



**Università  
degli Studi  
di Palermo**

AREA QUALITÀ, PROGRAMMAZIONE E SUPPORTO STRATEGICO  
SETTORE STRATEGIA PER LA RICERCA  
U. O. DOTTORATI

Dottorato di Ricerca in “Civil, Environmental, and Materials Engineering”  
Dipartimento di Ingegneria  
Infrastrutture viarie e Trasporti

*La modellazione della domanda di trasporto per la progettazione  
ottimale di servizi innovativi in area a domanda debole*

IL DOTTORE

**Alessandro Emilio Capodici**

IL COORDINATORE

**Prof. Ing. Antonina Pirrotta**

IL TUTOR

**Prof. Ing. Marco Migliore**

La presente ricerca è stata svolta nell'ambito del Progetto di ricerca PRIN 2017 dal titolo: “WEAKI TRANSIT: WEAK-demand areas Innovative TRANsport Shared services for Italian Towns”, codice cinca identificativo del progetto 20174ARRHT\_001, CUP: UNIPA di cui è Responsabile Scientifico, per l'Ateneo di Palermo, il prof. Marco Migliore.



**PRIN 2017**

Progetti di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale



CICLO XXXV  
ANNO CONSEGUIMENTO TITOLO 2023



*A mia madre e a tutta la mia famiglia,  
preziosissime spalle e forte sostegno  
per il raggiungimento di questo traguardo.*

*A Jenny, per il suo infinito amore e per il costante  
incoraggiamento in questo percorso di dottorato.*

*A tutti i miei amici, sempre vicini e di supporto,  
specialmente a Gabriele per l'enorme  
e inestimabile aiuto in questo triennio  
pieno di dubbi e di momenti di difficoltà.*

*A mio padre, a zio Pino, a zio Maurizio,  
allo "zio" Giovanni e a zio Franco,  
che erano sempre fieri di me e sono sempre stati  
importantissimi punti di riferimento, e anche se non sono  
più qui, hanno continuato a darmi sempre la forza  
di non arrendermi di fronte a nessun ostacolo.*



## Sommario

<b>Introduzione .....</b>	<b>11</b>
<b>1. La sharing mobility .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. La Sharing Economy.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. I servizi di sharing mobility e di trasporto pubblico in era pre e post     pandemica .....</b>	<b>16</b>
<b>2. Il sistema DRT: analisi della letteratura scientifica esistente .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Una panoramica sui servizi DRT.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Scenari di esercizio di un servizio DRT .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. Gli utenti più attratti e i principali motivi di spostamento con il DRT...25</b>	
<b>3. Una metodologia per la progettazione di un servizio DRT .....</b>	<b>29</b>
<b>4. L'area di studio.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1. La popolazione residente nell'area di studio .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2. Le caratteristiche del trasporto pubblico locale .....</b>	<b>47</b>
<b>5. Le caratteristiche del servizio DRT ipotizzato per l'area di Partanna Mondello.....</b>	<b>51</b>
<b>5.1. Identificazione e costruzione della rete di base.....</b>	<b>51</b>
<b>5.2. Le modalità operative del servizio DRT proposto .....</b>	<b>56</b>
<b>6. Indagini integrative sull'attuale servizio TPL.....</b>	<b>61</b>
<b>6.1. Alcune criticità del servizio di trasporto pubblico su gomma .....</b>	<b>61</b>
<b>6.2. L'analisi delle prestazioni del servizio di trasporto pubblico .....</b>	<b>69</b>
<b>6.2.1. Il rilevamento degli orari di transito degli autobus alle fermate .....</b>	<b>70</b>
<b>6.2.2. Le frequenze delle linee autobus nell'area di studio .....</b>	<b>72</b>
<b>6.2.3. La stima dei passeggeri serviti dalle linee autobus.....</b>	<b>75</b>
<b>7. L'indagine sulla domanda di trasporto .....</b>	<b>81</b>
<b>7.1. La costruzione del questionario per le indagini RP ed SP.....</b>	<b>82</b>
<b>7.1.1. Perché un'indagine RP ed SP assieme? .....</b>	<b>82</b>
<b>7.1.2. La struttura del questionario .....</b>	<b>84</b>
<b>7.1.3. Le campagne d'indagine .....</b>	<b>92</b>
<b>7.1.4. La costruzione del database su Microsoft Excel .....</b>	<b>95</b>
<b>8. La stima del modello di domanda .....</b>	<b>101</b>

<b>8.1. Il modello di utilità aleatoria “Multinomial Logit”</b>	<b>102</b>
<b>8.2. La calibrazione del modello di scelta modale</b>	<b>107</b>
8.2.1. <i>I risultati della prima serie di calibrazioni</i>	107
8.2.2. <i>La seconda serie di calibrazioni del modello di scelta modale</i>	109
<b>8.3. La matrice degli spostamenti occasionali potenziali</b>	<b>113</b>
8.3.1. <i>La costruzione del modello di emissione</i>	114
8.3.2. <i>La costruzione del modello di distribuzione</i>	120
8.3.3. <i>La determinazione delle probabilità di scelta del servizio DRT</i>	125
8.3.4. <i>La costruzione della matrice OD degli spostamenti occasionali effettuati con il DRT</i>	128
<b>9. Realizzazione del modello di macrosimulazione in VISUM e dimensionamento del servizio DRT</b>	<b>131</b>
9.1. <b>La costruzione del modello del servizio DRT</b>	<b>131</b>
9.2. <b>La fase delle simulazioni e delle analisi di scenario</b>	<b>135</b>
9.3. <b>Le analisi comparative tra gli scenari e la valutazione dei risultati</b>	<b>136</b>
<b>10. Analisi dei costi e tariffa ottimale</b>	<b>143</b>
10.1. <b>Il calcolo della variazione di soddisfazione degli utenti</b>	<b>144</b>
10.2. <b>Il calcolo della variazione degli incassi</b>	<b>154</b>
10.3. <b>Il calcolo della variazione dei costi operativi di gestione</b>	<b>156</b>
10.4. <b>Variazione delle esternalità negative</b>	<b>158</b>
10.5. <b>Individuazione della tariffa ottimale</b>	<b>160</b>
<b>Conclusioni</b>	<b>165</b>
<b>Finanziamenti</b>	<b>171</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>173</b>

## Indice delle figure

<b>Figura 1</b> – Andamento del numero di noleggi di carsharing e bikesharing dal 2015 al 2021 (Fonte: Osservatorio Sharing Mobility) .....	17
<b>Figura 2</b> – Esempio 1: Estensione di un servizio programmato con prefissati percorso e tabella di marcia .....	21
<b>Figura 3</b> – Esempio 2: Percorso fisso con deviazioni verso nodi prefissati con orari di passaggio stabiliti .....	22
<b>Figura 4</b> – Esempio 3: Fermate prestabilite all'interno di un corridoio .....	22
<b>Figura 5</b> – Esempio 4: Fermate prefissate all'interno di un'area .....	23
<b>Figura 6</b> – Esempio 5: Nodi fisici distribuiti sul territorio.....	24
<b>Figura 7</b> – Esempio 6: Combinazione di più schemi di funzionamento .....	24
<b>Figura 8</b> – Diagramma di flusso della metodologia proposta per la modellizzazione e la progettazione di un servizio DRT .....	33
<b>Figura 9</b> – Area di studio e nodi del servizio TPL operante in essa.....	41
<b>Figura 10</b> – Mappa dei centroidi delle zone censuarie in cui è suddivisa l'area di studio .....	43
<b>Figura 11</b> – Distribuzione della popolazione residente nelle zone censuarie dell'area di studio (Fonte: ISTAT 2011).....	45
<b>Figura 12</b> – Distribuzione degli addetti nell'area di studio (Fonte: ISTAT 2011).....	46
<b>Figura 13</b> – Punti di interesse dell'area di studio .....	46
<b>Figura 14</b> – Linee TPL operanti all'interno dell'area di studio.....	49
<b>Figura 15</b> – Nodo di interscambio DRT-linea 806 presso la fermata “Principe di Scalea – Galatea” .....	52
<b>Figura 16</b> – Nodo di interscambio DRT-ferrovia presso la stazione “Palermo Tommaso Natale” .....	52
<b>Figura 17</b> – Rete stradale di base e grafo di rete per il servizio DRT ipotizzato per l'area di studio: vi compaiono archi disabilitati al servizio (archi blu), abilitati al servizio flessibile (archi rossi) e le fermate opzionali a richiesta (nodi arancioni) .....	54
<b>Figura 18</b> – Catchment area di 300 metri sulla rete pedonale relativa alle fermate Amat attualmente presenti nell'area di studio .....	55
<b>Figura 19</b> – Mappa delle fermate future del servizio DRT e loro catchment area di 300 metri misurata sulla rete pedonale.....	56
<b>Figura 20</b> - Schema di progettazione della libreria ROMAN (tRanspOrt optiMisAtioN) e flusso di comunicazione (Fonte: Attard, Camilleri e Muscat, 2020) .....	58
<b>Figura 21</b> – Sovraffollamento a bordo della linea 806 (Fonte: BlogSicilia.it) .....	63
<b>Figura 22</b> – Volantino di scuse affisso alle varie fermate Amat .....	63
<b>Figura 23</b> – Fermata “Cristoforo Colombo – Roosevelt” all'Addaura. È presente la sola palina informativa, senza alcuna pensilina per l'attesa al riparo e in sicurezza degli utenti (Fonte: Google Street View, data dell'immagine: settembre 2022).....	64
<b>Figura 24</b> – Fermata “Cristoforo Colombo – Caronia Roberti” all'Addaura. Anche in questo caso è presente la sola palina informativa, senza alcuna pensilina per l'attesa delle persone, nonostante l'evidente disponibilità di spazio sufficiente ad accoglierla fuori dalla carreggiata (Fonte: Google Street View, data dell'immagine: settembre 2022) .....	65
<b>Figura 25</b> – Fermata “Tommaso Natale – Stazione FS” a Tommaso Natale. Pensilina sprovvista di panchina (Fonte: Google Street View, data dell'immagine: luglio 2022) .....	65
<b>Figura 26</b> – Fermata “San Raffaele Arcangelo–Callea”, nei pressi dell'Università degli Studi di Palermo. a) Stato precedente della fermata avvolta dalla vegetazione (Fonte: PalermoToday); b) Stato attuale della fermata, dopo la rimozione delle erbacce che la avvolgevano. Non è più	

presente, tuttavia, la palina informativa (Fonte: Google Street View, data dell'immagine: settembre 2022) .....	66
<b>Figura 27</b> – Esempio di tradizionale palina informativa Amat, con indicazione del nome delle fermate, delle linee che vi transitano, dei loro percorsi e delle loro frequenze nella stagione estiva e invernale, sia nei giorni feriali che in quelli festivi.....	67
<b>Figura 28</b> – Palina della fermata “Partanna Mondello – Matotta”, nascosta dalla vegetazione locale (Fonte: Google Street View, data dell'immagine: luglio 2022) .....	67
<b>Figura 29</b> – Palina della fermata “Tommaso Natale – Crocetta”, rappresentata da un piccolo e vecchio segnale nascosto dalla vegetazione (Fonte: Google Street View, data dell'immagine: dicembre 2021).....	68
<b>Figura 30</b> – Confronto tra le frequenze degli autobus dichiarate dall'Amat e quelle rilevate su strada, espresse in bus/h .....	73
<b>Figura 31</b> – Questionario tipo per l'indagine sulle caratteristiche socio-economiche e sulle attuali abitudini di mobilità dei residenti dell'area di studio .....	86
<b>Figura 32</b> – Questionario tipo per l'indagine SP da condurre tra i residenti dell'area di studio .....	87
<b>Figura 33</b> – Stralcio del primo database con le caratteristiche socio-economiche degli intervistati .....	97
<b>Figura 34</b> – Stralcio del primo database contenente le risposte all'indagine RP sugli spostamenti del giorno precedente.....	97
<b>Figura 35</b> – Stralcio del primo database con le risposte all'indagine SP sulle future scelte modali degli intervistati.....	98
<b>Figura 36</b> – Stralcio del secondo database con l'inserimento delle colonne “ $T_{\text{piedi}}$ ” e “ $T_{\text{mezzi motorizzati}}$ ” .....	111
<b>Figura 37</b> – Stralcio del foglio di calcolo contenente i dati censuari dell'ISTAT per le varie sezioni censuarie dell'area di studio.....	114
<b>Figura 38</b> – Prima elaborazione dei dati censuari dell'ISTAT di interesse.....	116
<b>Figura 39</b> – Estratto del database con i dati per sezione censuaria della popolazione residente distinta per età .....	117
<b>Figura 40</b> – Estratto del database con la distinzione per sezione censuaria della popolazione residente per sesso e per età.....	117
<b>Figura 41</b> – Estratto del database con la stima della popolazione residente per sesso, età e titolo di studio e il numero degli addetti (assoluto e in percentuale) per ciascuna sezione censuaria .....	118
<b>Figura 42</b> – Estratto del modello di emissione riferito alla sezione censuaria 2331 dell'area di studio, con indicazione del numero di spostamenti occasionali potenziali di sola andata emessi da ciascun segmento di mercato.....	120
<b>Figura 43</b> – Stralcio del modello di emissione riferito alla sezione censuaria 2331 per i vari segmenti di mercato, in cui si mostra una prima distribuzione degli spostamenti occasionali totali tra zone interne ed esterne servibili dal DRT (rispettivamente colonne J e K).....	122
<b>Figura 44</b> – Stralcio del modello di distribuzione per il segmento di mercato dei laureati di sesso maschile con età tra 15 e 19 anni .....	124
<b>Figura 45</b> – Esempio di tabella per il calcolo delle probabilità di scelta modale per la coppia OD “2331-2699” per una data categoria socio-economica .....	126
<b>Figura 46</b> -Stralcio della matrice OD finale degli spostamenti occasionali potenziali totali di andata effettuati dai residenti dell'area di studio con il servizio DRT ipotizzato .....	129
<b>Figura 47</b> – Diagramma di flusso della procedura di “Dispatcher” .....	133
<b>Figura 48</b> – Risultati delle assegnazioni per la simulazione associata alla matrice 1 .....	137
<b>Figura 49</b> – Confronto tra richieste evase e percentuale di passeggeri serviti con il DRT.....	139

<b>Figura 50</b> – Confronto tra il numero di mezzi simulati e il loro coefficiente di riempimento .....	139
<b>Figura 51</b> – Ottimizzazione del servizio DRT.....	140
<b>Figura 52</b> – Confronto tra i tempi di viaggio negli scenari analizzati .....	141
<b>Figura 53</b> – Andamento della funzione obiettivo al variare del prezzo del biglietto del servizio DRT .....	161
<b>Figura 54</b> – Andamento dei termini che compongono la funzione obiettivo .....	161

## Indice delle tabelle

<b>Tabella 1</b> – Simbologia adottata negli schemi delle seguenti figure 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (Fonte: Ambrosino <i>et al.</i> , 2004) .....	21
<b>Tabella 2</b> – Informazioni demografiche della popolazione residente nell’area di studio .....	44
<b>Tabella 3</b> – Orari dei treni in partenza dalla stazione “Palermo Tommaso Natale” e diretti alla stazione “Palermo Centrale” (Fonte: Trenitalia) .....	47
<b>Tabella 4</b> – Orari dei treni in partenza dalla stazione “Palermo Centrale” e diretti alla stazione “Palermo Tommaso Natale” (Fonte: Trenitalia) .....	48
<b>Tabella 5</b> – Linee di trasporto, percorsi e intertempi del servizio di trasporto pubblico all’interno dell’area di studio .....	49
<b>Tabella 6</b> – Orari di passaggio degli autobus rilevati alle fermate Amat dell’area di studio .....	70
<b>Tabella 7</b> – Orari di transito degli autobus dichiarati dall’azienda Amat (Fonte: Amat S.p.A.) .....	71
<b>Tabella 8</b> – Frequenze dichiarate e rilevate delle linee di autobus circolanti nell’area di studio .....	72
<b>Tabella 9</b> – Confronto degli intertempi teorici e rilevati per le linee autobus dell’area di studio .....	74
<b>Tabella 10</b> – Confronto tra i tempi di attesa teorici ed effettivi sostenuti dagli utenti dell’area di studio .....	74
<b>Tabella 11</b> – Rilevamenti su strada sulle linee TPL dell’area di studio e stima dei passeggeri trasportati all’ora .....	77
<b>Tabella 12</b> – Indici di mobilità e percentuale di spostamenti occasionali effettuati con il TPL .....	79
<b>Tabella 13</b> – Esempio di scomposizione di un piano fattoriale completo in 4 blocchi da due scenari ciascuno secondo le variabili di blocco (TA, CA) e (TA, TB) (Fonte: Cascetta, 2006, pag. 530) .....	89
<b>Tabella 14</b> – Attributi scelti per gli scenari intrazonali, con i relativi valori inferiore e superiore .....	90
<b>Tabella 15</b> – Attributi scelti per gli scenari con destinazioni esterne all’area di studio e loro rispettivi valori .....	91
<b>Tabella 16</b> – Valori assegnati ai livelli inferiore e superiore degli attributi di tempo in moto, in auto e col DRT .....	91
<b>Tabella 17</b> – Valori assegnati ai livelli inferiore e superiore degli attributi di costo del parcheggio .....	91
<b>Tabella 18</b> – Campagne d’indagine svolte nell’area di studio e numero di questionari e scenari sottomessi .....	94
<b>Tabella 19</b> – Elementi di classificazione dei modelli di domanda (Cascetta, 2006) .....	101
<b>Tabella 20</b> – Risultati della prima serie di calibrazioni del modello sul software STATA .....	108
<b>Tabella 21</b> – Risultati finali della calibrazione del modello di scelta modale effettuata su R112 .....	108

<b>Tabella 22</b> – Indici di mobilità occasionale per le fasce d'età 15 – 59 anni e $\geq 60$ anni.....	119
<b>Tabella 23</b> – Percentuali delle destinazioni interne, esterne e non raggiungibili dai mezzi del servizio DRT desunte dal database delle interviste .....	121
<b>Tabella 24</b> – Ripartizione degli spostamenti esterni servibili dal sistema integrato DRT-TPL per le due fasce d'età "15 – 59 anni" e " $\geq 60$ anni", in valori assoluti e percentuali .....	123
<b>Tabella 25</b> – Parametri di input per la procedura di "Dispatcher" .....	135
<b>Tabella 26</b> – Parametri di output ottenuti dalle simulazioni .....	136
<b>Tabella 27</b> – Risultati delle simulazioni per gli scenari analizzati.....	138
<b>Tabella 28</b> – Valori della domanda di mobilità espressa dagli utenti che useranno il servizio DRT per dirigersi verso l'esterno dell'area di studio, calcolati al variare del prezzo del biglietto.....	148
<b>Tabella 29</b> – Valori della domanda di mobilità interna che in futuro utilizzerà il servizio DRT .....	149
<b>Tabella 30</b> – Percentuali di utenti del servizio TPL che effettuano spostamenti interni ed esterni e ripartizione di questi ultimi tra servizio ferroviario e linea 806 .....	151
<b>Tabella 31</b> – Stima della ripartizione della domanda attuale su TPL tra spostamenti interni e verso l'esterno, divisa quest'ultima tra servizio ferroviario e linea 806.....	151
<b>Tabella 32</b> – Spostamenti occasionali totali emessi ripartiti tra aree in futuro servibili e non servibili dal servizio DRT integrato con il TPL .....	152
<b>Tabella 33</b> – Valori finali della domanda di mobilità attuale su TPL verso l'interno e l'esterno dell'area di studio, ridotti della frazione di spostamenti diretti verso zone non servibili in futuro dal servizio DRT. ....	153
<b>Tabella 34</b> – Variazione della soddisfazione degli utenti al variare della tariffa del servizio DRT .....	154
<b>Tabella 35</b> – Variazione degli incassi al variare della tariffa del servizio DRT .....	155
<b>Tabella 36</b> – Variazione dei costi operativi di gestione del servizio DRT al variare della tariffa .....	158
<b>Tabella 37</b> – Variazione delle esternalità negative del servizio DRT al variare della tariffa. ....	160
<b>Tabella 38</b> – Risultati della funzione obiettivo per l'individuazione della tariffa ottimale per il servizio DRT .....	160
<b>Tabella 39</b> – Risultati della funzione obiettivo finanziaria per l'individuazione della tariffa ottimale del servizio DRT per l'azienda di trasporti .....	163
<b>Tabella 40</b> – Confronto tra i risultati della funzione obiettivo finanziaria e il contributo regionale e comunale versato ad Amat per l'esercizio di 8 autobus, senza il surplus di incassi dal servizio ferroviario.....	164
<b>Tabella 41</b> – Confronto tra i risultati della funzione obiettivo finanziaria e il contributo regionale e comunale versato ad Amat per l'esercizio di 8 autobus, senza il surplus di incassi dal servizio ferroviario e dal servizio su gomma effettuato dalla linea 806 .....	164

## Introduzione

Nel corso del triennio del XXXV Ciclo di Dottorato di Ricerca in “*Civil, Environmental, and Materials Engineering*” è stato affrontato un tema di ricerca focalizzato sulla valutazione del possibile impatto di un servizio di trasporto condiviso a chiamata, denominato DRT (“*Demand Responsive Transport*”), sulle attuali abitudini di mobilità dei residenti di un’area periferica della città di Palermo. La scelta, in particolare, è caduta sull’area periferica a Nord della città metropolitana di Palermo, comprendente i quartieri di Partanna Mondello e Tommaso Natale, oltre alle zone balneari di Mondello e dell’Addaura. Il motivo è legato principalmente alla scarsa efficienza ed affidabilità del servizio di trasporto pubblico attualmente operante sull’area, che costringe i residenti ad orientarsi principalmente verso i propri mezzi privati, aggravando una già seria criticità sulla qualità della vita in termini di congestione stradale e di inquinamento ambientale dovuta all’utilizzo massiccio ed indiscriminato di veicoli privati da parte della collettività. Proprio la scelta di un servizio di mobilità condivisa come il DRT, proseguendo il percorso di orientamento verso forme di sharing mobility avviato con i servizi di carsharing e bikesharing, potrebbe essere la soluzione ideale verso sistemi di trasporto ecosostenibili, che siano in grado di migliorare la qualità della vita all’interno delle città e, ancora di più, nei quartieri periferici e nelle aree rurali. Queste, infatti, spesso soffrono di una scarsa qualità del servizio di trasporto pubblico, poiché i costi per sostenere una buona frequenza di servizio e la copertura dell’area diventano elevati a causa della bassa densità della domanda (Dytckov *et al.*, 2022; Poltimäe *et al.*, 2022). Proprio i servizi DRT si propongono come una delle soluzioni che possono fornire un servizio di trasporto pubblico economicamente efficiente (Davison *et al.*, 2012).

Il trasporto pubblico, infatti, ha come obiettivo aiutare le comunità rurali a diventare più efficienti ed eque, così come garantire a tutti i residenti, non guidatori inclusi, di godere di una mobilità indipendente. Proprio nelle aree periferiche, e ancor più in quelle rurali, il trasporto pubblico, anche se serve solo una piccola parte della popolazione totale residente in queste zone, deve garantire degli spostamenti assolutamente fondamentali. Deve permettere, ad esempio, ai residenti più anziani e alle persone con difficoltà motorie di accedere ai servizi di assistenza sanitaria e agli acquisti di base; deve garantire, inoltre, ai giovani la possibilità di raggiungere i luoghi di

istruzione, ai lavoratori di accedere al proprio posto di lavoro, e ancora ai turisti di visitare le principali attrazioni del territorio senza ricorrere al proprio mezzo a motore. Soddisfare queste esigenze di mobilità è assolutamente cruciale e fornirebbe molteplici benefici alla collettività e anche al territorio; trascurarli o sottovalutarli in fase di pianificazione o nelle valutazioni economiche, quindi, diventerebbe davvero controproducente (Litman, 2017). Se il trasporto pubblico non è disponibile, i residenti possono perdere appuntamenti medici e posti di lavoro, oppure devono essere trasportati con l'autista. Le comunità che non dispongono di un servizio di trasporto pubblico, quindi, si trovano in netto svantaggio quando si tratta di attrarre persone con disabilità, residenti più giovani e turisti rispetto ad altre comunità dove i servizi di mobilità sono migliori. Inoltre, le attuali tendenze demografiche ed economiche (come, ad esempio, l'invecchiamento della popolazione, l'aumento dei residenti con disabilità, i cambiamenti industriali e l'aumento della povertà) stanno progressivamente incrementando la domanda di trasporto pubblico rurale, poiché sta aumentando il numero di persone che non possono, non devono o preferiscono non guidare. Una carenza da parte del trasporto pubblico, dunque, innescherebbe una spirale di declino della popolazione e dell'economia, una minaccia particolarmente frequente nelle aree rurali. Proprio per garantire un'adeguata offerta di trasporto pubblico ai suoi residenti, in modo da soddisfare le loro esigenze di mobilità, le comunità rurali hanno cominciato ad elaborare diversi servizi di mobilità con l'aiuto di partnership e fonti di finanziamento, migliorando i servizi di trasporto pubblico anche con modesti investimenti. Tra questi servizi si annoverano servizi di taxi sovvenzionati, programmi di volontariato gestiti da appositi enti di beneficenza, servizi di trasporto comunitario e, appunto, anche servizi condivisi a chiamata, anche semplicemente a percorso fisso.

Grazie ad una campagna di indagini RP (*"Revealed Preferences"*) ed SP (*"Stated Preferences"*), volta a conoscere le attuali e future potenziali scelte modali della popolazione residente nell'area di studio, si è calibrato un modello di ripartizione modale attraverso i software di elaborazione statistica STATA ed R. In seguito all'analisi sulla rete stradale effettuata mediante il software QGIS e ai dati censuari raccolti sia dall'ultimo censimento ISTAT che dai dati estratti dai database interni al software *ArcGIS Business Analyst*, inoltre, è stato possibile stimare sia un modello di generazione che di distribuzione; questi modelli hanno permesso una più accurata stima della domanda di mobilità interna all'area e diretta verso alcuni poli di attrazione esterni al contesto

di studio, restituendo così la potenziale ripartizione modale verso il nuovo servizio flessibile a chiamata ipotizzato. Attraverso la realizzazione di un modello di macrosimulazione implementato mediante il software VISUM, inoltre, è stato possibile, fissati alcuni parametri del servizio DRT, ottenere il numero di mezzi tali da soddisfare la domanda potenziale stimata nel modello di domanda, così come altri parametri come la domanda di mobilità effettivamente servita, i tempi di attesa degli utenti alle fermate e i chilometri complessivamente percorsi dall'intera flotta simulata. Sempre grazie al modello di domanda stimato, infine, è stato possibile implementare un modello di ottimizzazione "what-to" che ha determinato la tariffa ottimale per il servizio, tenendo conto non soltanto di aspetti meramente finanziari quali gli incassi e i costi di gestione, ma anche della soddisfazione degli utenti e della riduzione delle esternalità negative.

L'obiettivo della presente tesi, infatti, è stato quello di dimostrare che questi servizi, se opportunamente cofinanziati dall'amministrazione come servizi sostitutivi del TPL convenzionale, possono rappresentare una soluzione efficace per garantire una mobilità sostenibile non solo all'interno delle aree a domanda debole ma anche nell'intero contesto urbano. Tali servizi, per l'appunto, possono fungere da adduttori ai sistemi di trasporto convenzionali e, quindi, possono essere in grado di orientare l'utenza verso un servizio di trasporto pubblico integrato anche per compiere spostamenti diretti all'esterno dell'area di studio. In particolare, la presente tesi di dottorato è strutturata come mostrato di seguito. Nel Capitolo 1 si introduce il tema della sharing mobility quale branca della sharing economy; si evidenzia, in particolare, il trend nel tempo dei due principali servizi di condivisione quali il carsharing e il bikesharing, con l'impatto sul numero di noleggi causato dall'avvento della pandemia da coronavirus, così come le categorie di utenza che incontrerebbero maggiori difficoltà ad adottare tali modalità e per le quali, quindi, si sono valutate soluzioni di mobilità alternative. Nel Capitolo 2 si analizza la letteratura scientifica esistente relativa ai servizi DRT, esponendo dapprima una panoramica iniziale su questa forma di mobilità condivisa per passare, in seguito, alla descrizione dei diversi possibili schemi di esercizio del servizio, operante da solo o combinato con sistemi di trasporto pubblico convenzionali, e all'indicazione delle categorie di utenti e dei motivi di spostamento più frequenti per tale servizio di mobilità. Nel Capitolo 3 si descrive lo schema metodologico adottato per affrontare il presente tema di ricerca, ossia la modellazione della domanda di trasporto ai fini di un'ottimale progettazione dei servizi DRT per le aree a domanda debole. Si

evidenzia, inoltre, che tale metodologia, di carattere generale, è comunque possibile estenderla anche a contesti urbani più densamente abitati. Nel Capitolo 4 si mostra l'area di studio periferica della città di Palermo sulla quale è stata applicata la metodologia descritta al capitolo precedente, evidenziandone le caratteristiche socio-demografiche dei residenti e la rete dei servizi di trasporto pubblico ivi operanti. Nel Capitolo 5 si descrive la struttura operativa ipotizzata per l'esercizio del servizio DRT, identificando la rete stradale di base sulla quale circoleranno i mezzi selezionati per effettuare tale servizio e descrivendo la tipologia di sistema offerto alla collettività in termini di mezzi, orari di operatività e modalità di prenotazione del servizio. Il Capitolo 6 affronta il tema delle criticità relative all'attuale servizio di trasporto pubblico in esercizio all'interno dell'area di studio, esponendo non solo le osservazioni critiche poste dagli utenti ma anche i risultati delle indagini condotte su strada per accertare la qualità del servizio offerto alla cittadinanza. Il Capitolo 7 è relativo all'indagine sulla domanda di trasporto, esposta partendo dalla costruzione del questionario per le indagini RP ed SP fino alla conduzione dell'indagine e alla raccolta delle risposte fornite dagli intervistati. Nel Capitolo 8 si descrivono tutti i passaggi necessari per stimare la domanda di trasporto nell'area di studio secondo quanto stabilito nella metodologia generale, esponendo gli step di calibrazione svolti grazie ai software di elaborazione statistica e di costruzione delle diverse matrici del modello di domanda con l'obiettivo di costruire la matrice degli spostamenti occasionali totali effettuati dai residenti del contesto esaminato. Nel Capitolo 9 si discute della costruzione di un modello di macrosimulazione implementato in VISUM, al fine di simulare l'interazione tra la domanda e l'offerta ed eseguire delle elaborazioni e analisi per valutare le prestazioni del servizio e ottimizzare la flotta sulla base della domanda; in dettaglio si è esposta la metodologia riferita alla fase di costruzione del modello del servizio DRT, con la creazione delle richieste di viaggio e dei percorsi, e alla fase di simulazione del servizio, con le analisi di scenario svolte per valutare le prestazioni raggiunte dal servizio proposto. Il Capitolo 10, infine, conclude il tema di ricerca descrivendo in dettaglio l'implementazione del modello di ottimizzazione "*what-to*" scelto per determinare la tariffa ottimale da proporre alla collettività per offrire il servizio DRT, effettuando sia le valutazioni finanziarie che quelle di soddisfazione dell'utenza.

# 1. La sharing mobility

## 1.1. La Sharing Economy

Nel 2010 Botsman e Rogers pubblicarono il libro “What’s Mine is Yours”, che contribuì all’affermazione della sharing economy, un paradigma economico in continua evoluzione a basso impatto ambientale, reso possibile, innanzitutto, dal progresso tecnologico. In particolare, Rachel Botsman definisce la sharing economy come quel «modello economico basato sulla collaborazione e sulla condivisione di asset, spazi, competenze, oggetti sotto utilizzati, al fine di trarre benefici monetari e non». Tuttavia, numerose sono le definizioni sull’economia della condivisione e rispecchiano la complessità di tale costrutto. Anche Juliet Schor (2014) che ha condotto numerose ricerche sul campo, sostiene che è alquanto complicato definire in maniera univoca la sharing economy, poiché essa ingloba una «tentacolare» varietà di pratiche di scambio che si modificano velocemente nel tempo, così da rendere impossibile ricondurle ad un unico fondamento teorico. Successivamente, nel 2015 l’Oxford Dictionary ha incluso la sharing economy tra i neologismi definendola:

*“An economic system in which assets or services are shared between private individuals, either for free or for a fee, typically by means of the Internet, e.g. thanks to the sharing economy you can easily rent out your car, your apartment, your bike, even your wifi network when you don’t need it”*

*“Un sistema economico nel quale beni o servizi sono condivisi tra privati, gratuitamente o in cambio di una somma di denaro, tipicamente attraverso internet, per esempio grazie alla sharing economy puoi facilmente noleggiare la tua auto, il tuo appartamento, la tua bici, anche la tua rete wifi quando non ti serve”.*

Il settore della mobilità è quello in cui ha avuto più fortuna e si è sempre più evoluta l’economia della condivisione.

## 1.2. I servizi di sharing mobility e di trasporto pubblico in era pre e post pandemica

Uno dei principali obiettivi dei servizi di mobilità condivisa come il carsharing e il bikesharing, come è noto, è quello di contribuire alla riduzione dell'uso massiccio ed indiscriminato dei mezzi privati da parte della collettività, che gravano notevolmente sulla qualità della vita nelle città in termini, ad esempio, di inquinamento acustico e atmosferico, di congestione stradale e di incidentalità. Grazie, inoltre, ai progressi nel campo delle ICT (*Information and Communication Technologies*) e all'avvento delle piattaforme MaaS (*Mobility as a Service*) – queste ultime che permettono agli utenti di acquistare in un'unica piattaforma e con un'unica modalità di pagamento i pacchetti di mobilità che più si adattano alle loro esigenze di spostamento –, si sta puntando a migliorare ulteriormente l'integrazione tra tali servizi di mobilità condivisa e i sistemi di trasporto pubblico convenzionale come autobus e treni, offrendo agli utenti una soluzione di mobilità di primo ed ultimo miglio alternativa alla modalità pedonale. Si possono, così, riuscire a garantire prestazioni simili a quelle dei servizi *on demand* come, ad esempio, i taxi, con costi tuttavia più accessibili per la popolazione.

La pandemia da Covid-19, tuttavia, ha inciso notevolmente sul numero di noleggi dei servizi di carsharing e bikesharing. Come evidenziato dall'ultimo Rapporto Nazionale sulla Sharing Mobility del 2022, rispetto al periodo pre-pandemico il numero di noleggi di auto e bici è drasticamente diminuito, come osservabile dalla seguente Figura 1.

In essa è possibile notare come in Italia, tra il 2020 e il 2021, il numero di noleggi sia incrementato per il servizio di carsharing *station-based* ed entrambe le modalità *station-based* e *free-floating* del bikesharing, mentre per il servizio carsharing *free-floating* si è registrata una sua diminuzione:

- Noleggi carsharing station-based:
  - 2020: 238mila;
  - 2021: 291mila (+22,2%)
- Noleggi carsharing free-floating:
  - 2020: 6,2 milioni
  - 2021: 5,7 milioni (-8,6%)
- Noleggi bikesharing station-based:

- 2020: 2,7 milioni
- 2021: 3,4 milioni (+22%)
- Noleggi bikesharing free-floating:
  - 2020: 2,9 milioni
  - 2021: 4,6 milioni (+56%)



**Figura 1** – Andamento del numero di noleggi di carsharing e bikesharing dal 2015 al 2021 (Fonte: Osservatorio Sharing Mobility)

Questi numeri, tuttavia, sono nettamente in calo rispetto al 2019: ciò può essere facilmente spiegato con le varie misure restrittive sulla mobilità adottate dai politici nei vari Paesi del mondo al fine di ridurre il rischio di contagio e la diffusione del virus (de Palma *et al.*, 2022; Mao *et al.*, 2021). Queste restrizioni hanno, ovviamente, avuto un fortissimo impatto anche sul trasporto pubblico locale: la riduzione imposta sul numero di passeggeri a bordo di autobus, tram e treni, al fine di garantire il distanziamento minimo tra le persone, ha contribuito conseguentemente ad una riduzione dei ricavi di tali servizi, rischiando di condurre ad una riduzione o addirittura all'interruzione di alcuni servizi e, quindi, un deterioramento della qualità della rete del trasporto pubblico (ICE, 2021).

Spesso le pubbliche amministrazioni e le aziende di trasporto, quando devono effettuare tagli sul trasporto pubblico, li operano su linee di autobus che circolano in zone urbane periferiche, dove solitamente si concentra una minore domanda rispetto al centro urbano più densamente abitato e dove i servizi di trasporto pubblico locale (più brevemente servizi TPL) hanno una frequenza piuttosto scarsa. Ciò, quindi, contribuisce a peggiorare ulteriormente la qualità del servizio TPL in tali aree e, quindi, la qualità della vita dei residenti delle periferie, che si vedono costretti ad utilizzare il proprio mezzo privato per compiere i propri spostamenti: si avrebbe, infatti, un aggravio delle condizioni di congestione stradale e della qualità dell'aria a causa dell'inquinamento atmosferico e acustico generato dalla moltitudine di mezzi circolanti su strada.

Inoltre, in queste realtà urbane si avrebbero anche problemi di esclusione sociale: alcune categorie di utenti, infatti, quali i bambini, gli anziani, le persone con difficoltà motorie o disabilità e anche coloro i quali non hanno una patente di guida, risulterebbero escluse dalla mobilità urbana, non potendo contare né sui mezzi di trasporto collettivi né sui mezzi privati (Viergutz e Schmidt, 2019).

Poiché un servizio di bikesharing non costituirebbe una soluzione fattibile per anziani e persone con difficoltà motorie – oltre a richiedere un'adeguata infrastruttura ciclabile che possa garantire un elevato standard di sicurezza per gli utenti – e un servizio di carsharing non potrebbe essere sfruttato da bambini, persone con disabilità (salvo una flotta con veicoli adattati a questa tipologia di utenza), utenti con meno di 18 anni e, in ogni caso, coloro che non posseggono la patente di guida, è necessario trovare una valida alternativa che possa andare incontro alle esigenze di mobilità di questa fetta di utenza, in modo tale da non escluderla dalla mobilità urbana. Una di queste, oggetto di diversi studi ed approfondimenti, riguarda i sistemi condivisi a chiamata, i cosiddetti sistemi DRT (*Demand Responsive Transport*).

## 2. Il sistema DRT: analisi della letteratura scientifica esistente

### 2.1. Una panoramica sui servizi DRT

I sistemi DRT, secondo quanto espresso da Ambrosino *et al.* (2004), sono forme di trasporto intermedie tra gli autobus convenzionali e i taxi, coprendo un ampio spettro di servizi di trasporto che va da un servizio di trasporto comunitario fino ad un servizio ad area vasta. Una definizione analoga è fornita da Brake *et al.* (2004), che definisce i servizi DRT come un sistema di trasporto pubblico che sfrutta bus di piccole dimensioni a pianale ribassato (comportandosi come un servizio bus convenzionale) ma che garantisce percorsi variabili e un servizio altamente personalizzato, su misura dell'utente (al pari dei taxi).

Essendo un servizio a chiamata, i mezzi circolano su strada solo in funzione della domanda. Il sistema, quindi, come sua caratteristica principale si adatta alle richieste di spostamento da parte della domanda, modificando il percorso ed eventualmente anche la tabella di marcia (Wang *et al.*, 2015); inoltre, riduce la circolazione di veicoli di trasporto collettivo vuoti, con correlato risparmio sia di tempo che di emissioni e, quindi, minori costi per il fornitore del servizio (Viergutz e Schmidt, 2019).

I servizi DRT potrebbero risultare una delle possibili soluzioni alle criticità delle periferie urbane, delle città di piccole dimensioni e anche delle aree rurali (Velaga *et al.*, 2012). In esse, infatti, i servizi di trasporto pubblico convenzionali risultano, laddove presenti, economicamente onerosi per le amministrazioni, con mezzi che spesso circolano con pochi passeggeri a bordo ed una qualità del servizio compromessa dalle scarse frequenze.

Dalla letteratura scientifica appare evidente come i servizi DRT siano particolarmente efficaci in aree isolate e a bassa densità abitativa. Riescono, infatti, a garantire alle comunità residenti collegamenti verso servizi essenziali come, ad esempio, i servizi di assistenza sanitaria, contribuendo al miglioramento del benessere della collettività (Nelson e Phonphitakchai, 2012). Naturalmente, il costo del servizio per i passeggeri risulta maggiore di quello di un servizio tradizionale di autobus a percorso fisso; per le amministrazioni comunali, invece, il costo complessivo del servizio è senza dubbio

inferiore rispetto a quello sostenuto per sistemi di trasporto pubblico convenzionali (Dytckov *et al.*, 2022; Teal e Becker, 2011; Velaga *et al.*, 2012; Wang, C. *et al.*, 2014). Tuttavia, tale servizio necessita di sovvenzioni per potersi sostenere economicamente (Sörensen, L. *et al.*, 2021). L'attuale spesa per il trasporto pubblico locale, infatti, come esposto da Litman (2017), è piuttosto bassa, specialmente se la si confronta con la spesa pro capite per il trasporto pubblico nelle aree urbane, con la spesa sostenuta dai governi e dalle aziende per strade e parcheggi, o semplicemente con le spese degli automobilisti per l'acquisto di autovetture o per l'iscrizione ad associazioni automobilistiche. Esistono, comunque, diversi programmi statali che sostengono il trasporto pubblico in aree rurali, anche se le comunità rurali locali devono fornire dei fondi in modo tale da poter sostenere nel tempo questi servizi di mobilità. Il successo dei sistemi a chiamata, infatti, dipende spesso dalla stretta collaborazione tra i comuni, i fornitori di servizi e gli operatori del trasporto pubblico (Mounce, Beecroft e Nelson, 2020). Tuttavia, la ricerca ha mostrato che le aspettative di un servizio DRT come soluzione economicamente efficiente spesso non vengono soddisfatte: molti dei tentativi di implementazione di sistemi di trasporto a chiamata esistenti non sono stati finanziariamente sostenibili e sono, di conseguenza, falliti (Enoch *et al.*, 2006).

I servizi a chiamata possono essere ugualmente efficaci anche nelle aree urbane e non esclusivamente in quelle rurali e periferiche. Possono, infatti, garantire un servizio feeder con i servizi di trasporto pubblico di massa, offrendo così una soluzione per gli spostamenti di primo ed ultimo miglio. Ciò, quindi, può tradursi anche come un valido deterrente all'utilizzo dei mezzi privati (Chandra *et al.*, 2013; Gunay *et al.*, 2016; König e Gripenkoven, 2020). Un servizio feeder, infatti, come riportato da Nickkar, Lee e Meskar (2022), permette di ridurre al minimo i tempi di viaggio dei passeggeri e anche i costi dell'operatore ottimizzando il percorso sulla base della domanda.

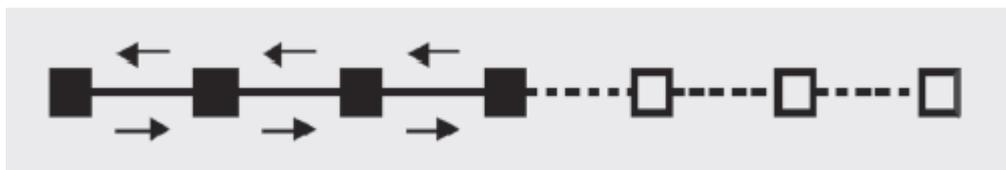
Una delle principali applicazioni dei sistemi DRT, come evidenziato da Papanikolaou *et al.* (2017), è legata al trasporto di persone anziane o con difficoltà motorie, come per esempio i servizi di "paratransit" in esercizio ancora adesso negli Stati Uniti ma anche in altre parti del mondo. I servizi condivisi a chiamata, tuttavia, possono essere impiegati anche come servizi navetta per collegare le aree urbane isolate con i centri abitati densamente popolati oppure i principali nodi del trasporto pubblico come, ad esempio, gli aeroporti (Davison, L. *et al.*, 2012).

## 2.2. Scenari di esercizio di un servizio DRT

I sistemi DRT possono avere diversi schemi di funzionamento: dai sistemi a percorso fisso con deviazioni di percorso, facendo salire e scendere i passeggeri presso determinate fermate della rete (sia reali che virtuali) e ritornando poi sul percorso principale, fino ai sistemi porta a porta. Possono anche sussistere combinazioni di questi sistemi, con percorsi anche totalmente flessibili oppure con la possibilità di far salire a bordo i passeggeri presso la loro origine desiderata e farli scendere presso prestabiliti nodi del trasporto pubblico, come fermate o capolinea di bus (Ambrosino *et al.*, 2004; Papanikolaou *et al.*, 2017; Sørensen, L. *et al.*, 2021). Si mostrano di seguito alcuni esempi di funzionamento dei servizi DRT (Ambrosino *et al.*, 2004), con la simbologia spiegata nella seguente Tabella 1.

**Tabella 1** – Simbologia adottata negli schemi delle seguenti figure 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (Fonte: Ambrosino *et al.*, 2004)

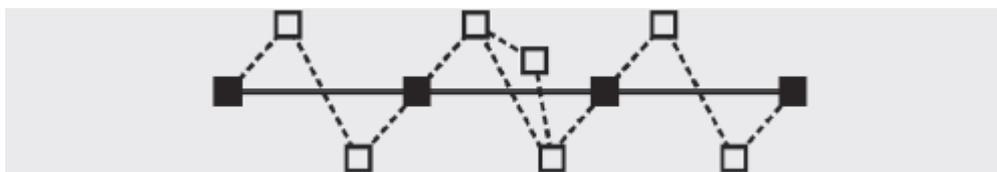
Simbolo	Descrizione
■	Nodo fisso con prestabilito orario di passaggio e sempre servito
□	Nodo fisso con prestabilito orario di passaggio ma servito solo su richiesta
○	Nodo fisso servito esclusivamente su richiesta
🏠	Fermata posizionata ovunque nel territorio, indicata dall'indirizzo (nel caso di una casa) o dal nome del posto (per esempio un edificio importante)



**Figura 2** – Esempio 1: Estensione di un servizio programmato con prefissati percorso e tabella di marcia

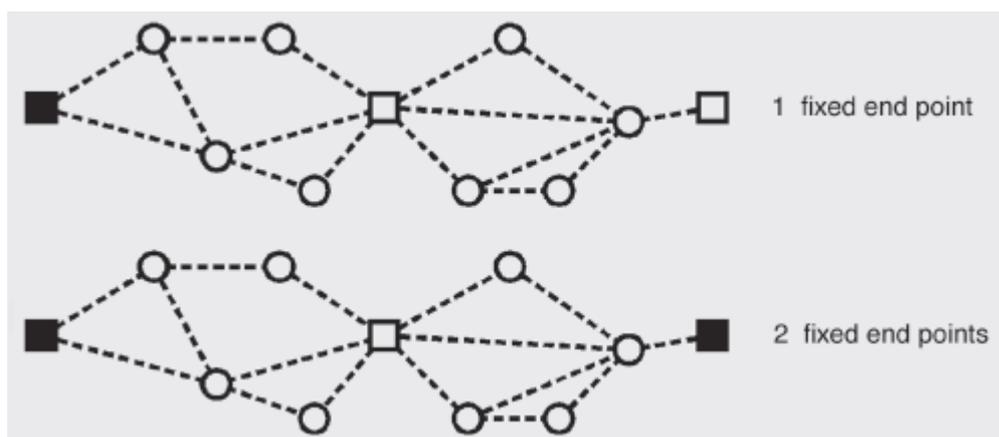
Questo schema è molto simile a quello di un servizio di linea tradizionale, con alcune fermate aggiuntive inserite lungo un percorso fisso e servite solo su domanda, con orari di passaggio già stabiliti. La fattibilità di un simile sistema, tuttavia, è piuttosto

limitata, in quanto i nodi su richiesta saranno serviti solo dopo aver servito l'ultimo nodo della linea fissa, necessitando quindi un margine di tempo aggiuntivo.



**Figura 3** – Esempio 2: Percorso fisso con deviazioni verso nodi prefissati con orari di passaggio stabiliti

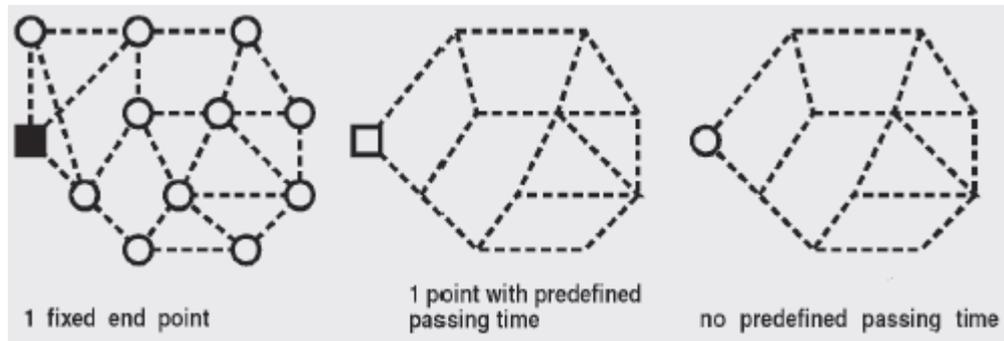
In questo schema con servizio a percorso fisso con prestabilita tabella di marcia esistono anche dei nodi prefissati serviti esclusivamente su richiesta, anch'essi con un orario di passaggio programmato. Tali nodi sono disposti lungo un corridoio attorno all'asse principale, in modo tale che il mezzo, effettuando la deviazione, percorra un breve tragitto riducendo i tempi aggiuntivi. Ai passeggeri, in ogni caso, sono comunicati preventivamente i perditempo possibili in seguito alla percorrenza di una deviazione del mezzo dal percorso principale.



**Figura 4** – Esempio 3: Fermate prestabilite all'interno di un corridoio

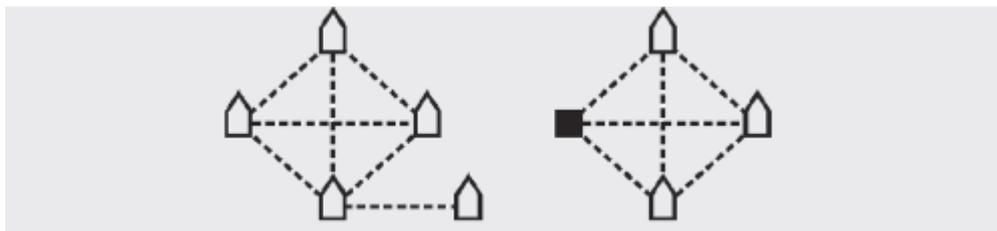
Il servizio in Figura 4 rappresenta uno schema in cui delle fermate fisse sono distribuite all'interno di un corridoio e servite da percorsi flessibili. Sono presenti sia fermate fisse esclusivamente servite su richiesta e senza alcun orario di passaggio stabilito (i nodi circolari in figura) che nodi con un determinato orario di passaggio (quelli quadrati, sia fissi che su richiesta). Questi ultimi possono essere, per esempio, nodi presso i quali effettuare trasbordi verso un altro sistema di trasporto, come ad esempio

capolinea di linee bus oppure stazioni ferroviarie, in modo da favorire anche l'intermodalità tra più sistemi. Maggiore è l'intervallo tra due nodi con orario prestabilito e maggiore sarà il numero di nodi intermedi su richiesta che è possibile servire; ciò, tuttavia, avrà un impatto sulla celerità del servizio e sulla sua flessibilità.



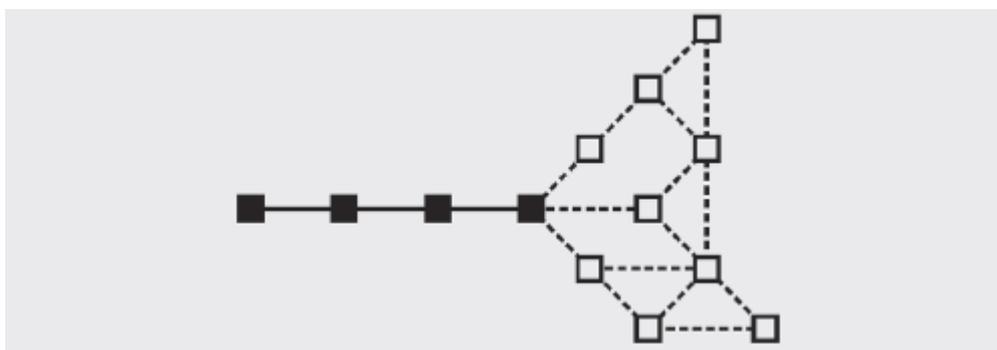
**Figura 5** – Esempio 4: Fermate prefissate all'interno di un'area

A differenza del caso precedente, le fermate prefissate sono distribuite all'interno di un'area vasta. I tempi di percorrenza tra i vari nodi possono essere, quindi, molto variabili in base alle richieste di fermata accettate dal servizio. Il sistema, in assenza di nodi con orari di transito prestabiliti, risulta molto simile ad un servizio taxi. In molti casi, comunque, è sempre presente un nodo con degli orari di passaggio programmati. Ciò è fondamentale per garantire la convenienza del servizio dal punto di vista economico: introducendo tale vincolo, infatti, si impedisce al servizio di accettare qualsiasi richiesta di spostamento e, quindi, ogni tragitto necessario per soddisfare le esigenze di spostamento degli utenti. Altri vincoli che possono essere efficacemente adottati per questa tipologia di servizio riguardano l'inserimento delle richieste all'interno di uno schema temporale prestabilito, in modo da aumentare la combinazione delle varie richieste. Ancora, nel caso di prenotazioni con largo anticipo, si possono comunicare agli utenti gli orari previsti di partenza e di arrivo dopo un certo lasso di tempo, in modo tale da poter raccogliere eventuali altre richieste e poter effettuare una pianificazione del percorso del mezzo che le soddisfi in un unico viaggio.



**Figura 6** – Esempio 5: Nodi fisici distribuiti sul territorio

Questa è una configurazione del sistema molto simile a quella di Figura 5, con la differenza che i punti della rete del servizio sono rappresentati da edifici esistenti o determinati indirizzi. In questo caso può trattarsi di strutture particolari, come ad esempio circoli per anziani, per cui sarà necessario prevedere un adeguato intervallo di tempo per permettere la salita e la discesa degli utenti.



**Figura 7** – Esempio 6: Combinazione di più schemi di funzionamento

È possibile anche realizzare una combinazione di più scenari per un sistema DRT. Secondo quanto mostrato in Figura 7, infatti, è possibile ad esempio combinare un servizio di linea fisso, tipico per esempio dei centri urbani, con un servizio totalmente a chiamata su area vasta, che è più adatto per periferie cittadine, con percorsi flessibili adeguati in base alle richieste dell'utenza.

Da quanto evidenziato nei precedenti esempi è possibile, pertanto, osservare come i sistemi DRT possano presentare una flessibilità anche simile ai tradizionali servizi taxi, ad un costo però inferiore e, inoltre, con la possibilità di migliorare la sicurezza personale e l'accessibilità (Jain *et al.*, 2017; Ronald, N. *et al.*, 2013; Zografos, Androutsopoulos e Sihvola, 2008).

### **2.3. Gli utenti più attratti e i principali motivi di spostamento con il DRT**

Nel corso degli anni la letteratura scientifica ha analizzato le potenzialità dei sistemi DRT sperimentati in varie realtà sia urbane che rurali. Sono state condotte, in particolare, diverse indagini con l'obiettivo di comprendere quali fasce di popolazione risultassero generalmente più attratte da un simile servizio, che si ricorda ha come obiettivo aumentare l'inclusione sociale all'interno del vasto mondo della mobilità (Mounce, Beecroft e Nelson, 2020). Sono stati, inoltre, valutati i principali motivi di spostamento attraverso questo sistema di mobilità condivisa.

Tra gli utenti più frequenti di questo servizio spiccano in particolar modo le donne, gli anziani e le persone senza patente. Diversi studi, infatti, hanno messo in luce come le più alte percentuali degli utenti dei vari sistemi DRT intervistati nel corso di sondaggi appartengano a tali categorie.

Nelson e Phonphitakchai (2012), nel corso dell'indagine Nexus relativa al servizio LinkUp operante nell'area metropolitana del Tyne and Wear, in Inghilterra, hanno osservato che il 79,1% degli utenti fosse rappresentato dalle donne, mentre il 67,7% erano anziani, di cui la maggior parte aventi più di 70 anni. I non possessori di patente, inoltre, costituivano un importante 79,8% degli intervistati, mentre le famiglie in cui è presente almeno una persona con la patente di guida sono soltanto il 26,3% del totale dei rispondenti all'indagine. Assolutamente di rilievo è anche la percentuale rilevata per coloro che non sono in possesso di un'automobile (73,6%), così come gli utenti che non hanno completamente accesso ad un'auto, né come conducenti né come passeggeri (41%). I pensionati, invece, sono risultati di poco oltre il 50%.

Percentuali comparabili sono state rilevate anche da Jain *et al.* (2017) nella loro indagine relativa al sistema Telebus a Melbourne. Gli autori hanno, infatti, osservato come gli utenti principali di questo sistema DRT fossero anche in questo caso le donne, con una percentuale del 74%. Il 78% degli intervistati, inoltre, non possiede la patente di guida, del tutto simile al valore riscontrato nel lavoro citato precedentemente. Tra gli utenti del sistema Telebus, inoltre, gli autori hanno osservato che è praticamente simile la percentuale degli utenti della fascia d'età tra 15 e 24 anni e con più di 55 anni

(rispettivamente 38% e 36%), quest'ultimo valore, comunque, relativamente basso rispetto a quanto riscontrato da Nelson e Phonphitakchai (2012).

Anche gli studi condotti da Mageean e Nelson (2003) hanno evidenziato come sia in Belgio che a Goteborg la maggiore percentuale di utenti dei servizi DRT siano donne, con valori altissimi, superiori all'80% in Belgio e al 70% a Goteborg. Inoltre, due terzi degli utenti sono pensionati, casalinghe e studenti. Dati leggermente inferiori, invece, sono stati riscontrati per il servizio DRT OmniLink in Prince William County, Virginia, USA: il 61% degli utenti sono donne, per il 79% al di sotto dei 45 anni (Wang *et al.*, 2014).

Anche i livelli di reddito e il grado di istruzione degli utenti rientrano tra i parametri che delincono l'utenza tipo dei servizi DRT. È stato osservato in diversi studi come questi indicatori fossero relativamente bassi. L'80% circa degli utenti, nel sondaggio sul servizio LinkUp condotto da Nelson e Phonphitakchai (2012), ha al massimo un livello secondario di istruzione, mentre per quanto riguarda i livelli di reddito il 46,6% ha un reddito annuo inferiore a 10.000£ ed il 22% tra 10.000£ e 19.999£. Questi ultimi dati sono risultati coerenti col fatto che la maggior parte degli intervistati fosse oltre l'età pensionabile. Nel servizio DRT OmniLink, invece, Wang *et al.* (2014) hanno rilevato una percentuale di utenti del servizio pari al 64% avente un reddito annuo inferiore a 25.000 \$. Ciò evidenzia, anche in questo caso, come tra gli utenti principali di un servizio di trasporto condiviso a chiamata rientrino persone aventi un livello reddituale annuo relativamente basso.

Oltre a queste principali categorie di utenza, esistono altre categorie ritenute come potenziali utenti di un sistema DRT. Il manuale di pianificazione, programmazione e finanziamento dell'Agenzia di Trasporto della Nuova Zelanda (NZ Transport Agency, 2008) ed il New Zealand Public Transport Management Act (2008) hanno incluso, oltre agli anziani, alle persone che non hanno accesso all'auto e alle fasce di reddito più basse, anche i giovani, le persone disabili, le minoranze etniche e le persone che vivono in aree non servite dal trasporto pubblico tradizionale. Jain *et al.* (2017), invece, ai fini dell'introduzione di un nuovo servizio DRT hanno considerato anche le fasce d'età tra 15 e 24 anni e dai 55 anni in su e parametri come la lontananza dalle stazioni ferroviarie o l'assenza di queste ultime, il tempo medio di attesa alle fermate e

il tempo di percorrenza a piedi per raggiungere le fermate del trasporto pubblico che ha origine da una determinata zona di studio.

Gli autori hanno, inoltre, incluso la percentuale degli spostamenti effettuati per fare shopping (ben il 31% degli utenti del sistema DRT Telebus di Melbourne si spostavano per questo motivo) o per altri motivi sociali. Questo perché è stato riscontrato che, tra i principali motivi di utilizzo dei sistemi DRT, rientrano alcuni spostamenti come soprattutto quelli per shopping, per svago, per visite mediche e per visitare parenti o amici (Jain *et al.*, 2017; Nelson e Phonphitakchai, 2012; Ryley *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014).



### **3. Una metodologia per la progettazione di un servizio DRT**

Le aree periferiche dei centri urbani, le aree rurali, i centri urbani isolati e di piccole dimensioni e tutte quelle aree definite a domanda debole rientrano nel novero delle aree territoriali in cui il servizio di trasporto pubblico, sia per la scarsa domanda di mobilità generata ed attratta che per l'onerosità finanziaria del servizio per le casse delle aziende di trasporto e delle amministrazioni locali, presenta, laddove esistente, scarse prestazioni. È possibile, infatti, notare come in tali realtà urbane, purtroppo, il numero di mezzi di trasporto pubblico al servizio dei residenti sia piuttosto limitato, presentando spesso anche delle frequenze di passaggio molto scarse e, talvolta, garantendo ai cittadini un servizio poco affidabile e anche scarsamente accessibile, con fermate del trasporto pubblico a volte anche difficilmente raggiungibili (Truden, C. *et al.*, 2022). Come osservato, inoltre, da Yen, Mulley e Yeh (2022), l'accessibilità del trasporto pubblico nelle aree rurali non raggiunge livelli adeguati a confronto con quanto si registra, invece, nelle aree urbane più densamente abitate. Se, infatti, nelle aree urbane, aventi un'alta densità di abitazioni e di attività, le persone anche con diverse esigenze di spostamento hanno la possibilità di viaggiare insieme su uno stesso veicolo del trasporto pubblico, fornendo un fattore di carico che rende i servizi di trasporto pubblico redditizi, non si può dire altrettanto per le periferie e per le aree rurali e isolate. In esse, infatti, dove si registra solitamente una bassa se non scarsa distribuzione della popolazione sul territorio, l'auto privata risulta la modalità di trasporto essenziale per accedere a beni e servizi (rimarcato anche da Poltimäe, H. *et al.* (2022)); i servizi di autobus convenzionali, quindi, diventano meno convenienti per una simile popolazione dispersa, mostrando di conseguenza una scarsa redditività. Inoltre, nel caso di popolazione che non può avere accesso ad un'auto privata, come potrebbe verificarsi nel caso di anziani o persone con limitate capacità motorie, ma anche di tutti coloro i quali non sono in possesso di una patente di guida, entrerebbero in gioco altri problemi come l'esclusione sociale o anche problemi di disoccupazione.

Tra le soluzioni di mobilità in grado di poter affrontare e risolvere le criticità di un servizio di trasporto pubblico tradizionale rientrano, come già esposto nel capitolo precedente, i servizi condivisi a chiamata, i cosiddetti servizi DRT. Utilizzando, infatti,

mezzi di trasporto di piccola dimensione, come ad esempio minibus o van, e il principio della condivisione dello spostamento tra i vari utenti, sono in grado di offrire ai residenti di aree con debole domanda di mobilità un'alternativa modale flessibile, con un costo del servizio intermedio tra quello dei tradizionali servizi TPL ad orario e percorso fisso e quello di un servizio taxi (Ambrosino, G. e Romanazzo, M., 2002), ma comunque più sostenibile economicamente per le amministrazioni locali e che punti, inoltre, a massimizzare il tasso di occupazione dei mezzi circolanti su strada, rispondendo alle esigenze di spostamento della collettività.

Sulla base di questa premessa e dell'analisi della letteratura scientifica esistente sui servizi condivisi a chiamata, presentata nel capitolo precedente, per perseguire l'obiettivo evidenziato si è proposta una metodologia basata sull'uso di tecniche quantitative, al fine di poter progettare un sistema DRT, sostitutivo dell'attuale servizio TPL, tenendo esplicitamente conto, in particolare, dell'elasticità della domanda rispetto alla scelta modale. La variabilità della domanda dipende, infatti, non soltanto dalla qualità del servizio offerto ma anche dalla tariffa proposta all'utente. È, pertanto, importante identificare una tariffa ottimale da proporre all'utenza che da un lato consenta la sostenibilità finanziaria del servizio – tenendo conto anche di un eventuale contributo da parte dell'amministrazione – e, dall'altro, garantisca una buona percentuale di utenza disposta ad utilizzarlo. È proprio in funzione di questa percentuale di nuovi utenti che dipende la maggiore sostenibilità dei trasporti: questi servizi a chiamata, infatti, devono essere opportunamente integrati col TPL tradizionale per attrarre utenza all'interno dell'area e orientarla verso il TPL quando deve effettuare spostamenti più lunghi.

Diversi articoli hanno affrontato il tema dell'introduzione di un servizio DRT in aree periferiche, rurali e a debole domanda, spesso in alternativa ad un già esistente ma non economico e poco performante servizio convenzionale di trasporto pubblico (Dytckov *et al.*, 2022) oppure come servizio feeder verso esso (Calabrò, G. *et al.*, 2022; Mounce, Beecroft e Nelson, 2020; Nickkar, Lee e Meskar, 2022), evidenziando i benefici apportati così come le criticità da risolvere oppure raccogliendo le opinioni degli utenti attraverso questionari.

Il presente lavoro di ricerca ha, invece, l'obiettivo di proporre un processo di progettazione ottimale di un servizio DRT per aree periferiche, rurali e, più in generale, a domanda debole. Ci si è concentrati, in particolare, su un servizio di trasporto a chiamata con fermate fisiche e virtuali anziché su un servizio DRT di tipo porta a porta.

Come osservato da Nickkar, Lee e Meskar (2022), una considerazione da fare con riferimento all'introduzione di un servizio DRT è se questo possa essere ottimizzato con un servizio porta a porta o con fermate virtuali. Nel primo caso si avrebbe l'eliminazione dei percorsi a piedi da parte degli utenti, essendo questi prelevati direttamente a casa, ma di contro aumenterebbe i tempi di percorrenza dei passeggeri a bordo, la distanza operativa del veicolo e i costi; nel caso di fermate virtuali, invece, stabilendo i luoghi di salita e discesa degli utenti, si ridurrebbero al minimo i chilometri percorsi e il tempo di percorrenza dei veicoli, così come i tempi di percorrenza a bordo dei passeggeri, tuttavia con un aumento della distanza e dei tempi di percorrenza a piedi degli utenti.

Effettuando la stima della domanda di trasporto al variare di diversi parametri di tempo e costo (come spiegato più in dettaglio nei capitoli 7 e 8), è possibile procedere con il dimensionamento di un servizio DRT attraverso la realizzazione di un modello di macrosimulazione implementato mediante il software VISUM (vedi Capitolo 9) e, infine, risalire alla tariffa ottimale per tale servizio (vedi Capitolo 10) attraverso un modello di ottimizzazione "*what-to*" che tenga conto sia di aspetti prettamente finanziari quali gli incassi e i costi di gestione del servizio proposto, che anche della soddisfazione degli utenti e della riduzione delle esternalità negative. Uno degli aspetti innovativi della ricerca è rappresentato dal fatto che questo modello di ottimizzazione tiene in considerazione anche l'aspetto relativo ai costi operativi. Si tratta, difatti, un tema non sempre affrontato in letteratura, specialmente per un simile servizio di trasporto, come nel caso di Li e Quadrifoglio (2010): i due autori, infatti, affrontano l'argomento della densità di domanda per la quale conviene sostituire un servizio di trasporto a linea fissa con uno a domanda, trascurando dall'analisi, però, come rimarcato da Börjesson, Fung e Proost (2020), l'influenza dei costi operativi, delle tariffe e dei sussidi, che invece giocano un ruolo fondamentale specialmente sull'effetto di benessere dell'offerta di trasporto.

L'approccio metodologico, realizzato nell'ambito della ricerca presentata per la progettazione di un servizio di trasporto condiviso a chiamata, è schematizzato tramite il seguente diagramma a blocchi di Figura 8. Si evidenzia la sequenza delle attività che costituiscono questo approccio multi-step di modellizzazione e progettazione del servizio. Esso si articola in 5 fasi:

- Fase 1: Identificazione dell'area di studio e zonizzazione;

- Fase 2: Analisi e modellazione dell'offerta di trasporto;
- Fase 3: Analisi e modellazione della domanda DRT;
- Fase 4: Realizzazione del modello di macrosimulazione del servizio DRT;
- Fase 5: Analisi dei costi e determinazione della tariffa ottimale.

Per ciascuna fase o macroattività (i.e. rettangoli con il testo in neretto), la sequenza delle attività è evidenziata dalle frecce di colore azzurro; invece, i dati di input e output associati alle varie attività sono connessi a quest'ultime con delle frecce di colore nero, rispettivamente entranti ed uscenti.

### **Fase 1: Identificazione Delimitazione dell'area di studio e zonizzazione**

Questo primo step consiste nell'individuazione dell'ambito territoriale all'interno del quale si ritiene che abbia effetto l'intervento proposto, nella fattispecie l'introduzione di un servizio DRT. Si individuano anche quei poli di interesse esterni all'area di studio con i quali si hanno delle interconnessioni in termini di domanda (di scambio e attraversamento) e di offerta (infrastrutture e servizi di trasporto).

Successivamente, si procede alla zonizzazione discretizzando l'area di studio in diverse unità geografiche definite *zone di traffico*, a cui si assegnano dei nodi centroidi – baricentrici rispetto, ad esempio, alla dislocazione degli edifici, delle residenze o dei posti di lavoro – in cui si ipotizza che si concentrino tutti i punti di partenza e di arrivo degli spostamenti che interessano la zona. La zonizzazione può essere effettuata seguendo separatori fisici del territorio (come ad esempio tratti di linea ferroviaria, fiumi, ecc.) oppure il perimetro di unità territoriali amministrative come, ad esempio, le zone censuarie in ambito urbano. Per ognuna delle zone di traffico si identificano:

- i) *le caratteristiche della popolazione residente*, per esempio il numero delle famiglie residenti, delle persone di sesso maschile e femminile, delle persone appartenenti a determinate fasce d'età, o ancora il numero delle persone classificate per titolo di studio o per reddito, il numero di disoccupati, ecc.;
- ii) *le caratteristiche delle attività produttive o il numero di addetti*, estraendo le informazioni necessarie da banche dati come, ad esempio, quelle dell'ISTAT o dei Comuni;

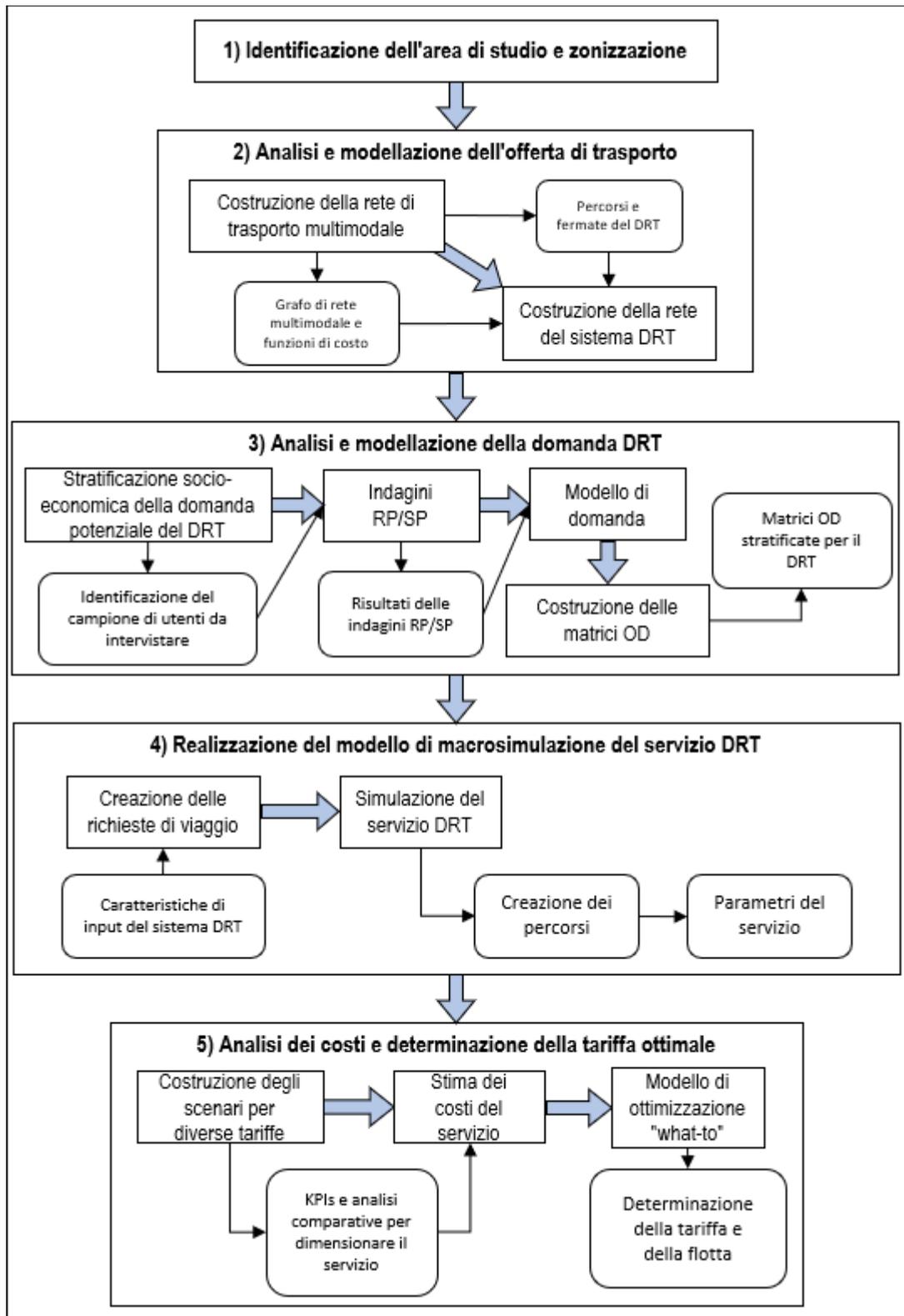


Figura 8 – Diagramma di flusso della metodologia proposta per la modellazione e la progettazione di un servizio DRT

### **Fase 2: Analisi e modellizzazione dell'offerta di trasporto**

In questa seconda fase si procede ad identificare tutte le infrastrutture e i servizi di trasporto che collegano tra loro le zone di traffico interne all'area di studio e che collegano queste anche con l'ambiente esterno. Più precisamente si individuano e si modellizzano:

- i) *La rete stradale* su cui i veicoli del servizio DRT proposto possono circolare, tenendo conto di specifiche caratteristiche delle strade, quali la larghezza, i sensi di marcia, il livello dei degradi stradali esistenti, le componenti di traffico che vi possono circolare (escludendo, quindi, le strade pedonali), la destinazione d'uso pubblica o privata (evitando, quindi, le strade private come quelle condominiali), ecc.;
- ii) *I servizi di trasporto pubblico locale presenti*, individuando le linee dei servizi TPL su gomma e su ferro in esercizio, i loro percorsi all'interno dell'area di studio e l'ubicazione delle fermate.

Dopo questa iniziale ricognizione dei servizi e delle infrastrutture, si procede alla costruzione del grafo di rete: si rappresentano su piattaforma GIS tutti gli archi (reali e connettori) e i nodi (reali e centroidi) della rete di trasporto, individuando quelli rilevanti per il sistema di trasporto a chiamata di interesse (i.e. rete del sistema DRT). La base di riferimento della rete stradale è quella di *OpenStreetMap*, sulla quale eseguire delle opportune operazioni di verifica e validazione della topologia della rete e dei parametri associati a ciascun arco e nodo (e.g. lunghezza, capacità, velocità di percorrenza, ecc.) dai quali si derivano le relative funzioni di costo e, qualora necessario, modificando i nodi e gli archi di interesse che lo richiedono.

### **Fase 3: Analisi e modellizzazione della domanda DRT**

Questa fase della procedura metodologica ha l'obiettivo di caratterizzare e determinare la domanda potenziale associata al servizio DRT. In tale direzione, si procede mediante (i) delle campagne di indagini integrative e indagini RP (*Revealed Preference*)/SP (*Stated Preference*); (ii) la stima del modello di domanda e (iii) la determinazione delle matrici origine-destinazione associate al DRT.

(i) Le campagne di indagini integrative si conducono per analizzare più in dettaglio l'interazione tra domanda ed offerta, mostrando così quali sono le reali prestazioni del servizio di trasporto pubblico. Quindi si svolgono:

- *Indagini sulle frequenze di passaggio delle linee;*
- *Conteggio dei passeggeri saliti e discesi dai mezzi;*
- *Stima del numero di passeggeri/ora e passeggeri/giorno, in modo da avere contezza delle prestazioni del servizio TPL esistente;*

Successivamente, si procede con la stima della domanda di trasporto. Attraverso delle campagne di interviste su un campione della popolazione residente, scelto in modo casuale ma rappresentativo dell'intera popolazione, si indaga sulla domanda di mobilità attuale e futura dei residenti dell'area di studio. In tal modo si potranno raccogliere informazioni sull'attuale intensità della domanda tra tutte le possibili coppie di zone di traffico interne all'area in esame e su quella tra le varie zone e l'ambiente esterno, così come si potrà risalire alle future propensioni di scelta modale della collettività, valutando quindi la potenziale attrattività del servizio DRT proposto. Si procede, quindi, con le seguenti attività:

- i) *Costruzione del questionario per le indagini RP/SP, in cui si chiederanno agli intervistati le caratteristiche socio-economiche quali età, sesso, numero di auto possedute e titolo di studio, le proprie abitudini di mobilità relative agli spostamenti compiuti nel giorno precedente per quanto riguarda lo scenario attuale nella parte RP del questionario e quelle che saranno, invece, nel futuro le nuove scelte modali nella parte SP;*
- ii) *Conduzione delle campagne di indagine nell'area di studio, scegliendo la modalità di indagine di presenza (denominata "intercept interview"), in modo da poter avere una migliore interazione con gli intervistati e migliorare la comprensione della nuova alternativa modale proposta per l'area di studio, anche se questa modalità di indagine comporta una maggiore onerosità del rilevamento;*
- iii) *Costruzione del database su Microsoft Excel, in modo da poter raccogliere le varie risposte ricevute durante le interviste faccia a faccia all'interno di un database che funge da input per il software di elaborazione*

statistica che, successivamente, sarà impiegato per la stima del modello di domanda.

(ii) Per la stima del modello di domanda si definisce una relazione matematica che permetta di ottenere il valore medio del flusso di domanda associato a un dato sistema di attività e di offerta di trasporto. In particolare si considera il *sistema di modello a quattro stadi*, in cui si stima la domanda di mobilità non sistematica dei residenti dell'area di studio che, dalle varie origini rappresentate dai centroidi delle zone censuarie dell'area di studio, vogliono raggiungere una data destinazione interna o esterna utilizzando un determinato modo di trasporto e seguendo un certo percorso. Poiché si vuole che il servizio DRT operi nelle fasce della giornata caratterizzate da mobilità occasionale, non saranno modellati gli spostamenti per motivi di lavoro e studio. Pertanto, in virtù della definizione di sistema di modelli a quattro stadi, si stimeranno:

- *Il modello di generazione/emissione*, determinando per ogni categoria socio-economica il numero di persone che si sposteranno da una data zona censuaria per motivi occasionali. Più precisamente, grazie alle indagini RP si stima per due macrofasce d'età un indice di mobilità con il quale si moltiplica il numero di persone residenti nelle varie zone censuarie per risalire agli spostamenti emessi da quelle date zone di origine;
- *Il modello di distribuzione*, con il quale si definisce la distribuzione spaziale degli spostamenti emessi dalle zone censuarie nelle varie zone di destinazione interne ed esterne. Si è adottato, in particolare, un modello di distribuzione di tipo *gravitazionale* basato sul numero di addetti nel settore terziario, in quello delle istituzioni pubbliche e delle istituzioni no-profit o, ancora, sul numero di queste stesse attività presenti nell'area come *attributi di attrattività*, rappresentativi della capacità attrattiva delle zone censuarie dell'area di studio legata a motivi di spostamento di natura occasionale (shopping, svago, sport, disbrigo pratiche, attività di volontariato, ecc.);
- *Il modello di scelta modale*, attraverso il quale, per le diverse categorie socio-economiche e al variare degli attributi di tempo e di costo, si osserva la variazione delle probabilità di scelta delle varie alternative modali proposte agli intervistati durante le indagini SP (quindi compresa

l'alternativa "DRT"). Per fare ciò si procede quindi in ordine con la specificazione della struttura matematica del modello (nel caso in esame il modello *Multinomial Logit*), la calibrazione attraverso software di elaborazione statistica (i.e. R e STATA), su cui importare il database creato su Excel, e la validazione del modello per valutarne la significatività e la coerenza con le scelte dichiarate dal campione di utenti intervistato;

- *Il modello di scelta del percorso*, demandato allo step successivo (vedi la successiva Fase 4), mediante la realizzazione di un modello di macrosimulazione e avvio di procedure iterative per simulare l'assegnazione della domanda alla rete di trasporto.

(iii) Al termine della stima dei quattro stadi del sistema di modelli di domanda, si procede con la costruzione della matrice origine-destinazione totale degli spostamenti occasionali potenziali effettuati con il servizio DRT. La metodologia prevede di adottare la stessa procedura per diverse tariffe ipotizzate per il servizio proposto, in modo da valutare la conseguente variazione della domanda di mobilità.

#### **Fase 4: Realizzazione del modello di macrosimulazione del servizio DRT**

Questo step è rappresentato dalla realizzazione di un modello di macrosimulazione al fine di simulare l'interazione tra la domanda (i.e. utenti propensi all'utilizzo del servizio DRT) e l'offerta (i.e. rete DRT) di trasporto precedentemente studiate, al fine di giungere al dimensionamento del servizio DRT.

Una volta ricostruita la matrice origine-destinazione degli spostamenti occasionali totali potenziali dei residenti dell'area di studio effettuati con il DRT (precedente Fase 3), essa costituisce la domanda di input da utilizzare nel modello di macrosimulazione realizzato su piattaforma GIS mediante il software VISUM. Per quanto attiene l'offerta, invece, si procede alla ricostruzione del grafo di rete, inserendo per ciascun arco specifici indicatori (es. lunghezza, capacità, velocità, ecc.) funzionali alla determinazione delle funzioni di costo. Inoltre, attraverso la specificazione dei sistemi di trasporto "ammessi" o "abilitati" su ciascun arco, associando un indicatore relativo al sistema di trasporto DRT, è possibile individuare il sottoinsieme di archi che costituisce la rete DRT. Quest'ultima operazione, eseguita anche per i nodi, permette di individuare la localizzazione delle fermate fisiche del TPL e di quelle virtuali del DRT,

potenzialmente attive in funzione della domanda di spostamento. Per la realizzazione del modello di macrosimulazione, è necessario definire alcuni parametri di input relativi al servizio, e.g. il numero di mezzi massimo, la capacità massima dei mezzi espressa in termini di posti a sedere, i tempi massimi tollerati dagli utenti del servizio per l'attesa dei mezzi del DRT, per l'accesso a piedi alla rete del servizio DRT e per le deviazioni di percorso dei mezzi subite a bordo dai passeggeri per via di richieste in corso d'opera da parte di altri utenti. Prima di effettuare le simulazioni, è necessario effettuare dapprima la disaggregazione della domanda sui nodi della rete, passando quindi da un modello macroscopico "*Zone Based*" – rappresentato dalle matrici zonali degli spostamenti occasionali totali potenziali – ad un modello microscopico "*Node and Time Based*". In questo modo, ad ogni spostamento è associato un nodo di origine ed uno di destinazione. Il numero di spostamenti associato al centroide di una zona viene ripartito sui nodi ricadenti all'interno della zona stessa, in maniera equamente distribuita e casuale. Definite le caratteristiche del sistema DRT (parametri di input più dettagliatamente definiti nel Capitolo 9), si procede in seguito alla creazione dell'elenco delle richieste di viaggio assegnate ai nodi del grafo, che verranno evase durante la simulazione del servizio in VISUM.

In seguito alla simulazione dell'interazione tra domanda e offerta, si perviene alla creazione dei percorsi mediante una procedura iterativa di "*Dispatcher*" (vedi Capitolo 9). Tale procedura permette, definito l'elenco delle richieste di viaggio, di soddisfare le richieste secondo precisi parametri di input definiti a monte dell'assegnazione. A seguito di questa procedura, sono restituiti tutti i parametri di output, tra i quali le richieste evase dal servizio DRT, il tempo medio di attesa e di accesso degli utenti, la velocità commerciale dei mezzi del DRT, il numero di mezzi capaci di soddisfare la domanda di mobilità evasa e il numero di km percorsi dalla flotta simulata.

Sono state svolte, inoltre, più simulazioni considerando diverse matrici al variare della tariffa del servizio, al fine di effettuare delle analisi comparative tra vari scenari attraverso indicatori (*Key Performance Indicators – KPIs*), valutare le prestazioni del servizio e dimensionare la flotta in base alla domanda di mobilità. Pertanto, i risultati delle simulazioni sono impiegati nella fase successiva (Fase 5) per individuare la tariffa ottimale per il servizio innovativo proposto.

### **Fase 5: Analisi dei costi e determinazione della tariffa ottimale**

Al fine di individuare la tariffa ottimale per il servizio DRT proposto per l'area analizzata, si costruisce un modello di ottimizzazione "what-to" che permetta di massimizzare una funzione obiettivo che tenga conto non soltanto degli aspetti economici e finanziari del servizio, quali la variazione degli incassi e dei costi di gestione, ma anche della variazione della soddisfazione finale degli utenti e delle esternalità negative. Al variare delle tariffe ipotizzate, quindi, e più in dettaglio al Capitolo 10, si determinano:

- i) *La variazione della soddisfazione degli utenti* mediante funzione *logsum*, osservando la variazione della soddisfazione dell'utenza rispetto alla situazione attuale e anche rispetto alle varie tariffe considerate;
- ii) *La variazione degli incassi*, ottenuti dalla vendita dei biglietti, al variare della tariffa e rispetto alla situazione odierna;
- iii) *La variazione dei costi di gestione del servizio*, stimati sulla base dei parametri di output (e.g. chilometri percorsi dalla nuova flotta simulata e numero di mezzi necessari per soddisfare la domanda) delle simulazioni effettuate tramite l'implementazione del modello di macrosimulazione (precedente Fase 4). A questo punto, sarà possibile stimare il risparmio che l'azienda di trasporto conseguirebbe con la soppressione di alcune corse degli autobus attualmente in esercizio a favore dell'implementazione del servizio DRT;
- iv) *La variazione delle esternalità negative*, espressa in termini di auto-km risparmiate rispetto alla situazione attualmente esistente.

Tale metodologia risulta esportabile e scalabile a qualsiasi altro contesto territoriale. Nell'ambito di questa tesi, l'approccio metodologico messo a punto è stato applicato ad un caso studio reale, coincidente con l'area periferica della città metropolitana di Palermo, le cui caratteristiche e i cui risultati saranno esposti nei capitoli successivi.



## 4.L'area di studio

Nel presente lavoro di ricerca è stata individuata un'area periferica della città di Palermo, dove si registra una scarsa qualità del servizio di trasporto pubblico locale evidenziata dallo scarso numero di autobus e dalla loro bassa frequenza. La situazione attuale, infatti, non risulta in grado di soddisfare appieno le esigenze di mobilità della popolazione, vincolandola all'utilizzo della propria auto privata per gli spostamenti di tutti i giorni, sia sistematici (come gli spostamenti casa-scuola e casa-lavoro) che per altri motivi. Si è focalizzata l'attenzione, in particolare, sul quartiere periferico di Partanna Mondello, estendendo il focus anche sulla limitrofa area balneare di Mondello, caratterizzata quest'ultima da forti flussi stagionali prevalentemente durante la stagione estiva e più modesti durante la stagione invernale. Sono stati inclusi nell'analisi anche le aree dell'Addaura, dove si trovano due poli di attrazione importanti come il TeLiMar e l'hotel Addaura, e di Tommaso Natale, dove si trova la stazione ferroviaria omonima, fortemente scollegata dal quartiere di Partanna Mondello. Si è, pertanto, delimitata un'area di circa 10,5 km<sup>2</sup>, mostrata nella seguente Figura 9 assieme ai capolinea degli autobus e alle stazioni del Passante Ferroviario presenti in zona, tra cui quella di "Palermo Tommaso Natale" ricadente all'interno dell'area di studio.

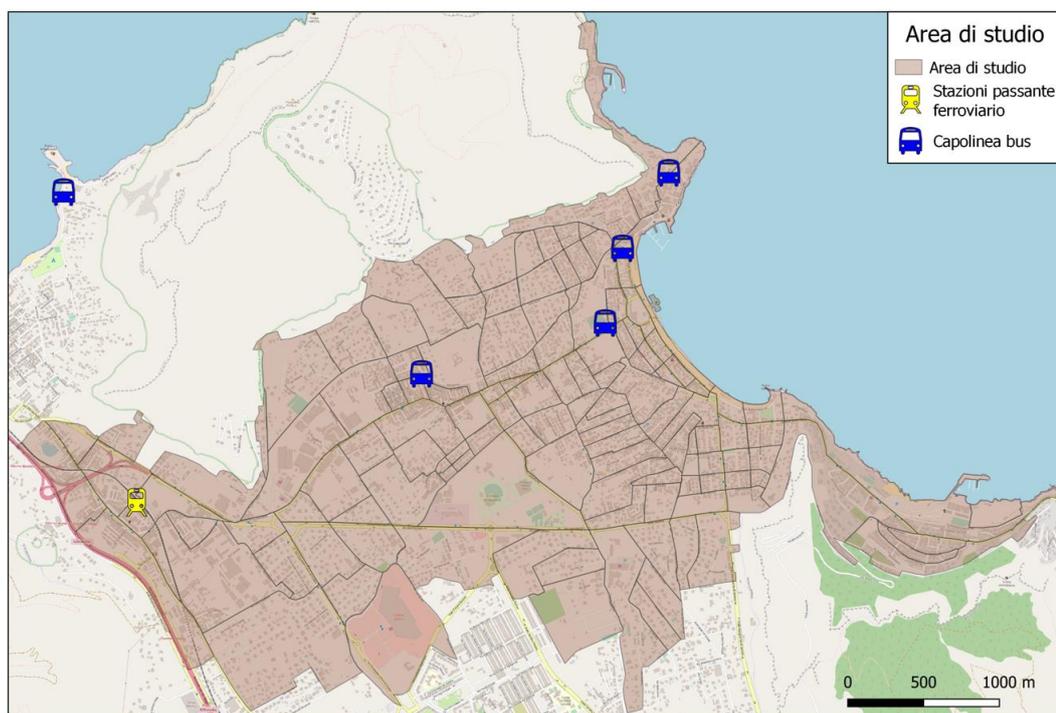


Figura 9 – Area di studio e nodi del servizio TPL operante in essa

Nella medesima Figura 9 sono evidenziate anche le zone censuarie in cui è ripartito il contesto in esame: esse sono state sfruttate per il successivo passaggio di zonizzazione dell'area di studio, sulla base della quale sono stati estratte le informazioni sulle caratteristiche socio-economiche della popolazione residente di interesse per il presente studio.

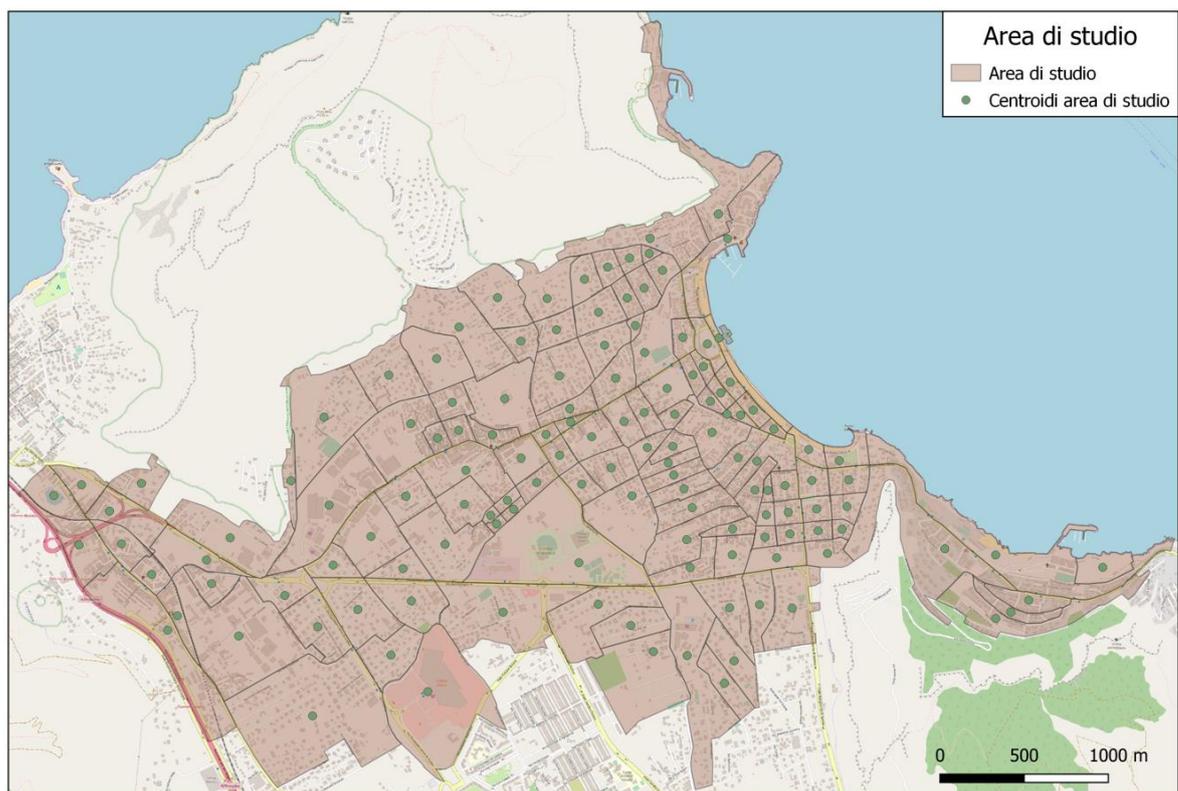
#### **4.1. La popolazione residente nell'area di studio**

Per conoscere le informazioni relative alla popolazione residente nell'area di studio e alle loro caratteristiche socio-demografiche si è sfruttato, oltre alla banca dati ISTAT relativa all'ultimo Censimento dell'Industria e dei Servizi e Censimento delle Istituzioni Non-Profit fatto nel 2011, il software online *ArcGIS Business Analyst*. Grazie ad esso si è potuta condurre una *Suitability Analysis*, che ha permesso di conoscere le informazioni demografiche di interesse partendo dalla banca dati di riferimento, la *Michael Bauer Research GmbH*.

Questo istituto di ricerca, con sede a Norimberga (Germania), è specializzato in dati di mercato regionali dettagliati, comparabili a livello internazionale, e confini digitali compatibili in tutto il mondo a livello amministrativo fino al livello microgeografico. Tali dati di mercato – quali ad esempio popolazione, reddito, età, numero di famiglie, titolo di studio, potere d'acquisto, occupazione e stato di famiglia – sono generati sulla base di fonti ufficiali come quelle degli uffici statistici nazionali e regionali, mentre su scala nazionale sono estratti da banche dati come, ad esempio, ONU, Fondo Monetario Internazionale e, per i Paesi europei, l'EUROSTAT. Nel caso dell'Italia, i dati raccolti dalla Michael Bauer Research, messi a disposizione sulla piattaforma ArcGIS, sono riferiti al 2021.

Al fine di risalire ai dati socio-economici per l'area di studio, è necessario procedere in prima battuta con l'importazione su ArcGIS Business Analyst della mappa rappresentante l'area di studio, suddividendola nelle varie zone di traffico. Queste sono state scelte coincidenti con i limiti delle sezioni censuarie della città metropolitana di Palermo, in modo da poter sfruttare le relative informazioni socio-economiche già raccolte dall'ISTAT. Sono state individuate in questo modo 136 zone di traffico. La mappa dell'area di studio è stata costruita sul software open source *QGIS*, creando un apposito

*shapefile*, ossia un file in formato vettoriale che archivia al suo interno la posizione, la forma e gli attributi di vari elementi geografici (detti “*feature*”), quali ad esempio edifici, strade, parcelle catastali, città e corsi d’acqua. Sullo stesso software è stata, inoltre, importata la suddivisione dell’area di studio nelle varie zone censuarie che la costituiscono: queste zone sono disponibili sull’archivio open data online del sito del Comune di Palermo, sempre sottoforma di *shapefile*. Ad ogni sezione censuaria, inoltre, è stato assegnato un nodo centroide, che rappresenta tutte le origini e le destinazioni interne a quella data zona e che è stato posizionato in posizione baricentrica rispetto all’edificato e alle principali attività presenti in essa. La rappresentazione dell’area di studio così organizzata è mostrata nella seguente Figura 10.



**Figura 10** – Mappa dei centroidi delle zone censuarie in cui è suddivisa l’area di studio

Eseguendo la *Suitability Analysis* sulla mappa così caricata, si sono estratti su un file Excel i risultati dell’elaborazione e si è osservato che nell’area di studio al 2021 vive una popolazione complessiva di 27.789 abitanti. Estruendo i dati della popolazione per fasce d’età di 15 anni (dalla fascia 0-14 anni fino a quella con persone di età superiore a 60 anni), si è potuto osservare che nell’area esaminata vivono 3.970 persone con età compresa tra 0 e 14 anni, 4.658 persone tra i 15 e i 29 anni, 5.295 con età compresa tra

i 30 e i 44 anni, 6.737 tra i 45 e i 59 anni e, infine, 7.129 persone con età superiore a 60 anni.

Dallo stesso file, importato questa volta su *QGIS*, sono state condotte, inoltre, analisi sulle caratteristiche della popolazione residente all'interno dell'area di studio. Tali informazioni, infatti, saranno utili ai fini della delineazione del servizio DRT da proporre all'interno dell'area, concentrandosi principalmente sulle categorie di utenza che, secondo quanto argomentato nel paragrafo 2.3, sono le maggiormente attratte da tale tipologia di servizio, cioè le donne, gli anziani, le persone con difficoltà motorie, i pensionati, i disoccupati e le persone con basso reddito.

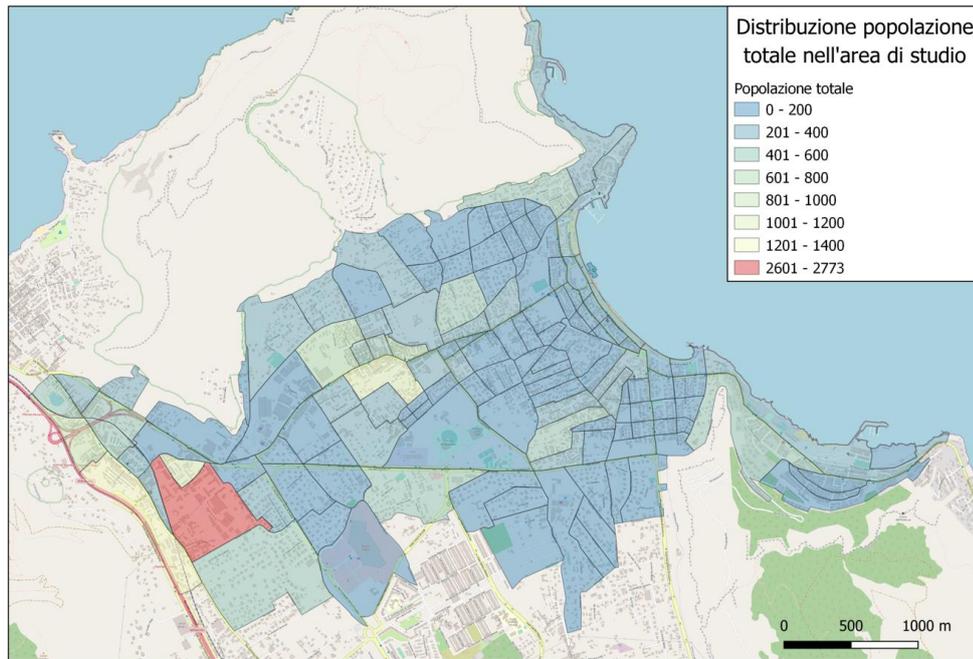
Si riepilogano nella seguente Tabella 2 le informazioni demografiche salienti estratte dal software.

**Tabella 2** – Informazioni demografiche della popolazione residente nell'area di studio

<b>Dati</b>	<b>Valore</b>
Popolazione totale	27.789
<i>Popolazione totale maschile</i>	<i>13.604</i>
<i>Popolazione totale femminile</i>	<i>14.185</i>
Popolazione con età superiore a 60 anni	7.129
Popolazione disoccupata*	2.263
Famiglie con reddito inferiore a €18.416	2.169

\*Dato estratto da *ArcGIS Business Analyst* relativo al 2020

L'intera popolazione residente è distribuita sulle varie zone censuarie in cui è ripartito il territorio in esame secondo quanto riportato nella seguente Figura 11, sulla base dei dati censuari forniti dall'ISTAT. L'aver effettuato una zonizzazione del territorio secondo i confini amministrativi – nella fattispecie secondo le zone censuarie – ha reso più semplice l'estrazione delle informazioni salienti dalla banca dati statistica nazionale e la loro successiva analisi. Come è possibile notare, la popolazione è pressoché equamente ripartita sull'intera area di studio, con la sola eccezione della zona censuaria nei pressi della stazione ferroviaria "Palermo Tommaso Natale", racchiusa tra da via Nino Savarese, via Gian Gaspare Napolitano, via Tommaso Natale e via Caduti sul Lavoro, in cui si registra il maggior numero di residenti.



**Figura 11** – Distribuzione della popolazione residente nelle zone censuarie dell'area di studio (Fonte: ISTAT 2011)

È di particolare interesse anche la distribuzione degli addetti sul territorio, che è servita per la stima del modello di distribuzione che verrà discusso successivamente. Essa è evidenziata nella seguente Figura 12, in cui si può osservare la presenza di una zona censuaria (quella tra via Tommaso Natale e piazza Mandorle) con un elevato numero di addetti, con la restante area di studio che presenta, invece, valori molto bassi per via del basso numero di servizi ubicati sul territorio. È, tuttavia, doveroso far notare che i dati censuari del Censimento dell'Industria e dei Servizi e Censimento delle Istituzioni Non-Profit fatto dall'ISTAT sono risalenti al 2011, quando non era ancora stato ultimato il centro commerciale Conca d'Oro, aperto al pubblico soltanto l'anno successivo. Ciò avrebbe, quindi, evidentemente fatto variare la distribuzione degli addetti sul territorio, visto l'elevato numero di negozi e, quindi, di dipendenti presenti nel centro commerciale.

Nella seguente Figura 13, invece, sono mostrati i poli di interesse presenti all'interno dell'area di studio, come alberghi, strutture sanitarie e farmacie, ristoranti, scuole, centri sportivi, banche, uffici postali, cinema, luoghi di culto, uffici comunali e centri commerciali. È possibile notare come la maggior parte di questi siano ubicati lungo la fascia costiera (Mondello e Addaura), lungo l'asse viario centrale di Partanna Mondello, rappresentato da via Lorenzo Iandolino (che fa parte della SS 113) e lungo via

dell'Olimpo. Il resto dell'area è, invece, prevalentemente costituito da abitazioni monofamiliari di carattere stagionale, come villini o residenze estive. Anche questa prevalenza di residenze stagionali avvalorava l'osservazione circa il basso numero di addetti all'interno dell'area di studio, se non in alcune zone censuarie come quelle di Tommaso Natale e della fascia costiera Nord di Mondello, in cui ricade un elevato numero di attività.

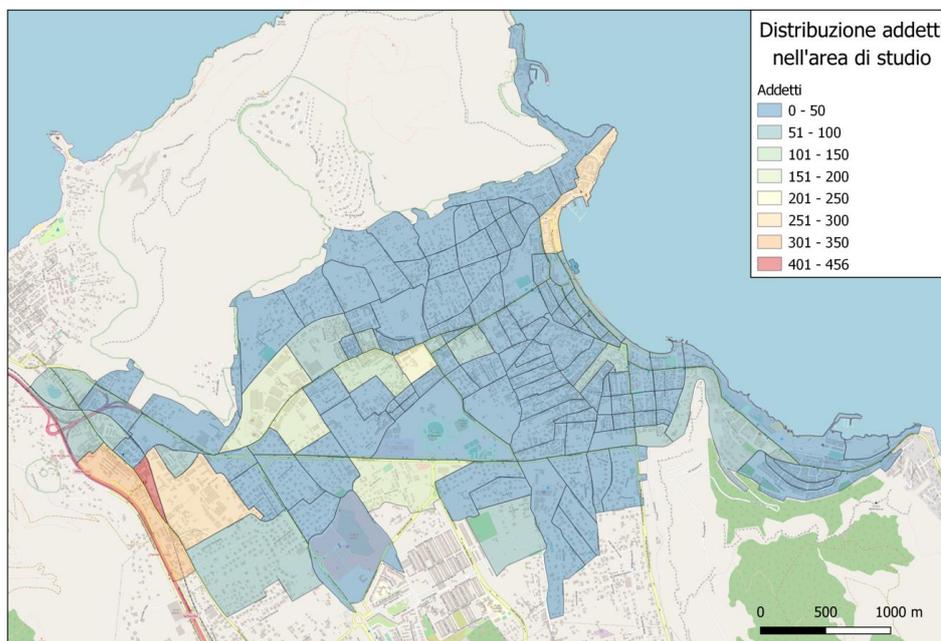


Figura 12 - Distribuzione degli addetti nell'area di studio (Fonte: ISTAT 2011)

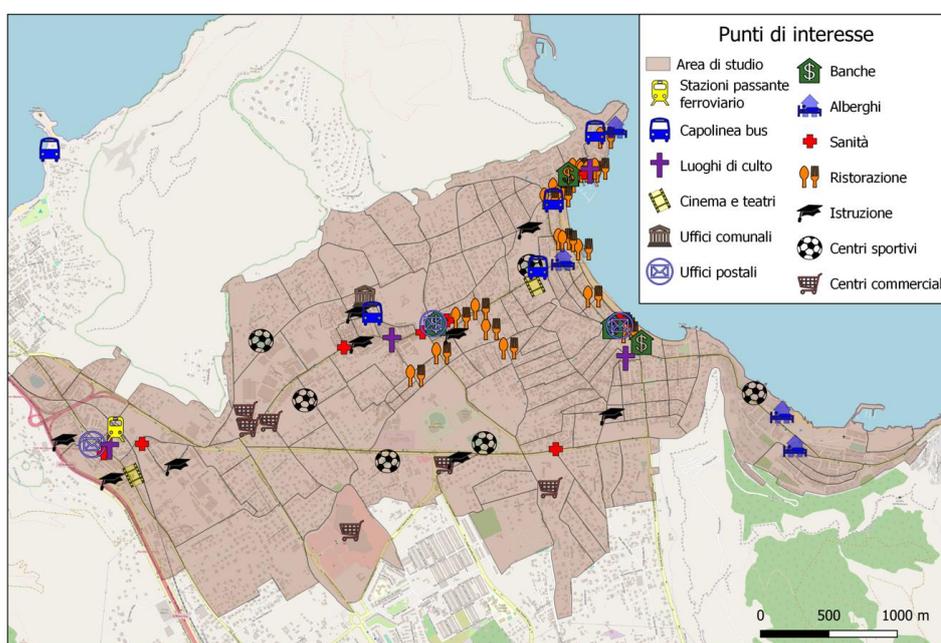


Figura 13 - Punti di interesse dell'area di studio

Tra i poli di interesse sono stati inclusi anche la stazione ferroviaria di “Palermo Tommaso Natale”, appartenente al Passante Ferroviario, e i capolinea degli autobus situati a Mondello in via Teti, in via Piano di Gallo e nel Parcheggio Galatea e a Partanna Mondello, invece, in piazza della Serenità. Da questi nodi del trasporto pubblico, infatti, partono i collegamenti mediante TPL verso il centro urbano di Palermo. La loro localizzazione è necessaria per la rappresentazione della rete di base nell’area di studio e per la successiva costruzione su QGIS del grafo relativo al servizio DRT proposto.

## 4.2. Le caratteristiche del trasporto pubblico locale

Un aspetto non di poco conto relativo alla qualità del servizio di trasporto pubblico collettivo dell’area esaminata è la frequenza del servizio ferroviario. Come è possibile notare dalle tabelle di marcia dei treni sia in partenza che in arrivo alla stazione di “Palermo Tommaso Natale”, mostrate nelle seguenti Tabella 3 e Tabella 4, la loro frequenza è addirittura di un treno all’ora sia nei giorni feriali che in quelli festivi; questi valori di frequenza sono del tutto inadeguati per un servizio su ferro di qualità, tenuto conto anche della durata del tragitto da compiere per giungere alla stazione di “Palermo Centrale”, pari a 36 minuti, di gran lunga inferiore all’intertempo registrato.

**Tabella 3** – Orari dei treni in partenza dalla stazione “Palermo Tommaso Natale” e diretti alla stazione “Palermo Centrale” (Fonte: Trenitalia)

Orari treni “Palermo Tommaso Natale” – “Palermo Centrale”					
Partenza	Arrivo	Durata	Partenza	Arrivo	Durata
05:43	06:20	37 min	15:11	15:47	36 min
06:11	06:47	36 min	16:11	16:47	36 min
07:10	07:47	37 min	17:11	17:47	36 min
08:11	08:47	36 min	18:11	18:47	36 min
09:11	09:47	36 min	19:11	19:47	36 min
10:11	10:47	36 min	20:11	20:47	36 min
11:11	11:47	36 min	21:11	21:47	36 min
12:11	12:47	36 min	22:11	22:47	36 min
13:11	13:47	36 min	23:09	23:45	36 min
14:11	14:47	36 min	23:09	01:05	1h56 min (Cambi: 1)

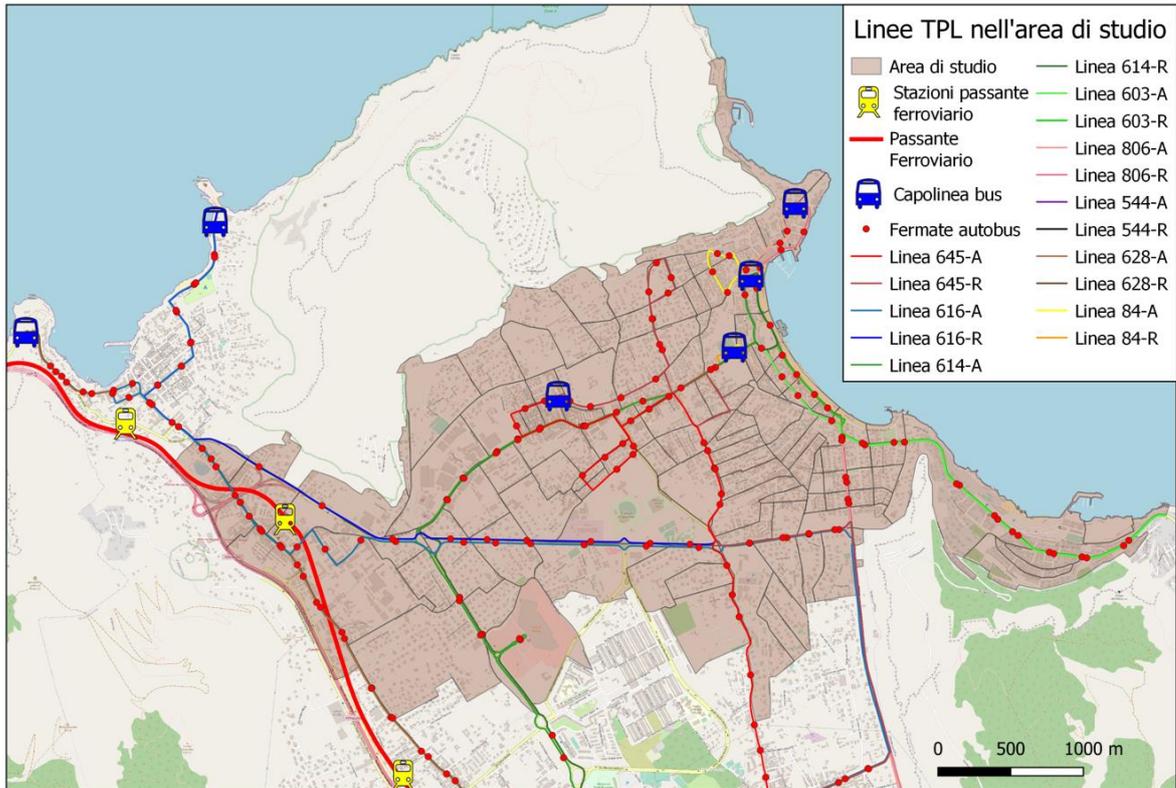
**Tabella 4** – Orari dei treni in partenza dalla stazione “Palermo Centrale” e diretti alla stazione “Palermo Tommaso Natale” (Fonte: Trenitalia)

<b>Orari treni “Palermo Centrale” – “Palermo Tommaso Natale”</b>					
<b>Partenza</b>	<b>Arrivo</b>	<b>Durata</b>	<b>Partenza</b>	<b>Arrivo</b>	<b>Durata</b>
06:11	06:47	36 min	16:11	16:47	36 min
07:11	07:47	36 min	17:11	17:47	36 min
08:11	08:47	36 min	18:11	18:47	36 min
09:11	09:47	36 min	19:11	19:47	36 min
10:11	10:47	36 min	20:11	20:47	36 min
11:11	11:47	36 min	21:11	21:47	36 min
12:11	12:47	36 min	22:11	22:47	36 min
13:11	13:47	36 min			
14:11	14:47	36 min			
15:11	15:47	36 min			

Dalla seguente Figura 14 è possibile, invece, osservare le linee del servizio autobus – gestito dall’azienda di trasporto municipalizzata della città di Palermo, AMAT Palermo S.p.A. – che corrono all’interno dell’area di studio, sia per il percorso di andata che per quello di ritorno al capolinea. È facile intuire come si abbia una scarsa penetrazione nel territorio offerta dal servizio bus, costituito dalle seguenti linee:

- 614 e 645 che servono l’area di Partanna Mondello;
- 616 che corre lungo l’asse di viale dell’Olimpo;
- 544, 806 e 603 che servono l’area costiera di Mondello, per poi proseguire le prime due lungo viale Regina Margherita di Savoia e l’ultima lungo l’Addaura;
- 628 (e in alcune ore della giornata la linea 628P con prolungamento fino ad Isola delle Femmine), che serve l’asse via San Lorenzo – via Tommaso Natale – via Sferacavallo;
- 84, in servizio durante la stagione balneare estiva, che serve esclusivamente l’area di Mondello con un servizio di navetta gratuito<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Questo servizio navetta, assieme alla linea 88 operante su Sferacavallo, è stato attivato da AMAT dal 15/06/2021 al 15/09/2021 per il collegamento gratuito tra spiagge e parcheggi, con orario di servizio tra le 07:15 e le 22:05 (Fonte: <https://www.amat.pa.it/15-06-2021-attivazione-navette-84-mondello-e-88-sferacavallo/>).



**Figura 14** – Linee TPL operanti all'interno dell'area di studio

Le frequenze delle linee bus evidenziate sono anche piuttosto scarse, come è possibile notare dai valori di intertempo riportati nella seguente Tabella 5:

**Tabella 5** – Linee di trasporto, percorsi e intertempi del servizio di trasporto pubblico all'interno dell'area di studio

Linea	Percorso	Intertempo [min]
84	Parcheggio Galatea – Valdesi – Parcheggio Mongibello	10
544	John Lennon – Mondello	20
603	Stadio – Mondello	23
614	Stadio – Partanna – Mondello	20
616	Stadio – Barcarello	21
628/628P	Sferracavallo – Stadio / Stadio – Isola delle Femmine	15
645	Stadio – Partanna	35
806	Piazza Crispi – Mondello	20



## **5. Le caratteristiche del servizio DRT ipotizzato per l'area di Partanna Mondello**

In virtù delle indicazioni fornite dalla letteratura scientifica, si è valutata l'ipotesi di introdurre nell'area di studio un servizio DRT che possa soddisfare efficacemente le esigenze di mobilità della popolazione residente. A tal fine, si riportano nei paragrafi seguenti sia la rete di base individuata e costruita sul software QGIS, necessaria per le successive fasi di simulazione della domanda di mobilità sul software di macrosimulazione VISUM, che le modalità operative del servizio condiviso a chiamata proposto in termini di prenotazione della corsa da parte degli utenti (dalla richiesta di salire a bordo fino all'eventuale controproposta avanzata dal gestore del servizio) e di attesa del servizio.

### **5.1. Identificazione e costruzione della rete di base**

Il primo step da intraprendere per poter delineare opportunamente il nuovo servizio pensato per l'area di studio individuata è rappresentato dalla costruzione del grafo di base connesso e orientato, su cui dovranno circolare i mezzi del servizio DRT. Si sono, quindi, individuate preventivamente tutte quelle infrastrutture idonee all'operatività del servizio DRT e tutte le fermate dalle quali transiteranno i veicoli.

La tipologia di servizio DRT vagliata è intermedia ai sistemi mostrati in Figura 4 e Figura 5: saranno previste, infatti, diverse fermate fisiche, attivabili su richiesta, distribuite all'interno del territorio (sia esistenti, quali quelle dei mezzi Amat, che di nuova realizzazione), con la presenza di due principali nodi di interscambio con linee forti: uno con la linea autobus 806 in corrispondenza della fermata "Principe di Scalea - Galatea", dove si trova il Palace Hotel di Mondello, e l'altro con il Passante Ferroviario, in corrispondenza della stazione ferroviaria "Palermo Tommaso Natale". I due nodi di interscambio sono raffigurati nelle seguenti Figura 15 e Figura 16.

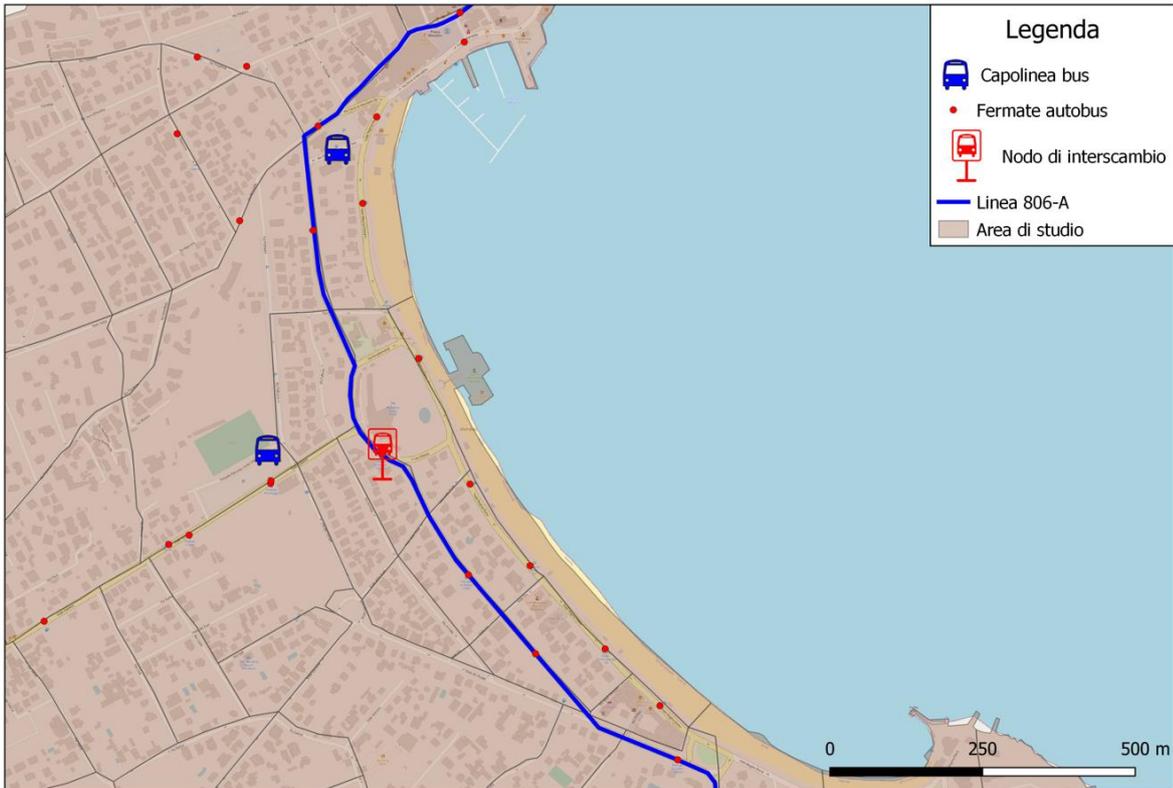


Figura 15 – Nodo di interscambio DRT-linea 806 presso la fermata “Principe di Sclea – Galatea”

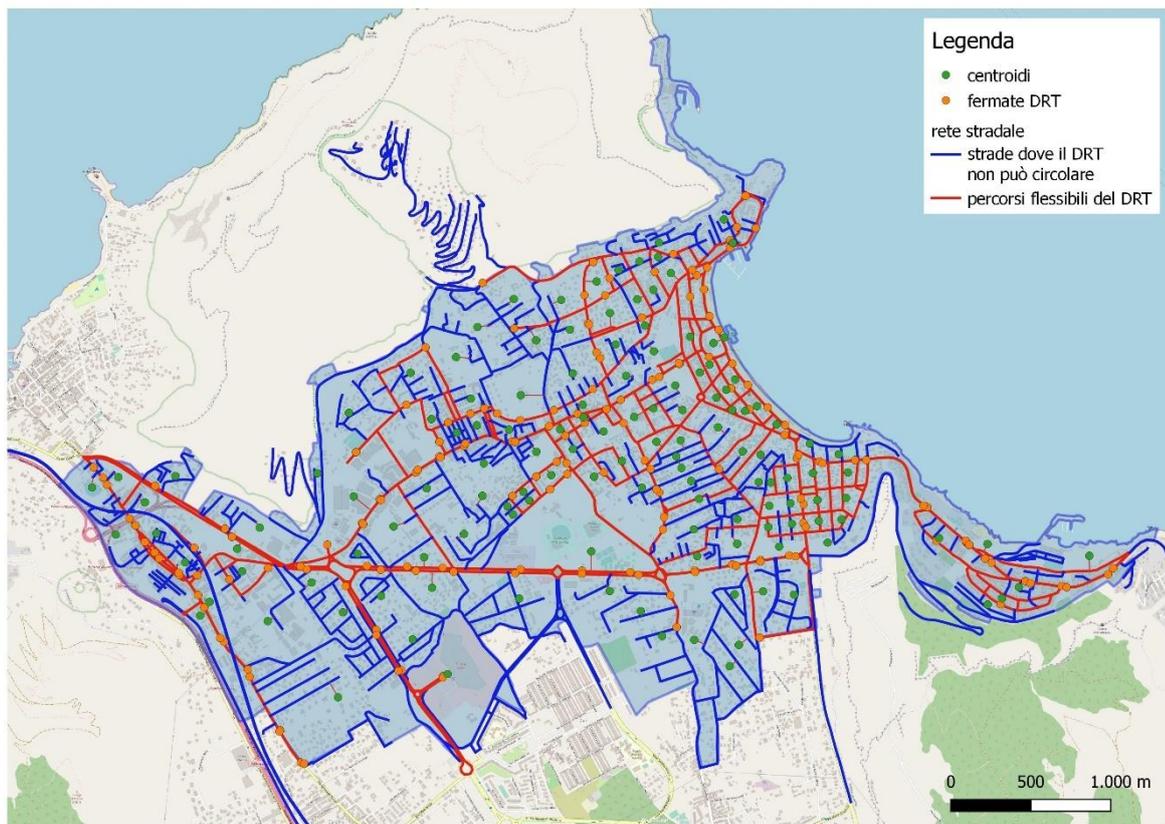


Figura 16 – Nodo di interscambio DRT-ferrovia presso la stazione “Palermo Tommaso Natale”

Il servizio, invece, sarà totalmente flessibile: i mezzi – van da 8 posti – circoleranno lungo le strade dell’area di studio senza seguire alcun percorso prestabilito, bensì muovendosi tra le varie fermate individuate sul territorio in funzione delle richieste degli utenti che vogliono usufruire del servizio. Nel caso di spostamenti diretti verso l’esterno dell’area in esame, gli utenti non saranno portati a destinazione, in quanto il servizio opererà solo all’interno dei confini stabiliti; essi saranno accompagnati, quindi, ai nodi di interscambio citati, in corrispondenza dei quali scenderanno dal veicolo del servizio DRT e saliranno sul servizio TPL (servizio ferroviario o linea 806) che gli permetterà di completare lo spostamento desiderato. Si punta, in tal modo, ad educare la collettività ad un utilizzo maggiore dei servizi di trasporto pubblico, motivandola ad abbandonare l’utilizzo di una forma di mobilità meno ecosostenibile quale l’auto privata.

La scelta di utilizzare come mezzi per il servizio DRT dei van è dipesa sia dalla loro capacità (8 posti più conducente) che, soprattutto, dalle caratteristiche della rete stradale dell’area di Partanna Mondello e degli altri quartieri. Le strade che le attraversano, infatti, spesso sono piuttosto strette, rendendo quindi più complicata la manovra di mezzi sì più capienti (come ad esempio minibus da 16 posti) ma, al contempo, più voluminosi, a scapito quindi di una maggiore velocità, di una maggiore agilità nelle manovre di svolta e, inoltre, di un maggior numero di strade percorribili, che di conseguenza aumenterebbe la copertura territoriale e la possibilità di ridurre le percorrenze chilometriche dei mezzi.

Proprio in virtù della scelta operata sulla tipologia di veicoli che saranno impiegati per il servizio, è stata individuata una rete di strade pubbliche percorribili (ad esclusione, quindi, delle strade pedonali, di quelle private e di quelle strade troppo strette o che presentano severi degradi stradali) che identificheranno la rete di base del DRT assieme a tutti i nodi fermata scelti dislocati sul territorio. Partendo, quindi, dal grafo di base, costruito su QGIS a partire dal grafo della viabilità della città di Palermo disponibile su *OpenStreetMap*, sono state classificate le strade su cui il servizio DRT non può operare e quelle, invece, abilitate al servizio. Il grafo di rete così costruito, composto da 4516 archi, di cui 957 abilitati al sistema DRT, è mostrato nella seguente Figura 17.

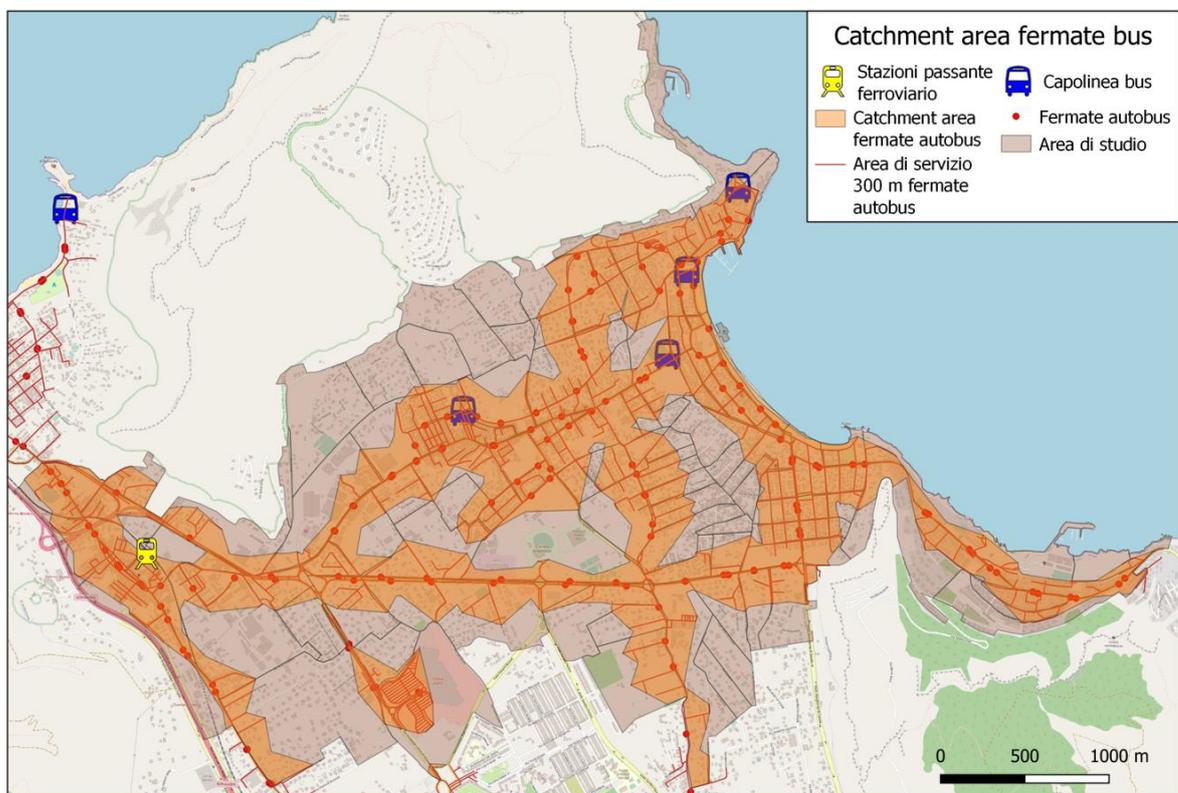


**Figura 17** – Rete stradale di base e grafo di rete per il servizio DRT ipotizzato per l’area di studio: vi compaiono archi disabilitati al servizio (archi blu), abilitati al servizio flessibile (archi rossi) e le fermate opzionali a richiesta (nodi arancioni)

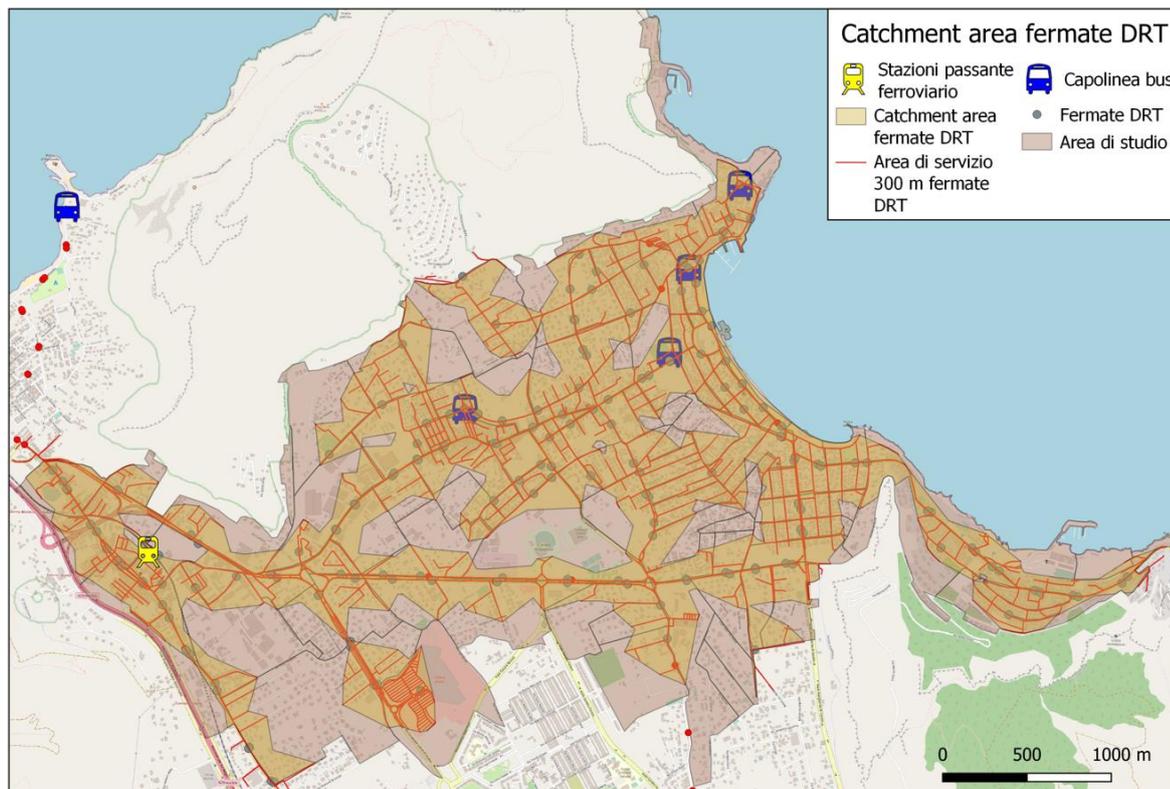
La scelta delle attuali fermate del servizio TPL esistente come fermate del nuovo servizio DRT, invece, è stata pensata per garantire non soltanto una facile localizzazione da parte dell’utenza ma, soprattutto, un adeguato standard di sicurezza durante l’attesa dei mezzi del servizio DRT per via della presenza di attrezzature quali panchine e pensiline. Come detto in precedenza, tuttavia, sono state aggiunte ulteriori fermate nell’area di studio per garantirne una maggiore copertura e servire maggiore utenza. Si è voluta analizzare, infatti, l’accessibilità pedonale misurata sulla rete pedonale entro 300 metri da ciascuna delle 153 fermate Amat, ossia entro 5 minuti da ogni fermata ipotizzando una velocità delle persone che si spostano a piedi pari a 1 m/s (Figura 18): si è potuto osservare come entro questa *catchment area*, che copre circa il 53% dell’estensione totale del contesto esaminato, risiede circa il 65% della popolazione residente, per un totale di 18.416 abitanti. Il posizionamento delle nuove fermate è stato fissato, pertanto, in corrispondenza di alcune porzioni di area attualmente non coperte e dove si ha una maggiore concentrazione di residenze, come mostrato in Figura 19. In questo modo si sono ridotte per i residenti le percorrenze a piedi rispetto ai percorsi

pedonali dai centroidi delle zone censuarie alle più vicine fermate Amat, percorsi che avrebbero richiesto un tempo di percorrenza piuttosto elevato (anche oltre i 10 minuti a piedi). Si è giunti così all'individuazione di un totale di 165 fermate PUDO (*Pick-Up and Drop-Off*) presso le quali i potenziali utenti potranno salire e scendere dai mezzi del servizio a chiamata proposto per l'area. La connessione dei vari centroidi di zona alla rete di trasporto così individuata e rappresentata è stata garantita da archi fittizi che fungono da connettori per i centroidi. Questi collegamenti sono stati realizzati utilizzando una funzione del software QGIS, che consente di collegare i punti alla linea più vicina tramite collegamenti virtuali.

Dal confronto tra le mappe di Figura 18 e Figura 19 è possibile osservare l'incremento di copertura spaziale fornita dalle nuove fermate rispetto alla situazione attuale, considerando sempre una catchment area attorno a tali fermate, misurata sulla rete pedonale, pari a 300 metri.



**Figura 18** – Catchment area di 300 metri sulla rete pedonale relativa alle fermate Amat attualmente presenti nell'area di studio



**Figura 19** – Mappa delle fermate future del servizio DRT e loro catchment area di 300 metri misurata sulla rete pedonale

Dall'analisi della nuova catchment area attorno alle future fermate del servizio DRT, è possibile notare come la copertura territoriale sia salita a circa il 61% dell'area di studio totale, con una popolazione residente ricadente al suo interno aumentata a 20.281 abitanti, cioè il 71% circa dell'intera popolazione residente nell'area di studio.

## 5.2. Le modalità operative del servizio DRT proposto

Con l'avvento delle nuove tecnologie digitali e, nel campo della sharing mobility, il rapido diffondersi delle piattaforme MaaS, gli utenti hanno la possibilità di osservare e valutare diversi pacchetti di mobilità e diverse strategie di spostamento immergendosi in un ambiente multimediale, in un'unica interfaccia e anche con una certa immediatezza. In questo modo le persone che vorranno usufruire di un servizio di mobilità hanno la possibilità di individuare la strategia più adatta alle loro esigenze di spostamento.

Per offrire ai futuri utenti del servizio DRT un'esperienza immersiva nella tecnologia multimediale del MaaS, si permetterà a loro di poter sfruttare piattaforme web oppure applicazioni per smartphone per prenotare il proprio spostamento desiderato a bordo dei mezzi del servizio. Essendoci, però, anche potenziali utenti anziani, che da letteratura scientifica appaiono tra gli utenti prevalenti che usufruiscono di un simile servizio di mobilità, si garantirà a loro la possibilità di contattare un call center per la prenotazione e per conoscere tutte le informazioni necessarie per effettuare il proprio viaggio. Questo perché gli anziani potrebbero essere meno avvezzi all'uso della tecnologia, e quindi incontrerebbero delle difficoltà ad utilizzare un servizio totalmente informatizzato e multimediale. In questo modo, quindi, si prova ad ovviare ad uno dei tanti motivi di esclusione sociale esistente ad oggi nel campo della mobilità.

La caratteristica principale del servizio DRT ipotizzato è quella di proporsi come servizio sostitutivo di alcune linee del TPL operanti all'interno dell'area di studio durante le fasce di morbida della giornata (dalle 08:30 alle 13:30 e dalle 14:30 alle 19:30, per un totale di 10 ore di esercizio ed escludendo dal periodo di servizio la fascia oraria di punta dalle 13:30 alle 14:30, in cui si registra l'uscita dagli istituti scolastici e dai posti di lavoro), quando gli autobus risultano spesso vuoti o, comunque, con pochi passeggeri a bordo, comportando quindi un non indifferente costo di gestione all'azienda di trasporto. Il servizio è stato pensato, quindi, per operare durante le ore di morbida della giornata per soddisfare tutti gli spostamenti di natura occasionale: si è voluto evitare, infatti, di renderlo operativo durante le ore di picco della domanda di mobilità, nelle quali si concentra la maggior parte degli spostamenti di natura lavorativa o scolastica, che richiederebbero necessariamente l'impiego di mezzi di elevata capacità quali sono gli autobus di linea. Pertanto, nelle ore di punta della giornata sarà in esercizio il tradizionale servizio TPL, a cui sarà demandato il soddisfacimento della domanda di mobilità sistematica dei residenti dell'area di studio.

Per prenotare il viaggio desiderato tramite piattaforme digitali o tramite call center sarà necessario comunicare l'intenzione di effettuare uno spostamento entro il giorno prima: si dovranno riferire l'orario e la fermata di partenza desiderata e la destinazione finale. Il gestore del servizio, in base ad alcune condizioni come le richieste ricevute, quelle accettate e la disponibilità dei mezzi, potrà accettare la richiesta di



l'utente comunica sempre l'orario e il luogo desiderato di partenza e la propria destinazione. Anche in questo caso, il gestore potrà accettare la richiesta, fornire una controproposta all'utente (comunicandogli l'orario alternativo di passaggio alla fermata fisica richiesta oppure presso una diversa fermata) oppure rifiutare la richiesta. La decisione da parte del gestore per le richieste "in corsa" può essere influenzata, per esempio, dal numero di utenti a bordo del mezzo su strada, dai percorsi pianificati per soddisfare le loro esigenze di mobilità, dall'ubicazione della nuova fermata di salita, dal luogo di destinazione richiesto e anche dalle possibili deviazioni dal percorso stabilito per soddisfare il nuovo possibile utente. Un nuovo utente che dovrà salire a bordo, infatti, potrebbe comportare un allungamento del percorso già pianificato, con conseguente ritardo per gli utenti già a bordo rispetto all'orario concordato in fase di prenotazione. Si è deciso, quindi, di porre come ritardo massimo per tutti gli utenti un tempo limite di 10 minuti. Anche in questo caso, inoltre, si ipotizza che il nuovo utente non attenderà per più di 10 minuti il mezzo che passerà a prenderlo alla fermata fisica o "virtuale".

Questi valori, assieme ad altri relativi, ad esempio, ai tempi di percorrenza e ai costi del servizio e delle attuali alternative di mobilità, sono alla base dell'indagine SP che servirà per stimare la domanda di mobilità nell'area di studio e, quindi, per valutare se un simile sistema di trasporto potrà radicarsi efficacemente nelle abitudini di mobilità della popolazione residente.



## **6. Indagini integrative sull'attuale servizio TPL**

Il servizio DRT pensato per l'area di studio si propone come una possibile soluzione per migliorare la qualità della mobilità all'interno dei quartieri periferici della città di Palermo fin qui menzionati. Come detto precedentemente, si vuole che il servizio DRT sia sostitutivo del trasporto pubblico locale attualmente in esercizio nel territorio in esame: questo perché le prestazioni del TPL, già evidenziate al paragrafo 4.2, sono risultate piuttosto carenti. Si sono volute condurre, quindi, delle ulteriori analisi per accertarsi delle effettive prestazioni del TPL in termini di regolarità del servizio, di frequenze di passaggio delle linee di autobus, di velocità commerciale dei mezzi e di passeggeri saliti e discesi alle varie fermate Amat. In questo modo è possibile anche condurre delle stime sui passeggeri trasportati all'ora da ciascuna linea di autobus, ricondotti poi al numero di passeggeri al giorno, oltre che dare una motivazione alla volontà di sopprimere determinate linee autobus poco performanti.

### **6.1. Alcune criticità del servizio di trasporto pubblico su gomma**

Uno dei problemi di cui i cittadini spesso si lamentano è legato all'affidabilità del servizio autobus della città di Palermo. Spesso, infatti, le corse degli autobus non rispettano gli orari dichiarati da Amat sia sulla propria pagina web che nelle tabelle orarie alle varie fermate su strada, e talvolta alcune corse vengono direttamente soppresse, senza che il cittadino ne possa essere al corrente. Non sono, infatti, presenti nella quasi totalità delle fermate autobus della città di Palermo dei sistemi di comunicazione in tempo reale quali paline informative, che comunicherebbero informazioni utili come il numero della linea che transiterebbe da quella data fermata, la destinazione e, soprattutto, il tempo di attesa previsto dell'autobus. Le poche paline elettroniche che erano state installate, anzi, sono state ultimamente smantellate, anche se già spente da diversi anni<sup>2</sup>. Capita, così, che le persone che vogliono o, per cause di forza maggiore come il non possesso di un mezzo privato o, ancora peggio, hanno delle disabilità fisiche e motorie, sono costrette a salire a bordo degli autobus, si ritrovano a

---

<sup>2</sup> Questo disservizio è stato riportato in un reportage pubblicato sul link <https://www.siciliainprogress.com/reportage-esclusivo-trasporti-pubblici-viaggio-nel-sistema-palermo/>

dover aspettare il mezzo per un tempo totalmente sconosciuto, senza alcun tipo di informazione in tempo reale sull'eventuale arrivo della linea autobus desiderata, lamentando spesso attese estenuanti di circa un'ora<sup>3</sup>.

Questo problema, purtroppo, non è nemmeno così recente: è possibile addirittura trovare sul web diverse lamentele che risalgono a diversi anni fa, in cui si può leggere come gli utenti pativano queste attese di quasi un'ora all'ordine del giorno e su diverse linee (molte all'interno dell'area di studio trattata nel presente lavoro di ricerca, come le linee 614<sup>4</sup>, 616 e 628)<sup>5</sup>. Spesso le motivazioni dietro tale disservizio, come confermato dagli stessi autisti, sono non solo la carenza di mezzi ma anche i pochi autisti dell'azienda<sup>6</sup>. Se al secondo punto si è trovata una soluzione, con l'assunzione e la presa di servizio di 81 nuovi autisti il 14 novembre 2022 dopo lo sblocco definitivo, in seguito a numerosi ricorsi, del concorso pubblico bandito l'11 luglio 2019 per il reclutamento di 100 unità di personale per la figura professionale di Operatore di Esercizio<sup>7</sup>, alla carenza dei mezzi si è riusciti soltanto a mettere una pezza. Nel luglio del 2021, infatti, i 33 bus urbani Iveco consegnati ad Amat (10 autosnodati da 18 metri e 23 autobus da 12 metri) dopo ben 2 anni di vicissitudini amministrative e giudiziarie, non sono serviti ad aumentare la frequenza di alcune linee ma, invece, a tamponare i continui guasti e malfunzionamenti dei mezzi attualmente in esercizio<sup>8</sup>.

Tutti questi disagi si traducono in sovraffollamenti a bordo dei mezzi una volta che questi giungono alle fermate, con tutti i rischi del caso specialmente in questo periodo afflitto dalla pandemia da coronavirus<sup>9</sup>. Tutte queste problematiche hanno

---

<sup>3</sup> Queste critiche sono state estratte da una lettera di un utente con disabilità visiva, riportata sul link <https://www.palermotoday.it/social/segnalazioni/trasporto-pubblico-lettera-aperta-pendolare.html>

<sup>4</sup> Relativamente a questa linea autobus, è possibile leggere al link <https://www.palermotoday.it/social/segnalazioni/linea-614-ritardi-autobus.html> le lamentele relative al fatto che di questa linea sono presenti soltanto due vetture a causa della mancanza di autisti, con ritardi lamentati spesso di un'ora.

<sup>5</sup> Un'aspra critica è stata pubblicata su internet nel 2015 da un utente ed è possibile leggerla sul sito web <https://www.palermotoday.it/social/segnalazioni/il-disservizio-amat-autobus.html>

<sup>6</sup> Dichiarazione pubblicata sul sito "PalermoLive" e consultabile al link <https://palermlive.it/amat-pochi-autobus-scarso-personale-esasperazione-lavoratori-cittadini/>

<sup>7</sup> La conferma è stata pubblicata sia sul sito "Mobilità Palermo" al link <https://palermo.mobilita.org/2022/11/11/amat-lunedì-14-prenderanno-servizio-81-nuovi-autisti/> che sull'avviso sul sito AMAT, consultabile sul documento pubblicato al link [https://www.amat.pa.it/wp-content/uploads/2022/11/2022\\_11\\_11\\_Avviso.pdf](https://www.amat.pa.it/wp-content/uploads/2022/11/2022_11_11_Avviso.pdf)

<sup>8</sup> Notizia pubblicata sul sito "Mobilità Palermo" al link <https://palermo.mobilita.org/2021/07/22/consegnati-33-nuovi-bus-per-amat-ma-a-settembre-il-miglioramento-del-servizio/>

<sup>9</sup> Questi disagi, specialmente sulla linea 806 in entrambe le direzioni (verso Mondello e verso il centro città), sono stati denunciati sul sito "BlogSicilia.it" al link <https://www.blogsicilia.it/palermo/autobus-calvario-raggiungere-mondello-linea-806/786039/> e sul sito "PalermoToday" al link <https://www.palermotoday.it/blog/autobus-mezzi-pubblici-ritardi-disagi-amat.html>

addirittura spinto gli stessi lavoratori dell'azienda Amat a scrivere un volantino di scuse all'utenza per non essere in grado di servirla nel miglior modo possibile (Figura 22).



Figura 21 – Sovraffollamento a bordo della linea 806 (Fonte: BlogSicilia.it)

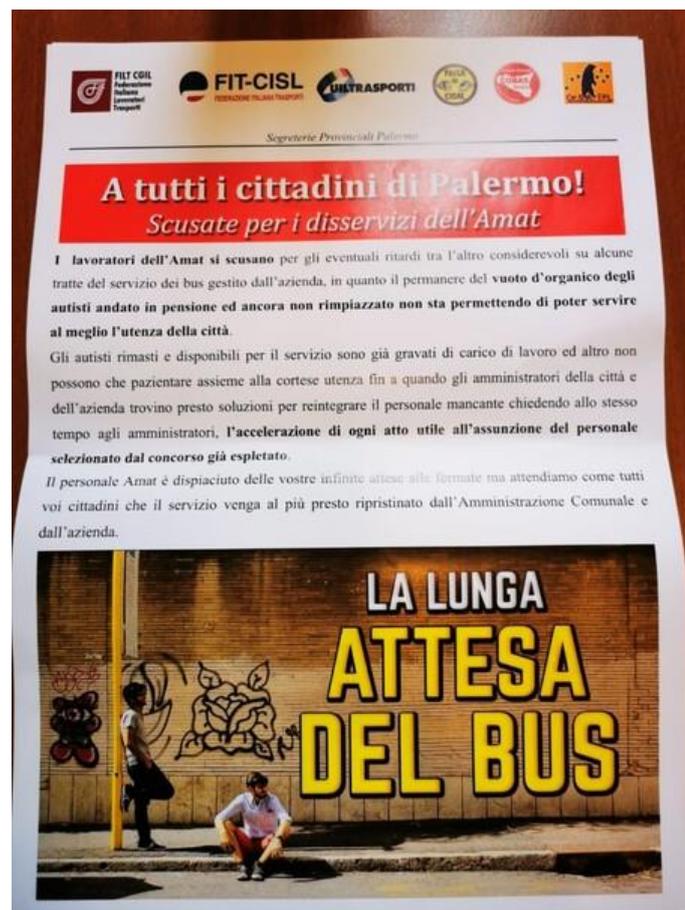


Figura 22 – Volantino di scuse affisso alle varie fermate Amat

Le criticità per l'utenza non mancano anche dal punto di vista delle opere di completamento funzionale, quali paline informative e pensiline. Spesso, infatti, queste lunghe e snervanti attese avvengono direttamente in piedi sotto il sole o sotto le intemperie: diverse fermate, infatti, sono sprovviste di pensilina ma hanno solo la palina informativa, e laddove esiste la pensilina, alcune di queste sono sprovviste di panchine, o ancora sono invase dalla vegetazione, rendendole assolutamente impraticabili. Quest'ultimo aspetto è anche emblematico della poca cura a riguardo da parte dell'amministrazione locale. Diversi esempi sono evidenziati nelle seguenti immagini, sia relative all'area di studio che anche ad altre zone della città di Palermo.



**Figura 23** – Fermata “Cristoforo Colombo – Roosevelt” all’Addaura. È presente la sola palina informativa, senza alcuna pensilina per l’attesa al riparo e in sicurezza degli utenti (Fonte: Google Street View, data dell’immagine: settembre 2022)



**Figura 24** – Fermata “Cristoforo Colombo – Caronia Roberti” all’Addaura. Anche in questo caso è presente la sola palina informativa, senza alcuna pensilina per l’attesa delle persone, nonostante l’evidente disponibilità di spazio sufficiente ad accoglierla fuori dalla carreggiata (Fonte: Google Street View, data dell’immagine: settembre 2022)



**Figura 25** – Fermata “Tommaso Natale – Stazione FS” a Tommaso Natale. Pensilina sprovvista di panchina (Fonte: Google Street View, data dell’immagine: luglio 2022)



a)



b)

**Figura 26** – Fermata “San Raffaele Arcangelo–Callea”, nei pressi dell’Università degli Studi di Palermo. a) Stato precedente della fermata avvolta dalla vegetazione (Fonte: PalermoToday); b) Stato attuale della fermata, dopo la rimozione delle erbacce che la avvolgevano. Non è più presente, tuttavia, la palina informativa (Fonte: Google Street View, data dell’immagine: settembre 2022)

Anche l’individuazione dell’ubicazione della fermata risulta essere un problema per gli utenti del trasporto pubblico su gomma. Esistono diversi casi in cui, al posto della tradizionale palina mostrata in Figura 27, sono presenti altri tipi di palina, senza alcuna indicazione del nome della fermata né tantomeno delle linee che vi fermeranno

e dei loro percorsi (Figura 28); alcune, inoltre, sono piccoli segnali obsoleti, a volte arrugginiti, con la sola indicazione “Fermata Amat”, fissati a pali dell’illuminazione stradale (Figura 29). In entrambi i casi, inoltre, capita che siano scarsamente visibili perché nascosti dalla vegetazione o perché troppo piccoli.



**Figura 27** – Esempio di tradizionale palina informativa Amat, con indicazione del nome delle fermate, delle linee che vi transitano, dei loro percorsi e delle loro frequenze nella stagione estiva e invernale, sia nei giorni feriali che in quelli festivi



**Figura 28** – Palina della fermata “Partanna Mondello – Matotta”, nascosta dalla vegetazione locale (Fonte: Google Street View, data dell’immagine: luglio 2022)



**Figura 29** – Palina della fermata “Tommaso Natale – Crocetta”, rappresentata da un piccolo e vecchio segnale nascosto dalla vegetazione (Fonte: Google Street View, data dell’immagine: dicembre 2021)

Per venire incontro alle difficoltà degli utenti, l’amministrazione locale e l’azienda di trasporto Amat nel giugno del 2016 avevano lanciato la proposta di aggiornamento delle paline di fermata con l’applicazione di QR Code, che sarebbero serviti, una volta inquadrati con lo smartphone, per aprire la versione online della palina elettronica e ottenere, così, informazioni in tempo reale sulla posizione degli autobus che transiteranno per quella data fermata, oltre che comunicazioni su eventuali variazioni temporanee<sup>10</sup>. Sempre nel 2016, a dicembre, inoltre, era stata lanciata una sperimentazione tra Amat e l’azienda Moovit (azienda che gestisce e sviluppa app e software per la fruizione dei servizi di trasporto pubblico) mirata alla restituzione in tempo reale della posizione delle linee autobus<sup>11</sup>. Grazie a rilevatori GPS installati a bordo degli autobus, infatti, un server avrebbe ricevuto la posizione esatta del mezzo, inviando le informazioni all’app Moovit per la visualizzazione su mappa. Ad oggi, invece, purtroppo non si è materializzato nulla né per il QR Code né per la visualizzazione in real time

<sup>10</sup> Notizia pubblicata sul sito del Comune di Palermo, consultabile al link <https://www.comune.palermo.it/palermo-informa-dettaglio.php?id=11161&tipo=1>

<sup>11</sup> Notizia pubblicata sul sito Mobilità Palermo, al link <https://palermo.mobilita.org/2016/12/14/primi-autobus-amat-in-tempo-reale-su-unapp-unaltra-sperimentazione-diventera-realta/>

della posizione dei mezzi: l'app di Moovit, infatti, raccoglie oggi soltanto le informazioni sugli orari di passaggio dei mezzi Amat secondo quanto pubblicato dalla stessa azienda sul proprio sito, non fornendo più, quindi, preziose informazioni riguardo all'effettivo prossimo passaggio degli autobus dalla fermata di interesse per gli utenti. Tutto questo anche per la mancanza ancora oggi di sensori GPS installati a bordo degli autobus, oggetto di lamentele frequenti da parte dell'utenza, che però, stando alle parole del presidente dell'azienda Amat, Michele Cimino, potrebbero finalmente vedere la loro comparsa dal dicembre del 2022<sup>12</sup>.

Tutte queste criticità nel servizio autobus fornito da Amat hanno fatto sì che si volessero indagare le loro reali prestazioni all'interno dell'area di studio, rilevando diverse informazioni come la regolarità del servizio, le frequenze di passaggio dei mezzi confrontate con quanto dichiarato dall'azienda ed il numero di passeggeri serviti dagli autobus all'ora e al giorno. Tutto quanto al fine di valutare coscientemente, ed eventualmente rafforzare, l'idea di proporre una soluzione alternativa di mobilità, più flessibile e al contempo meno onerosa per le casse aziendali.

## **6.2. L'analisi delle prestazioni del servizio di trasporto pubblico**

Stante, come finora dichiarato, la scarsa regolarità del servizio autobus fornito da Amat, si è voluto indagare sulle reali performance del TPL all'interno dell'area di Partanna Mondello, Mondello, Addaura e Tommaso Natale. Per evitare, in particolare, di effettuare indagini in presenza dei forti flussi nella stagione estiva che interessano soprattutto l'area costiera di Mondello e dell'Addaura, si sono svolte le indagini nei mesi di Aprile e Maggio 2022. Rispetto alle linee indicate nella Tabella 5, non è stata presa in considerazione la linea 84, in quanto operante soltanto nella stagione estiva e non durante il periodo scelto per il rilievo.

---

<sup>12</sup> La presa d'impegno da parte del presidente dell'Amat è pubblicata su un articolo di PalermoToday, consultabile al link <https://www.palermotoday.it/cronaca/amat-autobus-ritardi-disagi-gps-intervista-michele-cimino.html>

### 6.2.1. Il rilevamento degli orari di transito degli autobus alle fermate

I rilievi degli orari sono stati eseguiti recandosi ad una fermata Amat di ciascuna delle linee che interessano l'area di studio e registrando in un determinato periodo di riferimento, su semplice supporto cartaceo, gli orari di passaggio delle linee autobus di interesse. I risultati, registrati e pubblicati da Citrano (2022), sono riepilogati nella seguente Tabella 6.

**Tabella 6** – Orari di passaggio degli autobus rilevati alle fermate Amat dell'area di studio

Orari di passaggio rilevati								
Linea	Orari							Periodo di riferimento
544	09:02	09:20	09:33	10:00	10:34	11:01		09:00 – 11:00
603	09:14	09:41	10:47					09:00 – 11:00
614	15:18	15:44	16:03					15:00 – 16:00
616	14:47	15:42	16:00					14:00 – 16:00
628/628P	14:01	14:36	14:57					14:00 – 15:00
645	10:08	10:33	11:03	11:30	11:54			10:00 – 12:00
806	09:08	09:22	09:42	09:59	10:11	10:18	10:32	09:00 – 11:00

Questi orari si sono voluti confrontare con quanto dichiarato dall'azienda sul proprio sito web nel medesimo periodo di riferimento, in modo da valutare il loro rispetto da parte degli operatori di esercizio. Gli orari sono evidenziati nella seguente Tabella 7.

**Tabella 7** – Orari di transito degli autobus dichiarati dall'azienda Amat (Fonte: Amat S.p.A.)

<b>Orari di passaggio dichiarati da AMAT</b>							
<b>Linea</b>	<b>Orari</b>						<b>Periodo di riferimento</b>
544	09:00	09:20	09:40	10:00	10:20	10:40	09:00 – 11:00
603	09:02	09:25	09:48	10:11	10:34	10:57	09:00 – 11:00
614	15:15	15:33	15:51				15:00 – 16:00
616	14:14	14:34	14:54	15:14	15:34	15:54	14:00 – 16:00
628/628P	14:10	14:25	14:36	14:50			14:00 – 15:00
645	10:10	10:45	11:20	11:55			10:00 – 12:00
806	09:05	09:25	09:45	10:05	10:25	10:45	09:00 – 11:00

Da una prima osservazione dei dati rilevati, è possibile notare la non coincidenza degli orari dichiarati dall'azienda con quelli rilevati su strada. Ciò denota, quindi, una scarsa regolarità del servizio: gli intertempi e le frequenze non vengono, infatti, rispettati dagli operatori, e gli utenti che si recano alle fermate si possano ritrovare non soltanto ad aspettare l'autobus più a lungo del previsto, ma anche a non poter prevedere quando questo passerà. Osservando, ad esempio, la linea 544, nonostante essa presenti una frequenza di 3 autobus ogni ora (rispettando, quindi, quanto dichiarato dall'azienda), gli orari dei passaggi dalla stessa fermata non sono assolutamente regolari. Partendo dal primo passaggio, registrato alle 09:02, il secondo è avvenuto 18 minuti dopo, il terzo a distanza di ulteriori 13 minuti, mentre il quarto addirittura dopo 27 minuti, rispettando però l'orario riportato sulla tabella di marcia (le 10:00). Il quinto, invece, è passato con 14 minuti di ritardo rispetto all'orario programmato (10:34 contro le 10:20), e il sesto ed ultimo del periodo di riferimento scelto pari a 2 ore, invece, a distanza di 27 minuti dal precedente ed in ritardo rispetto all'orario programmato di ben 21 minuti. Con riferimento, invece, alla linea 616, la situazione è ancora più evidente. Rispetto ad un intertempo di 20 minuti nella fascia oraria di riferimento 14:00 – 16:00, i minuti intercorsi tra il primo ed il secondo passaggio della linea 616 sono stati addirittura 55, mentre il terzo passaggio è avvenuto solo 18 minuti dopo il precedente. Tutto ciò denota, quindi, una scarsa affidabilità del servizio agli occhi degli utenti, oltre al problema della soppressione di alcune corse senza alcun preavviso per le persone che aspettano alla fermata (per la linea 616 ben 3 corse su 6 previste

nelle 2 ore di rilevamento), scoraggiando quindi la gente a rivolgersi al servizio di trasporto pubblico per soddisfare le proprie esigenze di spostamento.

### 6.2.2. Le frequenze delle linee autobus nell'area di studio

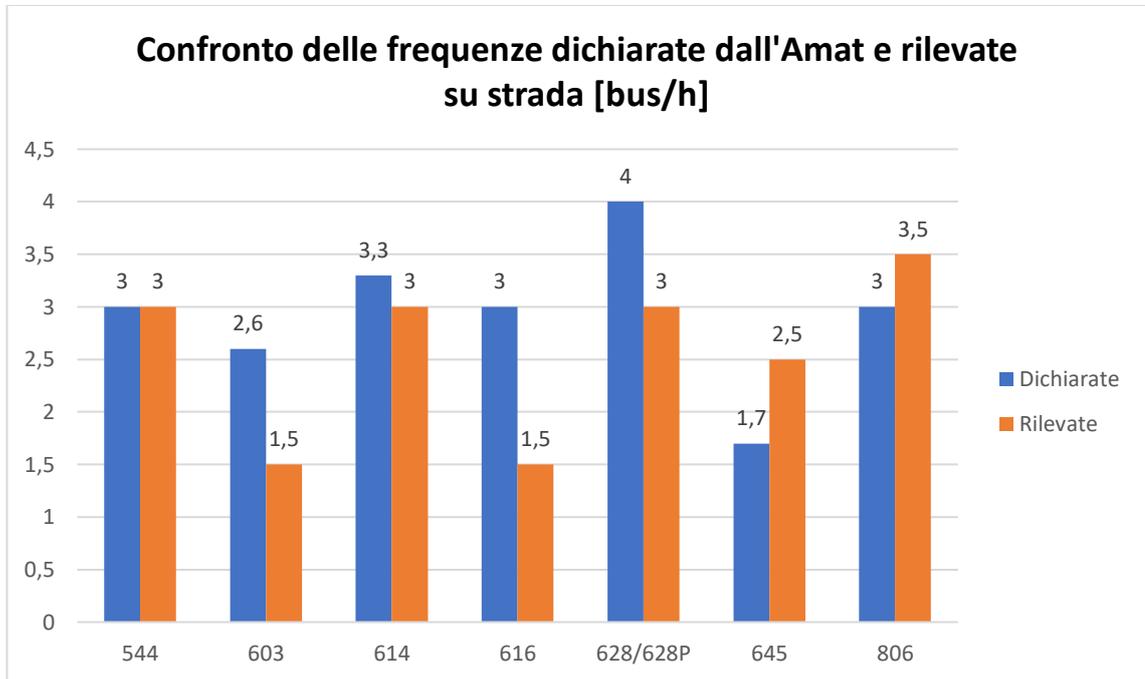
Sulla base degli orari e dei numeri dei passaggi degli autobus mostrati nelle precedenti Tabella 6 e Tabella 7 e riferiti a determinate fasce orarie, si sono calcolate le frequenze dichiarate dall'Amat, confrontandole con quelle rilevate su strada. In particolare, le frequenze dichiarate sono state calcolate a partire dagli intertempi dichiarati da Amat per il periodo di riferimento scelto per i rilevamenti; le frequenze effettive, invece, sono state dedotte secondo definizione a partire dal numero di passaggi degli autobus delle linee analizzate per una stessa fermata. I risultati sono sintetizzati nella seguente Tabella 8 ed espressi in bus/h.

**Tabella 8** – Frequenze dichiarate e rilevate delle linee di autobus circolanti nell'area di studio

<b>Linee</b>	<b>Frequenze dichiarate [bus/h]</b>	<b>Frequenze rilevate [bus/h]</b>
544	3	3
603	2,6	1,5
614	3,3	3
616	3	1,5
628/628P	4	3
645	1,7	2,5
806	3	3,5
<b>Σ Frequenze</b>	<b>20,6</b>	<b>18</b>

Come è possibile notare, non sempre le frequenze dichiarate dall'azienda sono effettivamente rispettate, e come spiegato precedentemente, il loro rispetto non implica una regolarità del servizio, come mostrato nel caso della linea 544. È possibile, in particolare, notare come le linee che si discostano notevolmente in difetto rispetto a quanto dichiarato siano la linea 603 e la linea 616. Anche la linea 628 (e il suo prolungamento 628P) mostra una frequenza inferiore rispetto al valore che dovrebbe avere (3 bus/h contro i 4 bus/h teorici), presentando tuttavia un valore di frequenza nel complesso abbastanza alto se confrontato con le prestazioni delle altre linee operanti nell'area di studio. La linea 806 e 645, invece, hanno mostrato prestazioni superiori,

mentre le frequenze delle linee 544 e 614 risultano pressoché in linea con quanto dichiarato dall'azienda. Una sintesi grafica che evidenzi più chiaramente questi rilevamenti è mostrata nella seguente Figura 30.



**Figura 30** – Confronto tra le frequenze degli autobus dichiarate dall'Amat e quelle rilevate su strada, espresse in bus/h

A partire dai dati di frequenza rilevati su strada è possibile risalire ai valori degli intertempi reali e dei tempi di attesa percepiti dagli utenti alle varie fermate del servizio di trasporto pubblico su gomma. L'intervallo  $I_i$  di una linea  $i$  è definito come il distanziamento temporale tra il passaggio successivo di due veicoli della linea per una qualunque fermata. È espresso in minuti ed in formule è dato dalla (1), in cui è posto in funzione della frequenza  $f_i$  della linea  $i$ .

$$I_i = \frac{60}{f_i} \quad (1)$$

Nella seguente Tabella 9 si riportano i valori degli intertempi delle varie linee calcolati con la (1) e si confrontano con quelli dichiarati dall'Amat nelle fasce orarie in cui sono stati effettuati i rilevamenti.

**Tabella 9** – Confronto degli intertempi teorici e rilevati per le linee autobus dell'area di studio

Linee	Intertempo teorico [min]	Intertempo rilevato [min]
544	20	20
603	23	40
614	18	20
616	20	40
628/628P	15	20
645	35	24
806	20	17,14

Come è possibile osservare, e come era già deducibile dai valori di frequenza precedentemente riportati, la linea 603 e la linea 616 mostrano le prestazioni peggiori, con passaggi successivi di due autobus di quelle linee di ben 40 minuti. Tutto ciò mostra, quindi, un elevato disagio per tutti coloro che effettuano spostamenti da e verso le aree dell'Addaura e di Sferracavallo, con elevati tempi di attesa. Questi sono calcolati in funzione dell'intertempo o della frequenza secondo la seguente espressione:

$$t_a = \frac{I_i}{2} = \frac{30}{f_i} \quad (2)$$

I tempi di attesa sostenuti dall'utenza, pertanto, sono riportati nella seguente Tabella 10 e confrontati con quelli teorici funzione delle frequenze dichiarate dall'azienda Amat.

**Tabella 10** – Confronto tra i tempi di attesa teorici ed effettivi sostenuti dagli utenti dell'area di studio

Linee	Tempo di attesa teorico [min]	Tempo di attesa effettivo [min]
544	10	10
603	11,5	20
614	9	10
616	10	20
628/628P	7,5	10
645	17,5	12
806	10	8,57

È possibile, dunque, affermare che gli utenti percepiranno un maggiore disagio nel compiere i propri spostamenti a bordo delle linee autobus 603 e 616 per via dei

tempi di attesa di ben 20 minuti; al contrario, percepiranno come molto performante la linea 806, che stando ai rilievi effettuati nella fascia oraria mattutina dalle 9:00 alle 11:00 mostra elevate prestazioni, con tempi di attesa dell'ordine degli 8-9 minuti.

### 6.2.3. La stima dei passeggeri serviti dalle linee autobus

Oltre ai rilievi relativi alle frequenze delle linee autobus circolanti all'interno dell'area di studio, sono stati fatti per ogni linea anche rilievi relativi al numero di passeggeri saliti e discesi alle varie fermate Amat ubicate entro i confini del contesto di studio. Queste osservazioni sono utili per valutare quante persone usufruiscono del servizio di trasporto pubblico, in modo da poter risalire in ultima analisi al numero di passeggeri mediamente serviti all'ora e al giorno.

Come svolto da Citrano (2022), per ciascuna linea di autobus che interessa l'area di Partanna Mondello e dintorni sono state individuate le fermate attraversate nella direzione Nord-Sud in uscita dall'area (denominata in seguito direzione di "andata") e in quella opposta Sud-Nord in ingresso nell'area (denominata invece direzione di "ritorno"). Partendo dalla prima fermata (il capolinea per le linee definite di "scambio" tra l'area di studio ed il contesto esterno, la fermata più a Nord, invece, per quelle denominate di "attraversamento" dell'area), si è effettuato per ogni linea il conteggio dei passeggeri saliti e discesi ad ognuna delle fermate fino al raggiungimento dell'ultima fermata interna all'area di studio, per poi ripetere il conteggio lungo la direzione opposta. Sono stati eseguiti due rilevamenti per direzione nelle ore mattutine e altrettanti nelle ore pomeridiane.

I risultati sono sintetizzati per ciascuna linea nella seguente Tabella 11: in essa sono riportati anche il numero medio di passeggeri saliti e discesi per linea e per direzione di "andata" e "ritorno", il numero medio di passeggeri trasportati per direzione, il numero medio di passeggeri trasportati per linea di autobus, la frequenza effettiva di quella linea (secondo quanto indicato in Tabella 8) e il numero di passeggeri trasportati all'ora. Quest'ultimo valore è stato ricavato dal prodotto del numero di passeggeri trasportati per linea  $(pass/bus)_i$  per la frequenza effettiva  $f_i$  di quella data linea:

$$(pass/h)_i = f_i \times (pass/bus)_i \quad (3)$$

Il numero di passeggeri trasportati da ciascuna linea  $(pass/bus)_i$ , invece, è calcolato in tre modi diversi:

- Linee di *scambio* (cioè quelle linee con un capolinea interno all'area di studio): somma del numero di passeggeri saliti nella direzione di andata e del numero di passeggeri scesi nella direzione di ritorno;

$$(pass/bus)_i = (pass_{saliti_{andata}})_i + (pass_{discesi_{ritorno}})_i \quad (4)$$

- Linee di *attraversamento* (cioè quelle linee con i capolinea all'esterno dell'area di studio e che la attraversano per un certo tratto):
  - Se l'attraversamento è di breve lunghezza, si sommano i valori medi dei passeggeri saliti e discesi in entrambe le direzioni. Questo perché non è possibile sapere con certezza se lo spostamento compiuto dai passeggeri avvenga interamente all'interno dell'area di studio:

$$(pass/bus)_i = (pass_{saliti_{andata}} + pass_{discesi_{andata}})_i + (pass_{saliti_{ritorno}} + pass_{discesi_{ritorno}})_i \quad (5)$$

- Se l'attraversamento è di maggiore lunghezza, si sommano i valori medi dei soli passeggeri saliti in entrambe le direzioni. In questo caso, a differenza del precedente, è possibile ritenere più probabile che i passeggeri siano saliti effettivamente ad una fermata interna all'area di studio:

$$(pass/bus)_i = (pass_{saliti_{andata}})_i + (pass_{saliti_{ritorno}})_i \quad (6)$$

**Tabella 11** – Rilevamenti su strada sulle linee TPL dell'area di studio e stima dei passeggeri trasportati all'ora

	<b>544 (scambio)</b>				<b>603 (scambio)</b>			
	Andata		Ritorno		Andata		Ritorno	
	Salite	Discese	Salite	Discese	Salite	Discese	Salite	Discese
Mattina	5	1	0	13	4	2	0	0
	4	0	0	9	2	1	0	3
Pomeriggio	2	1	0	4	1	0	0	2
	3	0	0	6	3	1	0	0
Media	<b>3,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>2,5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1,25</b>
Passeggeri per direzione	<b>4</b>		<b>8</b>		<b>3,5</b>		<b>1,25</b>	
Passeggeri trasportati	11,5				3,75			
Frequenza effettiva [bus/h]	3				1,5			
<b>Pass/h</b>	<b>34,5</b>				<b>5,625</b>			
	<b>614 (scambio)</b>				<b>616 (attraversamento lungo)</b>			
	Andata		Ritorno		Andata		Ritorno	
	Salite	Discese	Salite	Discese	Salite	Discese	Salite	Discese
Mattina	8	5	4	12	8	8	4	4
	9	7	10	10	10	5	8	2
Pomeriggio	8	6	7	9	7	2	7	4
	12	9	8	11	9	6	9	5
Media	<b>9,25</b>	<b>6,75</b>	<b>7,25</b>	<b>10,5</b>	<b>8,5</b>	<b>5,25</b>	<b>7</b>	<b>3,75</b>
Passeggeri per direzione	<b>16</b>		<b>17,75</b>		<b>13,75</b>		<b>10,75</b>	
Passeggeri trasportati	19,75				15,5			
Frequenza effettiva [bus/h]	3				1,5			
<b>Pass/h</b>	<b>59,25</b>				<b>23,25</b>			
	<b>628/628P (attraversamento breve)</b>				<b>645 (scambio)</b>			
	Andata		Ritorno		Andata		Ritorno	
	Salite	Discese	Salite	Discese	Salite	Discese	Salite	Discese
Mattina	8	1	0	3	6	1	4	8
	5	0	3	3	10	5	1	6
Pomeriggio	2	1	0	4	7	4	2	8
	4	1	4	7	10	1	2	11
Media	<b>4,75</b>	<b>0,75</b>	<b>1,75</b>	<b>4,25</b>	<b>8,25</b>	<b>2,75</b>	<b>2,25</b>	<b>8,25</b>
Passeggeri per direzione	<b>5,5</b>		<b>6</b>		<b>11</b>		<b>10,5</b>	
Passeggeri trasportati	11,5				16,5			
Frequenza effettiva [bus/h]	3				2,5			
<b>Pass/h</b>	<b>34,5</b>				<b>41,25</b>			

	<b>806 (scambio)</b>			
	Andata		Ritorno	
	Salite	Discese	Salite	Discese
Mattina	11	1	0	7
	10	1	4	10
Pomeriggio	6	0	0	6
	8	0	1	10
Media	<b>8,75</b>	<b>0,5</b>	<b>1,25</b>	<b>8,25</b>
Passeggeri per direzione	<b>9,25</b>		<b>9,5</b>	
Passeggeri trasportati	17			
Frequenza effettiva [bus/h]	4			
<b>Pass/h</b>	<b>68</b>			

Sommando il numero dei passeggeri all'ora serviti da ciascuna linea considerata è possibile risalire al numero complessivo dei passeggeri all'ora serviti all'interno dell'area di studio, pari a 266,375 passeggeri/h. Per ottenere il numero di passeggeri serviti al giorno, invece, si è moltiplicata la domanda oraria per un fattore pari a 7 h/giorno: questo valore è stato scelto per esprimere la non uniformità della domanda durante l'intera giornata e anche perché i rilevamenti sono stati condotti durante le ore di morbida della giornata. Si è ottenuto pertanto che con il TPL si spostano:

$$\left(\frac{pass}{giorno}\right)_{tot} = 7 \frac{h}{giorno} \cdot \sum_i \left(\frac{pass}{h}\right)_i = 1864,625 \frac{pass}{giorno}$$

Ricavato questo valore, si è voluto stimare a che percentuale corrispondesse rispetto agli spostamenti occasionali potenziali totali effettuati dalla popolazione residente all'interno dell'area di studio. Per fare ciò si è fatto ricorso a degli *indici di mobilità occasionale* (MI\*), calcolati secondo la metodologia seguita da Capodici *et al.* (2022), per stimare in prima battuta il numero di spostamenti occasionali potenziali totali che gli abitanti dei quattro quartieri considerati effettuerebbero nell'arco della giornata.

Partendo, quindi, dalle risposte degli intervistati all'indagine RP (tema che sarà affrontato nei seguenti capitoli), si è diviso il numero di spostamenti totali dichiarati dalle persone delle due fasce d'età considerate (254 per la fascia "15 - 59 anni" e 90 per quella "≥60 anni") per il numero totale di intervistati appartenenti a quella data

fascia d'età (rispettivamente 99 e 46), ottenendo per entrambe le fasce d'età il corrispondente indice di mobilità MI (nell'ordine 2,56 e 1,96). La scelta di queste due fasce d'età è dovuta al fatto che si vuole tenere in considerazione soltanto la popolazione attiva residente nell'area in esame, cioè gli abitanti con età superiore a 14 anni. Per risalire all'indice di mobilità occasionale MI\* si sono effettuate due considerazioni in base alla fascia d'età. Poiché le persone appartenenti alla fascia d'età 15 - 59 anni si ritiene che effettuino prevalentemente spostamenti sistematici casa - lavoro e casa - studio (e i relativi ritorni a casa), si è voluto ridurre l'indice di mobilità MI per tale fascia di due unità; per la fascia d'età dai 60 anni in su, invece, effettuando questi prevalentemente spostamenti di natura occasionale, l'indice di mobilità MI è stato lasciato immutato. Dedotto, perciò, l'indice MI\*, si è moltiplicato quest'ultimo per il numero di residenti appartenenti alle due macro-fasce d'età per risalire al numero di spostamenti occasionali totali effettuati nella giornata. I risultati sono mostrati nella seguente Tabella 12 assieme alla percentuale di spostamenti occasionali effettuati col TPL.

**Tabella 12** - Indici di mobilità e percentuale di spostamenti occasionali effettuati con il TPL

Fascia d'età	Residenti	MI	MI*	Numero di spostamenti occasionali potenziali	Numero totale di spostamenti occasionali potenziali	Percentuale di spostamenti occasionali effettuati con il TPL
15-59	16.690	2,56	0,56	9.346,4	23.319,24	$\frac{1.864,625}{23.319,24} = 8\%$
≥60	7.129	1,96	1,96	13.972,84		

Dai risultati evidenziati è possibile osservare come la percentuale appena calcolata di spostamenti occasionali effettuati con il TPL dalla popolazione residente nell'area di studio sia inferiore alla percentuale di spostamenti effettuati con il trasporto pubblico su gomma pubblicata sul PUMS (*Piano Urbano della Mobilità Sostenibile*) del 2019 della Città metropolitana di Palermo, pari al 9%. Quest'osservazione è emblematica della scarsa percezione da parte dei cittadini residenti nei quartieri analizzati della qualità del servizio di trasporto pubblico locale offerto dalla città di Palermo, specialmente per il contesto di studio. Proprio alla luce di ciò è sorta l'idea di proporre alla collettività lì residente un servizio di trasporto pubblico alternativo, più flessibile e più adatto alle loro esigenze di mobilità; ciò anche perché, dall'analisi della letteratura scientifica esistente, in un'area a domanda debole un servizio TPL convenzionale rimarrebbe, comunque, poco competitivo rispetto al mezzo privato.



## 7. L'indagine sulla domanda di trasporto

Una volta stabilite le caratteristiche principali del nuovo servizio di trasporto da proporre per l'area di Partanna Mondello e i suoi dintorni, si deve valutare se esso riuscirà ad inserirsi efficacemente nel contesto urbano soddisfacendo la domanda di mobilità dei residenti della zona. A tal scopo si procederà con la stima del modello di domanda.

Un modello di domanda può essere visto come quella relazione matematica che fornisce la probabilità che un generico utente  $i$  scelga una determinata alternativa appartenente all'insieme delle alternative a lui disponibili. La stima di un modello di domanda consiste in tre fasi (Cascetta, 2006, pag. 506-517):

- a) *Specificazione*, cioè definizione della forma funzionale del modello (Logit Multinomiale, Logit Gerarchizzato, Mixed Logit, ecc.) e delle variabili dipendenti ed indipendenti che vi compaiono;
- b) *Calibrazione*, cioè stimare i valori dei coefficienti dei vari attributi che compaiono nella relazione matematica che definisce il modello, il tutto sulla base delle scelte effettuate da un campione di utenti;
- c) *Validazione*, cioè la verifica della ragionevolezza e della significatività dei parametri stimati, e quindi della bontà del modello nella riproduzione delle scelte effettuate da un campione di utenti.

Questo ciclo di tre fasi verrà iterato più volte secondo un processo di "prova ed errore", in modo da ottenere una stima del modello quanto più accurata possibile.

Per svolgere queste tre operazioni è necessario, però, condurre innanzitutto delle indagini su un campione significativo di utenti, in modo da poter simulare il comportamento di scelta dell'universo degli utenti. Queste indagini possono essere sostanzialmente di due tipi (Cascetta, 2006, pag. 507):

- a) Indagini sulle *preferenze rilevate* o RP (*Revealed Preferences*), ossia indagini sui comportamenti effettivamente rivelati o dimostrati dagli utenti all'interno di un contesto reale;

- b) Indagini sulle *preferenze dichiarate* o SP (*Stated Preferences*), cioè indagini sui comportamenti dichiarati dagli utenti con riferimento a degli scenari ipotetici non ancora effettivi.

Queste due tipologie di indagine possono essere effettuate congiuntamente all'interno di uno stesso questionario, in modo tale da risalire sia alle condizioni socio-economiche degli utenti e alle loro attuali scelte di mobilità, determinabili grazie ad un esercizio RP, sia alle possibili scelte future in relazione a nuove alternative introdotte, rilevabili solo con un esercizio di tipo SP. Si mostrano nei paragrafi seguenti i vari passaggi che hanno portato alla costruzione del suddetto questionario, che è stato alla base delle indagini sulla domanda di trasporto sia relativamente alle attuali abitudini di mobilità dei residenti dell'area di studio sia riguardo a quelle che potrebbero essere in futuro le loro propensioni di scelta modale per effettuare i propri spostamenti.

## **7.1. La costruzione del questionario per le indagini RP ed SP**

Al fine di poter indagare le attuali e future abitudini di mobilità della popolazione residente all'interno dei quattro quartieri che costituiscono l'area di studio, è stato necessario costruire un idoneo questionario. In esso, oltre a domande di natura socio-economica per inquadrare gli intervistati, sono state inserite una sezione RP, in cui si chiedono alle persone intervistate le loro attuali abitudini di mobilità in termini di numero e tipologia degli spostamenti compiuti il giorno prima, ed una sezione SP, in cui invece si propongono all'intervistato alcuni scenari nei quali dovranno indicare l'alternativa modale scelta per compiere lo spostamento indicato. In questo modo è possibile avere assieme i dati sia rivelati che dichiarati dalla gente, con conseguenti vantaggi ai fini della stima del modello di domanda.

### *7.1.1. Perché un'indagine RP ed SP assieme?*

Esistono, secondo quanto pubblicato in letteratura, diversi vantaggi per i quali conviene effettuare entrambi i tipi di indagini RP ed SP e combinarne assieme i dati. Combinando, ad esempio, i dati RP e SP è possibile risolvere il problema della validità dei dati SP e migliorare l'accuratezza delle stime dei parametri. È possibile, inoltre,

migliorare l'efficienza del modello di domanda per via della stima congiunta dei parametri di preferenza (o dell'importanza degli attributi). Ancora, la combinazione di dati RP ed SP aiuta a correggere eventuali bias, come il "*justification bias*" per il quale l'utente cerca di giustificare i suoi comportamenti di scelta attuali, riflettendoli nella scelta espressa negli scenari futuri ipotetici. È altresì possibile stimare le preferenze per nuovi servizi e per nuovi attributi non identificabili dai soli dati RP (Ben Akiva, 1994; Cascetta, 2006, pag. 523; Wardman, 1988).

Operare con una sola tipologia di dati, infatti, presenta delle criticità ai fini dello sviluppo di modelli di scelta predittivi. Utilizzare, ad esempio, soltanto metodi di preferenza rivelata, sebbene siano uno strumento molto appropriato per stimare modelli di domanda di viaggio poiché si basano, solitamente, su dati ottenuti da osservazioni dirette del comportamento di viaggio, presenta delle limitazioni come forti correlazioni tra variabili di interesse (in particolare il tempo di viaggio ed il costo), impossibilità di valutare alternative di scelta non ancora esistenti, difficoltà di valutare cambiamenti nelle variabili "secondarie" di viaggio (come, ad esempio, il comfort di viaggio o il design dei veicoli) e, ancora, elevato rischio di multicollinearità tra attributi (Brownstone *et al.*, 2000; Kroes e Sheldon, 1988). D'altro canto, anche operare soltanto con metodi di preferenza dichiarata evidenzia alcune criticità. Le indagini SP presentano diversi vantaggi rispetto a quelle a preferenze rivelate, poiché permettono di introdurre alternative di scelta attualmente non disponibili (come ad esempio nuovi modi di trasporto), così come attributi non presenti nel contesto di scelta attuale, come servizi di informazione ai passeggeri, climatizzazione dei veicoli e così via. Permettono, inoltre, di ottenere più informazioni, ovvero campioni più numerosi, a parità di costo dell'indagine poiché all'intervistato possono essere posti più scenari a cui rispondere (Cascetta, 2006, pag. 523). A fronte di questi vantaggi, tuttavia, le indagini SP presentano come principale svantaggio il rischio di difformità tra le preferenze dichiarate dagli individui e i loro futuri comportamenti effettivi, con previsioni a volte poco plausibili. Questa difformità di comportamento potrebbe essere dipendente da una difficoltà insita nella struttura dell'indagine SP, dal contesto alternativo proposto che potrebbe apparire irrealistico agli occhi dell'intervistato, dalla mancanza di alcuni attributi rilevanti per il decisore o ancora dal già citato *justification bias*, per il quale l'utente potrebbe essersi stancato a causa di un'indagine SP troppo complessa o potrebbe tentare

di giustificare i suoi attuali comportamenti di scelta (Cascetta, 2006, pag. 523; Kroes e Sheldon, 1988; Wardman, 1988).

Alla luce di ciò, appare evidente che, nonostante le sue potenzialità, conviene utilizzare le indagini SP in maniera complementare e non alternativa a quelle RP, compensando vantaggi e svantaggi di entrambe le tecniche per una migliore stima dei parametri dei modelli di domanda.

### 7.1.2. *La struttura del questionario*

Nelle seguenti Figura 31 e Figura 32 si mostra il questionario tipo, con la sua suddivisione in tre sezioni, che è stato sottoposto ai residenti dell'area di studio per poter indagare sulle loro attuali e future preferenze di scelta.

Nella prima sezione sono registrate le caratteristiche socio-economiche degli intervistati, quali:

- Sesso;
- Età (distinta in fasce di età);
- Numero dei componenti della famiglia;
- Numero di auto possedute in famiglia;
- Possesso della patente di guida;
- Possibilità di utilizzare una delle auto possedute in famiglia;
- Possesso di un abbonamento a servizi di sharing mobility;
- Possesso di un abbonamento al servizio di trasporto pubblico locale;
- Attuale occupazione lavorativa;
- Titolo di studio conseguito;
- Possesso di eventuali altri mezzi di trasporto (bici, moto, monopattino, ecc.).

La seconda sezione è relativa all'indagine RP, in cui si valutano le abitudini di mobilità degli intervistati. Per compilare questa parte si è adottata la tecnica definita *aided recall technique*: questa metodologia consiste nel fornire all'intervistato degli spunti di memoria che aiutino la persona a ricordare fatti o eventi, riducendone così le dimenticanze (Van der Vaart, 2009). Nel caso in esame, per aiutare le persone a ricordare gli spostamenti fatti partendo da casa il giorno precedente all'intervista, ed evitare che omettessero gli spostamenti più importanti, si chiedeva a loro di pensare alle

attività e ai luoghi in cui hanno svolto quelle attività. Si ricostruivano, così, gli spostamenti compiuti dall'intervistato, riportando nella tabella origine e destinazione, motivo dello spostamento e mezzo adoperato per compierlo. Le alternative modali di spostamento considerate sono state:

- Auto come conducente;
- Auto come passeggero;
- Moto;
- Spostamento a piedi;
- Spostamento con il TPL;
- Altre modalità (ad esempio bici o monopattini).

I possibili motivi di spostamento, invece, erano:

- Lavoro;
- Studio;
- Svago o sport;
- Shopping;
- Visita medica;
- Visita a parenti e/o amici;
- Accompagnamento dei figli a scuola;
- Ritorno a casa;
- Altri motivi.

L'ultima sezione del questionario, infine, consiste nel vero e proprio esercizio SP, in cui si sono proposti all'intervistato quattro scenari ipotetici nei quali doveva essere scelta per ogni scenario l'alternativa modale preferita tra le quattro proposte (piedi, moto, auto e DRT). È fornita all'utente, inoltre, una breve ma chiara spiegazione sulle caratteristiche del nuovo servizio proposto, in modo tale che, al momento della scelta dell'alternativa a lui più gradita, l'intervistato abbia un quadro quanto più chiaro possibile della proposta avanzata per il contesto di studio.

# Questionario

Nome dell'intervistatore: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

**Introduzione al questionario:** "Sono \_\_\_\_\_ studente/dottorando dell'Università degli Studi di Palermo. Stiamo conducendo un'importante campagna di interviste al fine di migliorare le condizioni di mobilità nei quartieri di Partanna, Mondello e Tommaso Natale e conoscere la propensione dei residenti all'utilizzo di un nuovo servizio di mobilità, che le descriverò nel corso dell'intervista".

## Sezione 1 - Caratteristiche socio-economiche

<p><b>1 Sesso</b></p> <p><input type="checkbox"/> M</p> <p><input type="checkbox"/> F</p>	<p><b>2 Qual è la sua età?</b></p> <p><input type="checkbox"/> 15-29</p> <p><input type="checkbox"/> 30-44</p> <p><input type="checkbox"/> 45-59</p> <p><input type="checkbox"/> 60-79</p> <p><input type="checkbox"/> 80 o più</p>	<p><b>3 Quante persone vivono nella sua famiglia?</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1</p> <p><input type="checkbox"/> 2</p> <p><input type="checkbox"/> 3</p> <p><input type="checkbox"/> 4</p> <p><input type="checkbox"/> 5 o più</p>	<p><b>4 Quante auto possedete in famiglia?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Nessuna</p> <p><input type="checkbox"/> 1</p> <p><input type="checkbox"/> 2</p> <p><input type="checkbox"/> 3 o più</p>
<p><b>5 Possiede la patente di guida?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Sì</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	<p><b>6 Ha la possibilità di usare una delle auto possedute in famiglia?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Sì</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	<p><b>7 Possiede un abbonamento a car sharing o bike sharing?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Sì</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	
<p><b>8 Possiede un abbonamento al trasporto pubblico (bus e/o metro)?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Sì</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>	<p><b>9 Quale è la sua attuale occupazione?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Lavoratore dipendente</p> <p><input type="checkbox"/> Lavoratore autonomo</p> <p><input type="checkbox"/> Disoccupato/a</p> <p><input type="checkbox"/> Casalingo/a</p> <p><input type="checkbox"/> Studente</p> <p><input type="checkbox"/> Pensionato/a</p> <p><input type="checkbox"/> Altro: _____</p>		
<p><b>10 Quale è attualmente il suo titolo di studio?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Licenza elementare</p> <p><input type="checkbox"/> Diploma di scuola media inferiore</p> <p><input type="checkbox"/> Diploma di scuola media superiore</p> <p><input type="checkbox"/> Laurea</p> <p><input type="checkbox"/> Titolo post-laurea</p>	<p><b>11 Possiede o usa altri mezzi di trasporto (bici, moto, monopattino, taxi)?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Sì: specificare quali _____</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>		

## Sezione 2 - Abitudini di mobilità

Adesso siamo pronti per iniziare a parlare di mobilità. Pensi ai luoghi in cui è stato/a ieri e agli spostamenti che ha effettuato per raggiungerli.

**11 Quanti spostamenti ha effettuato ieri?**

*Per spostamento si intende un viaggio da o verso una destinazione principale (casa, ufficio, scuola, supermercato, palestra, medico, ecc...)*

Numero di spostamenti: \_\_\_\_\_

**Se più di 5 dire "Ti chiederemo solo dei primi 5 spostamenti"**

**12 Spostamento**

	Origine	Mezzo	Motivo	Destinazione
1	_____	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____	_____
4	_____	_____	_____	_____
5	_____	_____	_____	_____

Guida per la compilazione:

**Mezzo**

AC : Auto come conducente

AP : Auto come passeggero

M : Moto

P : Piedi

T : TPL (bus/treno)

V : Altro: specificare!

**Motivi**

1 : Lavoro

2 : Studio

3 : Svago/Sport

4 : Shopping

5 : Visita medica

6 : Visita a parenti e amici

7 : Portare/prendere i figli a scuola

8 : Ritorno a casa

9 : Altro: specificare!

Figura 31 – Questionario tipo per l'indagine sulle caratteristiche socio-economiche e sulle attuali abitudini di mobilità dei residenti dell'area di studio

**Sezione 3 - Scenari**
**Tipo 1**

La finalità dell'intervista è quella di comprendere se si possa introdurre un nuovo servizio di mobilità nelle zone di Tommaso Natale, Partanna e Mondello. La proposta è quella di sostituire gli autobus attualmente circolanti in questi quartieri con un servizio simile, ma a chiamata, chiamato DRT: per accedervi lei dovrà prenotare tramite app per smartphone o call center e concordare luogo e orario di partenza e luogo di destinazione. Questi mezzi permetteranno un idoneo collegamento con linee regolari e/o ad alta frequenza per il raggiungimento di destinazioni lontane.

Ora le sottoporro quattro diversi scenari. Per ogni scenario, dovrà scegliere la modalità di trasporto che più preferisce sulla base delle caratteristiche riportate per ogni modalità.

### SCENARIO 1

	Piedl	Moto	Auto	DRT
Tempo di percorrenza	30'	5'	10'	10'
Tempo di attesa				10'
Tempo di accesso				10'
Tempo di parcheggio			10'	
<b>Tempo complessivo</b>	<b>30'</b>	<b>5'</b>	<b>20'</b>	<b>30'</b>
<b>Trasbordl</b>				<b>NO</b>
Costo del DRT				2,50 €
Costo del carburante		0,25 €	0,50 €	
Costo del parcheggio			3 €	
<b>Costo complessivo</b>		<b>0,25 €</b>	<b>3,50 €</b>	<b>2,50 €</b>
Quale mezzo sceglie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nessuno di questi Allora quale? \_\_\_\_\_

### SCENARIO 2

	Piedl	Moto	Auto	DRT
Tempo di percorrenza	15'	2,5'	5'	5'
Tempo di attesa				5'
Tempo di accesso				5'
Tempo di parcheggio			5'	
<b>Tempo complessivo</b>	<b>15'</b>	<b>2,5'</b>	<b>10'</b>	<b>15'</b>
<b>Trasbordl</b>				<b>NO</b>
Costo del DRT				1,50 €
Costo del carburante		0,25 €	0,50 €	
Costo del parcheggio			0 €	
<b>Costo complessivo</b>		<b>0,25 €</b>	<b>0,50 €</b>	<b>1,50 €</b>
Quale mezzo sceglie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nessuno di questi Allora quale? \_\_\_\_\_

### SCENARIO 3

	Piedl	Moto	Auto	DRT
Tempo di percorrenza	15'	2,5'	5'	5'
Tempo di attesa				5'
Tempo di accesso				5'
Tempo di parcheggio			10'	
<b>Tempo complessivo</b>	<b>15'</b>	<b>2,5'</b>	<b>15'</b>	<b>15'</b>
<b>Trasbordl</b>				<b>NO</b>
Costo del DRT				1,50 €
Costo del carburante		0,25 €	0,50 €	
Costo del parcheggio			0 €	
<b>Costo complessivo</b>		<b>0,25 €</b>	<b>0,50 €</b>	<b>1,50 €</b>
Quale mezzo sceglie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nessuno di questi Allora quale? \_\_\_\_\_

### SCENARIO 4

	Piedl	Moto	Auto	DRT
Tempo di percorrenza	30'	5'	10'	10'
Tempo di attesa				10'
Tempo di accesso				10'
Tempo di parcheggio			5'	
<b>Tempo complessivo</b>	<b>30'</b>	<b>5'</b>	<b>15'</b>	<b>30'</b>
<b>Trasbordl</b>				<b>NO</b>
Costo del DRT				2,50 €
Costo del carburante		0,25 €	0,50 €	
Costo del parcheggio			3 €	
<b>Costo complessivo</b>		<b>0,25 €</b>	<b>3,50 €</b>	<b>2,50 €</b>
Quale mezzo sceglie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nessuno di questi Allora quale? \_\_\_\_\_

Figura 32 – Questionario tipo per l'indagine SP da condurre tra i residenti dell'area di studio

I quattro scenari mostrati in Figura 32 derivano dalla teoria sul progetto delle indagini SP, in cui si è proceduto alla limitazione del numero di scenari proposti a ciascun intervistato. Il numero complessivo di scenari teoricamente possibili è, infatti, notevolmente alto, e sottoporli tutti quanti al decisore sarebbe controproducente. Questo numero è dato dalla seguente relazione:

$$N = \prod_{i=1}^k m_i^{n_i} \quad (7)$$

dove  $n_i$  è il numero di attributi che costituiscono i  $k$  gruppi in cui sono suddivisi gli  $n$  fattori, mentre  $m_i$  è il numero di livelli che gli  $n_i$  attributi assumono. Questa relazione definisce il cosiddetto *Piano Fattoriale Completo* (Cascetta, 2006, pag. 527).

Per ridurre il numero di scenari da proporre a ciascun intervistato si effettua una parzializzazione del piano fattoriale completo, generando un sottoinsieme di diversi scenari in possesso delle due seguenti proprietà (Cascetta, 2006, pag. 527):

- *Proprietà di confronto*, secondo cui il numero di livelli alti (+) di un fattore  $j$  eguaglia il numero di livelli bassi (-) sul totale degli  $N$  scenari che costituiscono l'esperimento. In formule:

$$\sum_{1=1\dots N} l_{ij} = 0 \quad (8)$$

- *Proprietà di ortogonalità tra confronti*, secondo cui, dati due confronti relativi ai fattori  $j$  ed  $h$ , il numero di scenari in cui i livelli dei due fattori sono concordi (+ +, - -) è uguale al numero di quelli in cui sono discordi (+ -, - +). In formule:

$$\sum_{1=1\dots N} l_{ij} l_{ih} = 0 \quad (9)$$

La tecnica di parzializzazione del piano fattoriale completo adottata nel presente studio è quella di *scomposizione a blocchi*. Secondo questa tecnica si suddivide il piano fattoriale completo in diversi gruppi di scenari alternativi da sottoporre ai vari intervistati. Un esempio di blocco è quello di Figura 32. Tali blocchi devono rispettare

le proprietà sopra citate: per far ciò si sono scelte alcune “*variabili di blocco*” (solitamente interazioni a più fattori) e gli scenari a cui corrisponde lo stesso valore della variabile di blocco oppure valor concordi (o discordi) di più variabili di blocco. Un processo di scomposizione a blocchi è mostrato nel seguente esempio di Tabella 13.

**Tabella 13** – Esempio di scomposizione di un piano fattoriale completo in 4 blocchi da due scenari ciascuno secondo le variabili di blocco (TA, CA) e (TA, TB) (Fonte: Cascetta, 2006, pag. 530)

Scenario Nr.	Fattori			Variabile di blocco		Alternative organizzate in blocchi					Scenario Nr.
	TA	CA	TB	TA, CA	TA, TB	Blocco		TA	CA	TB	
1	-	-	-	+	+	IV	Blocco I	+	-	-	2
2	+	-	-	-	-	I		-	+	+	7
3	-	+	-	-	+	II	Blocco II	-	+	-	3
4	+	+	-	+	-	III		+	-	+	6
5	-	-	+	+	-	III	Blocco III	+	+	-	4
6	+	-	+	-	+	II		-	-	+	5
7	-	+	+	-	-	I	Blocco IV	-	-	-	1
8	+	+	+	+	+	IV		+	+	+	8

Nel presente studio sono state considerate due tipologie di scenario: una relativa a spostamenti con destinazione interna all’area di studio e l’altra con spostamenti aventi destinazione al di fuori della zona di Partanna Mondello e dei suoi dintorni. Gli attributi considerati per la prima tipologia di scenario sono quelli evidenziati nella seguente Tabella 14 in cui gli attributi “Tempo a piedi”, “Tempo in moto”, “Tempo in auto” e “Tempo col DRT” sono raggruppati in un unico “macro-attributo”, sempre a due livelli, che è chiamato “Tempo di percorrenza”.

**Tabella 14** – Attributi scelti per gli scenari intrazonali, con i relativi valori inferiore e superiore

Attributo	Simbolo	Livello inferiore ( - )	Livello superiore ( + )
Tempo a piedi	$T_p$	15 min	30 min
Tempo in moto		2,5 min	5 min
Tempo in auto		5 min	10 min
Tempo col DRT		5 min	10 min
Tempo di attesa del servizio DRT	$T_a$	5 min	10 min
Tempo di accesso al servizio DRT (raggiungimento della fermata a piedi)	$T_{acc}$	5 min	10 min
Tempo di parcheggio in auto	$T_{pk}$	5 min	10 min
Costo del parcheggio in auto	$C_{pk}$	0 €	3 €
Costo del servizio DRT	$C_{DRT}$	1,5 €	2,5 €

Con 6 attributi considerati, ciascuno con 2 livelli possibili, il piano fattoriale completo corrispondente prevede, secondo la formula (7), 64 scenari. Per sottoporre agli utenti un numero di scenari pari a 4, in modo tale da ridurre il più possibile l'effetto stanchezza durante il questionario, si sono scomposti questi 64 scenari in 16 blocchi da 4 scenari l'uno. Per fare ciò si sono considerate come variabili di blocco le seguenti interazioni a due fattori:  $(T_p, T_a)$ ,  $(T_p, T_{acc})$ ,  $(T_p, C_{pk})$  e  $(T_p, C_{DRT})$ . Sia per i 64 scenari che per ciascuno dei 16 blocchi da 4 scenari sono rispettate le proprietà (8) e (9).

Per gli scenari riferiti a spostamenti diretti all'esterno dell'area di studio, invece, gli attributi sono quelli riportati in Tabella 15. Per gli attributi "Tempo in moto", "Tempo in auto" e "Tempo col DRT" si hanno 4 valori, che sono stati confrontati omogeneamente: questi sono frutto di una combinazione tra due "macro-attributi" a due livelli, chiamati "Tempo di percorrenza 1" ( $T_{p1}$ ) e "Tempo di percorrenza 2" ( $T_{p2}$ ). In questo modo si sono considerati itinerari di diversa lunghezza e durata, con destinazioni dalle più vicine al perimetro dell'area di studio a quelle più distanti dal contesto esaminato. I valori assegnati ai due livelli dei due macro-attributi (e quindi ai tre attributi che li compongono) sono mostrati in Tabella 16. Stessa considerazione per il costo del parcheggio ( $C_{pk1}$  e  $C_{pk2}$ ), per tener conto della possibilità di avere un costo soggetto non solo a diverse ore di stazionamento, ma anche all'impatto del costo della ZTL per destinazioni nel centro città. Questi valori sono, invece, mostrati in Tabella 17.

**Tabella 15** – Attributi scelti per gli scenari con destinazioni esterne all’area di studio e loro rispettivi valori

Attributo	Simbolo	Valori			
Tempo in moto	$T_{p1}; T_{p2}$	10 min	20 min	20 min	30 min
Tempo in auto		20 min	25 min	35 min	40 min
Tempo col DRT		25 min	35 min	50 min	60 min
Tempo di attesa del servizio DRT	$T_a$	5 min	10 min		
Tempo di accesso al servizio DRT (raggiungimento della fermata a piedi)	$T_{acc}$	5 min	10 min		
Tempo di parcheggio in auto	$T_{pk}$	10 min	20 min		
Costo del parcheggio auto + ZTL	$C_{pk1}; C_{pk2}$	0 €	2 €	4 €	6 €
Costo del servizio DRT (integrato col TPL)	$C_{DRT}$	2,5 €	3,5 €		

**Tabella 16** – Valori assegnati ai livelli inferiore e superiore degli attributi di tempo in moto, in auto e col DRT

Macro-attributo	Attributo	Livello inferiore (-)	Livello superiore (+)
$T_{p1}$	Tempo in moto <sub>1</sub>	5	15
	Tempo in auto <sub>1</sub>	5	20
	Tempo col DRT <sub>1</sub>	10	35
Macro-attributo	Attributo	Livello inferiore (-)	Livello superiore (+)
$T_{p2}$	Tempo in moto <sub>2</sub>	5	15
	Tempo in auto <sub>2</sub>	15	20
	Tempo col DRT <sub>2</sub>	15	25

**Tabella 17** – Valori assegnati ai livelli inferiore e superiore degli attributi di costo del parcheggio

Attributo	Livello inferiore (-)	Livello superiore (+)
$C_{pk1}$	0 €	2 €
$C_{pk2}$	0 €	4 €

Si giunge, quindi, ad un totale di 8 attributi a due livelli, con un numero complessivo di 256 scenari che delineano il piano fattoriale completo di questa tipologia di

scenario. Scomponendo anche questi scenari in gruppi da 4, si sono ottenuti 64 blocchi da 4 scenari l'uno da sottoporre a diversi utenti. Le variabili di blocco considerate in questo caso sono le seguenti sei interazioni a tre fattori:  $(T_{p1}, T_{p2}, T_a)$ ,  $(T_{p1}, T_{p2}, T_{acc})$ ,  $(T_{p1}, T_{p2}, T_{pk})$ ,  $(T_{p1}, T_{p2}, C_{pk1})$ ,  $(T_{p1}, T_{p2}, C_{pk2})$  e  $(T_{p1}, T_{p2}, C_{DRT})$ . Sia per il piano fattoriale completo che per i vari blocchi si sono verificate le proprietà (8) e (9), entrambe con successo. Si sono ottenute, quindi, 80 tipologie di questionario del tipo di Figura 31 e Figura 32 per condurre l'indagine SP necessaria per la valutazione dell'appetibilità del servizio DRT nell'area di studio e, quindi, per stimare il modello di domanda.

È doveroso puntualizzare che la scelta dei valori dei tempi e dei costi mostrati nelle precedenti tabelle è stata frutto di un'approfondita analisi desk relativamente a svariate destinazioni sia interne che esterne all'area di studio. Con l'ausilio di Google Maps, che memorizza giornalmente i livelli di congestione dei giorni già trascorsi nelle varie fasce orarie e che stima anche i livelli di congestione stradale nei giorni futuri, sono stati valutati, infatti, i tempi necessari per raggiungere col mezzo privato diversi poli di attrazione della città di Palermo, quali scuole, università, ospedali, uffici amministrativi, luoghi ricreativi quali cinema, teatri, parchi e centri sportivi, stazioni ferroviarie, banche, uffici postali e così via, a partire da un nodo centroide baricentrico rappresentativo dell'intera area di studio, scelto coincidente con la chiesa di Santa Maria degli Angeli sita in via Lorenzo Iandolino; si sono, inoltre, stimati i tempi necessari per posteggiare il proprio veicolo nelle vicinanze di tali punti di interesse in base al numero di stalli tendenzialmente liberi, così come eventuali tariffe di sosta da sostenere e i costi del pass per la ZTL, qualora necessari. Per quanto riguarda, invece, i tempi necessari per compiere gli spostamenti con i mezzi di trasporto pubblico si è fatto affidamento a delle stime condotte con l'ausilio di Moovit, che ha memorizzati al suo interno tutti i percorsi delle linee AMAT e del servizio ferroviario e suggerisce, inoltre, eventuali convenienti interscambi per ottimizzare la percorrenza dell'utente dall'origine alla destinazione del proprio spostamento.

### *7.1.3. Le campagne d'indagine*

Le tipologie di questionario, realizzate grazie al metodo di scomposizione a blocchi del piano fattoriale completo, sono state sottoposte ai residenti dei quartieri

esaminati durante 6 campagne d'indagine all'interno dell'area di studio. Come modalità di indagine si è optato per indagini campionarie faccia a faccia, definite "*Personal interview*", fermando le persone per strada o presso i principali punti di interesse dell'area di studio (quindi indagini personali del tipo "*Intercept interview*"). Alcune di queste indagini individuali sono state effettuate anche a bordo degli autobus, intervistando i passeggeri; altre ancora, invece, sono state indagini definite *a destinazione*, intervistando persone presso i luoghi di destinazione degli spostamenti occasionali (come, ad esempio, panifici, alimentari, uffici postali, ecc.), in modo tale da avere un'alta probabilità di incontrare persone che effettuassero spostamenti occasionali, in quanto target ricercato per il servizio condiviso a chiamata. Come strategia di campionamento si è fatto riferimento a quella di campionamento probabilistico, scegliendo in particolare un *campionamento casuale semplice*, secondo il quale tutti i componenti della popolazione hanno la stessa probabilità di appartenere al campione estratto. La scelta è ricaduta su questa modalità in modo tale da poter aiutare direttamente gli intervistati in una migliore comprensione sia della nuova modalità di trasporto condivisa proposta per l'area di studio scelta che dell'intera indagine SP con i diversi attributi contemplati negli scenari realizzati. A fronte di questi vantaggi va, tuttavia, tenuto in considerazione il grosso svantaggio in termini di tempo e di costo necessari per ottenere un sufficiente tasso di risposta da parte dei residenti, in modo da poter procedere ad una buona calibrazione del modello di domanda da stimare. Si sarebbe potuto avere un notevole sgravio sia di tempo che di costo dell'indagine effettuando delle indagini *postali* o anche attraverso *internet*: tuttavia, non potendo avere un contatto diretto con l'intervistato e non potendogli, quindi, fornire eventuali chiarimenti, specie vista la complessità del questionario, si sarebbe corso il rischio di avere assenza di risposta da alcuni segmenti di mercato o anche risposte incoerenti da parte dei rispondenti, compromettendo, quindi, la stima della domanda. Si è, dunque, preferito evitare tale tipologia di indagine.

Per condurre queste indagini ci si è avvalsi dell'aiuto degli studenti del corso "Teoria dei sistemi di trasporto" del Prof. Migliore, opportunamente formati nella conduzione delle indagini faccia a faccia. Le sei campagne d'indagine sono state svolte nei giorni e nelle fasce orarie indicate nella seguente Tabella 18, insieme al numero di questionari complessivamente sottomessi.

**Tabella 18** – Campagne d’indagine svolte nell’area di studio e numero di questionari e scenari sottomessi

<b>Giorno</b>	<b>Finestra temporale</b>	<b>Numero di questionari sottomessi</b>
23 novembre 2021	15:00 – 17:00	45
1° dicembre 2021	09:00 – 14:00	23
14 dicembre 2021	09:00 – 13:00	3
15 dicembre 2021	09:00 – 13:00	44
21 dicembre 2021	15:00 – 19:00	24
22 dicembre 2021	09:00 – 13:00	6
<b>Questionari totali</b>		<b>145</b>
<b>Numero totale di scenari analizzati</b>		<b>580</b>

Le indagini sono state condotte nelle fasce orarie di morbida in quanto si vuole che il servizio DRT venga effettuato durante questi orari della giornata, in modo da poter soddisfare le esigenze di mobilità occasionale dei residenti. Per ridurre, inoltre, i bias delle risposte, si è scelto di variare il giorno della settimana e le fasce orarie, pur considerando i giorni lavorativi e le ore non di punta.

Come è possibile notare, sono state intervistate 145 persone, per un totale di 580 questionari analizzati, essendo 4 gli scenari a cui ogni intervistato doveva rispondere. In relazione al numero di residenti nel contesto di studio, è facile intuire che si è avuto un basso tasso di interviste, inferiore all’1% della popolazione attiva (considerando quest’ultima rappresentata da tutti i residenti con età dai 15 anni in su). Inoltre, con le interviste faccia a faccia si è avuto un tasso di risposta piuttosto basso in rapporto al numero di persone fermate su strada. Altre criticità osservate sono, invece, relative alla molteplicità degli attributi che le persone dovevano valutare per fornire la propria risposta ai vari scenari, oltre alla durata dell’intervista, in special modo riguardo alla parte SP del questionario, in cui si dovevano descrivere non solo le caratteristiche dell’alternativa modale del DRT ma anche tutti gli attributi che contraddistinguevano le quattro alternative modali.

Tutte le risposte ottenute sono state successivamente importate su un foglio di calcolo di Microsoft Excel, passo necessario per poter procedere all’elaborazione statistica dei dati raccolti ai fini della stima del modello di domanda di nostro interesse.

#### 7.1.4. La costruzione del database su Microsoft Excel

Al fine di poter elaborare i risultati delle indagini su strada, è stato necessario innanzitutto importare e codificare su Microsoft Excel le risposte degli intervistati. È stato, pertanto, costruito un primo database contenente, per ogni singola persona intervistata, le caratteristiche socio-economiche della persona, le sue abitudini di mobilità relative agli spostamenti effettuati il giorno precedente l'intervista e le risposte ai quattro scenari a lui sottoposti, dei quali sono stati indicati i valori assegnati ad ogni attributo. Uno stralcio di questo primo database è mostrato nelle seguenti Figura 33, Figura 34 e Figura 35.

In esso, ogni persona intervistata è rappresentata da quattro valori dell'identificativo "ID". Per ogni valore dell'ID (ripetuto quattro volte, tante quante sono le alternative modali tra le quali può scegliere la persona intervistata), è possibile osservare i seguenti dati di input:

- Caratteristiche socio-economiche:
  - Sesso;
  - Età (qui riportata con valori da 1 a 5 per rappresentare ciascuna delle 5 fasce d'età indicate nel questionario, in seguito, invece, modificata col valore centrale della fascia d'età);
  - Componenti della famiglia;
  - Auto possedute;
  - Numero di auto per persona (dal rapporto tra il numero di auto possedute e il numero di componenti della famiglia);
  - Il possesso della patente;
  - La possibilità di utilizzare una delle auto possedute in famiglia;
  - Il possesso di un abbonamento a servizi di sharing mobility (carsharing, bikesharing, ...);
  - Il possesso di un abbonamento per il servizio di trasporto pubblico;
  - L'attuale occupazione;
  - Il titolo di studio (qui indicato con valori da 1 a 5 partendo dal possesso della sola licenza elementare fino al conseguimento di un titolo post-laurea, e successivamente modificati con il numero di anni di studio necessario per conseguire quei dati titoli di studio);

- Altri mezzi di trasporto posseduti;
- Zona dell'area di studio dove si è svolta l'intervista;
- Abitudini di mobilità:
  - Numero di spostamenti effettuati il giorno prima;
  - Origine del proprio spostamento;
  - Mezzo di trasporto utilizzato;
  - Motivo dello spostamento (codificato secondo quanto mostrato nell'apposita sezione del questionario di Figura 32);
  - Destinazione del proprio spostamento;
- Scenari SP:
  - Modo di spostamento (piedi, moto, auto, DRT);
  - Codice assegnato al modo di spostamento (utile ai fini dell'elaborazione statistica mediante software);
  - Attributi delle varie alternative modali fissati nei vari scenari sottoposti:
    - Tempo di percorrenza;
    - Tempo di attesa;
    - Tempo di accesso;
    - Tempo di parcheggio;
    - Costo complessivo dell'alternativa modale (nullo per lo spostamento a piedi, somma del costo del carburante e del costo di parcheggio per le alternative moto ed auto e, infine, pari al costo del biglietto (singolo o integrato col TPL) per il servizio DRT);
    - Numero di trasbordi verso mezzi del TPL;
    - Attributi specifici di alternativa per le alternative moto, auto e DRT;
  - Mezzo scelto dall'intervistato (indicato dal codice identificativo del modo di spostamento);
  - Scelta dell'intervistato (in funzione del punto precedente, è una variabile dummy pari a 1 per l'alternativa modale scelta e 0 per le altre scartate);
  - Alternativa modale (se nessuna delle quattro proposte era stata scelta, al fine di individuare un eventuale modo di trasporto frequentemente utilizzato e da considerare ai fini dell'analisi statistica).

La modellazione della domanda di trasporto per la progettazione ottimale di servizi innovativi in area a domanda debole

Alessandro Emilio Capodici

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Caratteristiche socio-economiche												
2	ID	Sesso	Età	Componi	Auto pos	Num Auti	Patente	Uso auto	Abbonan	Abbonan	Occupazi	Titolo di	Altri mez
3	1	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
4	1	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
5	1	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
6	1	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
7	2	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
8	2	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
9	2	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
10	2	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
11	3	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
12	3	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
13	3	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
14	3	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
15	4	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
16	4	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
17	4	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
18	4	Femminz	1	5	2	0.4	Si	Si	No	No	Studente	Diploma	Moto
19	5	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
20	5	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
21	5	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
22	5	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
23	6	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
24	6	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
25	6	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
26	6	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
27	7	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
28	7	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
29	7	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
30	7	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
31	8	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
32	8	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
33	8	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
34	8	Femminz	1	2	2	1	Si	Si	No	No	Disoccup	Diploma	0
35	9	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
36	9	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
37	9	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
38	9	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
39	10	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
40	10	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
41	10	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
42	10	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
43	11	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
44	11	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
45	11	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
46	11	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
47	12	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0
48	12	Femminz	2	5	3	0.6	Si	Si	No	No	Lavorato	Laurea	0

Figura 33 – Stralcio del primo database con le caratteristiche socio-economiche degli intervistati

	A	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	
1	Abitudini di mobilità																							
2	ID	Area di s	Numero	Origine 1	Mezzo 1	Motivo 1	Destinaz	Origine 2	Mezzo 2	Motivo 2	Destinaz	Origine 3	Mezzo 3	Motivo 3	Destinaz	Origine 4	Mezzo 4	Motivo 4	Destinaz	Origine 5	Mezzo 5	Motivo 5	Destinaz	
3	1	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	3	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	3	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	3	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	3	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	4	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	4	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	4	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	4	Partanna	2	casa (sfe ac	2	scuola	scuola	ac	8	casa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	5	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	5	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	5	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	5	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	6	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	6	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	6	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	6	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	7	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	7	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	7	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	7	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	8	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	8	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	8	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	8	Partanna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	9	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
36	9	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
37	9	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
38	9	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
39	10	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
40	10	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
41	10	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
42	10	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
43	11	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
44	11	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
45	11	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
46	11	Partanna	4	casa	ap	assicura:centro	centro	ap	commiss	stazione	stazione	p	3	stadio	stadio	t	8	casa	0	0	0	0	0	0
47	12																							

	A	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW
1	Scenari														
2	ID	Modo	Codice	T percorsi	T attesa	T access	T parche	Costo tot	Trasbord	ASAmoto	ASAAuto	ASADRT	Mezzo sc	Scelta	Alternati
3	1	Piedi	1	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	3	0
4	1	Moto	2	5	0	0	0	0.25	0	1	0	0	0	3	0
5	1	Auto	3	10	0	0	10	3.5	0	0	1	0	0	3	1
6	1	DRT	4	10	10	10	0	2.5	0	0	0	0	1	3	0
7	2	Piedi	1	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	3	0
8	2	Moto	2	2.5	0	0	0	0.25	0	1	0	0	0	3	0
9	2	Auto	3	5	0	0	5	0.5	0	0	1	0	0	3	1
10	2	DRT	4	5	5	5	0	1.5	0	0	0	0	1	3	0
11	3	Piedi	1	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	3	0
12	3	Moto	2	2.5	0	0	0	0.25	0	1	0	0	0	3	0
13	3	Auto	3	5	0	0	10	0.5	0	0	1	0	0	3	1
14	3	DRT	4	5	5	5	0	1.5	0	0	0	0	1	3	0
15	4	Piedi	1	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	3	0
16	4	Moto	2	5	0	0	0	0.25	0	1	0	0	0	3	0
17	4	Auto	3	10	0	0	5	3.5	0	0	1	0	0	3	1
18	4	DRT	4	10	10	10	0	2.5	0	0	0	0	1	3	0
19	5	Piedi	1	0	0	105	0	0	0	0	0	0	0	3	0
20	5	Moto	2	20	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0
21	5	Auto	3	35	0	0	20	6	0	0	1	0	0	3	1
22	5	DRT	4	50	5	10	0	3.5	1	0	0	0	1	3	0
23	6	Piedi	1	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	4	0
24	6	Moto	2	20	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4	0
25	6	Auto	3	25	0	0	20	6	0	0	1	0	0	4	0
26	6	DRT	4	35	5	10	0	3.5	1	0	0	0	1	4	1
27	7	Piedi	1	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	3	0
28	7	Moto	2	30	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0
29	7	Auto	3	40	0	0	10	4	0	0	1	0	0	3	1
30	7	DRT	4	60	10	5	0	2.5	1	0	0	0	1	3	0
31	8	Piedi	1	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	4	0
32	8	Moto	2	10	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4	0
33	8	Auto	3	20	0	0	10	4	0	0	1	0	0	4	0
34	8	DRT	4	25	10	5	0	2.5	1	0	0	0	1	4	1
35	9	Piedi	1	0	0	105	0	0	0	0	0	0	0	3	0
36	9	Moto	2	20	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0
37	9	Auto	3	35	0	0	20	6	0	0	1	0	0	3	1
38	9	DRT	4	50	10	5	0	3.5	1	0	0	0	1	3	0
39	10	Piedi	1	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	4	0
40	10	Moto	2	20	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4	0
41	10	Auto	3	25	0	0	20	6	0	0	1	0	0	4	0
42	10	DRT	4	35	10	5	0	3.5	1	0	0	0	1	4	1
43	11	Piedi	1	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	3	0
44	11	Moto	2	30	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0
45	11	Auto	3	40	0	0	10	4	0	0	1	0	0	3	1
46	11	DRT	4	60	5	10	0	2.5	1	0	0	0	1	3	0
47	12	Piedi	1	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	1	1
48	12	Moto	2	10	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0

Figura 35 – Stralcio del primo database con le risposte all'indagine SP sulle future scelte modali degli intervistati

Successivamente è stato creato il secondo database, in cui sono stati codificati alcuni dati di input, come ad esempio:

- Sesso (Maschi = 0; Femmine = 1);
- Possesso della patente (Sì = 1; No = 0);
- Possibilità di utilizzo di un'auto posseduta (Sì = 1; No = 0).

Inoltre, sono state trascurate le informazioni relative al possesso di abbonamenti a TPL e a servizi di sharing mobility poiché soltanto una persona tra le intervistate ne era in possesso.

Realizzato anche il secondo database, esso è stato importato sul software di elaborazione statistica STATA al fine di effettuare la calibrazione del modello di scelta

modale, ottenendo così i coefficienti dei vari attributi delle alternative modali e la loro significatività statistica.



## 8. La stima del modello di domanda

Una volta raccolte tutte le risposte ai questionari date dalla collettività intervistata nelle campagne di indagine su esposte, è necessario procedere alla comprensione dei fattori che determinano tale domanda e alla simulazione delle variazioni della stessa per via della proposta progettuale del servizio DRT per l'area di studio e/o della variazione dei fattori esterni che la influenzano. A tal scopo è necessario, quindi, ricorrere a modelli matematici di simulazione della domanda di mobilità.

È possibile definire un modello di domanda di mobilità come *“una relazione matematica che consente di associare a un dato sistema di attività e di offerta di trasporto il valore medio del flusso di domanda in un determinato periodo di riferimento con le sue caratteristiche rilevanti”* (Cascetta, 2006, pag. 177).

Come riportato da Cascetta (2006), esistono in letteratura diversi modelli matematici per simulare la domanda di mobilità delle persone. Uno schema riassuntivo delle varie tipologie di modelli di domanda è mostrato nella seguente Tabella 19.

**Tabella 19** – Elementi di classificazione dei modelli di domanda (Cascetta, 2006)

<b>Tipologia delle scelte simulate</b>	Modelli di mobilità o di contesto
	Modelli di viaggio
<b>Concatenamento delle scelte</b>	Modelli per la domanda di spostamenti
	Modelli per la domanda di viaggi o sequenze di spostamenti
	Modelli di partecipazione alle attività
<b>Approccio</b>	Modelli disaggregati
	Modelli aggregati
<b>Ipotesi di base</b>	Modelli comportamentali
	Modelli non comportamentali

Nel presente lavoro di ricerca, per stimare la domanda di mobilità non sistematica dei residenti dell'area di studio si è scelto di adottare il *modello a quattro stadi*. Il modello a quattro stadi non è altro che un modello per la domanda di spostamenti di utenti con un determinato vettore **SE** di attributi socio-economici ed un vettore **T** di attributi di livello di servizio, ed è suddiviso nei seguenti quattro sottomodelli:

- 1) modello di emissione o frequenza degli spostamenti  $p^i[x/osh]$ ;
- 2) modello di distribuzione  $p^i[d/osh]$ ;
- 3) modello di scelta o ripartizione modale  $p^i[m/odsh]$ ;
- 4) modello di scelta del percorso  $p^i[k/odshm]$ .

In formule, il modello a quattro stadi può essere, quindi, scritto come segue:

$$d_{od}^i[s, h, m, k] = n^i[o] \sum_x p^i[x/osh](SE, T) \cdot p^i[d/osh](SE, T) \cdot p^i[m/odsh](SE, T) \cdot p^i[k/odshm](SE, T) \quad (10)$$

Nella (10) sono stati indicati:

- con  $i$  la categoria socio-economica degli utenti;
- con  $o$  e  $d$  rispettivamente le zone di origine e la destinazione degli spostamenti degli individui;
- con  $s$  il motivo dello spostamento;
- con  $h$  la fascia oraria in cui sono effettuati gli spostamenti;
- con  $m$  il modo di trasporto scelto;
- con  $k$  il percorso scelto dalle persone;
- con  $n^i[o]$  il numero di utenti che si trovano nella zona di origine  $o$ ;
- con  $x$  il numero di spostamenti relativi alle categorie di scelta indicate.

Nei seguenti paragrafi si focalizzerà l'attenzione innanzitutto sul modello di scelta modale adottato, calibrato sulla base delle risposte degli intervistati durante le campagne di indagini RP ed SP. Successivamente, invece, si mostreranno i procedimenti seguiti per la stima dei modelli di generazione, di distribuzione e di scelta del percorso.

## 8.1. Il modello di utilità aleatoria "Multinomial Logit"

Uno dei sottomodelli che caratterizzano il modello a quattro stadi è il modello di ripartizione modale, che permette di valutare la percentuale di utenti che utilizzerà una data modalità di trasporto per completare il proprio spostamento desiderato. In

particolare, grazie al modello di ripartizione modale sarà possibile valutare la percentuale di utenti  $p^i[m/odsh]$  di una determinata categoria socio-economica  $i$  che, muovendosi dalla loro origine dello spostamento  $o$  alla loro destinazione finale  $d$  per un determinato motivo  $s$  e nella fascia oraria  $h$ , scelgono il modo di trasporto  $m$ . I modelli di scelta modale hanno quasi sempre una natura comportamentale: ciò è facilmente intuibile poiché la scelta del modo di spostamento è un classico esempio di scelta di viaggio, variabile per viaggi diversi e fortemente influenzata dalle caratteristiche dell'offerta di trasporto.

Una tipologia di modello di ripartizione modale è rappresentata dai *modelli di utilità aleatoria*. Tali modelli sono adottati quando la scelta connessa alla domanda di trasporto avviene tra un numero discreto di alternative, e si basano sulle seguenti ipotesi:

- ogni utente, o classe di utenti omogenei, è un *decisore razionale*;
- il generico utente  $i$  considera  $m_i$  alternative che costituiscono il suo insieme di scelta  $I^i$  (che può essere differente tra utenti differenti);
- il decisore  $i$  associa a ciascuna alternativa  $j$  del suo insieme di scelta un'utilità percepita  $U_j^i$  e sceglie l'alternativa che massimizza questa utilità;
- l'utilità  $U_j^i$  dipende da una serie di *attributi* ed è una variabile aleatoria perché non è nota all'analista esterno.

La probabilità che il decisore  $i$  scelga, all'interno del suo insieme di scelta  $I^i$ , l'alternativa  $j$  si può esprimere come la probabilità che a tale alternativa sia associata un'utilità percepita  $U_j^i$  maggiore rispetto a quella di tutte le altre alternative disponibili. In formule:

$$p^j[j/I^i] = Pr[U_j^i > U_k^i \forall k \neq j, k \in I^i] \quad (11)$$

L'utilità percepita da parte dell' $i$ -esimo utente può essere espressa secondo la seguente relazione:

$$U_j^i = V_j^i + \varepsilon_j^i \quad \forall j \in I^i \quad (12)$$

in cui  $V_j^i$  è l'*utilità sistematica*, cioè la media o il valore atteso dell'utilità percepita tra tutti gli utenti che hanno lo stesso contesto di scelta, mentre  $\varepsilon_j^i$  è il *residuo aleatorio*, che rappresenta invece lo scostamento del singolo utente rispetto al valore medio. In base alla (12), e posto anche:

$$V_j^i = E[U_j^i] \quad \sigma_{i,j}^2 = Var[U_j^i]$$

risulta:

$$\begin{aligned} E[V_j^i] &= V_j^i & Var[V_j^i] &= 0 \\ E[\varepsilon_j^i] &= 0 & Var[\varepsilon_j^i] &= \sigma_{i,j}^2 \end{aligned}$$

potendo così riscrivere la (11) nel seguente modo:

$$p^j[j/I^i] = Pr[V_j^i - V_k^i > \varepsilon_k^i - \varepsilon_j^i \quad \forall k \neq j, k \in I^i] \quad (13)$$

L'utilità sistematica  $V_j^i$  è ulteriormente espressa come combinazione lineare di un vettore di attributi  $\mathbf{X}_j^i$  relativi all'alternativa  $j$  e al decisore  $i$  moltiplicati per dei coefficienti  $\beta$  secondo la seguente espressione:

$$V_j^i(\mathbf{X}_j^i) = \sum_k \beta_k X_{kj}^i = \beta^T \mathbf{X}_j^i \quad (14)$$

Nel vettore  $\mathbf{X}_j^i$  rientrano diverse tipologie di attributi:

- *attributi di livello di servizio*, propri del sistema di trasporto (come ad esempio tempi, costi, numero di trasbordi da effettuare e frequenza dei servizi);
- *attributi del sistema di attività*, dipendenti dall'uso del territorio nell'area di studio (per esempio numero di negozi o di scuole all'interno di una zona);

- *attributi socio-economici* dell'utente o del suo nucleo familiare (come il possesso della patente e il numero di autovetture possedute in famiglia);
- *attributi specifici di alternativa (ASA)*, che sono delle variabili "ombra" che valgono 1 per l'alternativa  $j$  e zero per tutte le altre, e che tengono conto di tutte le caratteristiche di ogni modo di trasporto non quantificabili (come, per esempio, il comfort di viaggio). È, comunque, possibile includerli tra gli attributi di livello di servizio.

Gli attributi di livello di servizio devono presentare, in particolare, coefficienti negativi, poiché costituiscono delle disutilità per l'utente. All'aumentare, infatti, del tempo di percorrenza a bordo di un mezzo di trasporto, oppure all'aumentare, per esempio, del costo del biglietto di un servizio di trasporto pubblico, un utente tenderebbe a scartare quella determinata alternativa di spostamento, optando per altre più vantaggiose.

Per quanto riguarda, invece, gli attributi specifici di alternativa, affinché il modello di domanda possa essere calibrato, per esempio nel caso di un modello di tipo Logit Multinomiale lineare, è possibile introdurre le ASA al più nelle utilità sistematiche di tutte le alternative meno una. In questo modo si rappresenta la probabilità relativa di ciascun modo di trasporto rispetto ad un modo di riferimento, con i coefficienti delle ASA che possono avere segno positivo o negativo a seconda dell'alternativa scelta come riferimento (Cascetta, 2006, pag. 201). Come, infatti, specificato dallo stesso Cascetta (2006, pag. 508), poiché per i modelli di utilità aleatoria invariante le probabilità di scelta dipendono dalle differenze tra le utilità percepite, è possibile aggiungere una costante all'utilità percepita di ogni alternativa oppure moltiplicare ogni utilità percepita per uno stesso scalare positivo, senza cambiare la probabilità di scelta. Si deduce, quindi, che per un modello di utilità aleatoria con  $m$  alternative di scelta è possibile introdurre al più  $m - 1$  ASA indipendenti. La (13), infatti, è possibile riscriverla nella seguente forma:

$$p[j] = Pr[V_j' + \beta_j^{ASA} + \varepsilon_j \geq V_i' + \beta_i^{ASA} + \varepsilon_i \quad \forall i \in 1 \dots m] \quad (15)$$

e quindi, aggiungendo a ciascuna utilità sistematica una costante  $\beta_k^{ASA}$  di un'alternativa  $k$  scelta arbitrariamente, si può ulteriormente scrivere la (15) come:

$$p[j] = Pr[V_j' + (\beta_j^{ASA} - \beta_k^{ASA}) + \varepsilon_j \geq V_i' + (\beta_i^{ASA} - \beta_k^{ASA}) + \varepsilon_i \quad \forall i \in 1 \dots m] \quad (16)$$

Dalla (16), infatti, Cascetta ha dimostrato come le probabilità di scelta calcolate aggiungendo gli attributi specifici di alternativa in ogni alternativa modale sono uguali a quelle ottenute introducendo tali attributi in tutte le alternative meno una, scelta arbitrariamente.

Come scritto all'inizio del Capitolo 7, per una corretta stima di un modello di domanda è necessario effettuare un processo "trial and error" con iterazione del ciclo "specificazione-calibrazione-validazione". Si parte inizialmente, quindi, con la scelta della forma funzionale del modello. Tra i modelli di utilità aleatoria esistenti è stato scelto per la simulazione il modello "Multinomial Logit", ampiamente impiegato negli studi sulla domanda di trasporto. In questo modello i residui aleatori relativi alle diverse alternative sono indipendentemente e identicamente distribuiti secondo una variabile aleatoria di Gumbel a media nulla e di parametro  $\theta$ , e tale per cui risulta:

$$F_{\varepsilon_j}(x) = Pr[\varepsilon_j \leq x] = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x}{\theta} - \Phi\right)\right] \quad (17)$$

con  $\Phi \cong 0,577$  costante di Eulero,  $E[\varepsilon_j^i] = 0$  e  $Var[\varepsilon_j^i] = \sigma_\varepsilon^2 = \pi^2\theta^2/6$  per ogni alternativa  $j$ .

Indicati con  $X_i$  gli attributi della  $j$ -esima alternativa per l' $i$ -esimo utente, con  $\beta$  il corrispondente vettore dei coefficienti e con  $J$  il numero complessivo delle alternative per l'utente  $i$ , la probabilità di scelta della  $j$ -esima alternativa è data da:

$$P_j^i = \exp(X_i\beta_j) / \sum_{k=1}^J \exp(X_i\beta_k) \quad (18)$$

Dividendo la (18) per il denominatore, ottenendo quindi:

$$P_j^i = 1 / \sum_{k=1}^J \exp[X_i(\beta_k - \beta_j)] \quad (19)$$

è possibile osservare che nel modello Logit Multinomiale la probabilità di scelta dipende dalla differenza delle utilità sistematiche, e quindi dalla differenza dei valori degli attributi di livello di servizio e socio-economici (Cascetta, 2006). In virtù di queste caratteristiche, pertanto, è stato adottato un modello di tipo Logit Multinomiale poiché è possibile valutare la probabilità di scelta delle varie alternative modali tenendo conto delle diverse categorie socio-economiche delle persone ma anche dei vari attributi di livello di servizio delle diverse alternative disponibili per compiere i propri spostamenti: è possibile, infatti, spostarsi a piedi, muoversi con i propri mezzi motorizzati quali la moto e l'auto, e si può scegliere anche di spostarsi con i mezzi del servizio DRT.

## 8.2. La calibrazione del modello di scelta modale

Una volta specificata la forma funzionale del modello di scelta modale, optando per un modello di tipo Logit Multinomiale, si è passati alla successiva fase di calibrazione. Per questo scopo sono stati usati software di elaborazione statistica che restituivano i coefficienti dei vari attributi del modello e anche la loro significatività statistica. Quest'ultima è espressa dal parametro *p-value*, correlato al test *t-Student* sui singoli coefficienti del modello, per il quale una variabile assume rilevanza statistica quando tale parametro risulta al più pari a 0,050: in corrispondenza di tale valore, si definisce un intervallo di estremi pari a  $\pm 1,96$  al di fuori del quale ricade il valore della statistica *t-Student*. Si mostrano nel seguito i vari step di calibrazione seguiti.

### 8.2.1. I risultati della prima serie di calibrazioni

Partendo dal database di Figura 33, Figura 34 e Figura 35 opportunamente codificato, si è importato sul software statistico STATA, nel quale si è scelto il modello Logit da eseguire (il modello "*Alternative-Specific Conditional Logit*", poiché in grado di elaborare i dati in base sia agli attributi socio-economici degli utenti che agli attributi di livello di servizio delle alternative) e si sono indicati gli attributi di livello di servizio, le variabili socio-economiche, le alternative modali che entrano in gioco e quella scelta come riferimento (nell'elaborazione eseguita si è scelta la modalità pedonale).

Poiché con la calibrazione effettuata è emerso che alcune variabili non erano statisticamente significative, in quanto aventi un valore del *p-value* superiore alla

soglia precedentemente citata, si è effettuato manualmente un metodo di regressione lineare di tipo “*stepwise*” che consiste nell’eliminare tutte le variabili aventi uno scarso contenuto predittivo. In particolare, è stata adottata una regressione *stepwise* con eliminazione a ritroso, detta “*backward elimination*”, in cui, partendo dal modello completo, sono state eliminate tutte le variabili che non hanno evidenziato una valenza statistica significativa, non dimostrando quindi una forte correlazione con la variabile dipendente (Tosato, 2009). In questo modo, si è potuta ottenere una calibrazione migliore, più corretta e non influenzata da parametri non significativi.

Per adottare questa tipologia di regressione si è, in questo caso, agito manualmente sul database, anche per via del modesto numero di variabili in gioco. Nello specifico sono state aggiunte quattro colonne (tante quante sono le alternative modali oggetto di analisi) per ognuno degli attributi da esaminare, ossia il sesso degli intervistati, la loro età, il numero dei componenti familiari, il numero di auto possedute, il numero di auto a persona, il possesso della patente ed il titolo di studio. In ognuna di queste colonne, si è posto il valore dell’attributo solo per l’alternativa di spostamento cui la variabile è associata, mettendo 0 per le altre.

Si è, quindi, caricato nuovamente il database su STATA e si è lanciata di nuovo la simulazione, ottenendo per tutte le osservazioni sperimentali in gioco i risultati mostrati nella seguente Tabella 20.

**Tabella 20** – Risultati della prima serie di calibrazioni del modello sul software STATA

Attributo	Coeff. $\beta$	Std. Err.	z	p-value	[95% conf. interval]	
$t_{percorrenza}$	-0,01082	0,01498	-0,72	0,470	-0,04018	0,01854
$t_{attesa}$	-0,00430	0,03352	-0,13	0,898	-0,07000	0,06140
$t_{accesso}$	-0,05837	0,00821	-7,11	0,000	-0,07447	-0,04228
$t_{parcheggio}$	-0,00922	0,01790	-0,52	0,606	-0,04430	0,02586
$C_{tot}$	-0,17770	0,04125	-4,31	0,000	-0,25856	-0,09685
$Trasbordo$	-0,82548	0,33024	-2,50	0,012	-1,47275	-0,17821
$ASA_{moto}$	-2,28536	0,34629	-6,60	0,000	-2,96408	-1,60663
$ASA_{DRT}$	1,24421	0,33383	3,73	0,000	0,58992	1,89849
Numero di osservazioni= 2260; Numero di casi = 565; Log Likelihood = -556,13222 Wald chi2(8) = 230,88; Prob > chi2 = 0,0000						

Dai risultati mostrati è possibile fare le seguenti considerazioni:

- il tempo di percorrenza, il tempo di attesa e il tempo di parcheggio non sono rilevanti dal punto di vista statistico (hanno un valore del p-value superiore alla soglia di 0,050), tuttavia hanno il segno corretto (negativo, quindi tale per cui, all'aumentare del valore degli attributi, l'utilità percepita dall'utente diminuisce);
- l'attributo specifico di alternativa per l'auto è risultato non significativo e, in virtù del metodo di regressione lineare di tipo *backward elimination*, è stato possibile scartarlo;
- il costo e il tempo di accesso hanno il segno corretto del coefficiente (negativo, con relativa diminuzione dell'utilità percepita all'aumentare del costo e del tempo) e, inoltre, sono rilevanti dal punto di vista statistico;
- l'attributo "Trasbordo" ha anch'esso sia il coefficiente col segno corretto che forte rilevanza statistica, impattando notevolmente sulla scelta di utilizzare il servizio DRT qualora l'utente debba cambiare mezzo di trasporto per completare il proprio spostamento;
- i coefficienti del tempo di percorrenza e del tempo di parcheggio sono pressoché simili;
- 15 casi (per un totale di 60 osservazioni) dei 580 scenari sono stati scartati poiché gli intervistati hanno scelto un'alternativa modale diversa da quelle riportate nel questionario (TPL e bicicletta);
- il valore del tempo VOT (*Value of Time*), espresso in €/h e ottenuto dalla relazione  $(\beta_{tempo\ percorrenza} / \beta_{costo}) \times 60$ , è pari a 3,65 €/h.

Per via della presenza di alcuni attributi non significativi statisticamente, si sono effettuate alcune modifiche sul database, procedendo poi ad una seconda serie di calibrazioni.

### 8.2.2. La seconda serie di calibrazioni del modello di scelta modale

Gli attributi di tempo riportati in Tabella 20 si sono voluti organizzare diversamente nel database, in modo tale da esprimere i tempi di viaggio con le quattro alternative modali analizzate (piedi, moto, auto e DRT) in funzione di questi. Analizzando, in particolare, i valori dei coefficienti ottenuti dalla prima serie di calibrazioni, si sono ottenute le seguenti espressioni:

$$t_{piedi} = t_{accesso} \quad (20)$$

$$t_{moto} = t_{percorrenza} \quad (21)$$

$$t_{auto} = t_{percorrenza} + t_{parcheggio} \quad (22)$$

$$t_{DRT} = t_{percorrenza} + 3 \times (t_{accesso} + t_{attesa}) \quad (23)$$

La (23), relativa all'alternativa modale "DRT", è stata ottenuta considerando i tre attributi di tempo che caratterizzavano lo spostamento con questo servizio, cioè il tempo a bordo, il tempo di accesso al servizio e il tempo di attesa del mezzo. Il tempo totale di viaggio con il DRT può essere, infatti, scritto così:

$$t_{DRT} = \beta_{percorrenza} \cdot t_{percorrenza} + \beta_{accesso} \cdot t_{accesso} + \beta_{attesa} \cdot t_{attesa} \quad (24)$$

Il tempo di accesso e quello di attesa, stando ai valori assegnati negli scenari dei vari questionari, sono sempre variabili da 5 a 10 minuti; per questo motivo, si sono voluti porre pari ad un valore medio  $t$ . È possibile, quindi, riscrivere la (23) come segue:

$$\beta_{percorrenza} \cdot (t_{percorrenza} + 2\alpha t) = \beta_{percorrenza} \cdot t_{percorrenza} + (\beta_{accesso} + \beta_{attesa}) \cdot t$$

da cui:

$$\beta_{percorrenza} \cdot t_{percorrenza} + \beta_{percorrenza} \cdot 2\alpha t = \beta_{percorrenza} \cdot t_{percorrenza} + (\beta_{accesso} + \beta_{attesa}) \cdot t$$

Esplicitando, quindi, il coefficiente moltiplicativo  $\alpha$ , si ottiene:

$$\alpha = \frac{\beta_{accesso} + \beta_{attesa}}{2\beta_{percorrenza}} = 2.90 \cong 3 \quad (25)$$

da cui la (23). Stesso ragionamento si è adottato per ottenere la (22), secondo cui, in virtù della similarità tra i coefficienti degli attributi del tempo di percorrenza e del tempo di parcheggio, l'analogo coefficiente  $\alpha$  è risultato pari ad 1.

Successivamente, si sono voluti raggruppare i tempi di viaggio in moto, in auto e col DRT sotto un'unica voce  $t_{mezzi motorizzati}$ , a cui sarà associato il relativo coefficiente  $\beta_{mezzi motorizzati}$ . Il tempo a piedi, invece, vedrà associato il coefficiente  $\beta_{piedi}$ .

In seguito a questa nuova rappresentazione degli attributi di tempo, il secondo database è stato opportunamente riorganizzato, come evidenziato nello stralcio raffigurato nella seguente Figura 36.

	A	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	
1	ID	Modo	Codice	Tpercorre	Tattesa	Taccesso	Tpk	Tpiedi	Tmezzi	mCtot	Trasbordo	ASAmoto	ASAauto	ASADRT	Mezzo sce	Scelta	
2	1	Piedi	1	0	0	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	3	0
3	1	Moto	2	5	0	0	0	0	5	0,25	0	1	0	0	0	3	0
4	1	Auto	3	10	0	0	10	0	20	3,5	0	0	1	0	0	3	1
5	1	DRT	4	10	10	10	0	0	70	2,5	0	0	0	1	0	3	0
6	2	Piedi	1	0	0	15	0	15	0	0	0	0	0	0	0	3	0
7	2	Moto	2	2,5	0	0	0	0	2,5	0,25	0	1	0	0	0	3	0
8	2	Auto	3	5	0	0	5	0	10	0,5	0	0	1	0	0	3	1
9	2	DRT	4	5	5	5	0	0	35	1,5	0	0	0	1	0	3	0
10	3	Piedi	1	0	0	15	0	15	0	0	0	0	0	0	0	3	0
11	3	Moto	2	2,5	0	0	0	0	2,5	0,25	0	1	0	0	0	3	0
12	3	Auto	3	5	0	0	10	0	15	0,5	0	0	1	0	0	3	1
13	3	DRT	4	5	5	5	0	0	35	1,5	0	0	0	1	0	3	0
14	4	Piedi	1	0	0	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	3	0
15	4	Moto	2	5	0	0	0	0	5	0,25	0	1	0	0	0	3	0
16	4	Auto	3	10	0	0	5	0	15	3,5	0	0	1	0	0	3	1
17	4	DRT	4	10	10	10	0	0	70	2,5	0	0	0	1	0	3	0
18	5	Piedi	1	0	0	105	0	105	0	0	0	0	0	0	0	3	0
19	5	Moto	2	20	0	0	0	0	20	1	0	1	0	0	0	3	0
20	5	Auto	3	35	0	0	20	0	55	6	0	0	1	0	0	3	1
21	5	DRT	4	50	5	10	0	0	95	3,5	1	0	0	1	0	3	0

Figura 36 – Stralcio del secondo database con l’inserimento delle colonne “T<sub>pedi</sub>” e “T<sub>mezzi motorizzati</sub>”

Questo database così modificato è stato introdotto all’interno del software di elaborazione statistica R dopo aver effettuato alcune modifiche sulla codifica dei dati di input sull’età e sul titolo di studio degli intervistati, come già accennato nel paragrafo 7.1.4, cioè:

- i valori assegnati all’età, trattata dapprima come variabile proxy assegnando valori da 1 a 5 in ordine crescente per le fasce d’età indicate nel questionario, sono stati modificati assegnando ad ogni fascia d’età il relativo valore centrale;
- analogamente, per il titolo di studio, anch’esso trattato come variabile proxy con valore da 1 a 5 in ordine crescente dal possesso della sola licenza elementare fino al titolo post-laurea, si è cambiata la codifica sostituendo questi valori col numero minimo effettivo di anni necessario per conseguire quel dato titolo, quindi:
  - licenza elementare: 5 anni;
  - licenza media inferiore: 8 anni;
  - licenza media superiore: 13 anni;
  - laurea: 17 anni

trascurando il titolo post-laurea poiché nessun intervistato ha dichiarato di possederlo.

I risultati della calibrazione su R sono esposti di seguito in Tabella 21.

**Tabella 21** – Risultati finali della calibrazione del modello di scelta modale effettuata su R

Attributo	Coeff.	Std. Err.	z	P> z	Significatività
$t_{piedi}$	-0,0886945	0,0148455	-5,97	0,000	***
$t_{mezzi\ motorizzati}$	-0,0120287	0,0070721	-1,70	0,089	.
$C_{tot}$	-0,1987762	0,0448350	-4,43	0,000	***
<i>Trasbordo</i>	-0,7227308	0,2664712	-2,71	0,007	**
$ASA_{moto}$	9,7808605	2,6472395	3,69	0,000	***
$ASA_{auto}$	8,0833144	2,5087600	3,22	0,001	**
$ASA_{DRT}$	10,7439860	2,5182978	4,27	0,000	***
<b>MOTO</b>					
<i>Età</i>	-0,1790616	0,0321480	-5,57	0,000	***
<i>Sesso</i>	-2,4914474	0,7297172	-3,41	0,001	***
<i>Numero auto per persona</i>	1,5461011	1,4034511	1,10	0,271	
<i>Patente</i>	0,6367875	0,8972063	0,71	0,478	
<i>Titolo di studio (anni)</i>	-0,3999587	0,1131814	-3,53	0,000	***
<b>AUTO</b>					
<i>Età</i>	-0,1262652	0,0302785	-4,17	0,000	***
<i>Sesso</i>	-0,3114285	0,6072684	-0,51	0,608	
<i>Numero auto per persona</i>	4,7736104	1,2125511	3,94	0,000	***
<i>Patente</i>	-0,4822430	0,7823353	-0,62	0,538	
<i>Titolo di studio (anni)</i>	-0,3357910	0,0977002	-3,44	0,001	***
<b>DRT</b>					
<i>Età</i>	-0,1320482	0,0301695	-4,38	0,000	***
<i>Sesso</i>	-0,6782018	0,5990698	-1,13	0,258	
<i>Numero auto per persona</i>	3,3907248	1,2030916	2,82	0,005	**
<i>Patente</i>	-1,5824563	0,7650447	-2,07	0,039	*
<i>Titolo di studio (anni)</i>	-0,3049811	0,0962529	-3,17	0,002	**
Log-Likelihood: -469,31; Likelihood ratio test: chisq = 233,52 (p.value = < 2,22e-16); McFadden R <sup>2</sup> : 0,19923;					

Soglie di significatività: 0 (\*\*\*); 0,001 (\*\*); 0,01 (\*); 0,05 (.); 0,1 ( )

Si è, inoltre, ottenuto il valore del tempo associato ai mezzi motorizzati percepito dall'utente, calcolato come  $(\beta_{tempo\ mezzi\ motorizzati} / \beta_{costo\ totale}) \times 60$  e pari a 3.63 €/h.

I risultati della calibrazione di Tabella 21 sono stati utilizzati per stimare le probabilità di scelta delle alternative modali, in particolare quelle di scelta del servizio DRT, per ogni coppia origine-destinazione OD e per ogni categoria socio-economica, facendo variare per esse gli attributi di sesso, età e titolo di studio e mantenendo, invece, costanti il numero di auto possedute a persona (fissato pari a 0,7, valore medio per la città di Palermo) e il parametro della patente, ipotizzandone il possesso per ogni segmento di mercato considerato. Sono state valutate, inoltre, le probabilità di scelta al variare dei parametri di tempo e di costo.

Le probabilità di scelta dei mezzi del servizio a chiamata sono state applicate successivamente alla matrice degli spostamenti occasionali potenziali totali dei residenti dei quattro quartieri considerati nell'area di studio in esame, al fine di risalire al numero complessivo degli spostamenti occasionali che sarebbero effettuati dalla collettività con il servizio DRT. Nei seguenti paragrafi si mostrano i vari step che hanno portato alla costruzione di questa matrice, partendo dalla stima degli spostamenti emessi dall'area di studio e alla loro distribuzione all'interno e all'esterno dell'area di studio.

### **8.3. La matrice degli spostamenti occasionali potenziali**

Ai fini della stima degli spostamenti potenziali occasionali totali emessi ed attratti dai vari centroidi considerati nell'area di studio e all'esterno di essa, si è partiti dagli ultimi dati censuari dell'ISTAT del 2011, in cui la popolazione residente è ripartita nelle varie zone censuarie e classificata in funzione di età, sesso e titolo di studio. Una volta raccolti questi dati, si è stimato un indice di mobilità occasionale che ha permesso di risalire, secondo la metodologia esposta da Capodici *et al.* (2022), agli spostamenti occasionali potenziali emessi totali dei residenti, raggruppati questi ultimi in due grandi fasce d'età (15 – 59 anni e over 60), pervenendo in tal modo al *modello di emissione*. Tali spostamenti sono stati, in seguito, ripartiti tra i vari centroidi di destinazione interni ed esterni all'area di studio sulla base della percentuale di addetti fornita dal

medesimo censimento ISTAT, giungendo così alla stima del *modello di distribuzione*. Si sono, infine, applicate alla matrice totale degli spostamenti occasionali così ottenuta le probabilità di scelta del DRT ottenute dalla calibrazione del modello di scelta modale, giungendo così alla stima degli spostamenti potenziali occasionali totali effettuati dai residenti dell'area di studio con i mezzi del servizio DRT.

### 8.3.1. La costruzione del modello di emissione

Il modello di emissione o di frequenza di spostamenti è quel modello che fornisce il numero di spostamenti effettuati nell'intervallo temporale  $h$  per il motivo  $s$  dagli utenti della categoria  $i$  con origine nella zona  $o$  (Cascetta, 2006, pag. 190). Per costruirlo si è partiti dalla raccolta dei dati censuari del 2011 forniti dall'ISTAT: questi sono stati raccolti ed elaborati grazie al software QGIS, osservando per ogni sezione censuaria dell'area di studio la ripartizione della popolazione residente e la sua distinzione per sesso, età e titolo di studio.

I dati estratti da QGIS sono stati successivamente importati su un foglio di calcolo di Microsoft Excel, in modo da poter procedere con le loro analisi e le loro elaborazioni. Uno stralcio del foglio di Excel contenente tutti i dati censuari per le varie sezioni in cui è divisa l'area di studio è mostrata nella seguente Figura 37.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	msez	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16
2	2331	1272	634	638	555	608	23	65	21	298	309	11	8	8	74	62	68
3	2332	270	130	140	118	123	5	22	2	61	62	1	5	1	11	10	17
4	2333	2773	1356	1417	1239	1272	64	152	46	662	636	19	26	13	134	143	152
5	2334	114	66	48	49	55	3	2	5	33	28	2	1	2	12	7	7
6	2335	197	88	109	77	96	9	8	7	34	47	4	0	3	8	7	8
7	2336	305	159	146	132	156	4	11	2	73	79	3	2	2	13	19	18
8	2337	1169	567	602	515	554	30	52	18	270	277	12	4	4	58	59	56
9	2338	517	263	254	217	247	10	31	12	126	127	3	3	4	32	26	31
10	2339	582	280	302	263	257	11	42	9	136	130	4	7	3	28	33	27
11	2340	921	438	483	413	426	13	58	11	209	212	3	10	4	54	48	46
12	2349	677	334	343	283	333	15	32	14	147	169	6	8	4	42	40	41
13	2350	553	255	298	225	235	22	47	24	114	117	10	7	7	19	24	23
14	2351	324	155	169	128	137	9	39	11	71	68	7	6	3	16	12	15
15	2352	109	53	56	48	52	3	3	3	23	27	1	1	1	7	3	6
16	2353	129	59	70	58	50	6	8	7	31	23	2	0	3	9	10	8
17	2354	54	27	27	25	23	2	2	2	13	12	1	0	1	3	5	5
18	2355	116	54	62	52	57	0	7	0	22	29	0	3	0	5	7	8
19	2356	524	257	267	215	264	4	33	8	119	129	2	7	0	28	33	38
20	2357	1039	500	539	405	531	14	75	14	193	268	7	25	7	50	54	42
21	2358	155	69	86	72	69	6	4	4	32	33	2	0	2	0	8	20
22	2359	660	334	326	282	327	14	35	2	160	163	4	5	2	25	39	30
23	2360	371	179	192	166	160	10	25	10	86	82	4	6	1	17	23	28
24	2361	83	41	42	38	35	2	4	4	18	17	2	2	2	5	6	8
25	2362	283	135	148	129	127	9	13	5	65	62	1	4	3	12	13	10
26	2363	83	40	43	37	34	6	3	3	18	17	3	0	2	4	4	7
27	2364	26	12	14	10	12	2	1	1	6	6	0	0	0	0	2	0
28	2365	182	93	89	69	87	5	12	9	38	45	3	2	5	5	9	8
29	2366	31	15	16	9	17	0	5	0	6	8	0	1	0	1	1	2
30	2367	102	47	55	42	45	3	6	6	21	22	0	1	3	6	5	4
31	2368	488	239	249	229	229	3	21	6	118	114	0	4	3	31	28	30

Figura 37 – Stralcio del foglio di calcolo contenente i dati censuari dell'ISTAT per le varie sezioni censuarie dell'area di studio

Della moltitudine di dati forniti dall'ISTAT, sono state prese in considerazione soltanto alcune informazioni corrispondenti alle seguenti etichette:

- P1 (popolazione residente totale);
- P2 (popolazione residente maschile);
- P3 (popolazione residente femminile);
- Da P14 a P29 (popolazione residente raggruppata in fasce d'età di 5 anni, dai residenti con età inferiore a 5 anni fino ai residenti con età superiore a 74 anni);
- Da P30 a P45 (come sopra, solamente per i residenti di sesso maschile);
- Da P47 a P50 (popolazione residente distinta per titolo di studio, dai laureati fino alle persone con sola licenza elementare);
- Da P54 a P57 (come sopra, solamente per i residenti di sesso maschile);
- Addetti

Le informazioni relative alla popolazione di sesso femminile sono ottenute per semplice differenza tra la popolazione residente totale e quella di sesso maschile. I dati di interesse sono stati raccolti in un altro foglio di calcolo, mostrato nella seguente Figura 38. In essa è possibile osservare il raggruppamento della popolazione residente per età dai 15 anni in su (la fascia di popolazione considerata come "attiva"), ulteriormente suddivisa nelle due macro-fasce di età "15 - 59 anni" e "≥60 anni". Si è, inoltre, risaliti per differenza alla popolazione di sesso femminile distinta per titolo di studio. Nella colonna C, invece, sono mostrate le percentuali delle varie categorie rapportate ai rispettivi totali: queste percentuali sono state successivamente adottate per una ulteriore analisi sulla popolazione residente all'interno dell'area di studio.

	A	B	C
1	Numero totale di sezioni censuarie	136	
2	Popolazione totale	28444	
3			
4	<b>Genere</b>		
5	Totale maschi	13809	0,48548
6	Totale femmine	14635	0,51452
7			
8	<b>Età</b>		
9	Popolazione residente - età < 5 anni	1380	
10	Popolazione residente - età 5 - 9 anni	1456	
11	Popolazione residente - età 10 - 14 anni	1468	
12	Popolazione residente - età 15 - 19 anni	1698	
13	Popolazione residente - età 20 - 24 anni	1839	
14	Popolazione residente - età 25 - 29 anni	1734	
15	Popolazione residente - età 30 - 34 anni	1807	
16	Popolazione residente - età 35 - 39 anni	2123	
17	Popolazione residente - età 40 - 44 anni	2181	
18	Popolazione residente - età 45 - 49 anni	2374	
19	Popolazione residente - età 50 - 54 anni	2207	
20	Popolazione residente - età 55 - 59 anni	1935	
21	Popolazione residente - età 60 - 64 anni	1843	
22	Popolazione residente - età 65 - 69 anni	1429	
23	Popolazione residente - età 70 - 74 anni	1126	
24	Popolazione residente - età > 74 anni	1844	
25			
26	Popolazione over 15	24140	
27	Popolazione residente età 15-59	17898	0,741425
28	Popolazione residente età >=60	6242	0,258575
29			
30	<b>Titolo di studio</b>		
31	Popolazione residente con laurea	3774	0,154079
32	Popolazione residente con diploma di scuola secondaria superiore	8749	0,35719
33	Popolazione residente con media inferiore	7695	0,314159
34	Popolazione residente con licenza elementare	4276	0,174573
35	Totale	24494	
36			
37	Popolazione residente - maschi con laurea	1810	0,152024
38	Popolazione residente - maschi con diploma di scuola secondaria su	4333	0,363934
39	Popolazione residente - maschi con media inferiore	3997	0,335713
40	Popolazione residente - maschi con licenza elementare	1766	0,148329
41	Totale	11906	
42			
43	Popolazione residente - femmine con laurea	1964	0,156022
44	Popolazione residente - femmine con diploma di scuola secondaria :	4416	0,35081
45	Popolazione residente - femmine con media inferiore	3698	0,293772
46	Popolazione residente - femmine con licenza elementare	2510	0,199396
47		12588	

**Figura 38** – Prima elaborazione dei dati censuari dell'ISTAT di interesse

I dati mostrati in Figura 38 sono stati osservati più in dettaglio per le varie sezioni censuarie del contesto esaminato. Si è creato, infatti, un ulteriore foglio di calcolo in cui compaiono anche raggruppamenti della popolazione residente in fasce d'età di 15 anni, secondo la classificazione fatta in sede di realizzazione del questionario, in modo da avere un'omogeneità nel confronto tra i dati raccolti dalle interviste e i dati censuari esistenti. Per quanto riguarda la classificazione dei residenti per sesso, età e titolo di studio è stato necessario effettuare una stima, in quanto l'ISTAT non fornisce

un'informazione così dettagliata sulla popolazione: a tal scopo, si sono sfruttate le percentuali mostrate in Figura 38 relative alla distinzione della collettività per sesso e titolo di studio, applicandole alle celle di Excel in cui si mostrano le informazioni sulla popolazione ripartita per sesso e per fascia d'età di 15 anni.

Nelle seguenti Figura 39, Figura 40 e Figura 41 si mostrano alcuni estratti del database così organizzato per una migliore comprensione dell'organizzazione del foglio di lavoro.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	nsez	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340
2	Popolazione residente - età 15 - 19 anni	67	18	171	9	7	9	87	34	30	50
3	Popolazione residente - età 20 - 24 anni	83	27	200	3	14	20	89	42	50	73
4	Popolazione residente - età 25 - 29 anni	77	20	195	10	15	18	81	26	30	57
5	Popolazione residente - età 30 - 34 anni	91	18	201	8	5	13	93	38	48	81
6	Popolazione residente - età 35 - 39 anni	95	15	192	16	13	24	95	41	48	74
7	Popolazione residente - età 40 - 44 anni	111	15	196	11	17	21	89	38	44	72
8	Popolazione residente - età 45 - 49 anni	98	23	180	10	9	23	74	35	45	70
9	Popolazione residente - età 50 - 54 anni	96	25	198	7	14	15	96	47	38	64
10	Popolazione residente - età 55 - 59 anni	80	18	244	3	14	20	87	32	40	56
11	Popolazione residente - età 60 - 64 anni	96	17	216	2	28	28	81	26	42	50
12	Popolazione residente - età 65 - 69 anni	62	12	156	3	24	27	47	22	16	38
13	Popolazione residente - età 70 - 74 anni	41	9	72	4	10	19	29	17	20	31
14	Popolazione residente - età > 74 anni	71	15	123	2	4	18	48	30	43	57
15											
16	Popolazione residente - età 15 - 29 anni	227	65	566	22	36	47	257	102	110	180
17	Popolazione residente - età 30 - 44 anni	297	48	589	35	35	58	277	117	140	227
18	Popolazione residente - età 45 - 59 anni	274	66	622	20	37	58	257	114	123	190
19	Popolazione residente - età 60 - 74 anni	199	38	444	9	62	74	157	65	78	119
20	Popolazione residente - età > 74 anni	71	15	123	2	4	18	48	30	43	57

Figura 39 – Estratto del database con i dati per sezione censuaria della popolazione residente distinta per età

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	nsez	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340
22	Popolazione residente - maschi - età 15 - 19 anni	34	5	90	6	3	4	46	18	14	20
23	Popolazione residente - maschi - età 20 - 24 anni	46	17	107	2	4	15	46	25	30	36
24	Popolazione residente - maschi - età 25 - 29 anni	35	13	104	5	6	11	49	18	13	28
25	Popolazione residente - maschi - età 30 - 34 anni	54	7	106	3	3	8	45	16	21	43
26	Popolazione residente - maschi - età 35 - 39 anni	46	6	94	6	4	11	43	20	25	34
27	Popolazione residente - maschi - età 40 - 44 anni	55	5	96	8	10	12	47	19	20	32
28	Popolazione residente - maschi - età 45 - 49 anni	45	11	81	6	5	14	39	17	25	32
29	Popolazione residente - maschi - età 50 - 54 anni	49	13	74	4	4	7	39	24	20	32
30	Popolazione residente - maschi - età 55 - 59 anni	35	9	115	2	4	8	41	15	12	24
31	Popolazione residente - maschi - età 60 - 64 anni	51	6	110	1	11	16	37	10	22	25
32	Popolazione residente - maschi - età 65 - 69 anni	30	5	85	1	15	8	23	11	9	19
33	Popolazione residente - maschi - età 70 - 74 anni	18	5	38	2	5	13	16	6	7	12
34	Popolazione residente - maschi - età > 74 anni	27	5	36	1	2	8	14	12	17	23
35											
36	Popolazione maschi - età 15 - 29 anni	115	35	301	13	13	30	141	61	57	84
37	Popolazione maschi - età 30 - 44 anni	155	18	296	17	17	31	135	55	66	109
38	Popolazione maschi - età 45 - 59 anni	129	33	270	12	13	29	119	56	57	88
39	Popolazione maschi - età 60 - 74 anni	99	16	233	4	31	37	76	27	38	56
40	Popolazione maschi - età > 74 anni	27	5	36	1	2	8	14	12	17	23
41											
42	Popolazione residente - femmine - età 15 - 19 anni	33	13	81	3	4	5	41	16	16	30
43	Popolazione residente - femmine - età 20 - 24 anni	37	10	93	1	10	5	43	17	20	37
44	Popolazione residente - femmine - età 25 - 29 anni	42	7	91	5	9	7	32	8	17	29
45	Popolazione residente - femmine - età 30 - 34 anni	37	11	95	5	2	5	48	22	27	38
46	Popolazione residente - femmine - età 35 - 39 anni	49	9	98	10	9	13	52	21	23	40
47	Popolazione residente - femmine - età 40 - 44 anni	56	10	100	3	7	9	42	19	24	40
48	Popolazione residente - femmine - età 45 - 49 anni	53	12	99	4	4	9	35	18	20	38
49	Popolazione residente - femmine - età 50 - 54 anni	47	12	124	3	10	8	57	23	18	32
50	Popolazione residente - femmine - età 55 - 59 anni	45	9	129	1	10	12	46	17	28	32
51	Popolazione residente - femmine - età 60 - 64 anni	45	11	106	1	17	12	44	16	20	25
52	Popolazione residente - femmine - età 65 - 69 anni	32	7	71	2	9	19	24	11	7	19
53	Popolazione residente - femmine - età 70 - 74 anni	23	4	34	2	5	6	13	11	13	19
54	Popolazione residente - femmine - età > 74 anni	44	10	87	1	2	10	34	18	26	34
55											
56	Popolazione femmine - età 15 - 29 anni	112	30	265	9	23	17	116	41	53	96
57	Popolazione femmine - età 30 - 44 anni	142	30	293	18	18	27	142	62	74	118
58	Popolazione femmine - età 45 - 59 anni	145	33	352	8	24	29	138	58	66	102
59	Popolazione femmine - età 60 - 74 anni	100	22	211	5	31	37	81	38	40	63
60	Popolazione femmine - età > 74 anni	44	10	87	1	2	10	34	18	26	34

Figura 40 – Estratto del database con la distinzione per sezione censuaria della popolazione residente per sesso e per età

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1 nsez		2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340
62 Popolazione maschi - età 15 - 29 anni - laureati		17	5	46	2	2	5	21	9	9	13
63 Popolazione maschi - età 15 - 29 anni - diplomati		42	13	110	5	5	11	51	22	21	31
64 Popolazione maschi - età 15 - 29 anni - media inf		39	12	101	4	4	10	47	20	19	28
65 Popolazione maschi - età 15 - 29 anni - elementare		17	5	45	2	2	4	21	9	8	12
66 Popolazione maschi - età 30 - 44 anni - laureati		24	3	45	3	3	5	21	8	10	17
67 Popolazione maschi - età 30 - 44 anni - diplomati		56	7	108	6	6	11	49	20	24	40
68 Popolazione maschi - età 30 - 44 anni - media inf		52	6	99	6	6	10	45	18	22	37
69 Popolazione maschi - età 30 - 44 anni - elementare		23	3	44	3	3	5	20	8	10	16
70 Popolazione maschi - età 45 - 59 anni - laureati		20	5	41	2	2	4	18	9	9	13
71 Popolazione maschi - età 45 - 59 anni - diplomati		47	12	98	4	5	11	43	20	21	32
72 Popolazione maschi - età 45 - 59 anni - media inf		43	11	91	4	4	10	40	19	19	30
73 Popolazione maschi - età 45 - 59 anni - elementare		19	5	40	2	2	4	18	8	8	13
74 Popolazione maschi - età 60 - 74 anni - laureati		15	2	35	1	5	6	12	4	6	9
75 Popolazione maschi - età 60 - 74 anni - diplomati		36	6	85	1	11	13	28	10	14	20
76 Popolazione maschi - età 60 - 74 anni - medie inf		33	5	78	1	10	12	26	9	13	19
77 Popolazione maschi - età 60 - 74 anni - elementare		15	2	35	1	5	5	11	4	6	8
78 Popolazione maschi - età > 74 anni - laureati		4	1	5	0	0	1	2	2	3	3
79 Popolazione maschi - età > 74 anni - diplomati		10	2	13	0	1	3	5	4	6	8
80 Popolazione maschi - età > 74 anni - medie inf		9	2	12	0	1	3	5	4	6	8
81 Popolazione maschi - età > 74 anni - elementare		4	1	5	0	0	1	2	2	3	3
82											
83 Popolazione femmine - età 15 - 29 anni - laureati		17	5	41	1	4	3	18	6	8	15
84 Popolazione femmine - età 15 - 29 anni - diplomati		39	11	93	3	8	6	41	14	19	34
85 Popolazione femmine - età 15 - 29 anni - media inf		33	9	78	3	7	5	34	12	16	28
86 Popolazione femmine - età 15 - 29 anni - elementare		22	6	53	2	5	3	23	8	11	19
87 Popolazione femmine - età 30 - 44 anni - laureati		22	5	46	3	3	4	22	10	12	18
88 Popolazione femmine - età 30 - 44 anni - diplomati		50	11	103	6	6	9	50	22	26	41
89 Popolazione femmine - età 30 - 44 anni - media inf		42	9	86	5	5	8	42	18	22	35
90 Popolazione femmine - età 30 - 44 anni - elementare		28	6	58	4	4	5	28	12	15	24
91 Popolazione femmine - età 45 - 59 anni - laureati		23	5	55	1	4	5	22	9	10	16
92 Popolazione femmine - età 45 - 59 anni - diplomati		51	12	123	3	8	10	48	20	23	36
93 Popolazione femmine - età 45 - 59 anni - media inf		43	10	103	2	7	9	41	17	19	30
94 Popolazione femmine - età 45 - 59 anni - elementare		29	7	70	2	5	6	28	12	13	20
95 Popolazione femmine - età 60 - 74 anni - laureati		16	3	33	1	5	6	13	6	6	10
96 Popolazione femmine - età 60 - 74 anni - diplomati		35	8	74	2	11	13	28	13	14	22
97 Popolazione femmine - età 60 - 74 anni - medie inf		29	6	62	1	9	11	24	11	12	19
98 Popolazione femmine - età 60 - 74 anni - elementare		20	4	42	1	6	7	16	8	8	13
99 Popolazione femmine - età > 74 anni - laureati		7	2	14	0	0	2	5	3	4	5
100 Popolazione femmine - età > 74 anni - diplomati		15	4	31	0	1	4	12	6	9	12
101 Popolazione femmine - età > 74 anni - medie inf		13	3	26	0	1	3	10	5	8	10
102 Popolazione femmine - età > 74 anni - elementare		9	2	17	0	0	2	7	4	5	7
103											
104 A Addetti (2011)		303	456	290	11	18	90	88	9	67	61
105 %Addetti (2011)		6,33%	9,53%	6,06%	0,23%	0,38%	1,88%	1,84%	0,19%	1,40%	1,27%

Figura 41 – Estratto del database con la stima della popolazione residente per sesso, età e titolo di studio e il numero degli addetti (assoluto e in percentuale) per ciascuna sezione censuaria

Il passaggio successivo è quello di stimare il numero di spostamenti occasionali potenziali che gli abitanti dei quattro quartieri che costituiscono l'area di studio effettuarebbero nell'arco della giornata. Per ottenere tale stima è stato dedotto in prima battuta un indice di mobilità occasionale, seguendo la metodologia esposta da Capodici *et al.* (2022).

Partendo, quindi, dalle risposte degli intervistati all'indagine RP condotta, si è diviso il numero di spostamenti occasionali totali dichiarati dalle persone delle due fasce d'età considerate (15 – 59 anni e ≥60 anni) per il numero totale di intervistati appartenenti a quella data fascia d'età. Tenendo conto che con le interviste su strada non sono stati intervistati i sedentari, gli indici di mobilità occasionale ricavati dalle indagini sono stati opportunamente ridotti. Tali indici sono riportati nella seguente Tabella 22.

**Tabella 22** – Indici di mobilità occasionale per le fasce d'età 15 – 59 anni e  $\geq 60$  anni

Fascia d'età	% Residenti	Numero di intervistati	Numero di spostamenti	Indice di mobilità occasionale ( $MI^*$ )	Indice di mobilità occasionale ridotto ( $MI_r^*$ )
15-59	74%	99	128	1,29	$= 1,29/1,407 =$ <b>=0,9</b>
$\geq 60$	26%	46	80	1,74	$= 1,74/1,407 =$ <b>=1,2</b>
	100%	145	208	$= (1,29*0,74+1,74*0,26)$ $= 1,407$	

Gli indici di mobilità  $MI_r^*$  sono stati divisi per 2 in modo da esprimere i due indici rispettivamente per gli spostamenti di andata e di ritorno nell'arco della giornata, ottenendo per le due fasce d'età i valori rispettivi di 0,45 e 0,6. Moltiplicando i valori di popolazione residente così distinta per i corrispondenti indici di mobilità così determinati, si è risaliti al numero di spostamenti occasionali potenziali totali emessi dalle diverse sezioni censuarie dell'area di studio. Si è, così, costruito il *modello di emissione* desiderato per gli spostamenti di andata.

Un estratto del modello di emissione ottenuto, riferito ad una delle zone censuarie dell'area di studio, è mostrato nella seguente Figura 42. È possibile, inoltre, osservare come, per via della stima effettuata nella popolazione classificata per sesso, età e titolo di studio, in alcuni casi non ci sia perfetta corrispondenza tra le somme dei valori stimati e quelli estratti dal database ISTAT, evidenziando delle piccole differenze. Sono stati, comunque, considerati questi valori stimati ai fini delle elaborazioni seguenti, in quanto sono dati che forniscono il più alto livello di dettaglio possibile verso il quale è possibile spingersi per categorizzare l'intera popolazione residente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I					
14									sp.pop.r					
15	2331	15-59	359,1	15-29	102,15	Maschi	51,75	Laurea	7,65					
16				15-29		Maschi		Super.	18,9					
17				15-29		Maschi		Media	17,55					
18				15-29		Maschi		Element.	7,65					
19				15-29		Femmine	50,4	Laurea	7,65					
20				15-29		Femmine		Super.	17,55					
21				15-29		Femmine		Media	14,85					
22				15-29		Femmine		Element.	9,9					
23								30-44	133,65	Maschi	69,75	Laurea	10,8	
24								30-44		Maschi		Super.	25,2	
25							30-44	Maschi		Media		23,4		
26							30-44	Maschi		Element.		10,35		
27							30-44	Femmine		63,9	Laurea	9,9		
28							30-44	Femmine			Super.	22,5		
29							30-44	Femmine			Media	18,9		
30							30-44	Femmine			Element.	12,6		
31							45-59	123,3	Maschi	58,05	Laurea	9		
32							45-59		Maschi		Super.	21,15		
33							45-59		Maschi		Media	19,35		
34							45-59		Maschi		Element.	8,55		
35							45-59		Femmine	65,25	Laurea	10,35		
36							45-59		Femmine		Super.	22,95		
37							45-59		Femmine		Media	19,35		
38							45-59		Femmine		Element.	13,05		
39					>60	162,0	60-74		119,4	Maschi	59,4	Laurea	9	
40												60-74	Maschi	Super.
41										60-74		Maschi	Media	19,8
42										60-74		Maschi	Element.	9
43										60-74	Femmine	60	Laurea	9,6
44										60-74	Femmine		Super.	21
45										60-74	Femmine		Media	17,4
46										60-74	Femmine		Element.	12
47									>74	42,6	Maschi	16,2	Laurea	2,4
48									>74		Maschi		Super.	6
49				>74			Maschi	Media	5,4					
50				>74			Maschi	Element.	2,4					
51				>74			Femmine	26,4	Laurea		4,2			
52				>74			Femmine		Super.		9			
53				>74			Femmine		Media		7,8			
54				>74			Femmine		Element.		5,4			

**Figura 42** – Estratto del modello di emissione riferito alla sezione censuaria 2331 dell’area di studio, con indicazione del numero di spostamenti occasionali potenziali di sola andata emessi da ciascun segmento di mercato

### 8.3.2. La costruzione del modello di distribuzione

Lo step successivo alla costruzione del modello di emissione è quello della ripartizione degli spostamenti occasionali potenziali totali di sola andata di ogni

segmento di mercato emessi dalle sezioni censuarie dell'area di studio verso le diverse destinazioni interne ed esterne al contesto periferico analizzato per la città di Palermo. Al termine di tutti i procedimenti di seguito esposti si perverrà al *modello di distribuzione* per l'area di studio. Esso è definito, secondo quanto esposto da Cascetta (2006, pag. 194), come quel modello che fornisce l'aliquota  $p^i[d/osh]$  degli spostamenti degli utenti di categoria  $i$  che, partendo dalla zona di origine  $o$  per il motivo  $s$  nell'unità temporale  $h$ , si reca alla destinazione  $d$ .

Partendo dal database contenente le risposte alle indagini, più precisamente dalla sezione del database mostrata in Figura 34, sono state suddivise le varie destinazioni raggiunte dagli intervistati in destinazioni interne all'area di studio, esterne ad essa e non raggiungibili con i mezzi del servizio DRT integrato con l'attuale TPL. Le varie percentuali di queste destinazioni sono riassunte nella seguente Tabella 23.

**Tabella 23** – Percentuali delle destinazioni interne, esterne e non raggiungibili dai mezzi del servizio DRT desunte dal database delle interviste

Fascia d'età	Spostamenti occasionali totali	% destinazioni interne	% destinazioni esterne	% destinazioni non raggiungibili
15-59	128	37% (47/128)	37% (47/128)	26% (34/128)
≥60	80	49% (39/80)	40% (32/80)	11% (9/80)

Moltiplicando gli spostamenti potenziali occasionali totali di andata di ogni segmento di mercato considerato per i relativi indici di mobilità occasionale e per le percentuali di spostamenti interni ed esterni servibili con il DRT (non modellando, quindi, gli spostamenti esterni all'area di studio diretti verso zone ritenute non servibili in futuro dal servizio DRT integrato con l'attuale trasporto pubblico locale), si è giunti ad una prima distribuzione degli spostamenti occasionali complessivi tra spostamenti diretti all'interno e all'esterno dell'area di studio per ciascun centroide di origine interno. Un esempio per una delle sezioni censuarie interne al contesto di studio è mostrato nella seguente Figura 43, in cui si riprende la Figura 42 considerando due colonne aggiuntive, riportanti gli spostamenti totali diretti verso l'interno e quelli totali diretti verso zone esterne ipotizzate raggiungibili dal servizio a chiamata proposto integrato con il servizio su gomma e su ferro.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
14									sp.pop.r	sp.Int	sp.Ext		
15	2331	15-59	359,1	15-29	102,15	Maschi	51,75	Laurea	7,65	2,808984	2,808984		
16				15-29		Maschi		Super.	18,9	6,939844	6,939844		
17				15-29		Maschi		Media	17,55	6,444141	6,444141		
18				15-29		Maschi		Element.	7,65	2,808984	2,808984		
19				15-29	Femmine	50,4	Laurea	7,65	2,808984	2,808984			
20				15-29	Femmine		Super.	17,55	6,444141	6,444141			
21				15-29	Femmine		Media	14,85	5,452734	5,452734			
22				15-29	Femmine		Element.	9,9	3,635156	3,635156			
23				30-44	133,65	69,75	Maschi	Laurea	10,8	3,965625	3,965625		
24				30-44			Maschi	Super.	25,2	9,253125	9,253125		
25				30-44			Maschi	Media	23,4	8,592188	8,592188		
26				30-44			Maschi	Element.	10,35	3,800391	3,800391		
27				30-44	Femmine	63,9	Laurea	9,9	3,635156	3,635156			
28				30-44	Femmine		Super.	22,5	8,261719	8,261719			
29				30-44	Femmine		Media	18,9	6,939844	6,939844			
30				30-44	Femmine		Element.	12,6	4,626563	4,626563			
31				45-59	123,3	58,05	Maschi	Laurea	9	3,304688	3,304688		
32				45-59			Maschi	Super.	21,15	7,766016	7,766016		
33				45-59			Maschi	Media	19,35	7,105078	7,105078		
34				45-59			Maschi	Element.	8,55	3,139453	3,139453		
35				45-59	Femmine	65,25	Laurea	10,35	3,800391	3,800391			
36				45-59	Femmine		Super.	22,95	8,426953	8,426953			
37				45-59	Femmine		Media	19,35	7,105078	7,105078			
38				45-59	Femmine		Element.	13,05	4,791797	4,791797			
39				>60	162,0	119,4	59,4	60-74	Maschi	Laurea	9	4,3875	3,6
40								60-74	Maschi	Super.	21,6	10,53	8,64
41								60-74	Maschi	Media	19,8	9,6525	7,92
42								60-74	Maschi	Element.	9	4,3875	3,6
43						60-74	Femmine	60	Laurea	9,6	4,68	3,84	
44						60-74	Femmine		Super.	21	10,2375	8,4	
45						60-74	Femmine		Media	17,4	8,4825	6,96	
46						60-74	Femmine		Element.	12	5,85	4,8	
47						>74	42,6	16,2	Maschi	Laurea	2,4	1,17	0,96
48						>74			Maschi	Super.	6	2,925	2,4
49	>74	Maschi	Media			5,4			2,6325	2,16			
50	>74	Maschi	Element.			2,4			1,17	0,96			
51	>74	Femmine	26,4			Laurea		4,2	2,0475	1,68			
52	>74	Femmine				Super.		9	4,3875	3,6			
53	>74	Femmine				Media		7,8	3,8025	3,12			
54	>74	Femmine				Element.		5,4	2,6325	2,16			

Figura 43 – Stralcio del modello di emissione riferito alla sezione censuaria 2331 per i vari segmenti di mercato, in cui si mostra una prima distribuzione degli spostamenti occasionali totali tra zone interne ed esterne servibili dal DRT (rispettivamente colonne J e K)

È stato applicato in seguito un modello gravitazionale basato su *attributi di attrattività*, cioè su variabili in grado di misurare la capacità di una zona di attrarre spostamenti occasionali, ed essere, quindi, scelta come destinazione di tali spostamenti. In particolare, per gli spostamenti diretti verso le sezioni censuarie interne all'area di studio, si è scelto come attributo di attrattività la percentuale di addetti nel settore terziario, in quello delle istituzioni pubbliche e delle istituzioni no-profit, calcolata a partire dal numero di addetti forniti dal censimento ISTAT per ogni sezione censuaria; per gli spostamenti diretti, invece, verso l'esterno dell'area di studio, si sono individuate le

destinazioni più frequentemente nominate dagli intervistati durante l'indagine RP sugli spostamenti da loro compiuti, prendendo in considerazione la percentuale di scelta di tali destinazioni rispetto al totale degli spostamenti verso l'esterno servibili con il DRT integrato con il servizio TPL dichiarati dagli intervistati.

Si precisa che si è ipotizzato il numero di addetti del settore terziario coincidente con il numero di addetti nel settore delle imprese fornito dall'ISTAT: questo perché nell'area di studio sono presenti pochissime industrie e, quindi, il contributo degli addetti del settore delle imprese del settore terziario è predominante se confrontato con quello delle imprese del settore primario (produzione di base, come agricoltura, allevamento, pesca e attività mineraria) e secondario (relativo alle attività manifatturiere). Nel caso del numero di addetti e della loro percentuale, inoltre, si è modificato artificialmente il numero di addetti relativi alla zona censuaria dove ricade il centro commerciale Conca d'Oro, aumentandolo da 10 a 350 in virtù dei locali commerciali presenti al suo interno: questa modifica è stata effettuata poiché i dati censuari dell'ISTAT sono riferiti al 2011, l'anno precedente all'apertura al pubblico del centro commerciale.

Per quanto riguarda, invece, il numero di spostamenti occasionali diretti verso l'esterno dell'area di studio (tenendo conto soltanto le aree esterne raggiungibili con il DRT e successivo trasbordo sui sistemi di trasporto pubblico su gomma e ferro), si sono presi in considerazione gli spostamenti mostrati in Tabella 23 per le due macro-fasce d'età "15 - 59 anni" e "≥60 anni" e si sono suddivisi tra le principali destinazioni dichiarate dagli intervistati durante le campagne di indagine, che sono risultate identiche per entrambe le categorie di età. Si sono ottenute le seguenti ripartizioni mostrate in Tabella 24.

**Tabella 24** – Ripartizione degli spostamenti esterni servibili dal sistema integrato DRT-TPL per le due fasce d'età "15 - 59 anni" e "≥60 anni", in valori assoluti e percentuali

Fasce d'età	TOT	Viale Strasburgo	Stadio	Centro città	Stazione Notarbartolo	Stazione Vespri	Stazione San Lorenzo	Stazione Cardillo
15-59	47	9 (19,15%)	6 (12,77%)	15 (31,91%)	4 (8,51%)	4 (8,51%)	7 (14,89%)	2 (4,26%)
≥60	32	8 (25%)	2 (6,25%)	14 (43,75%)	2 (6,25%)	2 (6,25%)	2 (6,25%)	2 (6,25%)

Considerando la combinazione di tutte le categorie socio-economiche prese in esame per età (5 fasce d'età), sesso (maschi e femmine) e titolo di studio (4 livelli di istruzione, dalla sola licenza elementare alla laurea), evidenziate in Figura 43, sono stati analizzati ben 40 segmenti di mercato. Per ognuno di essi è stata costruita la matrice rappresentante il corrispondente modello di distribuzione, che mette in luce la ripartizione degli spostamenti occasionali potenziali di andata effettuati dalla collettività residente all'interno dell'area di studio con qualsiasi modo di trasporto.

Uno stralcio del modello di distribuzione per uno dei segmenti di mercato esaminati è mostrato nella seguente Figura 44.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1			303	456	290	11	18	90	88	9	67	61	55	21	23	5	8	1	
2			6.33%	9.53%	6.06%	0.23%	0.38%	1.88%	1.84%	0.19%	1.40%	1.27%	1.15%	0.44%	0.48%	0.10%	0.17%	0.02%	
3	15-29	int	est	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2349	2350	2351	2352	2353	2354
4	2331	2.808984	2.808984	0.177799	0.267578	0.17017	0.006455	0.010562	0.052811	0.051638	0.005281	0.039315	0.035794	0.032274	0.012323	0.013496	0.002934	0.004694	0.000587
5	2332	0.826172	0.826172	0.052294	0.078699	0.05005	0.001898	0.003107	0.015533	0.015188	0.001553	0.011563	0.010528	0.009492	0.003624	0.003969	0.000863	0.001381	0.000173
6	2333	7.600781	7.600781	0.481102	0.724035	0.460461	0.017466	0.02858	0.142902	0.139726	0.01429	0.106382	0.096856	0.087329	0.033344	0.036519	0.007939	0.012702	0.001588
7	2334	0.330469	0.330469	0.020917	0.03148	0.02002	0.000759	0.001243	0.006213	0.006075	0.000621	0.004625	0.004211	0.003797	0.00145	0.001588	0.000345	0.000552	6.9E-05
8	2335	0.330469	0.330469	0.020917	0.03148	0.02002	0.000759	0.001243	0.006213	0.006075	0.000621	0.004625	0.004211	0.003797	0.00145	0.001588	0.000345	0.000552	6.9E-05
9	2336	0.826172	0.826172	0.052294	0.078699	0.05005	0.001898	0.003107	0.015533	0.015188	0.001553	0.011563	0.010528	0.009492	0.003624	0.003969	0.000863	0.001381	0.000173
10	2337	3.469922	3.469922	0.219634	0.330538	0.21021	0.007973	0.013048	0.065238	0.063788	0.006524	0.048566	0.044217	0.039867	0.015222	0.016672	0.003624	0.005799	0.000725
11	2338	1.487109	1.487109	0.094129	0.141659	0.09009	0.003417	0.005592	0.027959	0.027338	0.002796	0.020814	0.01895	0.017086	0.006524	0.007145	0.001553	0.002485	0.000311
12	2339	1.487109	1.487109	0.094129	0.141659	0.09009	0.003417	0.005592	0.027959	0.027338	0.002796	0.020814	0.01895	0.017086	0.006524	0.007145	0.001553	0.002485	0.000311
13	2340	2.148047	2.148047	0.135964	0.204619	0.13013	0.004936	0.008077	0.040385	0.039488	0.004039	0.030065	0.027372	0.02468	0.009423	0.010321	0.002244	0.00359	0.000449
14	2349	1.652344	1.652344	0.104587	0.157399	0.1001	0.003797	0.006213	0.031066	0.030375	0.003107	0.023127	0.021056	0.018985	0.007249	0.007939	0.001726	0.002761	0.000345
15	2350	0.991406	0.991406	0.062752	0.094439	0.06006	0.002278	0.003728	0.018639	0.018225	0.001864	0.013876	0.012633	0.011391	0.004349	0.004763	0.001036	0.001657	0.000207
16	2351	0.330469	0.330469	0.020917	0.03148	0.02002	0.000759	0.001243	0.006213	0.006075	0.000621	0.004625	0.004211	0.003797	0.00145	0.001588	0.000345	0.000552	6.9E-05
17	2352	0.330469	0.330469	0.020917	0.03148	0.02002	0.000759	0.001243	0.006213	0.006075	0.000621	0.004625	0.004211	0.003797	0.00145	0.001588	0.000345	0.000552	6.9E-05
18	2353	0.165234	0.165234	0.010459	0.01574	0.01001	0.00038	0.000621	0.003107	0.003038	0.000311	0.002313	0.002106	0.001898	0.000725	0.000794	0.000173	0.000276	3.45E-05
19	2354	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2355	0.165234	0.165234	0.010459	0.01574	0.01001	0.00038	0.000621	0.003107	0.003038	0.000311	0.002313	0.002106	0.001898	0.000725	0.000794	0.000173	0.000276	3.45E-05
21	2356	0.991406	0.991406	0.062752	0.094439	0.06006	0.002278	0.003728	0.018639	0.018225	0.001864	0.013876	0.012633	0.011391	0.004349	0.004763	0.001036	0.001657	0.000207
22	2357	2.478516	2.478516	0.156881	0.236098	0.15015	0.005695	0.009932	0.046598	0.045563	0.004466	0.03469	0.031583	0.028477	0.010873	0.011908	0.002589	0.004142	0.000518
23	2358	0.495703	0.495703	0.031376	0.04722	0.03003	0.001139	0.001864	0.009932	0.009113	0.000932	0.006938	0.006317	0.005695	0.002175	0.002382	0.000518	0.000828	0.000104
24	2359	1.982813	1.982813	0.125505	0.188879	0.12012	0.004556	0.007456	0.037279	0.03645	0.003728	0.027752	0.025267	0.022781	0.008698	0.009527	0.002071	0.003314	0.000414
25	2360	0.826172	0.826172	0.052294	0.078699	0.05005	0.001898	0.003107	0.015533	0.015188	0.001553	0.011563	0.010528	0.009492	0.003624	0.003969	0.000863	0.001381	0.000173
26	2361	0.330469	0.330469	0.020917	0.03148	0.02002	0.000759	0.001243	0.006213	0.006075	0.000621	0.004625	0.004211	0.003797	0.00145	0.001588	0.000345	0.000552	6.9E-05
27	2362	0.660938	0.660938	0.041835	0.06296	0.04004	0.001519	0.002485	0.012426	0.01215	0.001243	0.009251	0.008422	0.007594	0.002899	0.003176	0.00069	0.001105	0.000138
28	2363	0.165234	0.165234	0.010459	0.01574	0.01001	0.00038	0.000621	0.003107	0.003038	0.000311	0.002313	0.002106	0.001898	0.000725	0.000794	0.000173	0.000276	3.45E-05
29	2364	0.165234	0.165234	0.010459	0.01574	0.01001	0.00038	0.000621	0.003107	0.003038	0.000311	0.002313	0.002106	0.001898	0.000725	0.000794	0.000173	0.000276	3.45E-05
30	2365	0.330469	0.330469	0.020917	0.03148	0.02002	0.000759	0.001243	0.006213	0.006075	0.000621	0.004625	0.004211	0.003797	0.00145	0.001588	0.000345	0.000552	6.9E-05
31	2366	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	2367	0.330469	0.330469	0.020917	0.03148	0.02002	0.000759	0.001243	0.006213	0.006075	0.000621	0.004625	0.004211	0.003797	0.00145	0.001588	0.000345	0.000552	6.9E-05
33	2368	1.156641	1.156641	0.073211	0.110179	0.07007	0.002658	0.004349	0.021746	0.021263	0.002175	0.016189	0.014739	0.013289	0.005074	0.005557	0.001208	0.001933	0.000242
34	2369	0.495703	0.495703	0.031376	0.04722	0.03003	0.001139	0.001864	0.009932	0.009113	0.000932	0.006938	0.006317	0.005695	0.002175	0.002382	0.000518	0.000828	0.000104
35	2370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	2371	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	2372	0.330469	0.330469	0.020917	0.03148	0.02002	0.000759	0.001243	0.006213	0.006075	0.000621	0.004625	0.004211	0.003797	0.00145	0.001588	0.000345	0.000552	6.9E-05
38	2373	0.826172	0.826172	0.052294	0.078699	0.05005	0.001898	0.003107	0.015533	0.015188	0.001553	0.011563	0.010528	0.009492	0.003624	0.003969	0.000863	0.001381	0.000173
39	2374	0.165234	0.165234	0.010459	0.01574	0.01001	0.00038	0.000621	0.003107	0.003038	0.000311	0.002313	0.002106	0.001898	0.000725	0.000794	0.000173	0.000276	3.45E-05
40	2549	1.156641	1.156641	0.073211	0.110179	0.07007	0.002658	0.004349	0.021746	0.021263	0.002175	0.016189	0.014739	0.013289	0.005074	0.005557	0.001208	0.001933	0.000242
41	2553	0.495703	0.495703	0.031376	0.04722	0.03003	0.001139	0.001864	0.009932	0.009113	0.000932	0.006938	0.006317	0.005695	0.002175	0.002382	0.000518	0.000828	0.000104

Figura 44 – Stralcio del modello di distribuzione per il segmento di mercato dei laureati di sesso maschile con età tra 15 e 19 anni

Per risalire al modello di distribuzione degli spostamenti occasionali effettuati con il servizio DRT (da solo o integrato col TPL) si è dovuto applicare il modello di scelta modale, che permette di ricavare le probabilità di scelta del servizio DRT per ogni categoria socio-economica; tali percentuali saranno moltiplicate per le aliquote di spostamenti occasionali totali dedotte dal modello di distribuzione appena costruito e relative a tutti i segmenti di mercato studiati.

### 8.3.3. *La determinazione delle probabilità di scelta del servizio DRT*

In Figura 44 è mostrato un estratto della matrice degli spostamenti occasionali potenziali di sola andata emessi ed attratti dalle varie sezioni censuarie dell'area di studio, effettuati con qualsiasi modo di trasporto e con riferimento ad un dato segmento di mercato. Solo un'aliquota di questi, però, è effettuata con il DRT: è necessario, pertanto, risalire alla percentuale di scelta del DRT per le varie categorie socio-economiche analizzate e per ogni coppia OD. Per determinare queste percentuali viene in aiuto il modello di scelta modale precedentemente calibrato.

Ai fini di valutare la probabilità di scelta delle alternative modali "Piedi", "Moto", "Auto" e "DRT", è stato costruito su Microsoft Excel un foglio di calcolo che, in base ai coefficienti frutto della calibrazione, mostrati nella Tabella 21, e ai valori assegnati ai vari attributi di tempo, costo e trasbordo, fornisce i valori di utilità sistematica  $V_j$  associati a ciascuna alternativa modale. Attraverso, quindi, l'applicazione della (18), è stato possibile ottenere le probabilità di scelta modale cercate, il tutto per ogni coppia OD sia interna all'area di studio che relativa a spostamenti dall'interno dell'area in esame verso alcuni centroidi esterni.

Un esempio di una delle tabelle realizzate per una coppia OD dell'area di studio è mostrata nella seguente Figura 45, in cui è stata valutata la scelta modale effettuata da una persona di sesso femminile, con età di 37 anni (valore centrale della fascia d'età 30 – 44 anni) e con diploma di scuola media superiore. Come già spiegato nel paragrafo 8.2.1, il numero di auto possedute a persona e il possesso della patente sono stati considerati come invarianti, scegliendo un valore medio di 0,7 auto a persona e il possesso della patente per tutte le categorie socio-economiche.

	A	B	C	LG	LH	LI	LJ	LK	LL
1	Dim. Matrice					Tpark-m	Tpark-a	Trasbordo	
2	143*143					0	5	0	
3							Cpark-a		
4	Dmin	1.8		Stazione T. Natale			0		
5					2699				
6	Sesso	1	2331	Distanza	0.471325	km			
7	Età	37		Vpiedi	4	km/h			
8	Numero a	0.7							
9	Patente	1			Piedi	Moto	Auto	DRT	
10	Titolo di s	13		Tpiedi	7.069879				
11				Tmezzi motorizzati	0.942651	6.413976	45.90398		
12				Tbordo	0.942651	1.413976	10.41398		
13	Tattesa	10		Tattesa				10	
14	Taccesso	1.83		Taccesso				1.83	
15	Dfermata	0.122		Tparcheggio		0	5		
16				Ctot	0	0.25	0.5	1.5	
17	Ccarb-m	0.25		Ccarburan	0	0.25	0.5	0	
18	Ccarb-a	0.5		Cparchegg	0	0	0	0	
19	Cbiglietto	1.5		Cbiglietto	0	0	0	1.5	
20				Trasbordo	0	0	0	0	
21	Vpiedi	4		ASA moto		1			
22	Vmoto	30		ASA auto			1		
23	Vauto	20		ASA DRT				1	
24	VDRT	20							
25	Dtmin	6		V	-0.62706	-4.59636	2.211206	1.83417	
26	Dtmax	12		expV	0.53416	0.010088	9.12672	6.259936	15.9309
27	Dtmedio	9		%	3%	0%	57%	39%	100%
28				%finale	100%	0%	0%	0%	

**Figura 45** – Esempio di tabella per il calcolo delle probabilità di scelta modale per la coppia OD “2331-2699” per una data categoria socio-economica

In essa sono stati posti come dati di input la distanza tra i centroidi misurata sulla rete stradale (in figura la voce “Distanza”, estratta tramite un algoritmo presente sul software QGIS), un tempo di attesa del servizio di 10 minuti, un costo del biglietto del servizio DRT pari a 1,5€, una velocità media a piedi di 4 km/h, in moto di 30 km/h e in auto e col DRT pari a 20 km/h. Il costo del carburante, invece, è stato posto pari a 0,25 € per la moto e 0,5 € per l’auto nel caso di coppie OD interne all’area di studio, mentre per destinazioni esterne, per via della maggiore lunghezza del tragitto, tali costi sono stati aumentati rispettivamente a 1€ e 2€.

Per ogni zona di origine è stata, inoltre, misurata su rete la distanza più breve per l’accesso a piedi alla fermata TPL più vicina (in figura “Dfermata”), stimando quindi il relativo tempo di accesso; per la zona di destinazione, invece, sono stati stimati il tempo di parcheggio in auto e il costo del parcheggio, mentre il tempo e costo del parcheggio per la moto sono sempre stati considerati nulli. È stato, inoltre, variato il parametro “Trasbordo” a seconda che si debba completare il tragitto prendendo, oltre al DRT, il treno alla stazione ferroviaria “Palermo Tommaso Natale” oppure la linea autobus 806 presso l’hotel Palace di Mondello, come già spiegato nel paragrafo 5.1. È stato,

infine, stimato un perditempo medio col DRT (in figura indicato con “Dtmedio”) di 9 minuti dovuto ad un’eventuale deviazione di percorso del mezzo del servizio DRT.

Sulla base dei valori riportati nelle tabelle così costruite è stato possibile risalire alle utilità sistematiche  $V_j$  necessarie per calcolare le probabilità di scelta modale ricercate per le varie coppie OD. Le espressioni delle utilità sistematiche, in base ai risultati della calibrazione e della validazione di Tabella 21 del modello di scelta modale, sono le seguenti:

$$V_{piedi} = \beta_{piedi} \cdot t_{piedi} \quad (26)$$

$$V_{moto} = \beta_{mezzi\ motorizzati} \cdot t_{moto} + \beta_{costo} \cdot C_{tot\ moto} + ASA_{moto} + \beta_{sesso\ moto} \cdot Sesso + \beta_{età\ moto} \cdot Età + \beta_{titolo\ di\ studio\ moto} \cdot Titolo\ di\ studio \quad (27)$$

$$V_{auto} = \beta_{mezzi\ motorizzati} \cdot t_{auto} + \beta_{costo} \cdot C_{tot\ auto} + ASA_{auto} + \beta_{numero\ auto\ persona\ auto} \cdot Numero\ auto\ persona + \beta_{età\ auto} \cdot Età + \beta_{titolo\ di\ studio\ auto} \cdot Titolo\ di\ studio \quad (28)$$

$$V_{DRT} = \beta_{mezzi\ motorizzati} \cdot t_{DRT} + \beta_{costi} \cdot C_{tot\ DRT} + ASA_{DRT} + \beta_{numero\ auto\ persona\ DRT} \cdot Numero\ auto\ persona + \beta_{patente\ DRT} \cdot Patente + \beta_{età\ DRT} \cdot Età + \beta_{titolo\ di\ studio\ DRT} \cdot Titolo\ di\ studio \quad (29)$$

da cui, con l’applicazione dell’espressione del modello Logit Multinomiale, le probabilità di scelta modale cercate.

È stata introdotta anche una riga “% finale” per il fatto che si è voluta porre una distanza limite di 1,8 km entro la quale le persone compiono lo spostamento dalla propria origine verso la destinazione desiderata soltanto a piedi (per cui la percentuale di scelta modale associata alla modalità “Piedi” è del 100%). Prendendo in esame l’esempio di Figura 45, in cui si ha una distanza su rete tra i centroidi 2331 e 2699 inferiore alla soglia imposta di 1,8 km, le probabilità di scelta modale ricavate dal modello Logit Multinomiale sono state forzatamente modificate, imponendo quindi che l’unica modalità di spostamento ammessa per compiere quel tragitto sia la modalità pedonale (probabilità di scelta, quindi, pari a 100%, con le altre tre alternative – moto, auto e DRT – a 0%).

Sulla base delle considerazioni fin qui descritte, si sono applicate queste percentuali alle matrici OD di sola andata delle varie categorie socio-economiche, in modo tale da giungere alla determinazione della matrice OD degli spostamenti occasionali di andata effettuati con il servizio DRT proposto ai residenti dell’area di studio.

#### *8.3.4. La costruzione della matrice OD degli spostamenti occasionali effettuati con il DRT*

Dall'applicazione del modello di scelta modale per tutte le coppie OD e per tutti i segmenti di mercato è stato possibile risalire alle 40 matrici OD degli spostamenti occasionali potenziali di sola andata effettuati dalla collettività residente all'interno dell'area di studio di Partanna Mondello e dintorni. Si precisa che si fa riferimento alla sola matrice OD di andata in quanto si sono adottati gli indici di mobilità occasionale ridotti  $MI_r^*$  calcolati in Tabella 22 e successivamente dimezzati, come spiegato nel paragrafo 8.3.1. La matrice OD degli spostamenti occasionali di ritorno dei residenti sarà, ovviamente, la trasposta di quella di andata, ipotizzando che ogni spostamento occasionale emesso dai centroidi dell'area di studio preveda sempre il corrispettivo ritorno a casa dei residenti.

Sulla base delle probabilità di scelta ricavate secondo la metodologia descritta al paragrafo 8.3.3, comprese quelle ottenute in virtù del vincolo di distanza sulla rete stradale di 1,8 km (al di sotto del quale la collettività si sposta solamente a piedi), si sono dapprima costruite le 40 matrici OD per ciascuno dei segmenti di mercato considerati; dalla loro successiva somma si è, infine, ottenuta la matrice OD di tutti gli spostamenti occasionali di andata effettuati dall'intera popolazione attiva dell'area di studio a bordo dei mezzi del servizio condiviso a chiamata proposto alla collettività. Si mostra nella seguente Figura 46 uno stralcio della matrice OD così ottenuta.

La modellazione della domanda di trasporto per la progettazione ottimale di servizi innovativi in area a domanda debole

Alessandro Emilio Capodici

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	TOTALE DRT	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2349	2350	2351	2352	2353	2354
2	2331	0	0	0	0	0.2555217	0	0	0	0	0	0.8190738	0.3699641	0.4204475	0.0976775	0.1246854	0.0155398
3	2332	0	0	0	0	0.0562992	0	0	0	0	0	0.1802469	0.0814405	0.0925362	0.021457	0.0274802	0.003424
4	2333	0	0	0	0	0	2.6910868	0	0	0	1.7385139	1.5579257	0.7196503	0.8205953	0.1909091	0.2405308	0.0299431
5	2334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02783	0.0315989	0.0073433	0.0093976	0.0011717
6	2335	0.7376278	1.1039435	0	0	0	0.2384641	0	0.0226407	0.1650394	0.1543315	0.1298625	0.0616117	0.0702383	0.0162197	0.0206499	0.0025671
7	2336	0	0	1.0423398	0	0.0652967	0	0	0	0	0	0.2073285	0.0928299	0.1054792	0.0246167	0.031244	0.0038976
8	2337	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7316453	0.3339466	0.3797743	0.0879213	0.1125235	0.0140109
9	2338	0	0	0	0	0.0997982	0	0	0	0	0	0.3159457	0.1410799	0.1603186	0.0374217	0.0474729	0.0059222
10	2339	0	0	0	0	0.1169402	0	0	0	0	0	0.3741439	0.1691682	0.1923228	0.0447022	0.0569334	0.0070978
11	2340	0	2.8052456	0	0.1739008	0	0	0	0	0	0	0.5500758	0.2460593	0.279888	0.0655334	0.0825138	0.0102951
12	2349	2.3818614	3.5749112	2.2293288	0	0.130686	0.7492886	0.6720528	0.071879	0.5296989	0.4885195	0	0.1752818	0.2025708	0	0.0586925	0.0071921
13	2350	2.2769135	3.4245101	2.1671813	0.0783239	0.1287313	0.7052456	0.6564475	0.067859	0.5041155	0.4601771	0.363496	0	0	0	0	0
14	2351	1.3927111	2.0947011	1.3257759	0.0479076	0.0787415	0.4313698	0.4015922	0.0415013	0.3083358	0.2814283	0.2224177	0	0	0	0	0
15	2352	0.4255044	0.6396054	0.4031284	0.0144713	0.0238513	0.1323557	0.1219451	0.0127228	0.0943196	0.0863258	0	0	0	0	0	0
16	2353	0.4347253	0.6538395	0.4138173	0.0149541	0.0245755	0.1346919	0.1253518	0.0129556	0.0962477	0.0878561	0.0695708	0	0	0	0	0
17	2354	0.174783	0.2628736	0.1663368	0.0060119	0.0098832	0.0541109	0.0503807	0.0052092	0.038698	0.0353253	0.0277874	0	0	0	0	0
18	2355	0.3427053	0.5151832	0.3248358	0.0116378	0.0191813	0.1067572	0.098269	0.0102415	0.0759524	0.069482	0	0.0242265	0.0286607	0.0064678	0	0
19	2356	1.8447215	2.7671549	1.719031	0	0.1004709	0.5828196	0.5176085	0.0558684	0.4107522	0.3799579	0	0.135296	0.1568045	0	0.0453049	0
20	2357	3.7974363	5.6955415	3.5344732	0	0.2061419	1.2020248	1.0638427	0.1150877	0.845779	0.7827834	0	0.2745279	0.3185645	0	0.0915134	0
21	2358	0.5543522	0.8333646	0.5255205	0.0188885	0.0309211	0.1721613	0.1589846	0.0165644	0.1228538	0.1123769	0	0.0398665	0.0458446	0	0.0134145	0
22	2359	2.5208362	3.7844769	2.3639948	0.083698	0.1387976	0.7910983	0.7130066	0.0759443	0.5602839	0.5159793	0	0.1805066	0.2087563	0	0.060402	0
23	2360	1.3048993	1.960349	1.2304188	0.0438533	0.0724936	0.4077566	0.3716822	0.0391514	0.2896069	0.2658069	0	0	0.103062	0	0	0
24	2361	0.2555595	0.3843003	0.2428823	0.0087467	0.0143916	0.0793361	0.0735352	0.0076234	0.0566011	0.0517047	0	0	0	0	0	0
25	2362	1.0634889	1.5984596	1.0067619	0.0360668	0.0594832	0.3312232	0.3044638	0.0318151	0.2357829	0.2158881	0	0	0	0	0	0
26	2363	0.2918447	0.4388075	0.2770376	0.0099618	0.0164079	0.0906055	0.0838426	0.0087118	0.0646546	0.0590993	0	0	0	0	0	0
27	2364	0.0903756	0.1359833	0.0863364	0.0031429	0.0051505	0.0278799	0.0261819	0.0026873	0.0199921	0.0182165	0.0152244	0	0	0	0	0
28	2365	0.7229281	1.0867715	0.685248	0.0245706	0.0396069	0.2250725	0.2072994	0.0216033	0.1602177	0.146564	0.1134236	0.0465028	0.0534117	0	0.0160208	0.001981
29	2366	0.1163054	0.1744922	0.1084602	0.003802	0.0060814	0.0367804	0.0326581	0.0035164	0.0258851	0.0239044	0.0163845	0	0.0077533	0	0	0
30	2367	0.3925693	0.5903955	0.3734309	0.0134857	0.0216746	0.1215963	0.1130887	0.011703	0.0869257	0.0793653	0.0636387	0.027235	0.0312396	0	0.0091409	0
31	2368	1.6384433	2.4603166	1.5393535	0	0	0.5144925	0.464625	0.0493003	0.3639933	0.3348913	0.2847239	0.1270607	0.1445353	0.0333053	0.0427503	0.005319
32	2369	0.3801802	0.5718018	0.361952	0.0130757	0.0210686	0.1180009	0.109654	0.0113312	0.0841729	0.0768428	0.0643062	0.0275538	0.031399	0.0072472	0.0093025	0.0011528
33	2370	0.0300292	0.0451851	0.0286975	0.0010428	0.0016943	0.009286	0.0087037	0.0008927	0.0066423	0.0060514	0.0051494	0.0021655	0.0024586	0.0005819	0.0007371	9.2359E-05
34	2371	0.1600658	0.2407599	0.1524562	0.0055107	0.0088442	0.0495853	0.0461878	0.0047678	0.0354318	0.0323293	0.0268596	0.0112269	0.0127295	0.0029418	0.0038455	0.0004777
35	2372	0.3706817	0.5575994	0.3533082	0.0128051	0.0206447	0.1146546	0.1070653	0.0110377	0.0820431	0.0748403	0.0621252	0.0250494	0.0283412	0.0067545	0.008647	0.0010113
36	2373	1.6089467	2.4211865	1.5387472	0.0560456	0.091393	0.4968264	0.4668091	0.0478109	0.3558322	0.3240728	0.277679	0.1168751	0.1325618	0.03145	0.039699	0.005002
37	2374	0.7040602	1.059523	0.6735409	0.0245812	0.040135	0.2170428	0.2043522	0.0209181	0.1556988	0.1417835	0.1221775	0.0516002	0.0584609	0.0137978	0.0175572	0.0022072
38	2349	0	0	1.7713313	0.0637597	0.1102515	0	0	0	0	0	0	0.3482143	0.1549576	0.1759627	0.0410621	0.0522348
39	2353	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1100649	0.0496603	0.0564751	0.0131856	0.0166772

Figura 46 -Stralcio della matrice OD finale degli spostamenti occasionali potenziali totali di andata effettuati dai residenti dell'area di studio con il servizio DRT ipotizzato

Come sarà discusso nel successivo Capitolo 9, la matrice così determinata è stata in seguito importata nella matrice di origine-destinazione – assieme alla rete stradale e all'insieme delle fermate del servizio costruiti su QGIS – all'interno del software di macrosimulazione VISUM. I risultati delle simulazioni hanno permesso di effettuare il dimensionamento della flotta fornendo alcuni output tra cui il numero di mezzi necessari per soddisfare la domanda potenziale di spostamenti generati nell'area di studio e i chilometri percorsi dall'intera flotta di veicoli di data capacità.

La costruzione della matrice OD degli spostamenti occasionali complessivi è stata ripetuta anche per altri tre valori della tariffa del servizio DRT (2,00 €, 2,50 € e 3,00 €), in modo da poter valutare la variazione della domanda di mobilità correlata a diversi prezzi del biglietto. Anche queste matrici di spostamenti sono state importate all'interno del software VISUM, in modo da poter procedere anche in questo caso alla simulazione dell'interazione tra domanda e offerta e ottenere output relativi al dimensionamento della flotta del servizio (i.e. numero di mezzi necessari per soddisfare la domanda). Sono stati operati, inoltre, dei confronti tra i quattro scenari ipotizzati attraverso delle opportune analisi di scenario.



## **9. Realizzazione del modello di macrosimulazione in VISUM e dimensionamento del servizio DRT**

La costruzione delle matrici OD degli spostamenti occasionali potenziali che i residenti sarebbero disposti ad effettuare sia all'interno dell'area di studio che verso alcune destinazioni esterne ad essa, effettuata secondo la procedura mostrata al precedente Capitolo 8, costituisce la base per il successivo step di modellizzazione e progettazione del servizio DRT. In questa fase della metodologia si è proceduto alla costruzione di un modello di macrosimulazione implementato in VISUM, al fine di simulare l'interazione tra la domanda e l'offerta ed eseguire delle elaborazioni e analisi per valutare le prestazioni del servizio e ottimizzare la flotta sulla base della domanda.

Nei successivi paragrafi si esporrà la metodologia riferita alla fase di costruzione del modello del servizio DRT (Fase 5 del flowchart metodologico riportato nel Capitolo 3), che richiede la creazione delle richieste di viaggio e dei percorsi, e alla fase di simulazione del servizio, con le analisi di scenario per valutare le prestazioni raggiunte dal servizio proposto. Verrà discussa, infine, l'applicazione della procedura descritta al caso studio affrontato.

### **9.1. La costruzione del modello del servizio DRT**

Questa fase della procedura multi-step adottata consiste nella ricostruzione del modello del servizio di DRT, che è caratterizzata da due procedure: la creazione delle richieste di viaggio e la creazione dei percorsi.

La prima procedura prevede la disaggregazione della domanda sui nodi della rete per generare le richieste di viaggio. Come indicato nel Capitolo 3, e più specificamente nella fase 4 della metodologia, la domanda associata al servizio DRT è rappresentata all'interno di una matrice zonale "*Zone Based*" a cui è associato il modello macroscopico. Per simulare il servizio è necessario associare questa domanda ad un modello microscopico. Il passaggio da un modello macroscopico "*Zone Based*" ad un modello microscopico "*Node and Time Based*" richiede la disaggregazione della domanda

da zone a nodi. In questo modo, ogni viaggio avrà un nodo di origine e un nodo di destinazione. Il numero di spostamenti associato al centroide di una zona, pertanto, viene ripartito sui nodi ricadenti all'interno della zona stessa, in maniera equamente distribuita e casuale. È stata effettuata, tuttavia, un'analisi e una successiva eliminazione dei nodi "isolati", cioè quelli per i quali il vincolo di tempo di percorrenza a piedi non era accettabile, al fine di evitare di assegnare domanda a questi nodi.

L'attenzione è stata posta anche per gli spostamenti caratterizzati da una distanza tale da essere più conveniente spostarsi a piedi piuttosto che recarsi alle fermate del DRT. Questo, infatti, può generare la situazione per cui ad un utente venga assegnato uno stesso nodo sia come fermata di origine che di destinazione. Pertanto, sono stati esclusi dalla matrice di assegnazione.

Una volta disaggregata la domanda, si procede con la creazione dell'elenco delle richieste di viaggio che verranno evase durante la simulazione del servizio. Per la generazione delle richieste di viaggio sarà necessario definire i seguenti parametri di input:

- Durata del servizio (intervallo di tempo di operatività del servizio nell'arco della giornata);
- Distribuzione oraria delle richieste durante il servizio;
- Tasso di aggregazione delle richieste di viaggio;
- Tempo di pre-booking;
- Tempo massimo di attesa.

Dopo la definizione di questi parametri sarà possibile generare l'elenco delle richieste aventi le caratteristiche desiderate da associare al servizio. Nel dettaglio, ad ogni spostamento sarà associata una richiesta di viaggio avente caratteristiche definite dai parametri scelti a monte della procedura. Il numero di richieste potrà essere minore o uguale al numero degli spostamenti: sarà uguale nel caso in cui non sia prevista l'aggregazione delle richieste e minore nel caso contrario. Per ogni richiesta saranno individuati i nodi di origine e di destinazione dello spostamento, l'orario in cui viene effettuata la richiesta, l'orario previsto per il prelievo e il numero totale di passeggeri (in caso di passeggeri che viaggiano insieme).

Una volta definito l'elenco delle richieste di viaggio, sarà necessario pianificare il servizio operativo per soddisfare tutte le richieste. Ciò avviene attraverso una

procedura di “Dispatcher”, applicata in maniera iterativa al fine di dimensionare la flotta in grado di soddisfare la domanda di mobilità assegnata. Tale procedura è mostrata nella seguente Figura 47.

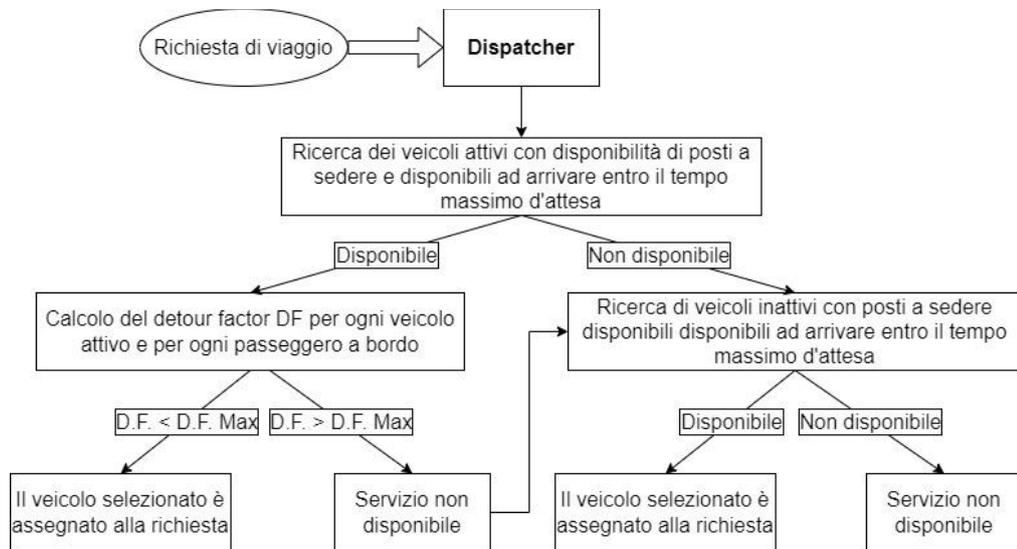


Figura 47 – Diagramma di flusso della procedura di “Dispatcher”

La procedura si basa sull’attribuzione della richiesta di effettuare la corsa al veicolo più vicino disponibile ad arrivare entro il tempo massimo di attesa, definito per ogni richiesta. Durante la procedura, per agevolare la condivisione del veicolo, viene sempre data priorità ai veicoli “attivi”, cioè ai veicoli che stanno già circolando con passeggeri a bordo.

Per ogni veicolo disponibile vengono calcolati i fattori di deviazione (“*Detour Factor*” – *DF*) associati rispettivamente a ciascun passeggero a bordo e al passeggero che ha effettuato la richiesta. Il *DF* è un fattore adimensionale che viene moltiplicato per l’“*Ideal Travel Time*” (*ITT*), che rappresenta il tempo necessario a compiere lo spostamento tra origine e destinazione, considerando il percorso più breve e in assenza di alcuna sosta o fermata. Tramite la seguente moltiplicazione si ottiene il “*Detour Time*” (*DT*), che costituisce la deviazione temporale accettata dall’utente per la condivisione del mezzo, cioè il tempo in più che lo stesso è disposto ad accettare per compiere lo spostamento.

$$DT = (DF - 1) \cdot ITT \quad (30)$$

Se i valori del DF non superano il DF massimo accettato, il veicolo procederà ad effettuare la deviazione del percorso programmato, soddisfacendo la richiesta di viaggio ricevuta. Se, invece, il DF massimo viene superato, verrà effettuata una ricerca tra i veicoli “inattivi”, cioè i veicoli che in quel momento sono fermi senza passeggeri a bordo, ma che sono comunque disponibili ad erogare il servizio. Se uno dei veicoli è in grado di soddisfare la richiesta di viaggio rispettando il valore del massimo DF, allora la richiesta sarà soddisfatta, altrimenti rimarrà insoddisfatta.

È necessario, tuttavia, puntualizzare che se il DF fosse maggiore del valore massimo del fattore di deviazione (“*Max DF*”), allora la richiesta sarà evasa se il DT dovesse essere inferiore o uguale ad un valore di detour time sempre accettato, definito nel software come “*All acc DT*” (“*Always accepted detour time*”); viceversa, se il DF dovesse essere minore del Max DF, la richiesta sarà rigettata solo se il DT dovesse superare il valore massimo del detour time (“*Max DT*”).

La procedura di “*Dispatcher*” per servire le richieste singole degli utenti in base all’ordine con il quale sono state generate dipende dai seguenti ulteriori parametri di input, mostrati in Tabella 25:

**Tabella 25** – Parametri di input per la procedura di “Dispatcher”

<b>Parametro INPUT</b>	<b>Descrizione</b>
I1 – Matrice DRT	Numero di richieste di spostamento con il DRT [pass]
I2 – Mezzi max	Numero massimo di mezzi utilizzati per esercire il servizio DRT [mezzi]
I3 – Posti	Numero di posti del mezzo utilizzato per esercire il servizio DRT [pass]
I4 – Max DF	Massimo fattore di incremento (Detour Factor) dovuto alla condivisione del mezzo e definito come il rapporto tra il tempo di viaggio con la deviazione dovuto alla condivisione e il tempo di viaggio diretto [adimensionale]
I5 – Max DT	Massimo incremento di tempo (Detour Time) dovuto alla condivisione del mezzo e alla deviazione di percorso [min,sec]
I6 – All acc DT	Valore del Detour Time sempre accettato [min,sec]
I7 – Max wait	Tempo massimo di attesa alla fermata [min,sec]
I8 – Max walk	Tempo massimo a piedi per percorrere la distanza tra origine/destinazione e la fermata (PUDO) [min,sec]
I9 – Time boarding	Tempo perso per le operazioni di trasbordo di ogni passeggero
I10 – V ped	Velocità di percorrenza associata al pedone [km/h]

In funzione di questi parametri, pertanto, è possibile definire la formulazione del tempo massimo di arrivo (“*Maximum arrival time*”) che rappresenta la massima durata temporale per effettuare lo spostamento completo considerando la condivisione del mezzo:

*Maximum arrival time*

$$= \text{Earliest departure time} + ITT + \min(\max((DF - 1) \cdot ITT, \text{Always accepted detour time}), \text{Maximum detour time}) \quad (31)$$

## 9.2. La fase delle simulazioni e delle analisi di scenario

L’ultimo passo è rappresentato dalla simulazione del servizio tramite l’implementazione del modello di macrosimulazione. Sono state eseguite varie simulazioni variando la domanda di spostamento associata al DRT per differenti valori della tariffa. Le analisi di scenario attraverso indicatori (*Key Performance Indicators – KPIs*) e le

analisi comparative hanno permesso di valutare le prestazioni del servizio e, quindi, di ottimizzare la flotta sulla base della domanda.

I parametri di output ottenuti mediante le simulazioni su VISUM sono riassunti nella seguente Tabella 26:

**Tabella 26** – Parametri di output ottenuti dalle simulazioni

<b>Parametro OUTPUT</b>	<b>Descrizione</b>
P1 – Richieste DRT	Numero di richieste evase con il DRT, poiché più conveniente rispetto al tsys walk [pass]
P2 – Experience DF	Valore del Detour Factor sperimentato dagli utenti realmente
P3 – T wait	Tempo medio di attesa alla fermata DRT [min,sec]
P4 – T O/Pudo	Tempo medio a piedi per raggiungere dall'origine il PUDO [min,sec]
P5 – T Pudo/D	Tempo medio a piedi per raggiungere dal PUDO la destinazione [min,sec]
P6 – On board DT	Valore del Detour Time considerando il tempo a bordo del veicolo [min, sec]
P7 – Mezzi	Numero di mezzi utilizzati per esercire il servizio DRT [mezzi]
P8 – V DRT	Velocità media di percorrenza del DRT [km/h]
P9 – Km all	Numero di chilometri effettuati da tutti i mezzi utilizzati [km]
P10 – Pass all	Numero medio di passeggeri serviti per ogni mezzo durante l'intero orario di servizio [pass]

### **9.3. Le analisi comparative tra gli scenari e la valutazione dei risultati**

Grazie alla metodologia appena descritta, è stato possibile analizzare la variabilità dei parametri di output di Tabella 26 per diversi scenari, partendo dalle matrici OD precedentemente costruite, utilizzate come input per la macrosimulazione sul software VISUM. La variabilità degli output è stata analizzata, in particolare, al variare della domanda di spostamento associata al servizio DRT, al fine di eseguire delle analisi comparative e valutare l'impatto di determinati parametri sulle prestazioni del servizio.

Sono stati simulati, quindi, quattro differenti scenari, considerando diverse matrici di domanda al variare della tariffa associata al servizio DRT. Come già descritto nelle precedenti sezioni, è stata stimata la domanda di spostamento considerando una

differente disponibilità a pagare da parte degli utenti per l'utilizzo del sistema DRT. A partire dal prezzo del biglietto di 1,50 €, e per step incrementali di 50 centesimi, sono state ricavate quattro differenti matrici OD rispettivamente per le seguenti tariffe:

- Matrice 1: tariffa di 1,50€ con un totale di spostamenti pari a 1919;
- Matrice 2: tariffa di 2,00€ con un totale di spostamenti pari a 1785;
- Matrice 3: tariffa di 2,50€ con un totale di spostamenti pari a 1659;
- Matrice 4: tariffa di 3,00€ con un totale di spostamenti pari a 1537.

Queste matrici sono state utilizzate come input di domanda nel modello di macrosimulazione che è stato implementato tramite il software VISUM. Nella procedura di disaggregazione, la domanda è stata equamente ripartita dalle zone ai nodi. Nello specifico, la domanda è stata ripartita su 1012 dei 1800 nodi ricadenti nell'area.

Sono state effettuate delle simulazioni per il modello DRT implementato considerando tutti e quattro gli scenari. Ciò ha permesso di effettuare delle procedure di assegnazione della domanda alla rete DRT. Queste simulazioni, oltre a fornire i parametri di output definiti nel capitolo relativo alla metodologia, hanno permesso di osservare il carico sulla rete derivante dalle assegnazioni delle quattro matrici OD. Nel dettaglio, sono stati analizzati sia gli spostamenti a bordo del DRT (*DRT\_vol*) che gli spostamenti a piedi per raggiungere sia le fermate che i nodi di destinazione (*Volume Tsys [Pers]*). Nella Figura 48 si riportano i risultati relativi all'assegnazione della matrice dello scenario 1.



Figura 48 – Risultati delle assegnazioni per la simulazione associata alla matrice 1

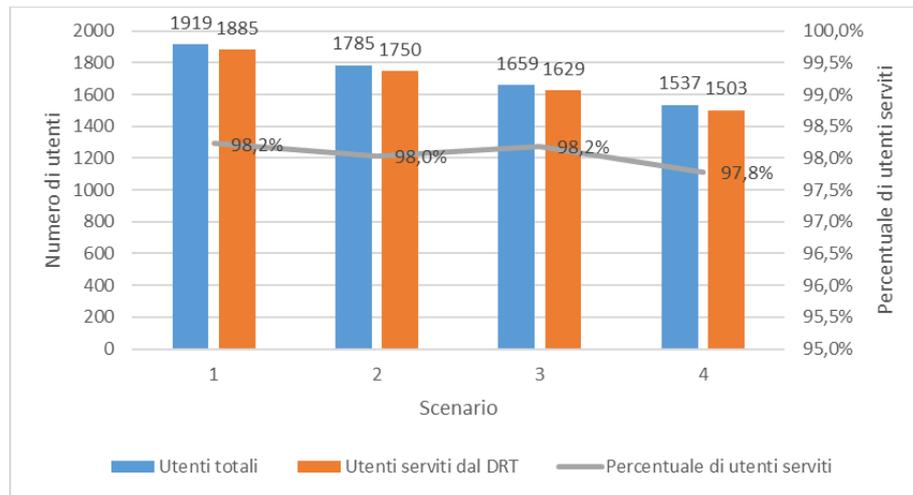
Per quanto riguarda gli altri parametri di input della simulazione, sono stati mantenuti costanti per i quattro scenari simulati. La seguente Tabella 27 sintetizza i risultati ottenuti per i quattro scenari.

**Tabella 27** – Risultati delle simulazioni per gli scenari analizzati

Parametro	Matrice 1	Matrice 2	Matrice 3	Matrice 4
P1 – Richieste DRT [pass]	1885	1750	1629	1503
P2 – Experienced DF	2,74	2,79	2,79	2,72
P3 – T wait [min, sec]	5,44	5,39	5,37	5,37
P4 – T O/Pudo [min, sec]	5,10	5,06	5,09	5,10
P5 – T Pudo/D [min, sec]	3,36	3,42	3,49	3,52
P6 – On bord DT [min, sec]	10,21	10,21	10,46	10,04
P7 – Mezzi [mezzi]	32	30	30	28
P8 – V DRT [km]	21,88	22,08	22,06	22,00
P9 – Km all [km]	2534	2388	2218	2023
P10 – Pass all [pass]	59	58	54	54

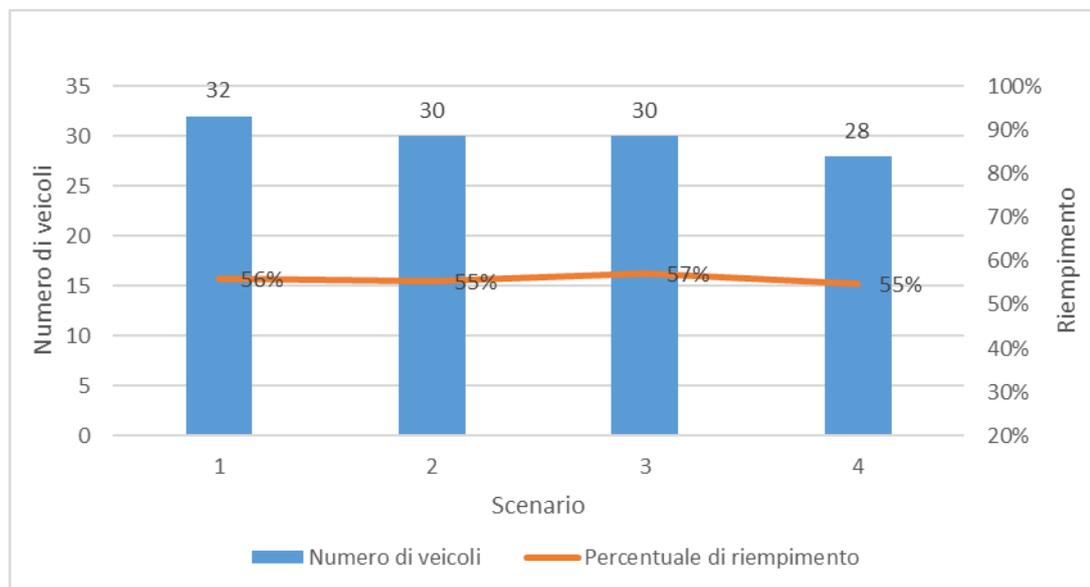
Sono state eseguite, quindi, delle analisi comparative al fine di poter individuare l'impatto dell'utilizzo di nuovi mezzi sulle prestazioni del servizio DRT.

La Figura 49 mostra l'andamento della percentuale dei passeggeri serviti con il DRT nei quattro scenari considerati. Si nota che il numero dei passeggeri per i quali risulta essere conveniente l'utilizzo del sistema DRT è sempre superiore al 97,8% del totale delle richieste di viaggio: ciò accade poiché, durante la procedura di ricostruzione della domanda, sono state escluse le coppie OD associate a spostamenti inferiori a 1,8 km, secondo il vincolo discusso al paragrafo 8.3.3. Inoltre, nella procedura di ripartizione della domanda dalla matrice OD zonale alla matrice OD nodale, sono stati esclusi i nodi "isolati" della rete, in corrispondenza dei quali non si ipotizzava una generazione di domanda di spostamento.



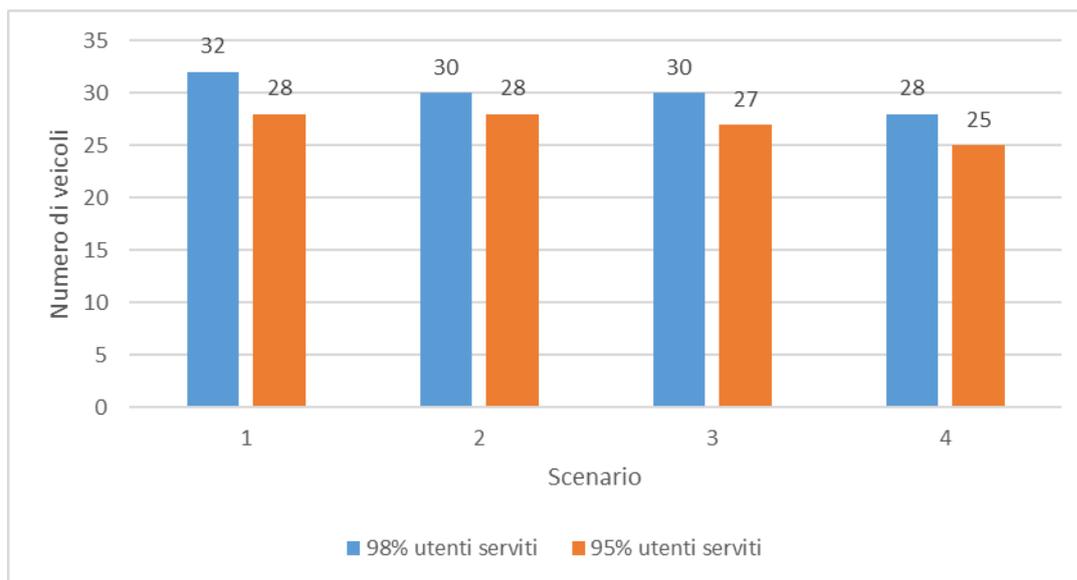
**Figura 49** – Confronto tra richieste evase e percentuale di passeggeri serviti con il DRT

Analizzando i parametri operativi associati al servizio, è evidente che un incremento del numero di mezzi per effettuare il servizio non comporta un aumento della percentuale di utenza servita, e anche il coefficiente di riempimento dei mezzi si attesta intorno ad un valore medio del 56% (come mostrato in Figura 50). Riducendo il numero di mezzi disponibili per svolgere il servizio non si ottiene un aumento del fattore di riempimento dei mezzi ma, piuttosto, una diminuzione del numero di utenti serviti. Ciò è dovuto alla distribuzione della domanda su una vasta area e alla generazione di richieste di viaggio individuali.



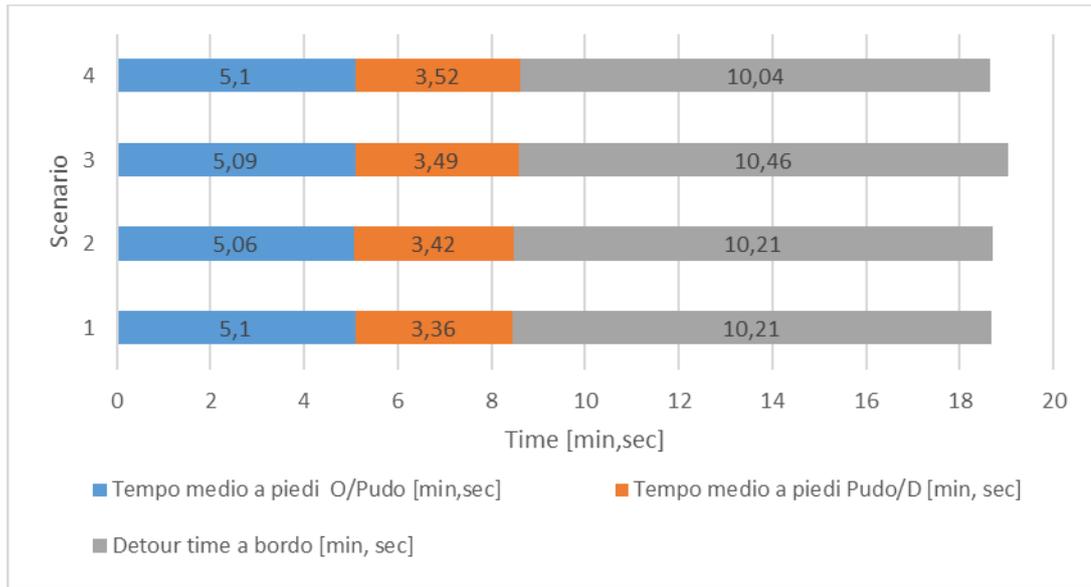
**Figura 50** – Confronto tra il numero di mezzi simulati e il loro coefficiente di riempimento

Dalla Figura 51 si nota, invece, che riducendo la percentuale di richieste soddisfatte dal 98% al 95% è possibile ottimizzare il servizio riducendo il numero di veicoli da un minimo pari al 7% nello scenario 2 fino ad un massimo pari al 12% nello scenario 1 (10% nello scenario 3 e 11% nello scenario 4). Questo risultato è importante in un'ottica di ottimizzazione del servizio: pur mantenendo, infatti, molto alta la percentuale di richieste soddisfatte (95%), si ottiene una significativa riduzione del numero dei mezzi, quindi a vantaggio dei fornitori del servizio.



**Figura 51** – Ottimizzazione del servizio DRT

Analizzando, infine, i parametri associati all'esperienza dell'utente, in Figura 52 sono messi a confronto i risultati ottenuti per i quattro scenari relativi alla variabile "tempo". Si nota che, considerando la somma del tempo impiegato per raggiungere la fermata dal nodo di origine, l'incremento del tempo a bordo dovuto alla condivisione del mezzo e il tempo necessario per raggiungere la destinazione dopo essere scesi dal DRT, tale valore si mantiene pressoché costante nei quattro scenari analizzati. Ciò denota che il servizio DRT mantiene delle performance costanti al variare della domanda e del numero di mezzi.



**Figura 52** – Confronto tra i tempi di viaggio negli scenari analizzati



## 10. Analisi dei costi e tariffa ottimale

Le analisi fin qui condotte hanno previsto l'adozione come tariffa fissa del servizio DRT proposto per la collettività un costo del biglietto pari a 1,50€. Questo costo, tuttavia, potrebbe non essere quello maggiormente conveniente per l'azienda di trasporto che gestirebbe il servizio nell'area di studio. Vigono, infatti, altre voci di costo che, se tenute in considerazione in un'analisi benefici-costi, potrebbero mostrare che la tariffa di 1,50€ finora pensata non sia in grado di garantire quel ritorno economico necessario per sostenere finanziariamente il servizio a chiamata pensato per i residenti. È necessario, quindi, trovare uno strumento matematico che permetta di individuare, tra diverse tariffe possibili, quale sia la più conveniente per l'azienda senza generare al contempo un malcontento nella popolazione, evitando quindi che possa orientarsi verso altre modalità di trasporto diverse da quella che si vuole introdurre nei quartieri periferici esaminati.

A tal scopo, perciò, è stato implementato un modello di ottimizzazione *what-to*, basato sui risultati forniti dal modello di domanda calibrato, che determinasse la tariffa ottimale del servizio, tenendo conto non soltanto di aspetti meramente finanziari come gli incassi e i costi di gestione dell'azienda, ma anche della soddisfazione dell'utenza e della riduzione delle esternalità negative. L'individuazione della tariffa ottimale, in particolare, è frutto della massimizzazione di una funzione obiettivo così definita:

$$\theta^* = \underset{\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}}{\operatorname{argmax}} f(\theta) = \Delta Soddifazione_{utenti} + \Delta Incassi_{DRT} - \Delta Costi_{operativi_{DRT}} + \Delta Esternalità \quad (32)$$

in cui  $\theta^*$  è il valore della tariffa che massimizza la funzione obiettivo. In essa compaiono i seguenti termini:

- $\Delta Soddifazione_{utenti}$ , cioè la variazione della soddisfazione percepita dagli utenti che utilizzerebbero in futuro il DRT al variare della tariffa del servizio. Essa è espressa come prodotto della domanda totale per la differenza del valore di soddisfazione tra lo scenario di progetto e quello iniziale, e successivamente divisa per il valore assoluto del coefficiente dell'attributo di costo, ottenuto dalla calibrazione del modello di scelta modale. La soddisfazione degli utenti è

calcolata mediante la funzione *logsum* per ogni coppia OD a partire dal modello di scelta modale in precedenza calibrato;

- $\Delta Incassi_{DRT}$ , cioè la variazione della differenza degli incassi per il servizio DRT al variare della tariffa, frutto della differenza tra la tariffa pagata dai futuri utenti del servizio DRT (integrato anche con il servizio TPL su ferro e su gomma) e quella che oggi, invece, gli utenti pagherebbero usufruendo dell'attuale servizio autobus;
- $\Delta Costi\ operativi_{DRT}$ , che esprime la variazione della differenza tra i costi chilometrici e di personale da sostenere per l'operatività del servizio DRT e quelli che si risparmierebbero dalla dismissione di alcuni degli attuali autobus circolanti nell'area di studio;
- $\Delta Esternalità$ , cioè la variazione della riduzione delle esternalità negative, in particolare la riduzione di auto-km per effetto della migrazione dell'utenza dal trasporto privato al sistema di trasporto pubblico.

Nei successivi paragrafi si illustreranno i passaggi effettuati per la determinazione dei quattro attributi costituenti la funzione obiettivo da massimizzare, vagliando in particolare quattro potenziali prezzi del biglietto per il servizio DRT: 1,50 €, 2,00 €, 2,50 € e 3,00 €.

### 10.1. Il calcolo della variazione di soddisfazione degli utenti

Il primo termine che costituisce la funzione obiettivo da massimizzare è relativo alla soddisfazione percepita dagli utenti che usufruirebbero del servizio DRT. È stata studiata, in particolare, la variazione di questa soddisfazione al variare delle tariffe ipotizzate per il servizio, partendo dal prezzo base del biglietto finora analizzato di 1,50 €, e procedendo ad incrementi successivi di 50 centesimi fino all'ultimo prezzo valutato, pari a 3,00 €.

La prima valutazione effettuata è stata tra la soddisfazione percepita dagli utenti pagando il prezzo di 1,50 € e quella relativa allo scenario attuale, in cui non è presente il servizio DRT ma operano gli attuali autobus del servizio TPL gestito dall'azienda Amat. La relazione adottata, espressa in €/giorno, è sintetizzabile come segue:

$$\begin{aligned}
 \Delta S_{oddisfazione_{utenti}} &= \frac{domanda_{interna_{DRT}} + domanda_{interna_{bus}}}{2} \\
 &\cdot \left( \frac{risparmio_{temporale} \cdot 3}{60} \cdot VOT + (Costo_{biglietto_{bus}} - Costo_{biglietto_{DRT}}) \right) \\
 &+ \frac{domanda_{esterna_{DRT+treno}} + domanda_{esterna_{bus/treno}}}{2} \\
 &\cdot \left( \frac{risparmio_{temporale} \cdot 3}{60} \cdot VOT \right. \\
 &\left. + (Costo_{biglietto_{bus}} - (Costo_{biglietto_{DRT}} + Costo_{biglietto_{treno}})) \right) \\
 &+ \frac{domanda_{esterna_{DRT+806}} + domanda_{esterna_{bus/806}}}{2} \\
 &\cdot \left( \frac{risparmio_{temporale} \cdot 3}{60} \cdot VOT \right. \\
 &\left. + (Costo_{biglietto_{bus}} - (Costo_{biglietto_{DRT}} + Costo_{biglietto_{bus}})) \right)
 \end{aligned} \tag{33}$$

In essa compaiono i seguenti termini:

- *domanda futura<sub>interna<sub>DRT</sub></sub>*, cioè i futuri utenti del servizio DRT che effettueranno spostamenti esclusivamente all'interno dell'area di studio;
- *domanda attuale<sub>interna<sub>bus</sub></sub>*, cioè gli attuali utenti del servizio di trasporto pubblico che si spostano all'interno dell'area di studio con gli attuali autobus;
- *domanda futura<sub>esterna<sub>DRT+treno</sub></sub>*, che corrisponde agli utenti che, all'entrata in esercizio del DRT, lo utilizzerebbero per recarsi alla stazione ferroviaria "Palermo Tommaso Natale" per completare il proprio spostamento verso l'esterno dell'area con il treno;
- *domanda attuale<sub>esterna<sub>bus/treno</sub></sub>*, che corrisponde all'attuale domanda di mobilità verso l'esterno che, all'entrata in esercizio del servizio DRT, utilizzerà il treno, depurata degli spostamenti verso destinazioni all'esterno dell'area di studio non raggiungibili, però, in futuro dal servizio integrato DRT e servizio su ferro;
- *domanda futura<sub>esterna<sub>DRT+806</sub></sub>*, cioè gli utenti che, all'entrata in esercizio del DRT, lo utilizzerebbero per recarsi presso la fermata "Principe di Scalea - Galatea" per completare il proprio spostamento verso l'esterno dell'area a bordo della linea autobus 806;

- *domanda attuale* $_{esterna_{bus/806}}$ , che corrisponde all'attuale domanda di mobilità verso l'esterno che, all'entrata in esercizio del servizio DRT, utilizzerà la linea 806, depurata degli spostamenti verso destinazioni esterne all'area di studio non raggiungibili, però, in futuro dal servizio integrato DRT e autobus;
- *risparmio temporale*, cioè il tempo espresso in minuti che evidenzia il risparmio in termini di tempo di attesa e di accesso rispetto alla situazione odierna, stimato pari a 10 minuti;
- *VOT*, cioè il valore del tempo ottenuto dalla calibrazione del modello di scelta modale, e pari a 3,63 €/h percepiti da ogni persona;
- *Costo biglietto* $_{bus}$ , cioè l'attuale costo del biglietto dell'autobus, pari a 1,40 €;
- *Costo biglietto* $_{DRT}$ , cioè il costo del biglietto del servizio DRT, che varierà secondo i valori precedentemente citati;
- *Costo biglietto* $_{treno}$ , cioè l'attuale costo del biglietto del servizio su ferro, pari a 1,70 €.

La domanda interna *domanda futura* $_{interna_{DRT}}$  degli utenti che si sposteranno in futuro con il DRT è ricavata per differenza a partire dal numero di richieste evase dal servizio a chiamata nell'arco della giornata, ottenuto come output dalla macrosimulazione effettuata sul software VISUM, diminuite della domanda di utenti che in futuro useranno il DRT per spostarsi all'esterno dell'area di studio con il treno (*domanda futura* $_{esterna_{DRT+treno}}$ ) e con la linea 806 del trasporto pubblico su gomma (*domanda futura* $_{esterna_{DRT+806}}$ ). È necessario, pertanto, stimare questi ultimi due valori di domanda.

A tal scopo, si è partiti dai dati di domanda di mobilità con il DRT, calcolata per la tariffa di 1,50 €, di cui è stato mostrato un estratto in Figura 46. Nel foglio di lavoro si sono individuate le due sezioni censuarie nelle quali ricadono la stazione ferroviaria "Palermo Tommaso Natale" (sezione 2699) e la fermata "Principe di Scalea – Galatea" scelta per l'interscambio con la linea autobus 806 (sezione 2364). Agli spostamenti aventi come destinazione queste due sezioni censuarie sono stati sommati anche gli spostamenti verso le destinazioni esterne raggiungibili dai due nodi di interscambio selezionati: la domanda diretta verso viale Strasburgo, stazione Notarbartolo, stazione Vespri, stazione San Lorenzo Colli e Cardillo è stata aggiunta ai dati di domanda aventi come destinazione la sezione 2699, dove è situata la stazione "Palermo Tommaso

Natale”, in quanto sono destinazioni raggiungibili con il Passante Ferroviario; stadio e centro città, invece, vedono i loro dati di domanda sommati a quelli della sezione 2364, in quanto in futuro saranno raggiunti grazie all’interscambio tra il servizio DRT e la linea autobus 806. In formule:

$$d_{interna+esterna_{o-2699}} = d_{interna_{o-2699}} + d_{esterna_{o-d'}} \forall o \in O \quad (34)$$

$$d_{interna+esterna_{o-2364}} = d_{interna_{o-2364}} + d_{esterna_{o-d''}} \forall o \in O \quad (35)$$

in cui  $o$  rappresenta il generico centroide di origine dell’insieme  $O$  delle origini dell’area di studio,  $d'$  rappresenta le destinazioni raggiungibili con il Passante Ferroviario e  $d''$  quelle raggiungibili, invece, grazie alla linea 806.

In seguito, inoltre, sono stati annullati i valori di domanda di spostamento diretti verso i due nodi di interscambio e provenienti da quelle sezioni censuarie i cui centroidi distassero sulla rete stradale meno di 1,8 km, in virtù del vincolo di distanza già menzionato nel paragrafo 8.3.3 per il quale la scelta modale dell’utenza sarebbe stata soltanto la modalità pedonale. In formule questo annullamento di domanda si può esprimere come segue:

$$d_{interna+esterna_{o-2699}} = 0 \forall o \in O | distanza_{o-2699} \leq 1,8 \text{ km} \quad (36)$$

in cui  $d_{interna+esterna_{o-2699}}$  è la domanda di mobilità sia interna che esterna con il DRT che si reca dalle diverse origini  $o$  dell’insieme delle origini dell’area di studio  $O$  verso la sezione censuaria 2699 dove ricade la stazione ferroviaria “Palermo Tommaso Natale”. Lo stesso ragionamento è stato seguito per valutare la domanda di mobilità interna ed esterna con il DRT tra le diverse sezioni censuarie dell’area di studio e la sezione 2364 dove ricade il nodo di interscambio con il servizio su gomma:

$$d_{interna+esterna_{o-2364}} = 0 \forall o \in O | distanza_{o-2364} \leq 1,8 \text{ km} \quad (37)$$

Dalla sommatoria della (34) e della (35), applicando i rispettivi vincoli espressi dalla (36) e dalla (37), si ottengono le domande di mobilità degli utenti che useranno il DRT per spostarsi sia all’interno che all’esterno dell’area di studio:

$$d_{treno}^* = \sum_o d_{interna+esterna_{o-2699}} \forall o \in O | distanza_{o-2699} \leq 1,8 \text{ km} \quad (38)$$

$$d_{806}^* = \sum_o d_{interna+esterna_{o-2364}} \forall o \in O | distanza_{o-2364} \leq 1,8 \text{ km} \quad (39)$$

Per ottenere, infine, la domanda di mobilità diretta verso l'esterno dell'area sfruttando sia il treno che la linea 806, si sono sottratte alla (38) e alla (39) rispettivamente le domande interne con il DRT dirette verso i relativi centroidi 2699 e 2364, moltiplicando successivamente per 2 al fine di considerare sia gli spostamenti di andata che quelli di ritorno alle varie origini:

$$domanda\ futura_{esterna_{DRT+treno}} = 2 \left( d_{treno}^* - \sum_o d_{interna_{o-2699}} \right) \quad (40)$$

$$domanda\ futura_{esterna_{DRT+806}} = 2 \left( d_{806}^* - \sum_o d_{interna_{o-2364}} \right) \quad (41)$$

Dall'applicazione della (40) e della (41) per le quattro tariffe vagliate in quest'analisi, si sono ottenuti i valori di domanda mostrati nella seguente Tabella 28. Questi valori saranno impiegati successivamente per la stima degli incassi del servizio DRT.

**Tabella 28** – Valori della domanda di mobilità espressa dagli utenti che useranno il servizio DRT per dirigersi verso l'esterno dell'area di studio, calcolati al variare del prezzo del biglietto

Domanda di mobilità	Tariffe			
	1,50 €	2,00 €	2,50 €	3,00 €
$domanda\ futura_{esterna_{DRT+treno}} \left[ \frac{\text{passeggeri}}{\text{giorno}} \right]$	696	640	588	540
$domanda\ futura_{esterna_{DRT+806}} \left[ \frac{\text{passeggeri}}{\text{giorno}} \right]$	812	750	692	636

La domanda interna ricercata,  $domanda\ futura_{interna_{DRT}}$  è, quindi, stata data dalla relazione:

$$\begin{aligned}
 & \text{domanda futura}_{\text{interna}_{DRT}} \\
 & = 2 \cdot \text{Richieste DRT evase} \\
 & - (\text{domanda futura}_{\text{esterna}_{DRT+\text{treno}}} + \text{domanda futura}_{\text{esterna}_{DRT+806}})
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

ottenendo i valori riportati nella seguente Tabella 29.

**Tabella 29** – Valori della domanda di mobilità interna che in futuro utilizzerà il servizio DRT

Domanda di mobilità	Tariffe			
	1,50 €	2,00 €	2,50 €	3,00 €
$\text{domanda futura}_{\text{interna}_{DRT}} \left[ \frac{\text{passeggeri}}{\text{giorno}} \right]$	2262	2110	1978	1830

Il numero delle richieste evase dal DRT, come in precedenza quelli della domanda futura, è raddoppiato poiché si considera l'intero arco della giornata, con richieste sia di andata che di ritorno.

I valori di domanda attuale interna ed esterna su treno e linea 806, invece, sono stimati a partire dal numero totale stimato di passeggeri serviti dall'attuale servizio TPL all'interno dell'area di studio, indicato al paragrafo 6.2.3, pari a 1864,625 passeggeri/giorno. Questa domanda, in particolare, è stata ripartita tra destinazioni interne all'area di studio ed esterne raggiungibili in futuro con il trasbordo dal servizio DRT al servizio ferroviario o a quello su gomma sulla base del numero di passeggeri saliti e discesi in media per ogni linea autobus circolante all'interno dell'area di studio, medie già mostrate in Tabella 11.

Per le linee definite "di scambio", per ottenere la percentuale di utenti che effettuerebbero spostamenti solo all'interno dell'area di studio si è rapportata la somma tra la media delle discese registrate nel tragitto di andata e delle salite nel tragitto di ritorno al numero di passeggeri trasportati dalla linea. Questo ragionamento è dovuto al fatto che i passeggeri che, dal capolinea interno, scendono all'interno dell'area di studio e quelli che, nel tragitto opposto verso il capolinea interno, salgono all'interno dell'area di studio, sono sicuramente interessati a compiere il proprio spostamento entro i confini del contesto in esame. In formule:

$$passeggeri\ interni\ [\%] = \frac{media\ discese_{andata} + media\ salite_{ritorno}}{Passeggeri\ trasportati} \quad (43)$$

Per le linee autobus definite “di attraversamento lungo”, invece, si sommano le sole discese nel tragitto di andata e di ritorno, rapportandole sempre al numero di passeggeri trasportati dalla linea. Questa considerazione per via della buona probabilità che i passeggeri a bordo siano saliti presso una fermata del TPL interna all’area di studio. In formule:

$$passeggeri\ interni\ [\%] = \frac{media\ discese_{andata} + media\ discese_{ritorno}}{Passeggeri\ trasportati} \quad (44)$$

Non si è considerato il caso di attraversamento breve, rappresentato nel caso in esame dalla linea autobus 628/628P: poiché, infatti, il tracciato seguito dalla linea autobus segue quasi parallelamente il tracciato del Passante Ferroviario, si è supposto che i suoi attuali passeggeri prenderanno in futuro, una volta in esercizio l’ipotizzato servizio DRT, il servizio ferroviario presso la stazione “Palermo Tommaso Natale”, raggiungendo ugualmente le principali destinazioni dichiarate nell’indagine RP.

La (43) è stata applicata alle linee 614 e 645, mentre la (44) alla sola linea 616. Per le linee 544 e 603 si è ipotizzato che i loro passeggeri, in futuro, migreranno sulla linea 806. Sempre sulla linea 806 migreranno anche i passeggeri delle linee 616 e 645 che si ipotizza non effettuino spostamenti interni all’area di studio, mentre i passeggeri della linea 614 che non si muovono internamente al territorio analizzato si ipotizza che migreranno sul servizio ferroviario. Le percentuali così ottenute sono evidenziate nella seguente Tabella 30.

**Tabella 30** – Percentuali di utenti del servizio TPL che effettuano spostamenti interni ed esterni e ripartizione di questi ultimi tra servizio ferroviario e linea 806

<b>Linea</b>	<b>% spostamenti interni</b>	<b>% spostamenti su metro</b>	<b>% spostamenti sull'806</b>
<b>544</b>			100%
<b>603</b>			100%
<b>614</b>	71%	29%	
<b>616</b>	58%		42%
<b>628</b>		100%	
<b>645</b>	30%		70%
<b>806</b>			100%

Moltiplicando il numero di passeggeri/h delle varie linee (mostrati in Tabella 11) per le corrispondenti percentuali di Tabella 30 e per il fattore moltiplicativo di 7 h/giorno, si sono ottenuti i seguenti valori di domanda attuale interna, su metro e sull'806.

**Tabella 31** – Stima della ripartizione della domanda attuale su TPL tra spostamenti interni e verso l'esterno, divisa quest'ultima tra servizio ferroviario e linea 806

<b>Domanda attuale su TPL</b>	
<b>Tipologia domanda di mobilità</b>	<b>Valori [passeggeri/giorno]</b>
<b>Domanda interna</b>	476
<b>Domanda verso l'esterno</b>	1388,625
<i>Domanda attuale su ferrovia</i>	<i>362,25</i>
<i>Domanda attuale su 806</i>	<i>1026,375</i>
<b>TOTALE</b>	<b>1864,625</b>

La domanda di mobilità diretta verso l'esterno dell'area di studio va, tuttavia, ridotta del numero di spostamenti al giorno diretti verso zone che in futuro non saranno servibili dal servizio integrato tra DRT e ferrovia o tra DRT e servizio su gomma, a differenza della situazione attuale. Per determinare questa riduzione di spostamenti al giorno bisogna effettuare la differenza tra il numero complessivo degli spostamenti occasionali emessi dall'area di studio ed effettuati con qualsiasi modo di trasporto

(spostamenti estratti dal modello di emissione discusso al paragrafo 8.3.1) e il numero complessivo di spostamenti occasionali diretti verso destinazioni interne ed esterne servibili dal servizio DRT integrato con il trasporto pubblico locale (spostamenti estratti, invece, dal modello di distribuzione discusso al paragrafo 8.3.2). I risultati sono sintetizzati nella seguente Tabella 32.

**Tabella 32** – Spostamenti occasionali totali emessi ripartiti tra aree in futuro servibili e non servibili dal servizio DRT integrato con il TPL

<b>Spostamenti occasionali emessi</b>	<b>Valori [spostamenti/giorno]</b>
Spostamenti occasionali totali emessi	11722,2
Spostamenti occasionali totali verso zone servibili	9174,71625
Spostamenti occasionali totali verso zone non servibili	<b>2547,48375</b>

Di questi spostamenti così calcolati (raddoppiati per considerare anche i ritorni a casa), solo una frazione si sposterebbe sull'attuale servizio su gomma, precisamente l'8% stimato in Tabella 12: si ottiene, quindi, che gli spostamenti al giorno effettuati sull'attuale servizio su gomma e diretti in futuro verso zone non più raggiungibili dal servizio DRT integrato con il servizio ferroviario o con la linea 806 ammontano a 407,5974 spostamenti/giorno.

Ripartendo arbitrariamente al 50% questi spostamenti in meno tra la domanda attuale su ferrovia e la domanda attuale sull'806 (valori di domanda mostrati in Tabella 31), si ottengono per differenza i valori della domanda attuale corretta sul TPL, cioè  $domanda\ attuale_{esterna_{bus/treno}}$  e  $domanda\ attuale_{esterna_{bus/806}}$ . I risultati finali sono esposti nella seguente Tabella 33.

**Tabella 33** – Valori finali della domanda di mobilità attuale su TPL verso l'interno e l'esterno dell'area di studio, ridotti della frazione di spostamenti diretti verso zone non servibili in futuro dal servizio DRT.

<b>Domanda di mobilità</b>	<b>Valori [passeggeri/giorno]</b>
<i>domanda attuale</i> <sub>interna<sub>bus</sub></sub>	476
<i>domanda attuale</i> <sub>esterna<sub>bus/treno</sub></sub>	158,4513
<i>domanda attuale</i> <sub>esterna<sub>bus/806</sub></sub>	822,5763
<b>TOTALE</b>	<b>1457,0276</b>

È così possibile, finalmente, calcolare la variazione di soddisfazione dell'utenza tra la situazione attuale e quella futura con il DRT avente un costo del biglietto di 1,50 € applicando la (33), ottenendo un valore di 2611,7525 €/giorno.

Per determinare la variazione di soddisfazione tra due possibili prezzi del biglietto del servizio DRT, invece, si effettua la differenza dei prodotti tra la domanda di mobilità totale e la soddisfazione – calcolata mediante funzione *logsum* – relativa alle due tariffe considerate, divisa ulteriormente per il coefficiente del costo, ottenuto dalla calibrazione del modello di scelta modale, e sommata, infine, alla variazione di soddisfazione dell'utenza calcolata per la tariffa più bassa tra le due analizzate. In formule è possibile riassumere questi passaggi con la seguente relazione, espressa in €/giorno:

$$\begin{aligned}
 & \Delta Soddifazione_{utenti}(t_2, t_1) \\
 & = \Delta Soddifazione_{utenti}(t_1, t_0) \\
 & + \frac{[(Soddifazione_{utenti}(t_2) - Soddifazione_{utenti}(t_1)) \cdot 2 \sum_i \sum_o \sum_d d_{od}^i]}{\beta_{costo}}
 \end{aligned} \tag{45}$$

in cui la domanda di mobilità totale  $d_{od}^i$  è raddoppiata per considerare gli spostamenti sia di andata che di ritorno.

Il valore della soddisfazione per ogni tariffa, invece, è calcolato mediante la funzione *logsum* applicata alle probabilità di scelta modale calcolate per ogni segmento di mercato esaminato e per ogni coppia OD sia interna che con destinazione esterna all'area di studio. Tradotto in formule, si ha la seguente espressione:

$$Soddisfazione_{utenti}(t) = \sum_i \sum_o \sum_d \ln \left( \frac{e^{V_{DRT}(t)}}{Prob. Scelta DRT(t)} \right)_{od}^i \quad (46)$$

dove  $t$  è la generica tariffa analizzata,  $V_{DRT}(t)$  è l'utilità sistematica dell'alternativa modale DRT, calcolata in funzione della tariffa  $t$  per una generica coppia OD e per il generico segmento di mercato  $i$  e  $Prob. Scelta DRT(t)$  è, infine, la probabilità di scelta del servizio DRT calcolata dal modello di scelta modale e applicando il vincolo sulla distanza sulla rete stradale di 1,8 km. Nei casi di distanza su rete tra una generica coppia OD inferiore alla soglia di 1,8 km, poiché la probabilità di scelta del servizio DRT viene annullata, il logaritmo naturale tenderebbe a  $+\infty$ : in tutti questi casi si è deciso, invece, di annullare il valore del logaritmo naturale, poiché l'utente non può percepire alcuna soddisfazione nel prendere un servizio che, nella realtà, non potrebbe prendere.

Dall'applicazione della (33), della (45) e della (46) è, dunque, possibile calcolare i valori della variazione della soddisfazione degli utenti al variare del prezzo del biglietto del servizio DRT. I risultati sono mostrati nella seguente Tabella 34.

**Tabella 34** – Variazione della soddisfazione degli utenti al variare della tariffa del servizio DRT

<b>Tariffa [€]</b>	<b>Variazione di soddisfazione [€/giorno]</b>
1,50 €	2611,75
2,00 €	741,45
2,50 €	-997,16
3,00 €	-2610,55

## 10.2. Il calcolo della variazione degli incassi

Altro termine che è necessario analizzare nella funzione obiettivo da massimizzare è la variazione degli incassi presunti per il servizio DRT al variare della sua tariffa e rispetto alla situazione attuale con il servizio di trasporto pubblico su gomma, considerando la domanda di mobilità diretta verso destinazioni raggiungibili in futuro dal servizio DRT integrato con il servizio TPL (Passante Ferroviario e linea autobus 806). Essa è dipendente dal numero di richieste evase dal servizio DRT nell'intera giornata – dato estratto dalla macrosimulazione condotta su VISUM –, dalla domanda di mobilità

futura che si sposterà all'esterno del territorio oggetto di studio con il servizio DRT integrato con il servizio ferroviario e su gomma, e anche dall'attuale domanda di mobilità che si muove all'interno e all'esterno dell'area di studio con il TPL evidenziata nella Tabella 33. Ogni valore della domanda di mobilità che entra in gioco in questo calcolo è moltiplicato per il relativo costo del biglietto del servizio, ottenendo così la seguente relazione espressa in €/giorno:

$$\begin{aligned}
 \Delta \text{Incassi}_{DRT} = & 2 \cdot \text{Richieste DRT evase} \cdot \text{Costo biglietto}_{DRT} \\
 & + \text{domanda futura}_{esterna_{DRT+treno}} \cdot \text{Costo biglietto}_{treno} \\
 & + \text{domanda futura}_{esterna_{DRT+806}} \cdot \text{Costo biglietto}_{bus} \\
 & - \left( \text{domanda attuale}_{interna_{bus}} \right. \\
 & \left. + \text{domanda attuale}_{esterna_{bus/treno}} \right. \\
 & \left. + \text{domanda attuale}_{esterna_{bus/806}} \right) \cdot \text{Costo biglietto}_{bus}
 \end{aligned} \tag{47}$$

Nell'espressione si ha la differenza tra gli incassi futuri con il servizio DRT rispetto agli incassi attuali con il solo servizio autobus perché si ipotizza che la stessa azienda di trasporto pubblico locale Amat prenda in gestione anche il servizio DRT proposto per l'area di studio.

In virtù delle richieste evase dal DRT fornite dal software VISUM e dei valori di domanda futura e attuale evidenziati in Tabella 28 e Tabella 33, si sono ottenute le variazioni di incassi al variare delle tariffe del servizio a chiamata secondo quanto mostrato nella seguente Tabella 35.

**Tabella 35** – Variazione degli incassi al variare della tariffa del servizio DRT

<b>Tariffa [€]</b>	<b>Variazione di incassi [€/giorno]</b>
1,50 €	5935,20
2,00 €	7098,20
2,50 €	8073,60
3,00 €	8786,60

### 10.3. Il calcolo della variazione dei costi operativi di gestione

Il terzo termine che entra in gioco nella funzione obiettivo è la variazione dei costi di gestione al variare delle tariffe del servizio DRT. Si sono voluti studiare, in particolare, i costi del servizio a chiamata in termini di costi chilometrici e di costi delle risorse necessarie per garantire un servizio che sia in grado di soddisfare la domanda di mobilità locale. Queste voci di costo stimate sono state diminuite del costo al chilometro degli autobus che in futuro verranno rimossi dalla circolazione: come detto precedentemente, infatti, il servizio DRT si ipotizza che verrà gestito dall'azienda Amat, che rimuovendo alcuni degli autobus circolanti nei quartieri periferici considerati otterrebbe un risparmio sui loro costi di gestione. Gli autobus che si ipotizza rimuovere, in particolare, sono 8: sulla base dei rilevamenti discussi al Capitolo 6, infatti, si è ipotizzato di dismettere i 3 autobus della linea 614, i 3 autobus della linea 645 e 1 autobus sia dalla linea 603 che dalla linea 616.

Le linee autobus 614 e 645, nonostante discreti valori di frequenza (3 bus/h, come mostrato in Tabella 8) e di passeggeri serviti all'ora (59,25 passeggeri/h per la linea 614 e 41,25 passeggeri/ora per la linea 645, come indicato in Tabella 11), circolano internamente all'area di studio, dove invece dovrà circolare in futuro il servizio DRT, e pertanto si ipotizza di rimuovere tali linee. La linea 616 mostra, invece, le più scarse prestazioni in termini di frequenza assieme alla linea 603 (1,5 bus/h), e uno dei più bassi valori di passeggeri trasportati all'ora, pari a 23,25 passeggeri/ora; è, tuttavia, una linea che serve i quartieri periferici di Barcarello e Sferracavallo, a Nord-Ovest dell'area di studio, e piuttosto isolati dal centro urbano densamente abitato di Palermo. Proprio per evitare di isolare ulteriormente queste due aree periferiche, si è deciso di togliere un solo autobus dei due in esercizio sulla linea. La linea 603, infine, presenta i peggiori valori anche in termini di passeggeri trasportati in un'ora (5,625 passeggeri/ora); questa linea, tuttavia, prosegue il suo tracciato ben oltre l'Addaura, raggiungendo un'altra area periferica a Sud-Est dell'area di studio rappresentata dal quartiere di Vergine Maria. Poiché non esiste nessun'altra linea TPL che collega l'Addaura a Vergine Maria, appare evidente che togliere entrambi gli autobus della linea 603 risulterebbe controproducente per la collettività, in quanto non avrebbe più alcun collegamento a percorso fisso con quella zona; per questo motivo, si è ipotizzato di dismettere soltanto uno dei due autobus che operano sulla suddetta linea. È possibile, inoltre,

riorganizzare il percorso della stessa linea 603, spostando il capolinea dalla fermata “Teti” alla fermata “Cristoforo Colombo – Lorenzo Marques”, come suggerito da Citrano (2022), con un conseguente coordinamento spazio-temporale con le altre linee che servono i quartieri di Vergine Maria e dell’Arenella.

L’espressione utilizzata per la stima della variazione dei costi operativi di gestione è la seguente:

$$\begin{aligned} \Delta \text{Costi operativi}_{DRT} &= 2 \cdot km_{tot_{DRT}} \cdot \text{Costo}_{km_{DRT}} + \text{Num. mezzi}_{DRT} \\ &\cdot \text{Costo giornaliero}_{mezzi_{DRT}} - \text{Num. autobus rimossi} \\ &\cdot v_{commerciale,bus} \cdot \text{Num. ore servizio}_{bus} \cdot \text{Costo}_{km_{bus}} \end{aligned} \quad (48)$$

dove:

- $km_{tot_{DRT}}$  è il numero di chilometri percorsi in un giorno dall’intera flotta del servizio DRT, ricavato come output della macrosimulazione condotta su VISUM;
- $\text{Costo}_{km_{DRT}}$  è il costo chilometrico di un singolo van, scelto come tipologia di veicolo per il servizio DRT, fissato pari a 0,9 €/km sulla base di stime relative ai costi chilometrici di simili tipologie di veicolo;
- $\text{Num. mezzi}_{DRT}$  è il numero complessivo di mezzi del servizio DRT, anche questo output della macrosimulazione, per soddisfare la domanda di mobilità;
- $\text{Costo giornaliero}_{mezzi_{DRT}}$  è il costo giornaliero di un singolo mezzo del servizio DRT con due autisti a mezzo che effettuano due turni al giorno. Questo costo è ipotizzato pari a 250 €/giorno, per via di un costo del personale di circa 125 €/giorno per singolo autista ipotizzato sulla base del costo medio orario del lavoro per i dipendenti di aziende del terziario, della distribuzione e dei servizi, valide a livello territoriale nella provincia di Palermo<sup>13</sup>;
- $\text{Num. autobus rimossi}$  è il numero di autobus che si ipotizza saranno dismessi dall’azienda Amat per far spazio al servizio a chiamata nell’area di studio, pari ad 8 come detto precedentemente;

<sup>13</sup> Il riferimento normativo per la determinazione di questa voce di costo è il Decreto Ministeriale 19 maggio 2010 dal titolo: “Determinazione del costo medio orario del lavoro per i dipendenti da aziende del terziario, della distribuzione e dei servizi, distintamente per le aziende che occupano da 16 a 50 dipendenti e per quelle con oltre 50 dipendenti, sia a livello nazionale che a livello territoriale, con decorrenza dal mese di ottobre 2010”, con riferimento alle tabelle provinciali al mese di ottobre 2010.

- $v_{commerciale,bus}$  è la velocità commerciale degli attuali autobus del servizio TPL, pari a 12 km/h;
- $Num. ore servizio_{bus}$  è il numero medio di ore di servizio al giorno di un singolo autobus, fissato pari a 12 h/giorno;
- $Costo_{km_{bus}}$  è il costo al chilometro che deve sostenere l'Amat per singolo autobus, pari a 6 €/km, stimato sulla base del bilancio Amat del 2019 (non influenzato negativamente, quindi, dall'evento pandemico da Covid-19 e dalle misure di restrizione agli spostamenti).

Alla luce degli output forniti da VISUM per il numero di van del servizio DRT e del numero di chilometri complessivamente percorsi dall'intera flotta, e in base anche ai valori dei termini sopra riportati, è possibile calcolare la variazione dei costi di gestione per il servizio DRT per i prezzi del biglietto considerati nell'analisi. I risultati sono riassunti nella seguente Tabella 36.

**Tabella 36** – Variazione dei costi operativi di gestione del servizio DRT al variare della tariffa

<b>Tariffa [€]</b>	<b>Variazione di costi di gestione [€/giorno]</b>
1,50 €	5649,20
2,00 €	4886,40
2,50 €	4580,40
3,00 €	3729,40

#### **10.4. Variazione delle esternalità negative**

L'ultimo termine che rientra nella funzione obiettivo da massimizzare è quello relativo alla variazione delle esternalità negative. Questa è stimata come riduzione del numero di auto-km circolanti su strada tra lo scenario attuale e quello futuro in cui sarà operativo il servizio DRT, stima calcolata secondo la seguente relazione fornita da Migliore *et al.* (2014), opportunamente rielaborata per ricondurla alla migrazione degli utenti dal proprio mezzo privato a quello a chiamata del servizio DRT:

$$\Delta Esternalità = 0,11 \cdot (auto\_km_{tot} - auto\_km_{simulate}) \quad (49)$$

Nella (49) il coefficiente 0,11 è un coefficiente espresso in  $\text{€}/(\text{passeggeri} \cdot \text{km})$ , mentre  $auto\_km_{tot}$  e  $auto\_km_{simulate}$  sono date dalle seguenti relazioni:

$$auto\_km_{tot} = \left( \frac{\text{domanda futura}_{\text{interna}_{DRT}}}{3} \right) \cdot km_{\text{auto}_{\text{interno}}} + \left( \text{domanda futura}_{\text{esterna}_{DRT+\text{treno}}} - \text{domanda attuale}_{\text{esterna}_{\text{bus}/\text{treno}}} \right) \cdot km_{\text{auto}_{\text{esterno}}} \quad (50)$$

$$+ \left( \text{domanda futura}_{\text{esterna}_{DRT+806}} - \text{domanda attuale}_{\text{esterna}_{\text{bus}/806}} \right) \cdot km_{\text{auto}_{\text{esterno}}} + \text{Num. autobus rimossi} \cdot v_{\text{commerciale, bus}} \cdot \text{Num. ore servizio}_{\text{bus}} \cdot \text{Coef}_{\text{auto}/\text{bus}}$$

$$auto\_km_{simulate} = 2 \cdot km_{\text{tot}_{DRT}} \quad (51)$$

Nella (50) la domanda che in futuro effettuerà spostamenti con il DRT soltanto all'interno dell'area di studio è divisa per 3 poiché, non conoscendo il reale split modale adottato dai residenti, si ipotizza che un terzo di essi si muova oggi con il proprio mezzo privato. Inoltre:

- $km_{\text{auto}_{\text{interno}}}$  sono i chilometri che si ipotizza siano ad oggi percorsi in auto all'interno dell'area di studio, posti pari a 2 km;
- $km_{\text{auto}_{\text{esterno}}}$  sono i chilometri che si ipotizza siano ad oggi percorsi in auto per muoversi all'esterno dell'area di studio, posti pari a 4 km;
- $\text{Coef}_{\text{auto}/\text{bus}}$  è un coefficiente di equivalenza tra auto e bus, pari a 2,5.

Sulla base dei valori di domanda attuale e futura indicati in Tabella 28, Tabella 29 e Tabella 33 al variare delle tariffe del servizio DRT, e sulla base anche dei chilometri percorsi dall'intera flotta di van estratti dal software VISUM per le quattro tariffe esaminate, è possibile calcolare la riduzione di esternalità negative. I risultati, espressi sempre in  $\text{€}/\text{giorno}$ , sono esposti nella seguente Tabella 37.

**Tabella 37** – Variazione delle esternalità negative del servizio DRT al variare della tariffa.

<b>Tariffa [€]</b>	<b>Variazione delle esternalità negative [€/giorno]</b>
1,50 €	157,08
2,00 €	126,13
2,50 €	105,45
3,00 €	91,74

## 10.5. Individuazione della tariffa ottimale

Una volta determinati tutti i contributi della funzione obiettivo al variare del prezzo del biglietto del servizio DRT, è possibile individuare quale sia la tariffa che massimizzi la funzione costruita. Raccogliendo tutti i risultati mostrati in Tabella 34, Tabella 35, Tabella 36 e Tabella 37 e applicando la (32), si sono ottenuti i risultati mostrati nella seguente Tabella 38. Si riportano in Figura 53 e in Figura 54, inoltre, per una migliore visibilità dei risultati, anche i grafici che mostrano sia l'andamento delle variazioni di soddisfazione, incassi, costi operativi ed esternalità che l'andamento della funzione obiettivo.

**Tabella 38** – Risultati della funzione obiettivo per l'individuazione della tariffa ottimale per il servizio DRT

<b>Tariffa [€]</b>	<b>Variazione di soddisfazione [€/giorno]</b>	<b>Variazione di incassi [€/giorno]</b>	<b>Variazione di costi di gestione [€/giorno]</b>	<b>Variazione delle esternalità negative [€/giorno]</b>	<b>Risultati funzione obiettivo [€/giorno]</b>
1,50 €	2611,75	5935,20	5649,20	157,08	<b>3054,83</b>
2,00 €	741,45	7098,20	4886,40	126,13	<b>3079,38</b>
2,50 €	-997,16	8073,60	4580,40	105,45	<b>2601,49</b>
3,00 €	-2610,55	8786,60	3729,40	91,74	<b>2538,39</b>

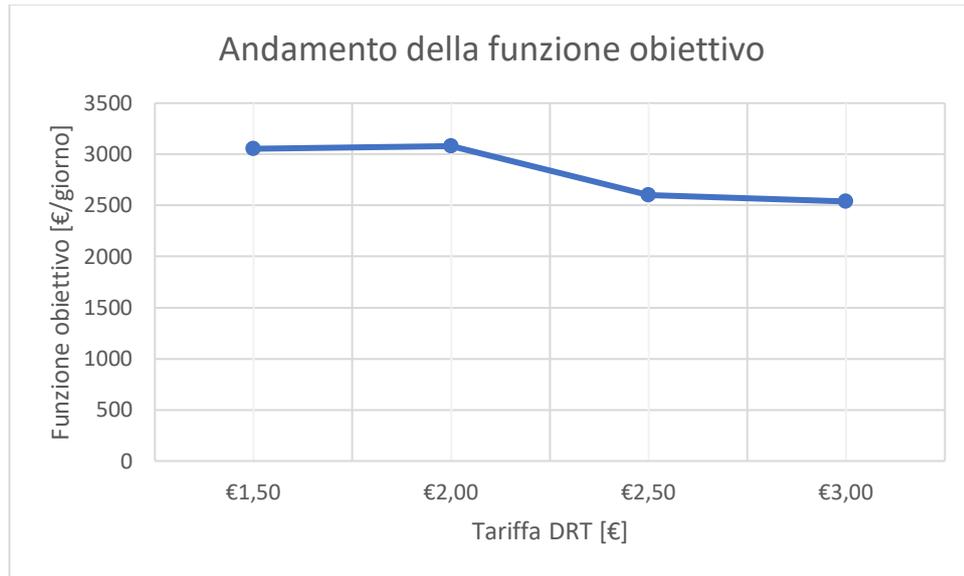


Figura 53 – Andamento della funzione obiettivo al variare del prezzo del biglietto del servizio DRT

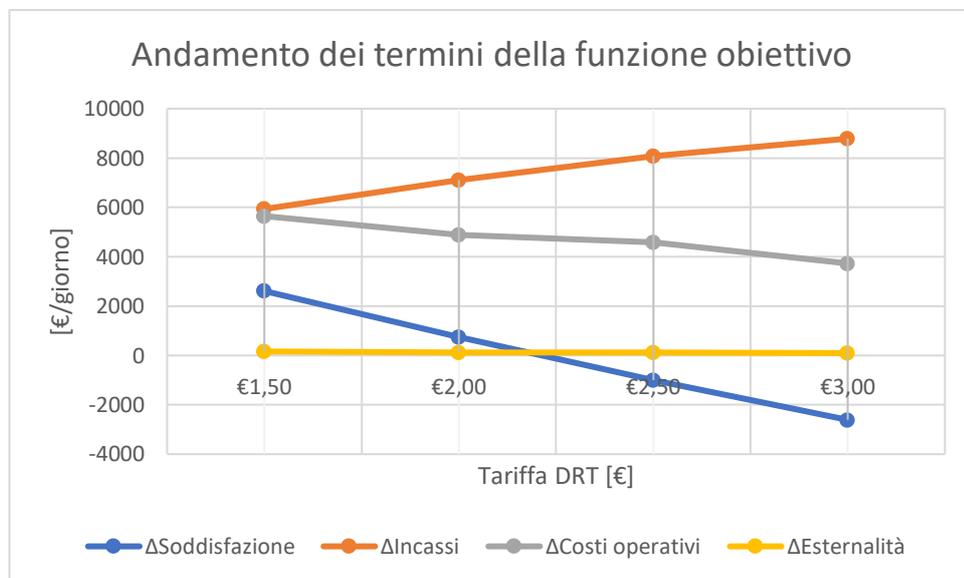


Figura 54 – Andamento dei termini che compongono la funzione obiettivo

Come è possibile osservare, la tariffa per la quale la funzione obiettivo presenta il suo valore massimo è il prezzo di 2,00 €. Per questo valore del biglietto, inoltre, è possibile notare anche che la soddisfazione complessiva degli utenti, sebbene notevolmente diminuita rispetto al caso di tariffa di 1,50 €, resta ancora positiva, segno che con un biglietto di 2,00 € si riesce ancora ad incontrare il favore della collettività. La variazione delle esternalità negative, invece, se confrontate con i contributi degli altri attributi della funzione obiettivo, riveste un ruolo piuttosto marginale: si è osservato inoltre che, trascurando il contributo delle esternalità, la conseguente diminuzione del

valore della funzione obiettivo non modifica il risultato relativo alla tariffa ottimale per il servizio DRT, che resta sempre pari a 2,00 €.

Si è voluta effettuare anche un'analisi puramente finanziaria prendendo in esame soltanto le due tariffe del DRT per le quali la soddisfazione dell'utenza è risultata positiva, cioè 1,50 € e 2,00 €. In quest'analisi si sono osservate soltanto le variazioni di incassi e di costi operativi di gestione del solo servizio DRT e gli incassi dovuti all'incremento di utenti che utilizzeranno il servizio di trasporto pubblico convenzionale su gomma e su ferro per effetto della loro integrazione con il servizio DRT. Questi termini sono stati confrontati con il contributo che l'azienda di trasporto Amat riceve ad oggi dalla Regione Sicilia e dal Comune di Palermo, pari a 4 €/km per singolo autobus, per l'esercizio degli 8 autobus che si ipotizza di dismettere per l'entrata in servizio del servizio condiviso a chiamata nell'area di studio.

Gli incassi del solo servizio DRT sono dati dal prodotto tra il numero di richieste giornaliere evase dal servizio per il relativo costo del biglietto; i costi di gestione, invece, sono dati dalla somma tra il prodotto del numero di chilometri al giorno percorsi dall'intera flotta di van per il costo chilometrico di un singolo mezzo e il prodotto tra il numero complessivo di mezzi della flotta del DRT per il costo giornaliero del singolo veicolo. Il surplus di incassi dal servizio su gomma e da quello su ferro, infine, è dato semplicemente dal prodotto della domanda di mobilità futura che userà il servizio DRT integrato con la linea 806 e con il servizio ferroviario per il rispettivo prezzo del biglietto (1,40 € per l'autobus e 1,70 € per il treno). Queste grandezze entrano in gioco all'interno di una funzione obiettivo finanziaria data dalla seguente equazione:

$$\theta_f^* = \underset{\theta_{f,\min} \leq \theta_f \leq \theta_{f,\max}}{\operatorname{argmax}} f(\theta_f) = \operatorname{Incassi}_{DRT} - \operatorname{Costi operativi}_{DRT} + \operatorname{Incassi}_{806} + \operatorname{Incassi}_{treno} \quad (52)$$

in cui  $\theta_f^*$  è la ricercata tariffa finanziariamente più conveniente per l'azienda di trasporto, frutto della massimizzazione della nuova funzione obiettivo finanziaria. I risultati della (52) sono mostrati nella seguente Tabella 39.

**Tabella 39** – Risultati della funzione obiettivo finanziaria per l'individuazione della tariffa ottimale del servizio DRT per l'azienda di trasporti

Tariffa [€]	Incassi DRT [€/giorno]	Costi operativi di gestione DRT [€/giorno]	Surplus incassi da linea 806 [€/giorno]	Surplus di incassi da servizio ferroviario [€/giorno]	TOT [€/giorno]
1,50 €	5655,00	12561,20	1136,80	1183,20	<b>-4586,20</b>
2,00 €	7000,00	11798,40	1050,00	1088,00	<b>-2660,40</b>

I risultati della funzione obiettivo finanziaria mostrano come, anche in questo caso, la tariffa ottimale sia quella di 2,00 €. Tali valori, inoltre, sono stati confrontati, come detto, con il contributo ricevuto dall'Amat da parte della Regione Sicilia e del Comune di Palermo. Questo contributo corrisponde a quanto i due enti verserebbero all'azienda di trasporto Amat per l'esercizio degli 8 autobus che si intende dismettere nell'area di studio; in formule è espresso come:

*Contributo Regione e Comune*

$$= \text{Num. autobus rimossi} \cdot v_{\text{commerciale,bus}} \cdot \text{Num. ore servizio}_{\text{bus}} \cdot \text{Costo}_{\text{km}_{\text{bus}}} \quad (53)$$

ottenendo un totale di 4608,00 €/giorno. Ipotizzando che gli enti Regione Sicilia e Comune di Palermo continuino ad erogare invariato tale contributo nei confronti dell'azienda Amat, si può osservare come questo sia superiore ad entrambi i valori ricavati dalla funzione obiettivo finanziaria. Qualora, invece, dalla (52) si escludesse il surplus di incassi dovuto agli utenti in più che effettueranno spostamenti con il servizio ferroviario, gestito dal gruppo Ferrovie dello Stato Italiane e non da Amat, si osserverebbe come tale contributo sarebbe sufficiente a sostenere il servizio DRT solo se la tariffa fosse pari a 2,00 €. Infatti, come mostrato nella seguente Tabella 40:

**Tabella 40** – Confronto tra i risultati della funzione obiettivo finanziaria e il contributo regionale e comunale versato ad Amat per l'esercizio di 8 autobus, senza il surplus di incassi dal servizio ferroviario

Tariffa [€]	Incassi DRT [€/giorno]	Costi operativi di gestione DRT [€/giorno]	Surplus incassi da linea 806 [€/giorno]	TOT [€/giorno]	Contributo Regione e Comune [€/giorno]	Scarto [€/giorno]
1,50 €	5655,00	12561,20	1136,80	-5769,40	4608,00	<b>-1161,40</b>
2,00 €	7000,00	11798,40	1050,00	-3748,40	4608,00	<b>859,60</b>

Se, infine, si volessero separare ulteriormente gli introiti del servizio DRT da quelli del servizio autobus, anche se ipotizzati gestiti dalla stessa azienda, lo scarto rispetto al contributo erogato dai due enti regionale e comunale sarebbe negativo in entrambi i casi. Tuttavia, tale scarto sarebbe di poco negativo per un costo del biglietto del servizio DRT sempre di 2,00 €, raggiungendo in qualche modo un equilibrio finanziario tale da permettere al nuovo servizio condiviso di sostenersi finanziariamente con i soli contributi invariati da parte di Regione e Comune. Si mostrano nella seguente Tabella 41 i risultati di questa ulteriore analisi:

**Tabella 41** – Confronto tra i risultati della funzione obiettivo finanziaria e il contributo regionale e comunale versato ad Amat per l'esercizio di 8 autobus, senza il surplus di incassi dal servizio ferroviario e dal servizio su gomma effettuato dalla linea 806

Tariffa [€]	Incassi DRT [€/giorno]	Costi operativi di gestione DRT [€/giorno]	TOT [€/giorno]	Contributo Regione e Comune [€/giorno]	Scarto [€/giorno]
1,50 €	5655,00	12561,20	-6906,20	4608,00	<b>-2298,20</b>
2,00 €	7000,00	11798,40	-4798,40	4608,00	<b>-190,40</b>

È, dunque, evidente come la tariffa migliore per il nuovo servizio DRT ipotizzato per l'area di studio, considerando non solo il punto di vista della collettività ma anche quello aziendale, sia quella di 2,00 €.

## Conclusioni

Le carenze dei servizi di trasporto pubblico convenzionale all'interno di periferie urbane e, ancora di più, in aree rurali o piccoli centri urbani isolati sono evidenti ed affrontati diverse volte in letteratura allo scopo di studiare possibili soluzioni alternative. I residenti di queste aree, infatti, non potendo contare su mezzi di trasporto pubblico efficienti ed efficaci, anzi riscontrando spesso scarse frequenze e affidabilità, sono costretti ad affidarsi al proprio mezzo privato per compiere i propri spostamenti sistematici e occasionali. Ciò, conseguentemente, costituisce un aggravamento delle condizioni di traffico, di inquinamento acustico e atmosferico e, in generale, un peggioramento della qualità della vita causato dalla moltitudine di veicoli privati come auto e moto circolanti su strada. Esistono, inoltre, anche alcune categorie di utenti come anziani, persone con limitate capacità motorie, o anche persone che non sono in possesso di patente, che, non potendo utilizzare un proprio veicolo, sono costretti, laddove non accompagnati per esempio da un parente, a lunghe attese dei mezzi pubblici, con conseguenti grandi disagi nella loro mobilità.

Proprio per venire incontro alle esigenze di mobilità di questi utenti e, in ogni caso, dei residenti di contesti territoriali isolati, contrastando i loro problemi di esclusione sociale, si è voluta studiare una delle possibili alternative modali che, in questi anni, è oggetto di diversi studi: i servizi condivisi a chiamata, più brevemente DRT.

Nella fattispecie, si è voluta studiare la potenziale efficacia di un servizio DRT ad area vasta introdotto all'interno di un contesto periferico della città di Palermo, rappresentato dai quartieri di Partanna Mondello, Tommaso Natale, Mondello e Addaura, e ipotizzandolo operativo nelle ore di morbida della giornata in sostituzione dell'attuale servizio di trasporto pubblico su gomma ivi circolante, che ha mostrato in alcune sue linee, dalle indagini condotte su strada, non solo una scarsa frequenza, ma anche una scarsa affidabilità, tramutandosi in grossi disagi per gli abitanti della zona.

L'efficacia del servizio DRT ipotizzato per il territorio scelto è stata valutata adottando una metodologia di analisi del problema riproducibile in qualsiasi altro contesto urbano. Questa metodologia è stata finalizzata allo scopo non solo di valutare la bontà di un servizio di trasporto condiviso a chiamata all'interno di una generica area periferica, ma punta anche, attraverso la stima di un modello di domanda a quattro

stadi e la costruzione di matrici di origine e destinazione, a dimensionare in maniera ottimale il servizio attraverso un software di macrosimulazione quale VISUM, estraendo utili informazioni sia sulla dimensione della flotta capace di soddisfare la domanda di mobilità che sulle percorrenze e sui tempi necessari per evadere le varie richieste di spostamento. Inoltre, grazie ad un modello di ottimizzazione “*what-to*”, è stato possibile condurre delle analisi economiche mirate all’individuazione della tariffa ottimale per il servizio DRT sia dal punto di vista della collettività che anche dell’azienda di trasporto.

Partendo, quindi, dall’inquadramento territoriale e dall’analisi delle caratteristiche socio-economiche della collettività residente, della rete urbana esistente e delle prestazioni dell’attuale servizio di trasporto pubblico locale, si è proceduto alla caratterizzazione della domanda di mobilità potenziale del servizio a chiamata attraverso delle campagne di indagini RP ed SP che permettessero di valutare le attuali e le future potenziali scelte modali dei cittadini. Queste campagne hanno permesso la calibrazione di un modello comportamentale di scelta modale, che riuscisse a valutare la potenziale propensione dei residenti ad adottare un simile servizio di trasporto, senza dubbio innovativo per il contesto urbano analizzato. I risultati ottenuti dalla calibrazione hanno evidenziato come, rispetto all’attuale split modale verso il trasporto pubblico locale, pari al 9% secondo il PUMS della città di Palermo e, addirittura, più basso (8%) nell’area di studio, l’introduzione di un servizio condiviso a chiamata attiri molto l’interesse della popolazione residente. Bisogna, tuttavia, tener conto degli svantaggi insiti nelle indagini SP, in quanto basate su dichiarazioni degli intervistati che, al momento dell’entrata in funzione del servizio, potrebbero anche comportarsi diversamente da quanto riferito in sede di indagine.

Sempre dalle campagne di indagine RP è stato possibile, inoltre, stimare gli spostamenti emessi e attratti dall’area di studio, considerando anche alcune principali destinazioni esterne, dato che si vuole che il servizio DRT permetta ai suoi utenti di spostarsi anche all’esterno dell’area di studio sfruttando l’intermodalità con il servizio su ferro presso la stazione ferroviaria “Palermo Tommaso Natale” che con il servizio su gomma, rappresentato dalla linea 806 del servizio TPL gestito da Amat, che collega l’area di studio con il centro della città di Palermo.

Grazie alla macrosimulazione eseguita sul software VISUM e all’approccio multi-step proposto è stato possibile modellizzare e progettare un servizio di trasporto

condiviso a domanda ed effettuare delle simulazioni e delle analisi di scenario attraverso indicatori (*Key Performance Indicators – KPIs*) e analisi comparative per valutare le prestazioni del servizio e ottimizzare la flotta sulla base della domanda.

Dai risultati ottenuti emergono le caratteristiche fondamentali del servizio flessibile: dal punto di vista dell'utente il servizio è flessibile e reattivo, in grado di aumentare l'accessibilità alla rete, costituendo quindi un'efficace alternativa di trasporto al mezzo privato; per il fornitore di servizi, invece, il vantaggio è quello di poter implementare un servizio capace di soddisfare una domanda variabile, ottimizzando il servizio e mantenendo un'elevata performance.

Questa considerazione è significativa se si effettua un confronto con i servizi pubblici tradizionali: infatti, una riduzione del numero di mezzi a causa di una domanda decrescente si traduce in una riduzione degli orari di servizio, in percorsi più brevi con conseguente aumento del tempo medio di attesa, e di conseguenza in una notevole riduzione delle prestazioni del servizio.

La massimizzazione della funzione obiettivo costruita per individuare la tariffa ottimale per il servizio a chiamata, invece, ha fornito un quadro di lettura di vari aspetti da considerare al fine di esprimere una valutazione non soltanto economico-finanziaria del servizio, ma anche una considerazione sul gradimento della collettività al variare delle tariffe ipotizzate e anche sulla riduzione delle esternalità negative connesse alla circolazione dei mezzi su strada. La tariffa desunta da questo modello di ottimizzazione, pari a 2,00 €, indica un prezzo superiore a quello di un attuale biglietto del servizio di trasporto pubblico locale sia su gomma che su ferro, ma ben al di sotto di quanto una persona spenderebbe nel caso volesse effettuare degli spostamenti su taxi. Questo aspetto avvalorava il fatto, più volte citato nella letteratura scientifica, che il servizio DRT si inquadra come un'alternativa modale intermedia tra un servizio convenzionale di trasporto pubblico a linea fissa, più economico ma meno flessibile per l'utenza, ed un servizio totalmente flessibile ma ben più costoso come quello rappresentato dai taxi.

Diversi sono, comunque, gli ulteriori studi che possono essere condotti su questa tipologia di servizio di trasporto. La metodologia adottata nel presente elaborato di tesi, infatti, può essere riprodotta in qualsiasi contesto non necessariamente periferico, in modo da valutare la potenzialità del servizio DRT in altre realtà rappresentate da diverse categorie socio-economiche di residenti e diverse densità abitative. Altro

aspetto analizzabile in studi futuri può essere quello di introdurre nel problema di progetto presentato ulteriori vincoli che tengano conto dell'interazione tra domanda di mobilità ed offerta di trasporto in ambito urbano. Lo studio di tale interazione può essere di notevole interesse in quanto in un problema di progetto, al variare degli scenari e, quindi, delle tariffe ipotizzate per il servizio proposto, cambierebbe la domanda di spostamenti effettuati con il servizio DRT sia per spostamenti interni all'area di studio che diretti all'esterno del contesto analizzato; ciò comporterebbe la riduzione, di conseguenza, del numero di spostamenti effettuati dalla collettività con le altre modalità di trasporto, come per esempio i mezzi privati. Questa diminuzione potrebbe implicare tra i potenziali benefici il decongestionamento della rete stradale urbana, richiedendo pertanto nuove assegnazioni della domanda alla rete per stimare i nuovi tempi di percorrenza. Tale analisi è stata tralasciata nel presente studio: a fronte di una matrice OD degli spostamenti effettuati a Palermo con l'auto privata nell'ora di punta, che evidenzia un totale di circa 70.000 spostamenti<sup>14</sup>, l'impatto del decongestionamento della rete stradale per effetto della migrazione di alcuni utenti dal mezzo proprio al DRT è risultato assolutamente trascurabile. Tuttavia, se si volesse estendere l'analisi ad un'area più vasta di quella esaminata nel presente studio, sarebbe necessario tenere conto di questi effetti.

È, inoltre, possibile studiare l'attrattività di un servizio a chiamata non necessariamente operante su area vasta con percorsi totalmente flessibili, ma anche con diversi schemi di funzionamento che prevedano linee fisse con deviazioni di percorso e un insieme di fermate sia fisse che su richiesta. Una diversa modalità operativa, infatti, potrebbe mostrare diversi valori di domanda attratta, con una correlata incidenza sul dimensionamento della flotta di veicoli ottimale per soddisfare tale domanda di mobilità, risultato deducibile solo attraverso dei software di macrosimulazione. Un ulteriore sviluppo futuro potrebbe essere connesso alla diversificazione dei titoli di viaggio. Nel tema qui affrontato si è presa in considerazione una tariffa fissa del servizio, pari al costo del singolo biglietto, valida indistintamente per qualunque categoria socio-economica; in futuro si potrebbe, invece, considerare non solo la possibilità che gli utenti del servizio DRT possano acquistare abbonamenti o carnet di viaggi, ma anche

---

<sup>14</sup> Il totale degli spostamenti in auto come conducente è estratto dalla relazione tecnica del PGTU della città di Palermo, datata febbraio 2010, consultabile al link [https://www.comune.palermo.it/js/server/uploads/trasparenza\\_all/\\_17042014100136.pdf](https://www.comune.palermo.it/js/server/uploads/trasparenza_all/_17042014100136.pdf)

l'eventuale adozione di politiche di sussidiarietà per categorie deboli (come per esempio anziani, persone con difficoltà motorie o con basso reddito), che potrebbero influenzare la scelta modale futura avendo adottato un modello di domanda in cui la scelta finale degli utenti è dipendente dalla loro categoria socio-economica. Un altro possibile tema da approfondire potrebbe essere quello del tipo di alimentazione dei veicoli: una flotta di mezzi elettrici, infatti, se da un lato richiede un'attenta analisi economico-finanziaria, visti i costi di questa tipologia di veicoli, porterebbe dall'altro lato un non indifferente beneficio sull'inquinamento atmosferico, trattandosi di veicoli ad impatto zero e, quindi, totalmente ecosostenibili. Potrebbero, inoltre, costituire anche un aspetto di notevole importanza anche per i potenziali utenti, che potrebbero essere motivati ad abbandonare il proprio mezzo privato per intraprendere una strada di maggiore sostenibilità dei trasporti.

Sicuramente, l'introduzione e lo studio di un simile servizio di trasporto condiviso costituirebbe un importante passo avanti verso una rivoluzione flessibile ed ecosostenibile nel mondo dei trasporti.



## Finanziamenti

La presente ricerca è stata svolta nell'ambito del Progetto di ricerca PRIN 2017 dal titolo: "*WEAKI TRANSIT: WEAK-demand areas Innovative - Demand areas Innovative TRANSport Shared services for Italian Towns - WEAKI TRANSIT*", codice cineca identificativo del progetto 20174ARRHT\_001, CUP: UNIPA di cui è Responsabile Scientifico, per l'Ateneo di Palermo, il prof. Marco Migliore.



## Bibliografia

Ambrosino, G., Romanazzo, M. (2002) 'I servizi flessibili di trasporto per una mobilità sostenibile', *ENEA Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente*.

Ambrosino, G. *et al.* (2004) 'Demand Responsive Transport Services: Towards flexible mobility agency', *ENEA Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente*.

Attard, M., Camilleri, M. P. J., Muscat, A. (2020) 'The technology behind a shared demand responsive transport system for a university campus', *Research in Transportation Business and Management*. Elsevier, 36(November 2019), p. 100463. doi: 10.1016/j.rtbm.2020.100463.

Ben-Akiva, M. *et al.* (1994) 'Combining revealed and stated preferences data', *Marketing Letters*, 5(4), pp. 335–349. doi: 10.1007/BF00999209.

Börjesson, M., Fung, C. M., Proost, S. (2020) 'How rural is too rural for transit? Optimal transit subsidies and supply in rural areas', *Journal of Transport Geography*. Elsevier, 88(August), p. 102859. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102859.

Botsman, R., Rogers, R. (2011). *What's Mine Is Yours* ([edition unavailable]). HarperCollins Publishers. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/669866/whats-mine-is-yours-how-collaborative-consumption-is-changing-the-way-we-live-pdf> (Original work published 2011)

Brake, J., Nelson, J. D., Wright, S. (2004) 'Demand responsive transport: Towards the emergence of a new market segment', *Journal of Transport Geography*, 12(4), pp. 323–337. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2004.08.011.

Brownstone, D., Bunch, D. S., Train, K. (2000) 'Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles', *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(5), pp. 315–338. doi: 10.1016/S0191-2615(99)00031-4.

Calabrò, G. *et al.* (2022) 'Fixed-Route vs. Demand-Responsive Transport Feeder Services: An Exploratory Study Using an Agent-Based Model', *Journal of Advanced Transportation*, 2022. doi: 10.1155/2022/8382754.

Capodici, A. E., D'Angelo, R., D'Orso, G., Migliore, M., "Demand Responsive Transport Services for Improving the Public Transport in Suburban Areas," *2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope54979.2022.9854727.

Cascetta, E. (2006) 'Modelli per i Sistemi di Trasporto – Teoria e Applicazioni', *UTET Università*.

Chandra, S. *et al.* (2013) 'Accessibility evaluations of feeder transit services', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 52, pp. 47–63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.05.001>.

Citrano M. (2022) "I servizi DRT per innalzare l'efficienza e l'efficacia del trasporto pubblico locale nelle aree a domanda debole: il caso studio di Tommaso Natale e Partanna-Mondello"

Città di Palermo (2019) "Piano Urbano della Mobilità Sostenibile – Quadro conoscitivo"

Currie, G., Fournier, N. (2020) 'Why most DRT/Micro-Transits fail – What the survivors tell us about progress', *Research in Transportation Economics*. Elsevier Ltd, 83(May), p. 100895. doi: 10.1016/j.retrec.2020.100895.

Davison, L. *et al.* (2012) 'Identifying potential market niches for Demand Responsive Transport', *Research in Transportation Business and Management*. Elsevier Ltd, 3, pp. 50–61. doi: 10.1016/j.rtbm.2012.04.007.

de Palma, A., Vosough, S., Liao, F. (2022), "An overview of effects of COVID-19 on mobility and lifestyle: 18 months since the outbreak", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 159, no. March, pp. 372–397.

Dytckov, S. *et al.* (2022) 'Potential Benefits of Demand Responsive Transport in Rural Areas: A Simulation Study in Lolland, Denmark', *Sustainability*, 14(6). doi: 10.3390/su14063252.

Enoch *et al.* (2006). 'Why do demand re-sponsive transport systems fail?' In: *Transportation Research Board 85th Annual Meeting*, 22-26 January 2006, Washington DC.

Gunay, B. *et al.* (2016) 'Estimation of modal shift potential for a new form of dial-a-ride service', *Journal of Public Transportation*, 19(2), pp. 75–88. doi: 10.5038/2375-0901.19.2.5.

ICE (2021), "ICE discussion paper: Public transport funding post - Covid," no. 210252, pp. 1–14.

Jain, S. *et al.* (2017) 'Predicting susceptibility to use demand responsive transport using demographic and trip characteristics of the population', *Travel Behaviour and Society*. Hong Kong Society for Transportation Studies, 6, pp. 44–56. doi: 10.1016/j.tbs.2016.06.001.

König, A., Grippenkov, J. (2020) 'The actual demand behind demand-responsive transport: Assessing behavioral intention to use DRT systems in two rural areas in Germany', *Case Studies on Transport Policy*. Elsevier, 8(3), pp. 954–962. doi: 10.1016/j.cstp.2020.04.011.

Kroes, E. P., Sheldon, R. J. (1988) "Stated Preference Methods: An Introduction." *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 22, no. 1, pp. 11–25. *JSTOR*, <http://www.jstor.org/stable/20052832>. Accessed 17 Dec. 2022.

Li, X., Quadrifoglio, L. (2010) 'Feeder transit services: Choosing between fixed and demand responsive policy', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Elsevier Ltd, 18(5), pp. 770–780. doi: 10.1016/j.trc.2009.05.015.

Litman, T. (2017) 'Public Transportation's Impact on Rural and Small Towns Public', *The American Public Transportation Association (APTA)*, pp. 1–48. Available at: <http://www.apta.com/resources/reportsandpublications/Documents/APTA-Rural-Transit-2017.pdf>.

Mageean, J., Nelson, J. D. (2003) 'The evaluation of demand responsive transport services in Europe', *Journal of Transport Geography*, 11(4), pp. 255–270. doi: 10.1016/S0966-6923(03)00026-7.

Mao, Z. *et al.* (2021) 'Computers & Industrial Engineering Impact of coronavirus pandemic on sharing mode of manufacturer', *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 158(May), p. 107386. doi: 10.1016/j.cie.2021.107386.

Migliore, M., Lo Burgio, A., Di Giovanna, M. (2014) 'Parking pricing for a sustainable transport system', *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 3(July), pp. 403–412. doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.021.

Mounce, R., Beecroft, M., Nelson, J. D. (2020) 'On the role of frameworks and smart mobility in addressing the rural mobility problem', *Research in Transportation Economics*. Elsevier Ltd, 83(November 2019), p. 100956. doi: 10.1016/j.retrec.2020.100956.

Nelson, J. D., Phonphitakchai, T. (2012) 'An evaluation of the user characteristics of an open access DRT service', *Research in Transportation Economics*. Elsevier Ltd, 34(1), pp. 54–65. doi: 10.1016/j.retrec.2011.12.008.

Nickkar, A., Lee, Y. J., Meskar, M. (2022) 'Developing an optimal algorithm for demand responsive feeder transit service accommodating temporary stops', *Journal of Public Transportation*. Elsevier, 24(March), p. 100021. doi: 10.1016/j.jpuptr.2022.100021.

NZ Transport Agency, 2008. Planning, programming and funding manual (PPFM). NZTA, 728pp.

Osservatorio Nazionale Sharing Mobility (2022) “6° Rapporto Nazionale sulla Sharing Mobility”

Papanikolaou, A. *et al.* (2017) ‘A methodological framework for assessing the success of Demand Responsive Transport (DRT) services’, *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 24(2016), pp. 393–400. doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.095.

Poltimäe, H. *et al.* (2022) ‘In search of sustainable and inclusive mobility solutions for rural areas’, *European Transport Research Review*. Springer International Publishing, 14(1). doi: 10.1186/s12544-022-00536-3.

Public Transport Management Act, 2008. The New Zealand Public Transport Management Act (*PTMA* 2008).

Ronald, N. *et al.* (2013) ‘Determining the Viability of a Demand-Responsive Transport System under Varying Demand Scenarios’, in *IWCTS 2013 - 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science*. doi: 10.1145/2533828.2533831.

Ryley, T. J. *et al.* (2014) ‘Investigating the contribution of Demand Responsive Transport to a sustainable local public transport system’, *Research in Transportation Economics*. Elsevier Ltd, 48, pp. 364–372. doi: 10.1016/j.retrec.2014.09.064.

Schor J., (2014) “Debating the Sharing Economy,” *Great Transition Initiative*, <http://www.greattransition.org/publication/debating-the-sharing-economy>.

Sörensen, L. *et al.* (2021) ‘How much flexibility does rural public transport need? – Implications from a fully flexible DRT system’, *Transport Policy*, 100(December 2019), pp. 5–20. doi: 10.1016/j.tranpol.2020.09.005.

Teal, R. F., Becker, A. J. (2011) 'Business strategies and technology for access by transit in lower density environments', *Research in Transportation Business and Management*. Elsevier Ltd, 2, pp. 57–64. doi: 10.1016/j.rtbm.2011.08.003.

Tosato, E. (2009), "Controllo della molteplicità associata ai modelli di regressione di tipo *stepwise*"

Truden, C. *et al.* (2022) 'A GIS-based analysis of reachability aspects in rural public transportation', *Case Studies on Transport Policy*, 10(3), pp. 1827–1840. doi: 10.1016/j.cstp.2022.07.012.

Van Der Vaart, W. (2009) 'Testing a Cue-list to Aid Attitude Recall in Surveys: A Field Experiment', *Journal of Official Statistics*, 25(3), pp. 363–378.

Velaga, N. R. *et al.* (2012) 'The potential role of Flexible Transport Services in enhancing rural public transport provision', *Journal of Public Transportation*. The Author(s). Published by Elsevier Inc., 15(1), pp. 111–131. doi: 10.5038/2375-0901.15.1.7.

Viergutz, K., Schmidt, C. (2019) 'Demand responsive - Vs. conventional public transportation: A MATSim study about the rural town of Colditz, Germany', *Procedia Computer Science*. Elsevier B.V., 151(2018), pp. 69–76. doi: 10.1016/j.procs.2019.04.013.

Wang, C. *et al.* (2014) 'Multilevel modelling of Demand Responsive Transport (DRT) trips in Greater Manchester based on area-wide socio-economic data', *Transportation*, 41(3), pp. 589–610. doi: 10.1007/s11116-013-9506-1.

Wang, C. *et al.* (2015) 'Exploring the propensity to travel by demand responsive transport in the rural area of Lincolnshire in England', *Case Studies on Transport Policy*. World Conference on Transport Research Society, 3(2), pp. 129–136. doi: 10.1016/j.cstp.2014.12.006.

Wardman, M. (1988) 'A comparison of revealed preference and stated preference models of travel behaviour', *Journal of Transport Economics and Policy*, 22(1), pp. 71–91.

Yen, B. T. H., Mulley, C., Yeh, C. J. (2022) 'Performance evaluation for demand responsive transport services: A two-stage bootstrap-DEA and ordinary least square approach', *Research in Transportation Business and Management*. Elsevier Ltd, (August 2021), p. 100869. doi: 10.1016/j.rtbm.2022.100869.

Zografos, K., Androutsopoulos, K., Sihvola, T. (2008) 'A methodological approach for developing and assessing business models for flexible transport systems', *Transportation*, 35, pp. 777–795. doi: 10.1007/s11116-008-9176-6.