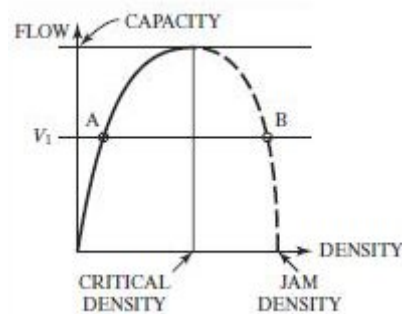


Figura 14: Diagramma Densità-Flusso teorico (fonte: HCM)

Nel caso specifico, si può quindi determinare la **densità veicolare**, calcolando il rapporto tra il numero di veicoli circolanti e la lunghezza complessiva della rete stradale, e verificare se si ottiene la situazione di flusso stabile o instabile. Occorre considerare che si tratta di un'analisi grossolana, in quanto la teoria appena introdotta si applica a condizioni di flusso non interrotto, tipiche delle strade extraurbane, mentre in ambito urbano il deflusso del traffico è dipendente in buona parte dalle intersezioni.

In ogni caso, si procede calcolando la densità veicolare (tabella 25); la lunghezza della rete stradale è stata ricavata dal PUMS, sommando le lunghezze delle parti in cui è divisa, cioè rete primaria, rete secondaria e rete locale, quest'ultima considerata parzialmente<sup>38</sup>.

<sup>37</sup> Queste informazioni teoriche sono contenute nel testo "The Highway Capacity Manual: A Conceptual and Research History - Volume 1: Uninterrupted Flow" di R. P. Roess, E. S. Prassas.

<sup>38</sup> La rete locale non è stata considerata per intero in quanto è costituita anche da vie ad uso limitato (ad esempio vie utilizzate esclusivamente dai residenti, vie a fondo cieco), che non interessano la mobilità a livello generale.

<b>SCENARIO 1 – DENSITÀ VEICOLARE</b>		
Numero veicoli totale	36'834	
Lunghezza rete stradale	583	km
<b>Densità veicolare</b>	<b>63</b>	<b>veic/km</b>

Tabella 25: Densità veicolare calcolata per lo scenario 1

Il valore di densità critica non è costante, in quanto dipende dalla velocità. Se si ipotizza che, a flusso stabile, i veicoli circolino a 50 km/h (velocità massima in ambito urbano), prevedendo per ciascuno di essi il mantenimento di una ragionevole distanza di sicurezza pari a 25 m<sup>39</sup>, si ottiene una **densità critica di 40 veicoli/km**. Confrontando questo valore con quello ricavato in tabella 25, si ottiene che per lo scenario 1 si hanno condizioni di flusso instabile.

**Si ottiene quindi congestione esclusivamente con il servizio di car-sharing**, senza considerare il traffico privato già presente, che rimane invariato (in quanto gli utenti del car-sharing derivano tutti dal TPL).

Sono stati poi calcolati i **costi**, considerando i due casi con veicoli tradizionali (a motore termico) e con veicoli elettrici. Nel primo, sono stati eseguiti i calcoli con i parametri e la procedura illustrata nel paragrafo 6.1.5.

<sup>39</sup> Riguardo la distanza di sicurezza da mantenere tra i veicoli, prescindendo dall'effettuare calcoli sugli spazi di percezione, intervento e frenata, si possono consultare le indicazioni di ACI, all'indirizzo "[www.aci.it/laci/sicurezza-stradale/le-cautele-nella-guida/distanza-di-sicurezza.html](http://www.aci.it/laci/sicurezza-stradale/le-cautele-nella-guida/distanza-di-sicurezza.html)", riportate anche nell'articolo "Distanza di sicurezza: la normativa" di ANSA (si può trovare all'indirizzo "[www.ansa.it/canale\\_motori/notizie/istituzioni/2015/02/06/distanza-di-sicurezza-la-normativa\\_54c2037a-3224-45f5-8246-c0842e8989ff.html](http://www.ansa.it/canale_motori/notizie/istituzioni/2015/02/06/distanza-di-sicurezza-la-normativa_54c2037a-3224-45f5-8246-c0842e8989ff.html)").

<b>SCENARIO 1 – COSTI CAR-SHARING TRADIZIONALE</b>		
Numero noleggi annuali	484'004'507	
Percorrenza totale	6'485'660'388	km
Percorrenza per veicolo	176'000	km/veic
Costo acquisto veicoli	18'000	€
Ammortamento	43'130'000	€
Costi fissi	39'780'000	€
Costo carburante	726'395'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>809'305'000</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.12</b>	<b>€/km</b>
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	
<b>Parametri costo carburante</b>		
Prezzo carburante	1.6	€/l
Consumo veicoli	5	l/100 km

Tabella 26: Costi per la rete car-sharing tradizionale prevista nello Scenario 1

Dalla tabella 26 si evidenzia che il costo chilometrico, corrispondente alla tariffa da praticare per mantenere pari il bilancio, è di **0.12 €/km**.

Nel caso di parco auto formato da **veicoli elettrici**, le voci di costo variano come specificato<sup>40</sup>:

- il **costo di acquisto è maggiore di 15000 €** rispetto ai veicoli tradizionali;
- i **costi fissi si riducono** in seguito alla riduzione delle sotto-voci:
  - costo assicurazione inferiore del 20%;
  - costo bollo auto inferiore del 75%;
  - costi di manutenzione ridotti a 1/10;
- il **costo per l'energia elettrica è di 0.025 €/km**, inferiore di oltre 4 volte rispetto al carburante.

<sup>40</sup> Le informazioni inerenti questi dati sono contenute nella tesi “Dal car-sharing free-floating tradizionale a quello elettrico nella città di Milano: definizione di un modello di valutazione della sostenibilità del servizio” di S. Briancesco, R. Maja.

<b>SCENARIO 1 – COSTI CAR-SHARING ELETTRICO</b>		
Costo acquisto veicoli	33'000	€
Ammortamento	79'000'000	€
Costi fissi	13'900'000	€
Costo energia	162'150'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>255'050'000</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.04</b>	<b>€/km</b>
Differenza car-sharing trad.	-554'255'000	€
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	

Tabella 27: Costi per la rete car-sharing elettrico prevista nello Scenario 1

In questo caso, nella tabella 27 si nota che il costo chilometrico, **0.04 €/km**, è **inferiore rispetto al parco con veicoli tradizionali**, quindi dal punto di vista finanziario è più conveniente utilizzare i veicoli elettrici, nonostante un prezzo d'acquisto maggiore. Scegliendo di adottare un parco misto (veicoli sia tradizionali sia elettrici) il costo sarà intermedio tra i due casi.

In definitiva, si evidenzia che la sostituzione del servizio autobus col car-sharing **non è sostenibile per la circolazione stradale**, in quanto la rete stradale non è in grado di assorbire l'elevato numero di veicoli (individuali) necessari per garantire gli spostamenti richiesti. Negli altri casi reali i risultati possono essere diversi, in base alla configurazione della rete stradale, comunque si conferma, a livello generale, quanto indicato dagli studi. Invece riguardo l'**aspetto finanziario la soluzione è fattibile**, in quanto un costo di 0.12 €/km risulta in linea (in molti casi inferiore) rispetto alle reti di car-sharing attuali, benché l'investimento iniziale (di quasi 1 miliardo di €, per l'acquisto dei veicoli) rappresenti uno sforzo notevole, che incide in modo significativo sul costo annuale del servizio.

Relativamente allo scenario in questione, occorre considerare che, in realtà, si passa da un servizio in cui l'utente può spostarsi senza limitazioni (l'autobus) a uno in cui è richiesta l'abilitazione alla guida; questo significa che **non tutta l'utenza potrebbe essere in grado di passare da un sistema all'altro** (ad esempio persone senza patente

di guida, anziani, disabili, persone in stato di alterazione psico-fisico). Il noleggio con conducente (ride-sharing) invece eliminerebbe questi limiti; in ogni caso, il dimensionamento fatto per il car-sharing è valido anche per quest'ultimo sistema, in quanto il coefficiente di riempimento dei veicoli è il medesimo (*attenzione*, nel ride-sharing il conducente svolge l'attività come lavoro, quindi non fa parte dello spostamento; nel car-pooling invece il conducente è un utente come gli altri passeggeri, pertanto rientra nel conto del coefficiente di riempimento); variano invece i costi, in quanto occorre aggiungere il compenso del conducente. Se (in futuro) fossero adottati veicoli a guida autonoma tutti i limiti verrebbero eliminati (come già indicato nei capitoli precedenti, si perderebbero le differenze tra i vari sistemi di mobilità condivisa).

### **6.2.2 SCENARIO 2 - Sviluppo del car-sharing per assorbire l'aumento di utenza del TPL**

In questo scenario si affronta un problema in chiave futura, cioè come **aumentare l'offerta di trasporto per far fronte all'aumento della domanda**. Per la città di Brescia, il PUMS calcola che nel 2026 (equivalente per il PUMS a 10 anni dal presente, datato 2016) l'utenza del TPL aumenterà del 30%. Causa dell'aumento saranno soprattutto gli spostamenti entranti e uscenti dalla città, dovuti all'incremento demografico dei comuni di prima e seconda fascia (aumento anch'esso di circa 30%), mentre la popolazione in città rimarrà stabile (e quindi anche gli spostamenti interni. Naturalmente gli spostamenti entranti e uscenti pesano anche sull'area urbana, oltre che su quella esterna.

Per far fronte a questa nuova domanda (oltre che per modificare in parte la scelta modale, aspetto che verrà trascurato, per semplicità) il PUMS prevede la realizzazione degli scenari B e T, come già spiegato nel paragrafo 6.2. In questo lavoro invece si propone di **assorbire questa nuova utenza con un servizio di car-sharing, lasciando invariata la rete TPL attuale** (costituita da una linea metropolitana e varie linee di autobus, in promiscuo sulla rete stradale).

Il dimensionamento del servizio avviene come per lo scenario precedente, ipotizzando gli stessi dati riguardo a percorrenza media per utente, tempo medio di utilizzo dei veicoli e coefficiente di riempimento. In questo caso si utilizza come unità di traffico, da cui ricavare l'IPS, il 30% di quella dello scenario precedente, in quanto corrispondente al valore totale attuale. I calcoli sono riportati nella tabella 28.

<b>SCENARIO 2 – DIMENSIONAMENTO CAR-SHARING</b>		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
Unità di traffico	2'529'407'551	ppkm anno
IPS	12'861	ppkm anno/ab
Percorrenza passeggeri	13.4	km/pp
Numero passeggeri orario	28'731	pp/h
Tempo utilizzo veicoli	30	min
Coefficiente riempimento	1.3	
<b>Numero veicoli totale</b>	<b>11'000</b>	
Area servita totale	90.68	km <sup>2</sup>
ICT	1'000	
Numero parcheggi	115	
Veicoli per parcheggio	96	
IDR	56.19	veic/1000 ab
RENDIMENTO	12.86	

Tabella 28: Dimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2

Il numero di veicoli necessari è pari a 11000, un valore comunque notevole se si considera che attualmente a Milano, la città italiana con più auto condivise in servizio, sono circa 2000, quindi 1/5. Anche in questo caso i veicoli devono essere dislocati sull'intera area urbana della città, per servire tutte le zone, pur considerando che l'aumento di utenza è dovuto prevalentemente agli spostamenti tra Brescia e i comuni limitrofi. Potrebbe essere più indicato quindi concentrare maggiormente i veicoli nelle zone in cui avvengono i maggiori flussi, addirittura adottando un sistema di car-sharing a stazioni fisse se gli spostamenti sono molto concentrati.

Riguardo gli **impatti sulla circolazione stradale**, per la sosta rimangono le stesse criticità dello scenario precedente, mitigate dal minor numero di veicoli presenti, mentre



per la congestione, calcolando la densità veicolare, si nota (tabella 29) che è inferiore rispetto al valore di densità veicolare definito nel paragrafo 6.2.1 (40 veicoli/km), quindi si hanno condizioni di flusso stabile, tuttavia occorre ricordare che non si è tenuto conto della componente di traffico privato, già presente attualmente, che peraltro secondo la proiezione al 2026 del PUMS è previsto in leggero aumento rispetto alla situazione attuale.

<b>SCENARIO 2 – DENSITÀ VEICOLARE</b>		
Numero veicoli totale	11'050	
Lunghezza rete stradale	583	km
<b>Densità veicolare</b>	<b>19</b>	<b>veic/km</b>

Tabella 29: Densità veicolare calcolata per lo scenario 2

Sono stati calcolati i **costi annuali** da sostenere per l'esercizio del car-sharing, considerando anche per questo scenario i due casi di parco auto tradizionale (tabella 30) o elettrico (tabella 31). Le voci di costo e i parametri sono analoghi ai casi precedenti.

<b>SCENARIO 2 – COSTI CAR-SHARING TRADIZIONALE</b>		
Numero noleggi annuali	145'201'352	
Percorrenza totale	1'945'698'116	km
Percorrenza per veicolo	176'000	km/veic
Costo acquisto veicoli	18'000	€
Ammortamento	12'900'000	€
Costi fissi	11'900'000	€
Costo carburante	217'900'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>242'700'000</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.12</b>	<b>€/km</b>
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	
<b>Parametri costo carburante</b>		
Prezzo carburante	1.6	€/l
Consumo veicoli	5	l/100 km

Tabella 30: Costi per la rete car-sharing tradizionale prevista nello Scenario 2

<b>SCENARIO 2 – COSTI CAR-SHARING ELETTRICO</b>		
Costo acquisto veicoli	33'000	€
Ammortamento	23'700'000	€
Costi fissi	4'170'000	€
Costo energia	48'600'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>76'470'000</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.04</b>	<b>€/km</b>
Differenza car-sharing trad.	-166'230'000	€
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	

Tabella 31: Costi per la rete car-sharing elettrico prevista nello Scenario 2

Anche in questo caso si evidenzia il **costo inferiore con la dotazione di auto elettriche**.

Analizzando i **costi dei servizi previsti negli scenari B e T del PUMS**, tuttavia, si osserva che sono **notevolmente inferiori** rispetto al sistema di car-sharing appena dimensionato; in particolare è evidente l'**impatto dovuto all'elevato numero di auto da acquistare**, che penalizza fortemente la convenienza finanziaria sia nel caso di motori termici sia con motori elettrici. Nelle tabelle 32 e 33 sono indicati i costi annuali da sostenere rispettivamente per gli scenari B e T, considerando i costi fissi di costruzione e acquisto veicoli, ripartiti nel lungo periodo (si è assunto un periodo di ammortamento di 40 anni, come indicato nel PUMS), e i costi per l'esercizio. I dati sono stati prelevati direttamente dal PUMS.

<b>COSTI SCENARIO B PUMS</b>		
Costo costruzione e veicoli	50'350'000	€
Ammortamento	3'275'000	€
Costi esercizio	4'700'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>58'325'000</b>	<b>€</b>
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	40	anni
Tasso interesse (i)	0.05	

Tabella 32: Costi scenario B previsto nel PUMS (fonte: PUMS di Brescia)

<b>COSTI SCENARIO T PUMS</b>		
Costo costruzione+veicoli	401'160'000	€
Ammortamento	26'100'000	€
Costi esercizio	11'000'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>37'100'000</b>	<b>€</b>
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	40	anni
Tasso interesse (i)	0.05	

Tabella 33: Costi scenario T previsto nel PUMS (fonte: PUMS di Brescia)

A riprova che **il numero di veicoli è determinante, nella definizione dei costi dei sistemi di car-sharing**, si può calcolare che, ad esempio, adottando un parco veicolare di 350 auto tradizionali i costi (il dimensionamento è contenuto nella tabella 34, il calcolo dei costi nella tabella 35) si equiparano a quelli dello scenario B del PUMS (circa 8 milioni di € annui), mentre per raggiungere quelli dello scenario T (37 milioni di € annui) si può salire fino a 1700 veicoli (i calcoli sono riportati nella tabella 36 per il dimensionamento e 37 per i costi). Considerando un parco esclusivamente di auto elettriche, le quantità sono rispettivamente 1150 (tabella 38 per il dimensionamento, tabella 39 per i costi) e 5350 (tabella 40 per il dimensionamento, tabella 41 per i costi). Naturalmente, **più si riduce il numero di veicoli, più basso risulta il rendimento del sistema**, cioè meno passeggeri vengono trasportati. In ogni caso, con qualsiasi riduzione del parco veicolare dimensionato all'inizio di questo scenario non è possibile assorbire completamente l'aumento di utenti previsto, per cui è necessario comunque potenziare il trasporto collettivo tradizionale oppure modificare la ripartizione modale.

<b>SCENARIO 2 – DIMENSIONAMENTO CAR-SHARING</b>		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
Percorrenza passeggeri	13.4	km/pp
Tempo utilizzo veicoli	30	min
Coefficiente riempimento	1.3	
<b>Numero veicoli totale</b>	<b>350</b>	
Numero passeggeri orario	910	pp/h
Unità di traffico	80'114'580	ppkm anno
IPS	407	ppkm anno/ab
Area servita totale	90.68	km <sup>2</sup>
ICT	1'000	
Numero parcheggi	115	
Veicoli per parcheggio	3	
IDR	1.78	veic/1000 ab
<b>RENDIMENTO</b>	<b>0.41</b>	

Tabella 34: Ridimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2, con 350 veicoli

<b>SCENARIO 2 – COSTI CAR-SHARING TRADIZIONALE</b>		
Numero noleggi annuali	4'599'000	
Percorrenza totale	61'626'600	km
Percorrenza per veicolo	176'000	km/veic
Costo acquisto veicoli	18'000	€
Ammortamento	410'000	€
Costi fissi	378'000	€
Costo carburante	6'900'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>7'688'000</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.12</b>	<b>€/km</b>
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	
<b>Parametri costo carburante</b>		
Prezzo carburante	1.6	€/l
Consumo veicoli	5	l/100 km

Tabella 35: Costi della rete car-sharing tradizionale prevista nello Scenario 2, ridimensionata a 350 veicoli

<b>SCENARIO 2 – DIMENSIONAMENTO CAR-SHARING</b>		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
Percorrenza passeggeri	13.4	km/pp
Tempo utilizzo veicoli	30	min
Coefficiente riempimento	1.3	
<b>Numero veicoli totale</b>	<b>1'700</b>	
Numero passeggeri orario	4'420	pp/h
Unità di traffico	389'127'960	ppkm anno
IPS	1'979	ppkm anno/ab
Area servita totale	90.68	km <sup>2</sup>
ICT	1'000	
Numero parcheggi	115	
Veicoli per parcheggio	15	
IDR	8.64	veic/1000 ab
<b>RENDIMENTO</b>	<b>1.98</b>	

Tabella 36: Ridimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2, con 1700 veicoli

<b>SCENARIO 2 – COSTI CAR-SHARING TRADIZIONALE</b>		
Numero noleggi annuali	22'338'000	
Percorrenza totale	299'329'200	km
Percorrenza per veicolo	176'000	km/veic
Costo acquisto veicoli	18'000	€
Ammortamento	1'990'000	€
Costi fissi	1'836'000	€
Costo carburante	33'500'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>37'326'000</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.12</b>	<b>€/km</b>
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	
<b>Parametri costo carburante</b>		
Prezzo carburante	1.6	€/l
Consumo veicoli	5	l/100 km

Tabella 37: Costi della rete car-sharing tradizionale prevista nello Scenario 2, ridimensionata a 1700 veicoli

<b>SCENARIO 2 – DIMENSIONAMENTO CAR-SHARING</b>		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
Percorrenza passeggeri	13.4	km/pp
Tempo utilizzo veicoli	30	min
Coefficiente riempimento	1.3	
<b>Numero veicoli totale</b>	<b>1'150</b>	
Numero passeggeri orario	2'990	pp/h
Unità di traffico	263'233'620	ppkm anno
IPS	1'338	ppkm anno/ab
Area servita totale	90.68	km <sup>2</sup>
ICT	1'000	
Numero parcheggi	115	
Veicoli per parcheggio	10	
IDR	5.85	veic/1000 ab
<b>RENDIMENTO</b>	<b>1.34</b>	

Tabella 38: Ridimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2, con 1150 veicoli

<b>SCENARIO 2 – COSTI CAR-SHARING ELETTRICO</b>		
Costo acquisto veicoli	33'000	€
Ammortamento	2'470'000	€
Costi fissi	434'700	€
Costo energia	5'060'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>7'964'700</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.04</b>	<b>€/km</b>
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	

Tabella 39: Costi della rete car-sharing elettrico prevista nello Scenario 2, ridimensionata a 1150 veicoli

<b>SCENARIO 2 – DIMENSIONAMENTO CAR-SHARING</b>		
Numero abitanti	196'670	
Area urbana	90.68	km <sup>2</sup>
Percorrenza passeggeri	13.4	km/pp
Tempo utilizzo veicoli	30	min
Coefficiente riempimento	1.3	
<b>Numero veicoli totale</b>	<b>5'350</b>	
Numero passeggeri orario	13'910	pp/h
Unità di traffico	1'224'608'580	ppkm anno
IPS	6'227	ppkm anno/ab
Area servita totale	90.68	km <sup>2</sup>
ICT	1'000	
Numero parcheggi	115	
Veicoli per parcheggio	46	
IDR	27.20	veic/1000 ab
<b>RENDIMENTO</b>	<b>6.23</b>	

Tabella 40: Ridimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2, con 5350 veicoli

<b>SCENARIO 2 – COSTI CAR-SHARING ELETTRICO</b>		
Costo acquisto veicoli	33'000	€
Ammortamento	11'485'000	€
Costi fissi	2'022'000	€
Costo energia	23'550'000	€
<b>Costo totale</b>	<b>37'057'000</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.04</b>	<b>€/km</b>
<b>Parametri ammortamento</b>		
Periodo (n)	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	

Tabella 41: Costi della rete car-sharing elettrico prevista nello Scenario 2, ridimensionata a 5350 veicoli

Sembra quindi che, per quanto riguarda l'aspetto finanziario, **un sistema di autobus tradizionale sia preferibile al car-sharing**, che evidentemente è più adatto a soddisfare parti di domanda di mobilità più limitate e maggiormente variabili, sia riguardo le relazioni origini/destinazioni sia riguardo gli orari di spostamento, mentre per gli spostamenti di grandi flussi i sistemi tradizionali offrono maggiori economie di scala. In ogni caso, **la mobilità condivisa non è da scartare a priori**, per aumentare l'offerta di trasporto, ma occorre valutare attentamente le caratteristiche della domanda di mobilità, soprattutto in relazione alla dispersione spaziale e temporale (elementi

favorevoli alla mobilità condivisa), e l'impatto generato sulla circolazione stradale e sui costi (elementi sfavorevoli).

### **6.2.3 SCENARIO 3 - Sviluppo di una rete ARTS in sostituzione dei sistemi collettivi tradizionali**

Nel terzo scenario si effettua un passo successivo verso i sistemi innovativi. Considerando gli scenari del PUMS (B e T), si prevede l'**implementazione dei nuovi sistemi ARTS sui percorsi delle linee di forza**, in alternativa ai tram e autobus tradizionali. Richiamando le caratteristiche degli ARTS specificate nel capitolo 5, soprattutto riguardo la possibilità che questi veicoli automatici possano circolare sulle strade normali insieme agli altri utenti della strada, si ipotizza in questo caso che la tecnologia non consenta ancora l'eliminazione totale della segregazione della sede. Si prevede quindi l'impiego di questo sistema sulle linee di forza, in cui sia prevista almeno la protezione longitudinale della via di corsa, lasciando la possibilità di interferenze trasversali con opportune protezioni (ad esempio con impianti semaforici). Sono impiegati dei veicoli a 10 posti, a guida autonoma e trazione elettrica. Le linee di forza previste dal PUMS di Brescia, in cui si applicano gli ARTS in luogo dei mezzi tradizionali, sono le seguenti (illustrate nella figura 15):

- linea T2, di lunghezza 11.66 km;
- linea T3, di lunghezza 9.68 km;
- linea B4, di lunghezza 14 km.



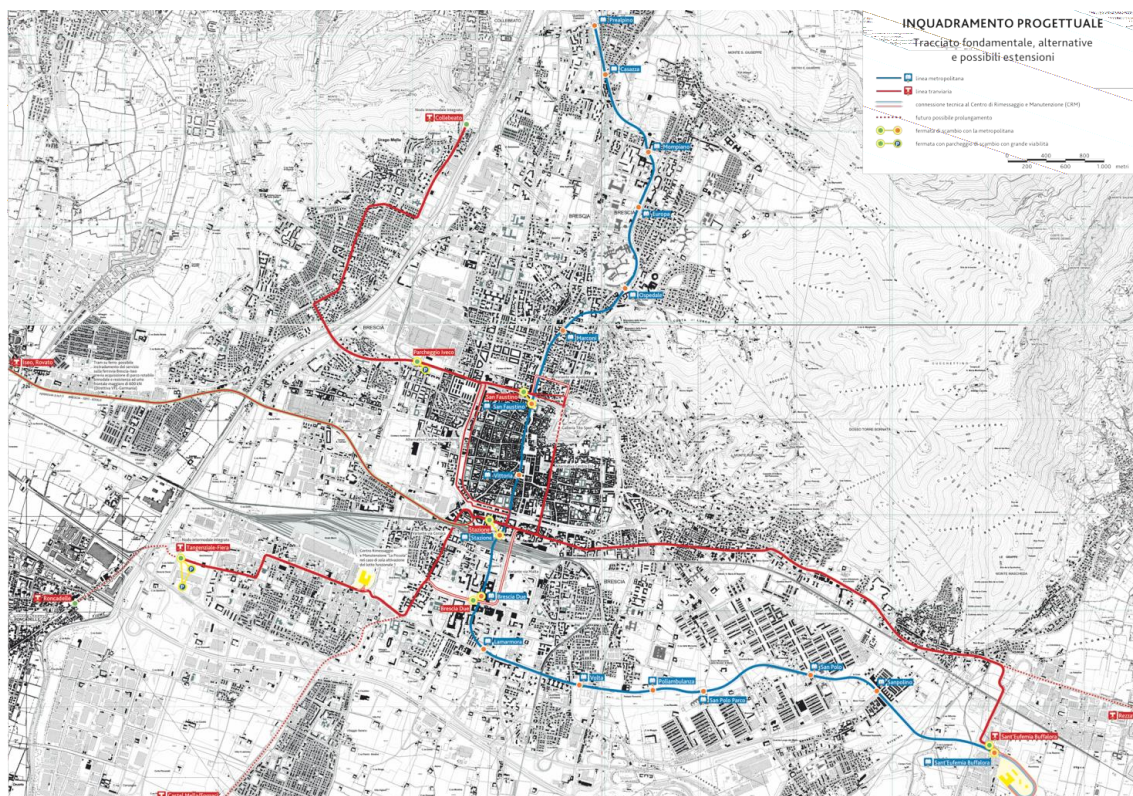


Figura 15: Mappa della rete prevista nello scenario T del PUMS (fonte: PUMS di Brescia)

Il dimensionamento delle tre linee di ARTS si basa sui carichi già previsti dalle linee medesime allestite con sistemi tradizionali, quindi si deve garantire lo stesso numero di passeggeri trasportati (il valore giornaliero è indicato nelle tabelle successive come “domanda giornaliera”); i dati per ciascuna linea, compresa la percorrenza media per passeggero, sono ricavati direttamente dal PUMS.

Successivamente si devono fissare i **parametri del sistema**, tra cui frequenza di passaggio dei mezzi, velocità media e coefficiente di riempimento. In particolare, si è deciso di fissare la velocità a 5 km/h, valore più elevato ottenibile per avere una percorrenza annua di 30000 km, il massimo consentito dalla tecnologia attuale<sup>41</sup>. Da

41 Questa informazione è contenuta nel testo “Trasporto Pubblico Locale” di G. Corona e D. C. Festa, in cui si precisa che sono possibili velocità massime superiori a 5 km/h, ma è necessario mantenere questo valore come velocità media per garantire un arco di servizio di 18 ore per 365 giorni l’anno. Adottando invece, per esempio, una velocità media di 15 km/h, sarebbe possibile effettuare il servizio per 8 ore al giorno per 260 giorni l’anno (soluzione non soddisfacente in questa analisi, in cui si vuole garantire un servizio più esteso possibile), per rimanere entro i 30000 km di percorrenza annua. Purtroppo il testo non contiene ulteriori informazioni riguardo queste limitazioni, che poste in questi termini sembrerebbero relative a problemi di autonomia nell’alimentazione o di durata dei componenti, piuttosto che per problemi di velocità (legati ad esempio alla sicurezza). Se le limitazioni riguardano la percorrenza, una possibile soluzione può essere aumentare il parco veicolare.

questo si ricavano il tempo di giro, dato dalla somma del tempo di percorrenza andata/ritorno e il tempo per le soste (che con veicoli automatici potrebbe teoricamente essere nullo, è meglio comunque prevedere un margine di almeno 5 min), quindi il numero di giri giornalieri (ipotizzando un arco di servizio di 18 ore, dalle 6.00 alle 24.00). Si può così determinare il numero di veicoli necessario per garantire il servizio coi parametri fissati, a cui se ne aggiungono alcuni di scorta per operazioni di manutenzione, ottenendo il numero complessivo di mezzi da acquistare.

<b>SCENARIO 3 – DIMENSIONAMENTO SISTEMA ARTS</b>				
	<b>Linea T2</b>	<b>Linea T3</b>	<b>Linea B4</b>	
Domanda annuale	7'686'900	7'686'900	11'189'805	pax/anno
<b>Domanda giornaliera</b>	<b>21'060</b>	<b>21'060</b>	<b>30'650</b>	<b>pax</b>
Lunghezza linea	11.66	9.68	14.00	km
Frequenza	2	2	2	min
Velocità media	5	5	5	km/h
Coefficiente di riempimento	6	6	6	
Percorrenza per passeggero	2.82	2.82	2.82	km/pp
Tempo percorrenza a/r	4.66	3.87	5.60	h
Tempo percorrenza a/r	280	232	336	min
Tempo per soste	5	5	5	min
Tempo di giro	285	240	345	min
Numero di giri giornalieri	3	4	3	
Numero veicoli in servizio	143	120	173	
Numero veicoli in scorta	2	2	2	
<b>Numero veicoli totale</b>	<b>145</b>	<b>122</b>	<b>175</b>	
<b>Passeggeri trasportati giorno</b>	<b>21'280</b>	<b>19'770</b>	<b>30'920</b>	<b>pax</b>
Percorrenza per veicolo anno	25'535	28'266	30'660	km/veic
Percorrenza totale annuale	3'651'562	3'391'872	5'304'180	km

Tabella 42: Dimensionamento della rete ARTS prevista nello Scenario 3

Dalla tabella 42 si ricava un numero di mezzi da acquistare pari a 440.

I **costi** sono stati calcolati con la stessa procedura utilizzata in precedenza per il car-sharing. In particolare i costi d'investimento riguardano l'acquisto dei veicoli, il cui costo unitario è fissato a 100000 €<sup>42</sup>, e la costruzione dell'infrastruttura, che in questo

<sup>42</sup> Cifra riportata nel testo "Trasporto Pubblico Locale" di G. Corona e D. C. Festa, non molto elevata considerando che i veicoli sono caratterizzati da due elementi molto costosi, la trazione elettrica e gli apparati tecnologici per realizzare la guida autonoma. Si ipotizza però, riguardo il secondo elemento,

caso si ipotizza coincida con quello previsto per le busvie, in quanto si tratta comunque di una via di corsa di tipo stradale, con eventuali installazioni tecnologiche aggiuntive che però non alterano in modo significativo il costo; si considera quindi il costo delle infrastrutture dello scenario B del PUMS. Il periodo di ammortamento è stato fissato a 10 anni, come per il car-sharing in quanto, se da un lato i veicoli elettrici hanno la potenzialità di durare più a lungo rispetto ai mezzi con motore termico, dall'altro la tecnologia invecchia molto rapidamente, quindi potrebbe essere necessario sostituire i veicoli prima della loro fine vita tecnica (in ogni caso, trattandosi di tecnologie ancora in fase di sviluppo, non si possono attualmente avere riscontri sulla loro durata).

I costi per l'esercizio sono calcolati come nel caso del car-sharing elettrico, essendo gli ARTS veicoli elettrici, si considerano quindi i costi fissi per manutenzione e atti amministrativi agevolati rispetto ai mezzi tradizionali, e i costi per l'energia elettrica pari a 0.025 €/km<sup>43</sup>.

<b>SCENARIO 3 – COSTI SISTEMA ARTS</b>				
	<b>Linea T2</b>	<b>Linea T3</b>	<b>Linea B4</b>	
Costo acquisto veicoli	100'000	100'000	100'000	€
Costo costruzione	11'780'000	11'510'000	14'260'000	€
Ammortamento	1'710'000	1'540'000	2'066'000	€
Costi fissi gestione	304'500	256'200	367'500	€
Costo energia	91'300	85'000	132'600	€
<b>Costo totale annuale</b>	<b>2'105'800</b>	<b>341'200</b>	<b>2'566'100</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.58</b>	<b>0.56</b>	<b>0.48</b>	<b>€/km</b>
<b>Parametri ammortamento</b>				
Periodo (n)	10	10	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	0.05	0.05	

Tabella 43: Costi della rete ARTS prevista nello Scenario 3

Dalla tabella 43 si ottiene, per le tre linee, un **costo chilometrico compreso tra 0.48 €/km e 0.58 €/km**, leggermente inferiore rispetto al valore teorico di 0.61 €/km<sup>44</sup>.

Confrontando il **costo totale dello scenario** (6 milioni e mezzo di €) con gli scenari previsti nel PUMS (indicati nel paragrafo precedente), si nota che esso è **inferiore, sia**

che in futuro la produzione in serie dei veicoli (una volta sviluppata la tecnologia) consenta di abbattere il costo dei dispositivi, come del resto avviene normalmente per qualunque strumento tecnologico (basti pensare a quelli di uso comune, come i telefonini o i pc).

43 Dato introdotto nel paragrafo 6.2.1.

44 Questa informazione è contenuta nel testo "Trasporto Pubblico Locale" di G. Corona e D. C. Festa.

**rispetto allo scenario T**, in cui l'infrastruttura pesa notevolmente, **sia rispetto allo scenario B**, in cui l'infrastruttura è la stessa e quindi la differenza è data dai veicoli e dall'esercizio del sistema.

Riguardo l'esercizio, gli ARTS hanno il vantaggio di avere **frequenze ridotte rispetto agli autobus** (2' nel progetto di questo scenario, contro 7'30" per le busvie previste nel PUMS), risultando maggiormente attrattivi per l'utenza dati i tempi d'attesa minori (praticamente nulli, con una frequenza che è pari a quella di una metropolitana automatica).

Lo svantaggio, almeno per ora, è dovuto alla **bassa velocità media**, circa un terzo di quella degli autobus. Considerando la percorrenza media per utente di 2.82 km, con gli ARTS servono ben 34 min, contro i soli 11 min con l'autobus, rendendo il sistema non competitivo. Se la tecnologia consentisse agli ARTS di raggiungere la stessa velocità degli autobus, fissata convenzionalmente in questo caso a 15 km/h (naturalmente può essere maggiore), non solo si **ridurrebbero sensibilmente i tempi di percorrenza** per gli utenti, rendendo ancora più attrattivo il sistema, ma **calerebbero in modo notevole anche i costi**, in quanto è sufficiente un numero minore di mezzi (da acquistare) per effettuare il servizio.

<b>SCENARIO 3 – DIMENSIONAMENTO SISTEMA ARTS</b>				
	<b>Linea T2</b>	<b>Linea T3</b>	<b>Linea B4</b>	
Domanda annuale	7'686'900	7'686'900	11'189'805	pax/anno
<b>Domanda giornaliera</b>	<b>21'060</b>	<b>21'060</b>	<b>30'657</b>	<b>pax</b>
Lunghezza linea	11.66	9.68	14.00	km
Frequenza	2	2	2	min
Velocità media	15	15	15	km/h
Coefficiente di riempimento	6	6	6	
Percorrenza per passeggero	2.82	2.82	2.82	km/pp
Tempo percorrenza a/r	1.55	1.29	1.87	h
Tempo percorrenza a/r	93	77	112	min
Tempo per soste	5	5	5	min
Tempo di giro	100	85	120	min
Numero di giri giornalieri	10	12	9	
Numero veicoli in servizio	50	43	60	
Numero veicoli in scorta	2	2	2	
<b>Numero veicoli totale</b>	<b>52</b>	<b>45</b>	<b>62</b>	
<b>Passeggeri trasportati giorno</b>	<b>24'809</b>	<b>21'255</b>	<b>32'170</b>	<b>pax</b>
Percorrenza per veicolo anno	85'118	84'797	91'980	km/veic
Percorrenza totale annuale	4'255'900	3'646'262	5'518'800	km

Tabella 44: Ridimensionamento della rete ARTS prevista nello Scenario 3, con velocità media pari a 15 km/h

Dalla tabella 44 si ricava che il numero di veicoli da acquistare, con velocità media di 15 km/h, è pari a 160, circa 1/3 rispetto al caso precedente.

<b>SCENARIO 3 – COSTI SISTEMA ARTS</b>				
	<b>Linea T2</b>	<b>Linea T3</b>	<b>Linea B4</b>	
Costo acquisto veicoli	100'000	100'000	100'000	€
Costo costruzione	11'780'000	11'510'000	14'260'000	€
Ammortamento	1'105'000	1'040'000	1'331'000	€
Costi fissi gestione	109'200	94'500	130'200	€
Costo energia	106'400	91'150	137'970	€
<b>Costo totale annuale</b>	<b>1'320'600</b>	<b>1'225'650</b>	<b>1'599'170</b>	<b>€</b>
<b>Costo chilometrico</b>	<b>0.31</b>	<b>0.34</b>	<b>0.29</b>	<b>€/km</b>
<b>Parametri ammortamento</b>				
Periodo (n)	10	10	10	anni
Tasso interesse (i)	0.05	0.05	0.05	

Tabella 45: Costi della ARTS prevista nello Scenario 3, ridimensionata per una velocità media di 15 km/h

Come mostra la tabella 45, il costo totale si ridurrebbe a circa 4 milioni di € (quasi la metà delle busvie), con un costo chilometrico intorno ai **0.30 €/km**, paragonabile agli attuali sistemi di car-sharing più efficienti, che permetterebbe anche di **ridurre le tariffe praticate**, un ulteriore vantaggio per l'utenza. Questo richiede però, come si nota nella tabella 44, un cospicuo aumento delle percorrenze veicolari annue, fino a 90000 km.

È dunque indispensabile proseguire la ricerca tecnologica per **migliorare l'efficienza dei veicoli a guida autonoma**, per poterli impiegare su larga scala come mezzi di trasporto. L'aspetto cruciale è sicuramente la **velocità**, in quanto essa è regolata in base alle condizioni di sicurezza che può garantire la via di corsa, rispetto alle intrusioni accidentali. Aumentando la velocità, probabilmente è necessario aumentare la protezione della via di corsa, con aumento dei costi di realizzazione. Lo sviluppo tecnologico deve procedere verso maggiore sicurezza, a parità di protezione della sede (ad esempio, con sensori più sensibili in grado di percepire in anticipo i pericoli), consentendo quindi maggiori velocità.

Si deve anche considerare che **può non essere necessario rinunciare completamente alla protezione della sede**, in quanto essa garantisce l'assenza di interferenze col traffico in congestione (le corsie riservate non sono una novità, nel TPL), quindi è possibile l'impiego degli ARTS sulle linee di forza in tempi più rapidi, rispetto alle linee di adduzione, che generalmente non godono di percorsi riservati e quindi richiedono maggiori accorgimenti per la guida autonoma.

# CONCLUSIONI

In questo lavoro sono state analizzate alcune tematiche relative alle possibili soluzioni organizzative del trasporto pubblico locale, prendendo in considerazione i sistemi innovativi che si sono affermati negli ultimi anni con lo sviluppo della tecnologia, con lo scopo di valutare in che modo applicare le soluzioni date dai nuovi sistemi, per risolvere i problemi dei vari territori e dei cambiamenti della domanda di mobilità, e mettere in guardia dai possibili problemi che possono derivare.

In particolare, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- la variazione della domanda di mobilità, sia nello spazio (dispersione urbana) sia nel tempo (modifica degli orari e delle motivazioni dello spostamento, con appiattimento delle punte), richiede una modifica dell'offerta di trasporto, che non può comprendere esclusivamente i sistemi tradizionali ma deve essere integrata dai sistemi innovativi, i quali hanno maggiori possibilità di soddisfare la nuova domanda;
- ciascun contesto territoriale presenta caratteristiche molto diverse, pertanto è necessario valutare caso per caso le soluzioni migliori da adottare, tenendo conto dei sistemi innovativi, che possono integrare i servizi di trasporto collettivo tradizionali;
- nelle città e, in generale, nelle aree ad alta densità abitativa i servizi tradizionali soddisfano gran parte della domanda di mobilità, con dei limiti nelle ore di morbida e notturne ed eventualmente delle zone più periferiche, che possono essere superati con i sistemi di mobilità condivisa (car-sharing e ride-sharing);
- nelle aree a bassa densità (aree con insediamenti diffusi, aree rurali) i servizi tradizionali non garantiscono adeguata efficienza, quindi è meglio puntare sui sistemi innovativi, soprattutto servizi a chiamata, che permettono una flessibilità sugli orari e i percorsi da seguire pur essendo in grado di trasportare un discreto quantitativo di utenza;

- il car-sharing è un sistema molto versatile, in quanto è adatto sia per viaggi brevi con percorsi molto variabili (sistema a flusso libero) sia per viaggi lunghi su percorsi standard (sistema a stazioni fisse), presenta però il problema del riposizionamento dei veicoli (maggiori costi per l'operatore) e il vincolo del possesso della patente di guida per l'utente, entrambi eliminabili con la guida autonoma;
- il ride-sharing (noleggio auto con conducente) è un sistema, dal punto di vista trasportistico, analogo al taxi, pertanto è necessario orientare la normativa (di entrambi i sistemi) verso un punto comune, da una parte garantendo livelli qualitativi adeguati (regolamentare il ride-sharing in modo che l'autista sia abilitato al servizio e il veicolo sia in condizioni di sicurezza), dall'altra facilitando l'ingresso di nuovi operatori e nuovi servizi (superare le limitazioni delle licenze attuali e stabilire il numero adeguato di permessi da rilasciare, in base alla domanda di mobilità);
- il car-pooling è il sistema condiviso più efficiente, in quanto garantisce il maggior coefficiente di riempimento dei veicoli, tuttavia è più difficile da organizzare, per problemi di sincronismo dell'utenza (tutti devono effettuare lo stesso spostamento nello stesso momento) e di sicurezza (disponibilità a viaggiare con persone sconosciute); si può adottare in contesti particolari (ad esempio nelle aziende, per i dipendenti), in cui si risolvono i problemi appena citati;
- la mobilità condivisa può creare dei problemi di congestione stradale, se diventa eccessivamente attrattiva, come dimostrato sia dagli studi sia dal caso applicativo sviluppato in questo lavoro (scenario 1), quindi occorre stabilire un equilibrio adeguato tra essa e i sistemi tradizionali, mantenendo quest'ultimi in efficienza (evitando quindi di tagliare i servizi);
- la guida autonoma potrà garantire (quando sarà disponibile) dei miglioramenti, sia per il trasporto individuale (mancanza di stress dovuto alla guida, accessibilità a tutti gli utenti) sia per quello collettivo (maggiore efficienza dei servizi, che ne aumentano l'attrattività);
- il sistema autonomo con le maggiori potenzialità è l'ARTS, in quanto si può applicare in qualunque contesto, utilizzando le strade esistenti (a differenza dei



PRT, che richiedono la sede segregata) e garantendo una sicurezza intrinseca (di tipo ferroviario, a differenza degli *autonomous vehicles*);

- gli ARTS possono competere con i sistemi di trasporto collettivo tradizionali, dal punto di vista economico (come dimostrato nello scenario 3), ma è necessario sviluppare la tecnologia per garantire maggiori velocità di esercizio, per renderli adeguatamente attrattivi;

Ci sono state alcune difficoltà, nello sviluppo di questo lavoro, tra cui la definizione dei vari contesti territoriali, che non è mai stata affrontata in modo dettagliato. Il testo di Vuchic (2007) contiene una classificazione parziale delle varie configurazioni urbanistiche, ma è concentrata soprattutto sull'aspetto infrastrutturale (riguardo sia la rete stradale sia la rete TPL), con poca attenzione allo sviluppo dei servizi di trasporto collettivo; inoltre esso analizza esclusivamente i centri abitati, non considerando le aree a bassa densità abitativa (insediamenti diffusi e aree rurali). Il testo di Vuchic è stato la base di partenza per sviluppare la caratterizzazione dei vari contesti territoriali.

Un altro problema ha riguardato la caratterizzazione numerica dei sistemi di car-sharing, dal punto di vista del servizio complessivo, e la possibilità di confrontare i sistemi collettivi di tipo individuale (cioè basati sull'autovettura) con quelli tradizionali. Per questo, è stato necessario definire degli indicatori di rendimento e produttività comuni per entrambe le tipologie di sistemi, sulla base di quanto già proposto da altri autori per ciascuna di esse.

Una volta definiti gli indicatori per il car-sharing, è stata effettuata una verifica su un servizio programmato (la linea metropolitana di Brescia), applicando la stessa procedura, ottenendo un risultato equivalente. È dunque possibile ora confrontare i servizi condivisi (car-sharing) con quelli programmati (autobus, tram, metropolitana) e progettare dei sistemi equivalenti tra loro, come è stato fatto nel caso applicativo di Brescia, in questo lavoro.

Riguardo il caso studio di Brescia, i tre scenari hanno evidenziato che la sostituzione completa del TPL tradizionale con la mobilità condivisa (scenario 1) non è possibile,

non tanto per questioni finanziarie (il sistema può autosostenersi, nonostante gli ingenti investimenti iniziali) ma per problemi di congestione della rete stradale.

La mobilità condivisa può invece costituire un'alternativa allo sviluppo di nuove linee TPL tradizionali (scenario 2), anche se in questo caso, in cui il confronto ha riguardato alcune linee di forza (in progetto), non si è riscontrato un vantaggio economico per il car-sharing, evidenziando che è possibile uno sviluppo integrato tra car-sharing e TPL tradizionale senza prescindere da quest'ultimo. Si potrebbe condurre ulteriori verifiche per le linee di adduzione, per cui la mobilità condivisa può rappresentare una soluzione più efficiente.

Inoltre, si è visto che la scelta di impiegare veicoli elettrici, nella flotta del car-sharing, permette di ridurre i costi annuali per l'esercizio fino a 1/3, pur dovendo fronteggiare un costo d'investimento iniziale maggiore.

Lo scenario 3 invece ha mostrato che i sistemi autonomi hanno notevoli potenzialità nel trasporto collettivo, legate però allo sviluppo tecnologico e normativo del prossimo futuro, difficile da prevedere al momento attuale (l'orizzonte temporale potrebbe essere il 2030, per la diffusione su larga scala di questi sistemi).

Il caso applicativo ha mostrato che per una città media, come Brescia, i sistemi collettivi di massa (con veicoli di almeno 10 posti), sia tradizionali sia (in futuro) autonomi, risultano complessivamente più efficienti rispetto a quelli individuali.

Un ulteriore studio, a seguito di questo lavoro, potrebbe investigare le aree rurali e quelle con insediamenti diffusi, in particolare riguardo l'applicazione dei sistemi identificati come più efficaci per queste zone, per verificare se le considerazioni teoriche effettuate hanno un riscontro anche nella realtà. Questo permetterebbe di aprire la strada verso progetti concreti.

# BIBLIOGRAFIA

- [1] The European House – Ambrosetti; Il futuro della mobilità urbana.
- [2] Corona G., Festa D. C.; Trasporto Pubblico Locale; Egaf 2015.
- [3] Mastretta M. - ICS; Il car sharing come paradigma della sharing economy; 2014.
- [4] [www.icscarsharing.it](http://www.icscarsharing.it).
- [5] Ferrero F., Perboli G., Rosano M., Vesco A.; Car-sharing services: An annotated review; *Sustainable Cities and Society* 37 (2018) 501–518.
- [6] Jin S. T., Kong H., Wu R., Sui D. Z.; Ridesourcing, the sharing economy, and the future of cities; *Cities* 76 (2018) 96–104.
- [7] Vuchic V. R.; *Urban Transit-Systems and Technology*; John Wiley & Sons 2007.
- [8] Becker H., Ciari F., Axhausen K. W.; Measuring the car ownership impact of free-floating car-sharing - A case study in Basel, Switzerland; *Transportation Research Part D* 65 (2018) 51–62.
- [9] Firnkorn J., Müller M.; What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm; *Ecological Economics* 70 (2011) 1519–1528.
- [10] Gehrke S. R., Felix A., Reardon T. - MAPC Boston; A Survey of Ride-Hailing Passengers in Metro Boston; 2018.
- [11] Schaller B.; *Empty Seats, Full Streets - Fixing Manhattan's Traffic Problem*; 2017.
- [12] International Transport Forum; *Urban Mobility System Upgrade - How shared self-driving cars could change city traffic*; 2015.
- [13] Hall J. D., Palsson C., Price J.; Is Uber a substitute or complement for public transit?; *Journal of Urban Economics* 108 (2018) 36–50.

- [14] Shaheen S. A., Mallery M. A., Kingsley K. J.; Personal vehicle sharing services in North America; *Research in Transportation Business & Management* 3 (2012) 71–81.
- [15] Le Vine S., Polak J.; The impact of free-floating carsharing on car ownership: Early-stage findings from London; *Transport Policy* 75 (2019) 119–127.
- [16] Le Vine S., Lee-Gosselin M., Sivakumar A., Polak J.; A new approach to predict the market and impacts of round-trip and point-to-point carsharing systems: Case study of London; *Transportation Research Part D* 32 (2014) 218–229.
- [17] 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.
- [18] Illgen S., Höck M.; *Establishing car sharing services in rural areas*; Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2018.
- [19] Stiglic M., Agatz N., Savelsbergh M., Gradisar M.; Enhancing urban mobility: Integrating ride-sharing and public transit; *Computers and Operations Research* 90 (2018) 12–21.
- [20] Steck F., Kolarova V., Bahamonde-Birke F., Trommer S., Lenz B.; How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for Commuting; *Transportation Research Record* 2018, Vol. 2672(46) 11–20.
- [21] [www.sae.org](http://www.sae.org).
- [22] Madigan R., Louw T., Dziennus M., Graindorge T., Ortega E., Graindorge M., Merat N.; Acceptance of Automated Road Transport Systems (ARTS): an adaptation of the UTAUT model; *Transportation Research Procedia* 14 (2016) 2217 – 2226.
- [23] Shen Y., Zhang H., Zhao J.; Integrating shared autonomous vehicle in public transport system: A supply-side simulation of the first-mile service in Singapore; *Transportation Research Part A* 113 (2018) 125–136.
- [24] [www.ultraglobalprt.com](http://www.ultraglobalprt.com).
- [25] Maja R.; *Sistemi di trasporto collettivo locale – TPL*; Dispensa del corso di Tecnica ed Economia dei Trasporti, Politecnico di Milano, 2008.
- [26] Podestà C., Maja R., Studer L.; *Il sistema ferroviario della Lombardia e l'Area Metropolitana di Milano*; 2007.

- [27] Roess R. P., Prassas E. S.; *The Highway Capacity Manual: A Conceptual and Research History - Volume 1: Uninterrupted Flow*; Springer 2014.
- [28] Mastretta M., Burlando C.; *Il car sharing: un'analisi economica e organizzativa del settore*; FrancoAngeli 2006.
- [29] 1° Rapporto Nazionale – *La Sharing Mobility in Italia: numeri, fatti e potenzialità*; 2016.
- [30] 2° Rapporto Nazionale sulla Sharing Mobility; 2017.
- [31] Spinosa A., Alessandri A.; *Progetto Tram-Treno, volume 4: tecnica di base*; iBinari.it 2011.
- [32] Rapporto AUDIMOB 2015.
- [33] Briancesco S.; *Dal car-sharing free-floating tradizionale a quello elettrico nella città di Milano: definizione di un modello di valutazione della sostenibilità del servizio*; tesi di laurea, relatore: Maja R., Politecnico di Milano, 2018.

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Percentuale popolazione mobile.....	26
Tabella 2: Numero di spostamenti giornalieri per fasce di età.....	27
Tabella 3: Numero di spostamenti giornalieri per dimensione dei centri abitati.....	27
Tabella 4: Motivazioni della mobilità.....	28
Tabella 5: Frequenza degli spostamenti.....	29
Tabella 6: Orari della mobilità.....	29
Tabella 7: Caratteristiche e vantaggi delle tipologie di car-sharing dal punto di vista dell'utente, dell'operatore e delle autorità di regolazione.....	35
Tabella 8: Caratteristiche e soluzioni per le grandi città.....	63
Tabella 9: Caratteristiche e soluzioni per le città medio-piccole.....	64
Tabella 10: Caratteristiche e soluzioni per i centri minori.....	65
Tabella 11: Caratteristiche e soluzioni per gli insediamenti diffusi.....	66
Tabella 12: Caratteristiche e soluzioni per le aree rurali.....	67
Tabella 13: Livelli di automazione.....	80
Tabella 14: Rendimento di alcune reti tramviarie.....	94
Tabella 15: Rendimento di alcune reti tramviarie.....	94
Tabella 16: Rendimento delle reti metropolitane e tramviarie di alcune città italiane....	95
Tabella 17: Rendimento delle reti car-sharing in alcune città italiane.....	98
Tabella 18: Rendimento delle reti car-sharing in alcune città italiane.....	98
Tabella 19: Calcolo del rendimento della metropolitana di Brescia con lo stesso metodo usato per il car-sharing.....	99
Tabella 20: Calcolo della rete car-sharing equivalente alla metropolitana di Brescia...100	
Tabella 21: Parametri utilizzati per i calcoli dei costi.....	103
Tabella 22: Costi delle reti car-sharing attualmente presenti in alcune città italiane....	103
Tabella 23: Calcolo rendimento della rete di autobus della città di Brescia.....	109
Tabella 24: Dimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 1.....	110
Tabella 25: Densità veicolare calcolata per lo scenario 1.....	112
Tabella 26: Costi per la rete car-sharing tradizionale prevista nello Scenario 1.....	113
Tabella 27: Costi per la rete car-sharing elettrico prevista nello Scenario 1.....	114

Tabella 28: Dimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2.....	116
Tabella 29: Densità veicolare calcolata per lo scenario 2.....	117
Tabella 30: Costi per la rete car-sharing tradizionale prevista nello Scenario 2.....	117
Tabella 31: Costi per la rete car-sharing elettrico prevista nello Scenario 2.....	118
Tabella 32: Costi scenario B previsto nel PUMS.....	118
Tabella 33: Costi scenario T previsto nel PUMS.....	119
Tabella 34: Ridimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2, con 350 veicoli.....	120
Tabella 35: Costi della rete car-sharing tradizionale prevista nello Scenario 2, ridimensionata a 350 veicoli.....	120
Tabella 36: Ridimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2, con 1700 veicoli.....	121
Tabella 37: Costi della rete car-sharing tradizionale prevista nello Scenario 2, ridimensionata a 1700 veicoli.....	121
Tabella 38: Ridimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2, con 1150 veicoli.....	122
Tabella 39: Costi della rete car-sharing elettrico prevista nello Scenario 2, ridimensionata a 1150 veicoli.....	122
Tabella 40: Ridimensionamento della rete car-sharing prevista nello Scenario 2, con 5350 veicoli.....	123
Tabella 41: Costi della rete car-sharing elettrico prevista nello Scenario 2, ridimensionata a 5350 veicoli.....	123
Tabella 42: Dimensionamento della rete ARTS prevista nello Scenario 3.....	126
Tabella 43: Costi della rete ARTS prevista nello Scenario 3.....	127
Tabella 44: Ridimensionamento della rete ARTS prevista nello Scenario 3, con velocità media pari a 15 km/h.....	129
Tabella 45: Costi della ARTS prevista nello Scenario 3, ridimensionata per una velocità media di 15 km/h.....	129

# INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Rappresentazione schematica di una città.....	11
Figura 2: Rappresentazione schematica di un'area con insediamenti diffusi.....	16
Figura 3: Rappresentazione schematica di un'area di montagna.....	18
Figura 4: Rappresentazione schematica dello sprawl urbano.....	22
Figura 5: Esempio di sostituzione di due linee tradizionali con un servizio a chiamata.....	48
Figura 6: Relazioni tra tipo di utenza, motivo del viaggio e tipo di servizio a chiamata scelto.....	49
Figura 7: "Autonomous vehicle".....	76
Figura 8: Sistema PRT.....	77
Figura 9: Percorsi differenti verso l'obiettivo comune dell'automazione.....	78
Figura 10: Veicolo ARTS.....	82
Figura 11: Schema delle linee previste nello scenario B del PUMS.....	105
Figura 12: Schema delle linee previste nello scenario T del PUMS.....	105
Figura 13: Mappa della rete attuale di autobus di Brescia.....	108
Figura 14: Diagramma Densità-Flusso teorico.....	111
Figura 15: Mappa della rete prevista nello scenario T del PUMS.....	125



*Ringrazio l'Ing. Bonfante e il Prof. Maja, per avermi suggerito un argomento molto interessante, con prospettive di sviluppo futuro, e per avermi assistito in tutto il tempo necessario per svolgere la tesi.*

*Un ringraziamento alla mia famiglia e a tutti coloro che hanno reso possibile lo sviluppo di questo lavoro.*