



# **POLITECNICO**

## **MILANO 1863**

### **VALUTAZIONE DELL'UTILIZZO DI LINEE FUNIVIARIE AEREE COME PARTE DEI SISTEMI TPL NEL CONTESTO URBANO EUROPEO**

### **STUDIO DI CASO DEL QUARTIERE BOVISA – CITTÀ DI MILANO**

**Tesi di laurea di:**

**Esteban Camilo Alvarez Castro**

**Relatore:**

**Prof. Ing. Roberto Maja**

**Matricola:**

**927711**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile: Infrastrutture di Trasporto

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Anno Accademico 2020/2021

## **Ringraziamenti**

*Questa tesi è stata sviluppata innanzitutto grazie al supporto nell'ambito accademico del professore Roberto Maja e all'autorizzazione fornita da PTV Group per l'utilizzo del suo software di modellazione di trasporto PTV Visum.*

*Vorrei anche ringraziare sia al Politecnico di Milano che alla Universidad Nacional de Colombia. Entrambe le istituzioni mi hanno fornito innumerevoli elementi che mi hanno permesso di crescere enormemente a livello professionale ma anche a livello personale, ed è grazie ai loro sforzi nel forgiare dei forti rapporti interistituzionali che sono riuscito a finire i miei studi di Laurea Magistrale nella migliore università d'Italia.*

*A tutti i colleghi con cui ho lavorato durante il mio periodo di studi al Politecnico, e soprattutto agli amici che mi hanno accompagnato in questa incredibile esperienza, in presenza e a distanza, grazie di cuore per esserci sempre.*

*Por último, mi familia, que estuvo presente desde el primer día sin importar los más de 9000 kilómetros de distancia que nos separan, siempre dispuesta a escucharme, asesorarme y apoyarme, es quien se lleva el mayor de los agradecimientos.*

# INDICE

ABSTRACT .....	9
1. INTRODUZIONE.....	10
2. OBIETTIVI E METODOLOGIA .....	13
3. FUNIVIE AEREE.....	15
4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	26
5. ANALISI DELLA DOMANDA.....	42
5.1. ZONIZZAZIONE .....	42
5.2. MATRICE O-D .....	46
5.3. INDAGINI SP (PREFERENZE DICHIARATE).....	49
5.4. MODELLI DI RIPARTIZIONE MODALE.....	57
6. CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI .....	58
7. ANALISI DI SENSIBILITÀ .....	65
8. SIMULAZIONE.....	71
9. ANALISI FINANZIARIA .....	92
10. CONCLUSIONI.....	103
11. BIBLIOGRAFIA.....	105

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1: Divisione della popolazione urbana mondiale secondo le regioni più o meno sviluppate. (UNDESA, 2018).....	15
Figura 3.2: Linea K di Metrocable nel quartiere Santo Domingo di Medellin. (Davila e Brand, 2012). .....	20
Figura 3.3: Mappa della rete di trasporto pubblico di Medellin, incluse le linee funiviarie aeree del Metrocable. (Metro de Medellin, 2021). .....	21
Figura 3.4: Meccanismo all'interno di una stazione di deviazione a Caracas, Venezuela. (The Gondola Project, 2021).....	22
Figura 3.5: Schema di funzionamento delle linee con tracciati non lineari. (The Gondola Project, 2021). .....	22
Figura 3.6: Mappa della rete di funivie aeree urbane Mi Teleferico, a La Paz, Bolivia. (Ricuperato da: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Mi_Telef%C3%A9rico#/media/Archivo:Seilbahnnetz_La_Paz.svg">https://es.wikipedia.org/wiki/Mi_Telef%C3%A9rico#/media/Archivo:Seilbahnnetz_La_Paz.svg</a> , 2021). .....	23
Figura 3.7: Stazione Irpawi della linea verde del sistema Mi Teleferico a La Paz, Bolivia. (Ricuperato da: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Mi_Telef%C3%A9rico#/media/Archivo:Estaci%C3%B3n_Irpawi.jpg">https://es.wikipedia.org/wiki/Mi_Telef%C3%A9rico#/media/Archivo:Estaci%C3%B3n_Irpawi.jpg</a> , 2021). .....	23

Figura 3.8: Rheinseilbahn di Coblenza, Germania (Ricuperato da: <a href="https://media.tacdn.com/media/attractions-splice-spp-674x446/0b/39/8f/5d.jpg">https://media.tacdn.com/media/attractions-splice-spp-674x446/0b/39/8f/5d.jpg</a> , 2021).....	24
Figura 4.1: Area d’influenza del progetto (Elaborazione propria).....	26
Figura 4.2: Uso del suolo nella zona di studio (Elaborazione propria, in base a dati forniti dalla Regione Lombardia).....	27
Figura 4.3: Popolazione per sezione di censimento nell’anno 2010 (Elaborazione propria, in base a dati forniti dal Comune di Milano).....	29
Figura 4.4: Popolazione per sezione di censimento nell’anno 2030 (Elaborazione propria, in base a dati forniti dal Comune di Milano).....	29
Figura 4.5: Rete di superficie attuale (Elaborazione propria).....	30
Figura 4.6: Rete metropolitana attuale (Elaborazione propria). ....	31
Figura 4.7: Stato attuale della rete ferroviaria (Elaborazione propria). ....	31
Figura 4.8: Percorso delle linee di autobus nell’area di studio che coinvolgono la periferia di Milano (Elaborazione propria).....	32
Figura 4.9: Percorso delle linee di autobus nell’area di studio che coinvolgono il centro di Milano (Elaborazione propria).....	33
Figura 4.10: Percorso delle linee di autobus nell’area di studio extraurbane (Elaborazione propria). ....	33
Figura 4.11: Percorso della linea di autobus nell’area di studio notturna (Elaborazione propria).....	34
Figura 4.12: Percorso delle linee di filobus nell’area di studio (Elaborazione propria). ....	35
Figura 4.13: Percorso delle linee di tram nell’area di studio (Elaborazione propria). ....	36
Figura 4.14: Proposte di espansione della rete tranviaria incluse nel PUMS di 2015 (Elaborazione propria). ....	38
Figura 4.15: Proposte di costruzione di nuove stazioni ferroviarie incluse nel PUMS di 2015 (Elaborazione propria).....	39
Figura 5.1: Zone interne all’area di studio (Elaborazione propria).....	43
Figura 5.2: Zone adiacenti all’area di studio (Elaborazione propria). ....	44
Figura 6.1: Vincoli esistenti per la costruzione di una linea funiviaria aerea (Elaborazione propria). ....	58
Figura 6.2: Viaggi generati da ogni zona interna (Elaborazione propria). ....	59
Figura 6.3: Viaggi attratti da ogni zona interna (Elaborazione propria). ....	60
Figura 6.4: Collegamenti mancanti dentro la rete TPL attuale (Elaborazione propria). ....	60
Figura 6.5: Alternativa di tracciato 1 “Linea Azzurra” (Elaborazione propria). ....	61
Figura 6.6: Alternativa di tracciato 2 “Linea Viola” (Elaborazione propria). ....	62
Figura 6.7: Schema di misura delle distanze tra stazioni (Elaborazione propria).....	63
Figura 6.8: Cabina tipo per impianti a tre funi con capacità oltre i 10 passeggeri (Cabina ATRIA, Doppelmayr). ....	64
Figura 8.1: Scenario 1 – PUMS Parziale + Linea Azzurra (Elaborazione propria).....	72
Figura 8.2: Scenario 2 – PUMS Completo + Linea Viola (Elaborazione propria). ....	72
Figura 8.3: Scenario 3 – PUMS Parziale + Linea Azzurra + Linea Viola (Elaborazione propria).....	73

Figura 8.4: Scenario 1 – Distribuzione della domanda nella rete TPL (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	76
Figura 8.5: Scenario 1 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	76
Figura 8.6: Scenario 1 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	77
Figura 8.7: Scenario 1 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	77
Figura 8.8: Scenario 1 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	78
Figura 8.9: Scenario 1 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	78
Figura 8.10: Scenario 1 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	79
Figura 8.11: Scenario 1 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	79
Figura 8.12: Scenario 1 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	80
Figura 8.13: Scenario 2 – Distribuzione della domanda nella rete TPL (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	80
Figura 8.14: Scenario 2 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	81
Figura 8.15: Scenario 2 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	81
Figura 8.16: Scenario 2 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	82
Figura 8.17: Scenario 2 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	82
Figura 8.18: Scenario 2 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	83
Figura 8.19: Scenario 2 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	83
Figura 8.20: Scenario 2 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	84
Figura 8.21: Scenario 2 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	84
Figura 8.22: Scenario 3 – Distribuzione della domanda nella rete TPL (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	85
Figura 8.23: Scenario 3 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	85
Figura 8.24: Scenario 3 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	86

Figura 8.25: Scenario 3 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	86
Figura 8.26: Scenario 3 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	87
Figura 8.27: Scenario 3 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	87
Figura 8.28: Scenario 3 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	88
Figura 8.29: Scenario 3 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum). .....	88
Figura 8.30: Scenario 3 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum) .....	89

## **INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 4.1: Popolazione dei quartieri coinvolti nell’area di studio negli anni 2010 e 2030 con la sua variazione percentuale (Elaborazione propria). .....	28
Tabella 4.2: Linee di autobus con influenza nell’area di studio (Elaborazione propria). .....	32
Tabella 4.3: Linee di filobus con influenza nell’area di studio (Elaborazione propria).....	34
Tabella 4.4: Linee di tram con influenza nell’area di studio (Elaborazione propria). .....	35
Tabella 4.5: Linee ferroviarie con influenza nell’area di studio (Elaborazione propria). .....	36
Tabella 5.1: Comuni contenuti in ogni zona esterna (Elaborazione propria). .....	45
Tabella 5.2: Zone definite per lo studio della domanda del progetto (Elaborazione propria). .....	46
Tabella 5.3: Matrice O-D con valori d’indagini sul pendolarismo del 2011 (Elaborazione propria). .....	47
Tabella 5.4: Stimazione di viaggi totali interni e di scambio con Milano nel 2030 (Elaborazione propria). ...	48
Tabella 5.5: Proporzioni Stimazione viaggi totali nel 2030 con Indagini sul pendolarismo nel 2011 (Elaborazione propria).....	48
Tabella 5.6: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi totali giornalieri del 2030 (Elaborazione propria). .....	48
Tabella 5.7: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi totali nell’ora di punta del 2030 (Elaborazione propria).....	49
Tabella 5.8: Alternative, attributi e livelli di variazione considerati nelle indagini SP (Elaborazione propria). .....	51
Tabella 5.9: Livelli di variazione per attributo e per alternativa per il gruppo di domanda “Residenti e Pendolari” (Elaborazione propria).....	52
Tabella 5.10: Livelli di variazione per attributo e per alternativa per il gruppo di domanda “Residenti” (Elaborazione propria).....	52
Tabella 5.11: Livelli di variazione per attributo e per alternativa per il gruppo di domanda “Pendolari” (Elaborazione propria).....	53

Tabella 5.12: Risposte delle indagini per il gruppo di domanda “Residenti e Pendolari” (Elaborazione propria).	54
Tabella 5.13: Risposte delle indagini per il gruppo di domanda “Residenti” (Elaborazione propria).	55
Tabella 5.14: Risposte delle indagini per il gruppo di domanda “Pendolari” (Elaborazione propria).	56
Tabella 5.15: Parametri dei modelli di ripartizione modale per ogni gruppo di domanda (Elaborazione propria).	57
Tabella 6.1: Lunghezze delle tratte tra stazione dell’alternativa 1 “Linea Azzurra” (Elaborazione propria).	61
Tabella 6.2: Lunghezze delle tratte tra stazione dell’alternativa 2 “Linea Viola” (Elaborazione propria).	62
Tabella 6.3: Parametri operazionali del sistema funiviario (Elaborazione propria).	63
Tabella 6.4: Calcolo della velocità commerciale del servizio (Elaborazione propria).	63
Tabella 6.5: Rapporto tra capacità della linea ed il numero totale di cabine.	64
Tabella 7.1: Analisi di sensibilità per il gruppo di domanda “Residenti e Pendolari” (Elaborazione propria).	65
Tabella 7.2: Analisi di sensibilità per il gruppo di domanda “Residenti” (Elaborazione propria).	66
Tabella 7.3: Analisi di sensibilità per il gruppo di domanda “Pendolari” (Elaborazione propria).	67
Tabella 7.4: Percentuali di utenza potenziale della rete TPL per ogni gruppo di domanda (Elaborazione propria).	67
Tabella 7.5: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi effettuati nella rete TPL durante l’ora di punta del 2030, se la tariffa del nuovo servizio proposto è 0.50€ (Elaborazione propria).	68
Tabella 7.6: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi effettuati nella rete TPL durante l’ora di punta del 2030, se la tariffa del nuovo servizio proposto è 1.00€ (Elaborazione propria).	69
Tabella 7.7: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi effettuati nella rete TPL durante l’ora di punta del 2030, se la tariffa del nuovo servizio proposto è 1.50€ (Elaborazione propria).	69
Tabella 7.8: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi effettuati nella rete TPL durante l’ora di punta del 2030, se la tariffa del nuovo servizio proposto è 2.00€ (Elaborazione propria).	70
Tabella 8.1: Frequenza e velocità commerciale delle linee considerate nella simulazione (Elaborazione propria).	74
Tabella 8.2: Riassunto dei risultati delle simulazioni (Elaborazione propria).	90
Tabella 8.3: Capacità e numero di cabine richiesti nello scenario 1 (Elaborazione propria).	90
Tabella 8.4: Capacità e numero di cabine richiesti nello scenario 2 (Elaborazione propria).	90
Tabella 8.5: Capacità e numero di cabine richiesti nello scenario 3 (Elaborazione propria).	91
Tabella 9.1: Costi di investimento per ognuno degli scenari valutati (Elaborazione propria).	93
Tabella 9.2: Costi relativi al consumo annuo d’energia elettrica (Elaborazione propria).	94
Tabella 9.3: Numero di dipendenti lavorando nel sistema per ogni scenario (Elaborazione propria).	94
Tabella 9.4: Calcolo di ore effettive di lavoro annuale per ogni dipendente (Elaborazione propria).	94
Tabella 9.5: Calcolo del personale operativo necessario per il funzionamento annuo del sistema (Elaborazione propria).	95
Tabella 9.6: Stipendi considerati per ogni ruolo (Elaborazione propria).	95
Tabella 9.7: Costi dovuti alla retribuzione annuale del personale (Elaborazione propria).	96

Tabella 9.8: Costi aggiuntivi (Elaborazione propria). .....	96
Tabella 9.9: Costi totali annuali di Operazione e Manutenzione (Elaborazione propria). .....	96
Tabella 9.10: Ricavi finanziari per ogni tariffa in ogni scenario (Elaborazione propria). .....	96
Tabella 9.11: Quota di ammortamento annuale per un prestito pari al 100% dei costi di investimento in ogni scenario (Elaborazione propria). .....	97
Tabella 9.12: Ingressi aggiuntivi in ogni scenario (Elaborazione propria). .....	97
Tabella 9.13: Bilancio finanziario dello Scenario 1 – Tariffa 0.50€ (Elaborazione propria). .....	98
Tabella 9.14: Bilancio finanziario dello Scenario 1 – Tariffa 1.00€ (Elaborazione propria). .....	98
Tabella 9.15: Bilancio finanziario dello Scenario 1 – Tariffa 1.50€ (Elaborazione propria). .....	98
Tabella 9.16: Bilancio finanziario dello Scenario 1 – Tariffa 2.00€ (Elaborazione propria). .....	99
Tabella 9.17: Bilancio finanziario dello Scenario 2 – Tariffa 0.50€ (Elaborazione propria). .....	99
Tabella 9.18: Bilancio finanziario dello Scenario 2 – Tariffa 1.00€ (Elaborazione propria). .....	99
Tabella 9.19: Bilancio finanziario dello Scenario 2 – Tariffa 1.50€ (Elaborazione propria). .....	100
Tabella 9.20: Bilancio finanziario dello Scenario 2 – Tariffa 2.00€ (Elaborazione propria). .....	100
Tabella 9.21: Bilancio finanziario dello Scenario 3 – Tariffa 0.50€ (Elaborazione propria). .....	100
Tabella 9.22: Bilancio finanziario dello Scenario 3 – Tariffa 1.00€ (Elaborazione propria). .....	101
Tabella 9.23: Bilancio finanziario dello Scenario 3 – Tariffa 1.50€ (Elaborazione propria). .....	101
Tabella 9.24: Bilancio finanziario dello Scenario 3 – Tariffa 2.00€ (Elaborazione propria). .....	101



## **ABSTRACT**

Una delle problematiche più rilevanti che si possono identificare nel mondo attuale è quella della gestione efficiente dello spazio a disponibilità per lo sviluppo delle città. Da un'altra parte, la sostenibilità ambientale ed economica si posiziona sempre di più come punto di riferimento per un'ottima crescita delle zone urbane. La congiunzione tra l'aumento di domanda abitativa, l'accoglienza dei principi di sostenibilità per lo sviluppo delle città e la necessità d'integrazione della popolazione all'interno di esse si traduce ulteriormente nella ricerca di spazi densificati, saggiamente distribuiti ed attrezzati allo scopo di garantire una qualità di vita degna e salutare per le persone, ed integrati completamente nella giurisdizione amministrativa, economica e sociale del comune o area metropolitana di competenza.

Legato a quanto detto, sempre sotto i principi della sostenibilità, la fornitura di trasporto pubblico diventa uno strumento importantissimo per soddisfare in maniera efficace, ma soprattutto responsabile, un'enorme quota della domanda di mobilità esistente nelle zone urbane. Tuttavia, ci sono occasioni in cui la complessità geografica e sociale nella quale ne sono immerse tante diventa il maggiore ostacolo da superare al momento di progettare l'espansione delle loro reti di trasporto pubblico sulla totalità del territorio.

Una soluzione a questa problematica, adottata soprattutto negli ultimi decenni in numerose città del Sud America e Asia, è quella dell'implementazione di linee funiviarie aeree per espandere le reti di trasporto pubblico locale fino alle aree di difficile accesso. Sebbene in Europa le circostanze esistenti nella maggioranza di città possano essere molto meno gravose, nel senso che le loro caratteristiche demografiche e soprattutto economiche permettono di valutare diverse alternative oltre alle linee funiviarie aeree, risulta comunque strano che esse siano assenti in praticamente tutte le reti di trasporto pubblico locale europee.

In questa tesi di laurea si valuterà la possibilità d'includere delle linee funiviarie aeree nel sistema di trasporto pubblico locale dell'area metropolitana di Milano, una delle più grandi in Europa. Si cercherà di evidenziare l'utilità che ha la messa in servizio di questo mezzo anche quando non ci sono delle condizioni topografiche particolarmente complesse, sottolineando le problematiche analoghe che comportano le barriere antropiche costituite da certe infrastrutture presenti all'interno della città, ed esaltando l'elevata potenzialità per lo sviluppo urbanistico che lo stesso mezzo è in grado di offrire.

# 1. INTRODUZIONE

Dalla prospettiva della pianificazione territoriale, una delle problematiche più rilevanti che si possono identificare nel mondo attuale è quella della gestione efficiente dello spazio a disponibilità per lo sviluppo delle città. Tale problematica nasce principalmente dalla crescita vertiginosa della popolazione nelle aree urbane a causa di diverse dinamiche economiche e tecnologiche che hanno influenzato fortemente l'avanzamento della società umana da qualche decennio. Il fenomeno di migrazione accelerata verso queste zone ha creato infatti una grande quantità di nuove e urgenti sfide legate all'adeguato insediamento dei nuovi cittadini, le quali comprendono indubbiamente l'ambito di lavoro dell'ingegneria civile.

Da un'altra parte, la sostenibilità ambientale ed economica si posiziona sempre di più come punto di riferimento per un'ottima crescita delle zone urbane. Questo costringe le autorità pubbliche all'adozione di soluzioni che prevedano l'utilizzo efficiente dello spazio, ovvero, soluzioni che riescano ad instaurare le condizioni necessarie per l'abitabilità delle città senza comportare l'occupazione di enormi quantità di suolo naturale; certamente, evitare l'espansione indiscriminata dei centri abitati riduce significativamente i valori d'investimento economico e gli effetti negativi subiti dall'ambiente, oltre che favorisce l'integrazione della popolazione nelle attività di vario tipo che ci si svolgono.

La congiunzione tra l'aumento di domanda abitativa, l'accoglienza dei principi di sostenibilità per lo sviluppo delle città e la necessità d'integrazione della popolazione all'interno di esse si traduce ulteriormente nella ricerca di spazi densificati, saggiamente distribuiti ed attrezzati allo scopo di garantire una qualità di vita degna e salutare per le persone, ed integrati completamente nella giurisdizione amministrativa, economica e sociale del comune o area metropolitana di competenza. Tra quegli elementi più fondamentali per l'ottenimento di tali caratteristiche, la configurazione della rete di trasporto dedicata alla movimentazione dei cittadini possiede speciale rilevanza; non per niente il trasporto è venuto ad essere considerato un servizio pubblico essenziale, acquisendo lo stesso valore che hanno, ad esempio, la raccolta dei rifiuti e l'accesso ai servizi sanitari.

Legato a quanto detto, sempre sotto i principi della sostenibilità, la fornitura di trasporto pubblico diventa uno strumento importantissimo per soddisfare in maniera efficace, ma soprattutto responsabile, un'enorme quota della domanda di mobilità esistente nelle zone urbane. Difatti, la concentrazione di sforzi per sviluppare delle reti di trasporto pubblico locale estese e ben distribuite nelle città permette di offrire alla cittadinanza un'alternativa per effettuare gli spostamenti quotidiani molto meno nociva rispetto all'autovettura privata, ma comunque utile e affidabile. Tale alternativa comporta la riduzione delle esternalità negative del trasporto, quali l'emissione di sostanze inquinanti, la congestione della rete viaria ed il numero d'incidenti stradali, nonché l'ottimizzazione dell'utilizzo dello spazio e delle risorse economiche nella costruzione e manutenzione delle infrastrutture.

A questo punto bisogna mettere in considerazione i fattori che possono intralciare l'implementazione dei sistemi di trasporto pubblico locale in zone specifiche delle città.

Come detto prima, la densificazione delle aree urbane è indispensabile per avere una configurazione spaziale idonea con cui avviare un servizio frequente e affidabile senza implicare l'investimento di una smisurata quantità di risorse economiche. Tuttavia, pur essendoci queste linee guida di sviluppo urbanistico in numerose città del mondo, ci sono occasioni in cui la complessità geografica e sociale nella quale ne sono immerse tante diventa il maggiore ostacolo da superare al momento di progettare l'espansione delle loro reti di trasporto pubblico sulla totalità del territorio.

Si consideri il fatto che in certe regioni del pianeta esistono delle condizioni politiche, sociali e/o economiche particolari, le quali possono scatenare fenomeni di urbanizzazione incontrollata nei dintorni delle aree metropolitane più importanti. Frequentemente, i dintorni comprendono zone non previste inizialmente per l'insediamento di persone, date le loro caratteristiche topografiche e la difficoltà legata alla loro integrazione con la città. Eppure, è in queste aree isolate dove viene spesso evidenziata la comparsa d'interi quartieri.

Certamente, i piani di sviluppo territoriale che le autorità amministrative possano aver studiato in primo luogo devono essere modificati a causa della formazione dei suddetti quartieri. Essi, seppur densificati, generano nuove sfide che riguardano innanzitutto il loro collegamento con il resto della città; questo lavoro viene gradualmente effettuato attraverso la fornitura di servizi pubblici garantiti da parte dei comuni, tra cui il servizio di trasporto.

Purtroppo, la velocità di crescita delle zone non pianificate tante volte eccede la capacità degli enti di governo nel soddisfare adeguatamente le necessità della popolazione che ci risiede. Per quanto riguarda il trasporto, capita spesso che lo spazio a disposizione per costruire l'infrastruttura corrispondente alla domanda esistente venga rapidamente occupato da nuovi insediamenti residenziali; tale circostanza aggiunge ancora più difficoltà alla fornitura del servizio, processo già di per sé complesso a causa della localizzazione di questo tipo di sobborghi periferici.

Una soluzione a questa problematica, adottata soprattutto negli ultimi decenni in numerose città del Sud America e Asia, è quella dell'implementazione di linee funiviarie aeree per espandere le reti di trasporto pubblico locale fino alle aree di difficile accesso. Ciò che rende questo mezzo di trasporto un'opzione così adeguata è la sua facilità per superare gli ostacoli di carattere geografico e antropico, potendo essere inserito in zone isolate e densamente costruite senza notevoli complicazioni tecniche e mantenendo sempre controllata la quantità di risorse economiche investite. Inoltre, l'infrastruttura che compone questo tipo di linee di trasporto pubblico può essere approfittata per realizzare importanti interventi urbanistici nei quartieri in cui viene inserita, fornendo così la possibilità di migliorare ulteriori aspetti naturalmente legati al benessere dei residenti della zona.

Come appena detto, le funivie aeree sono state sviluppate come mezzo di trasporto pubblico principalmente in paesi nei quali i fenomeni di migrazione accelerata verso le aree urbane provoca una loro crescita incontrollata. Tali nazioni sono riuscite ad ottenere il massimo beneficio dal loro utilizzo a causa delle condizioni socioeconomiche e geografiche che solitamente ci si possono trovare. Sebbene in Europa le circostanze esistenti nella

maggioranza di città possano essere molto meno gravose, nel senso che le loro caratteristiche demografiche e soprattutto economiche permettono di valutare diverse alternative oltre alle linee funiviarie aeree, risulta comunque strano che esse siano assenti in praticamente tutte le reti di trasporto pubblico locale europee. Infatti, partendo unicamente dall'opportunità di sviluppo urbanistico che hanno dimostrato di offrire, ne varrebbe la pena almeno esaminare gli effetti del loro inserimento nel contesto urbano del suddetto continente.

In questa tesi di laurea si valuterà la possibilità d'includere delle linee funiviarie aeree nel sistema di trasporto pubblico locale dell'area metropolitana di Milano, una delle più grandi in Europa. Si cercherà di evidenziare l'utilità che ha la messa in servizio di questo mezzo anche quando non ci sono delle condizioni topografiche particolarmente complesse, sottolineando le problematiche analoghe che comportano le barriere antropiche costituite da certe infrastrutture presenti all'interno della città, ed esaltando l'elevata potenzialità per lo sviluppo urbanistico che lo stesso mezzo è in grado di offrire.

## 2. OBIETTIVI E METODOLOGIA

Come detto prima, l'obiettivo principale di questa tesi di laurea è studiare la possibilità d'inserire delle funivie aeree nel sistema di trasporto pubblico locale dell'area metropolitana di Milano, cercando infine di dimostrare i vantaggi derivati dall'impiego di questo mezzo di trasporto, apparentemente trascurato nelle zone urbane del continente europeo. Tali vantaggi verranno valutati, oltre che dal punto di vista propriamente trasportistico, da quello strettamente legato allo sviluppo urbanistico, poiché le esperienze vissute in altre parti del mondo ne evidenziano un importante potenziale di miglioramento grazie al tipo d'infrastruttura coinvolta.

Il primo passo per effettuare l'analisi dell'idea proposta è l'individuazione delle caratteristiche prestazionali delle funivie aeree attraverso lo studio di documenti di ricerca sul loro funzionamento tecnico e sui progetti di successo in zone urbane di diversi paesi. Sempre dagli stessi documenti di ricerca, vengono distinti gli attributi più rilevanti delle linee funiviarie aeree legati alla loro operatività, manutenzione, integrazione con i sistemi di trasporto pubblico e con il complesso urbano circostante, nonché se ne raccolgono valori indicativi sul costo di costruzione ed operazione.

Posteriormente, si deve determinare l'area di studio all'interno della città di Milano. La scelta viene effettuata tenendo conto delle condizioni che permettono di approfittare al massimo l'utilizzo delle funivie aeree per fornire il servizio di trasporto pubblico. In questo caso, le condizioni urbanistiche hanno una rilevanza molto maggiore di quelle topografiche, giacché queste ultime non sono particolarmente complesse e non generano ostacoli per l'espansione dell'area metropolitana di Milano. Quindi, le aree cercate sono solo quelle in cui le barriere antropiche potrebbero comportare un isolamento dei quartieri ed una riduzione dell'accessibilità per i loro residenti.

Da un'altra parte, dando la dovuta importanza alla opportunità di sviluppo urbanistico che l'infrastruttura legata alle funivie aeree ha dimostrato di poter fornire, risulta favorevole individuare delle aree degradate o con potenziale per una futura espansione urbana, nelle quali la materializzazione dell'idea proposta potrebbe funzionare come punto di partenza per un progetto di urbanizzazione di alta qualità; evidentemente, la domanda di trasporto che ne deriva verrebbe di conseguenza ben servita dallo stesso sistema funiviario.

Alla fine, l'area definita come zona di studio si trova al nord-ovest del Comune di Milano, comprendendo parte dei quartieri Affori, Bovisa, Bovisasca, Comasina, Quarto Oggiaro e Villapizzone (vedere Capitolo 4 "Inquadramento Territoriale").

L'inquadramento dell'area di studio è fondamentale perché permette di delimitare la ricerca d'informazioni utili per lo sviluppo della proposta, le quali diventeranno la base dei posteriori ragionamenti; essendoci uno spazio geografico chiaramente individuato, può iniziare la raccolta di unicamente i dati demografici, catastali, e di mobilità veramente pertinenti per il progetto. I portali open data del Comune di Milano e della Regione Lombardia sono le

principali fonti d'informazione per ottenere questi dati, i quali devono essere opportunamente gestiti per poter costruire uno scenario di base all'anno 2030.

Ci sono due documenti che svolgono un ruolo importante anche come fonti d'informazione durante il processo decisionale che esige la corretta analisi di fattibilità del servizio proposto: il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile ed il Piano di Governo del Territorio. Il primo contiene le strategie e provvedimenti accolti dalle autorità comunali milanesi per raggiungere diversi traguardi nell'ambito della sostenibilità ambientale ed economica, e della qualità di vita, sempre legati ad una mobilità efficiente. Il secondo, invece, tratta sulle proposte di carattere urbanistico per lo sviluppo della città a seconda delle previsioni di cambiamento del quadro socioeconomico e territoriale nei prossimi anni.

Le informazioni presenti nei documenti appena elencati, quali i progetti di trasporto pubblico previsti nell'area di studio e la visione urbanistica che ha il Comune sulla stessa, permettono di definire alternative progettuali logiche e conseguenti con le condizioni che ci si possono trovare.

Tenendo conto del carattere indispensabile che hanno nella progettazione di nuovi servizi di trasporto pubblico, vengono realizzate delle indagini sulle preferenze dichiarate di mobilità da essere compilate in maniera virtuale, la cui popolazione obiettivo è sia quella che risiede dentro l'area di studio che quella che ci si sposta quotidianamente. I dati raccolti attraverso queste indagini sono fondamentali per l'ulteriore calcolo della domanda che il servizio progettato dovrà soddisfare.

Si procede poi a realizzare la valutazione delle alternative di tracciato facendo utilizzo del software di macro-modellazione di trasporto *PTV Visum*. Data la complessità della rete di trasporto pubblico dell'area metropolitana di Milano, composta da una grande quantità di linee percorse da diversi mezzi di trasporto, l'impiego di un software di modellazione diventa uno strumento estremamente favorevole per l'analisi delle alternative elaborate, in quanto il calcolo della distribuzione dell'utenza all'interno della rete viene effettuato in modo automatico. Così, è possibile contemplare lo studio di un gran numero di scenari, considerando anche delle proposte incluse nel PUMS ma assenti ancora oggi, e potendo studiare il loro impatto nell'area di studio assieme alle linee funiviarie aeree.

Come ultimo aspetto progettuale da considerare, viene fatta una valutazione finanziaria per i tracciati modellati previamente. Essa ha un carattere interamente indicativo, basata innanzitutto sui costi elencati in diversi documenti di ricerca che riassumono le esperienze d'implementazione di linee di funivie aeree in zone urbane di altre regioni del mondo.

In ultima istanza, viene realizzata l'analisi complessiva delle alternative, cercando di evidenziare i vantaggi e svantaggi dell'implementazione della proposta. Si conclude enunciando tutti i fattori trovati durante l'esecuzione della tesi che possano sostenere o rifiutare l'utilizzo di questo mezzo di trasporto nel contesto urbano europeo.

### 3. FUNIVIE AEREE

L'impiego delle funivie aeree per la movimentazione di persone esiste da molto tempo in tante parti del mondo; in Europa, ad esempio, una grande quantità di linee funiviarie aeree sono state costruite per raggiungere efficientemente centri turistici localizzati nelle zone più elevate delle montagne. Tuttavia, il loro inserimento nelle aree urbane come parte dei sistemi di trasporto pubblico locale viene evidenziato invece soltanto negli ultimi decenni ed in una quantità veramente piccola.

La mancanza d'interesse nelle funivie aeree da parte dei pianificatori urbani e dei gestori delle reti TPL sembra di andare contro il senso comune. Appunto, da praticamente un secolo, la crescita accelerata della popolazione urbana a livello globale chiama all'utilizzo di mezzi di trasporto alternativi dentro le città, poiché questo fenomeno comporta una grande quantità di nuove esigenze per poter fornire efficientemente un servizio pubblico essenziale come lo è il trasporto, senza ignorare le limitazioni economiche ed ambientali che possano esserci.

L'urbanizzazione del mondo è una tendenza che, malgrado la lunga durata che ormai la caratterizza, si prevede continuerà nei prossimi decenni; secondo la Banca Mondiale, nel 2050 circa il 70% della popolazione mondiale abiterà in una zona urbana, generando che più di sei mila milioni di persone abbiano bisogno di abitazione, impiego, servizi pubblici e servizi sanitari all'interno di aree geografiche relativamente ridotte. Ne vale la pena menzionare che la stima della percentuale di popolazione urbana che abiterà nelle regioni meno sviluppate del pianeta è pari all'83% secondo l'Organizzazione delle Nazioni Unite (2018).

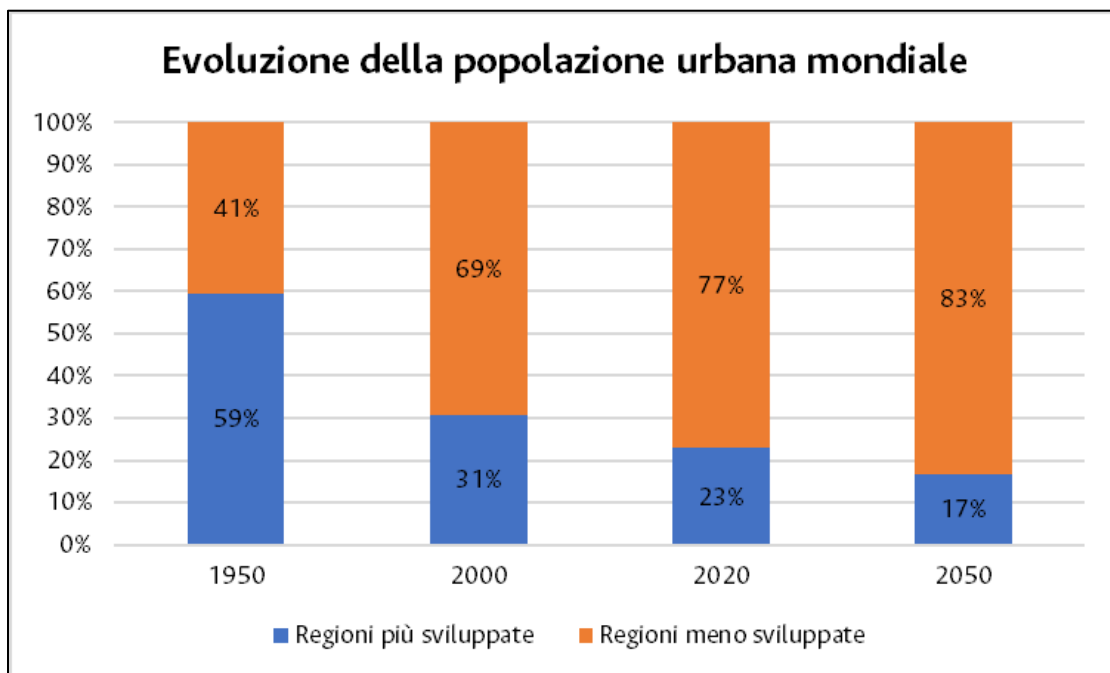


Figura 3.1: Divisione della popolazione urbana mondiale secondo le regioni più o meno sviluppate. (UNDESA, 2018).

Come detto prima, l'aumento del numero di abitanti nelle zone urbane rappresenta una sfida notevole per la loro gestione amministrativa, economica e sociale, specialmente in quelle che appartengono a paesi in via di sviluppo. Infatti, il mantenimento delle condizioni di vita favorevoli in città circondate da certi contesti politici e socioeconomici che scatenano la migrazione della popolazione rurale verso il settore urbano ad un ritmo imprevedibile diventa un obiettivo molto complesso da compiere.

L'arrivo di un gran numero di nuovi abitanti in brevi periodi di tempo genera un'espansione del tessuto urbano in maniera piuttosto caotica, dato che la tendenza crescente della domanda abitativa non può appunto essere prevista con precisione dalla pianificazione eseguita in prima istanza dalle autorità governative. In questo caso, l'integrazione dei quartieri e, più importante, della gente che ci abita con il resto della città avviene parallelamente al loro stesso sviluppo; quindi, un aspetto veramente rilevante come lo è la fornitura di servizi pubblici deve realizzarsi continuamente ed in modo improvvisato, a seconda delle condizioni imposte soprattutto dall'evoluzione dei quartieri appena sorti in quanto a ubicazione, estensione, ed infrastruttura.

Tra i servizi pubblici da essere procurati da parte delle autorità comunali si trova il servizio di trasporto per le persone. Esso comprende sia l'infrastruttura stradale che la rete di trasporto pubblico, dalla loro progettazione fino alla loro operazione e manutenzione. La fornitura di questo servizio pubblico nei quartieri dove c'è un cambiamento permanente dell'occupazione del territorio risulta veramente impegnativa, dato che il servizio pianificato inizialmente può diventare obsoleto già dalla stessa tappa di progettazione; precisamente, la velocità di crescita degli insediamenti è a volte tale da ridurre considerabilmente lo spazio a disposizione per i progetti infrastrutturali, costringendo i pianificatori alla modifica dei criteri finanziari, economici e anche tecnici presi in prima istanza.

È questo lo scenario ideale per considerare dei mezzi alternativi con cui effettuare la fornitura del servizio di trasporto pubblico, visto che quelli tradizionali, quali autobus o treni, non sono proprio adatti alle condizioni previamente descritte. Precisamente qua le funivie aeree hanno dimostrato di essere un mezzo che possiede delle caratteristiche prestazionali molto interessanti, e di essere in grado d'influenzare positivamente lo sviluppo dei quartieri oltre l'aspetto esclusivamente trasportistico.

I principali attributi che fanno delle funivie aeree un mezzo molto vantaggioso nel contesto urbano comprendono sia elementi del loro funzionamento tecnico sia caratteristiche intrinseche della loro infrastruttura. Anche, certe strategie implementate specificamente assieme ai progetti riferenti a questo mezzo di trasporto in diverse parti del mondo hanno aiutato molto all'identificazione delle sue qualità. Alshalalfah et al. (2013) riassumono tali caratteristiche in quattro punti generali.

Il primo aspetto favorevole è quello già accennato che fa riferimento al minimo impatto delle funivie aeree nel territorio, tanto durante la loro costruzione che durante la loro operazione. Detta proprietà viene sfruttata al massimo quando lo spazio a disposizione è troppo ristretto, sia perché ci sono degli ostacoli importanti presenti nell'area di progetto che occupano una



grande quantità di spazio e che, inoltre, richiedono la realizzazione di ponti o gallerie per essere superati, sia perché l'infrastruttura stradale esistente non ha le dimensioni adeguate all'implementazione di soluzioni tradizionali, analoghe alle funivie aeree in termini di prestazioni.

Un secondo attributo tratta sull'integrazione paesaggistica delle stazioni e dei piloni lungo il tracciato delle funivie. Evidentemente, ci sono multipli fattori che influenzano se l'assetto architettonico in un'area specifica viene modificato positivamente o meno dopo l'installazione di questo tipo d'infrastruttura; la rilevanza di tali fattori, inoltre, varia a seconda del progetto, siccome le condizioni di due quartieri diversi naturalmente non sono mai le stesse. L'analisi di tutti questi elementi, benché possa risultare abbastanza impegnativa e comporti anche il coinvolgimento della popolazione in una gran parte dei processi decisionali durante la progettazione, ne vale la pena. Un lavoro ben fatto in questo ambito diventerà sicuramente in un servizio con altissima accettazione da parte dell'utenza.

Poi, un'altra virtù delle funivie aeree viene data dal fatto che esse funzionano grazie alla potenza generata da motori elettrici installati unicamente nelle stazioni. Da una parte, le cabine in cui si trasportano i passeggeri sono prive di motori, e quindi non generano nessun rumore, aumentando così il comfort del viaggio e riducendone l'impatto acustico. Da un'altra parte, l'utilizzo di motori elettrici favorisce la riduzione di emissioni di sostanze inquinanti, sempre mantenendo controllata la generazione di rumore. Tutti i due sono argomenti molto importanti che servono a classificare le funivie aeree come un mezzo molto sostenibile, utile nel raggiungimento dell'obiettivo di abbassare la quantità di emissioni di gas serra nei sistemi di trasporto pubblico urbano. Addirittura, la tecnologia attuale contempla l'installazione di pannelli solari sulle cabine per minimizzare ancora di più la spesa di energie provenienti da fonti non rinnovabili.

Come ultima caratteristica vantaggiosa, viene individuato l'impatto decisamente positivo che le funivie aeree hanno dimostrato di produrre in multipli ambiti oltre a quello propriamente trasportistico. Il miglioramento delle condizioni economiche, sociali ed urbanistiche dei quartieri è un aspetto ripetutamente osservato in numerosi progetti dell'America del Sud, accompagnato inoltre da un cambiamento favorevole dell'immagine complessiva della città, tanto dal punto di vista degli abitanti come da quello dei visitatori.

A partire dallo studio di diversi progetti e dall'analisi dei loro risultati, Alshalalfah et al. (2013) ritengono che l'implementazione delle funivie aeree in zone degradate o poco urbanizzate possa essere un buon punto di partenza per creare un'area sotto i criteri del cosiddetto sviluppo orientato al transito (TOD). Difatti, fanno anche enfasi sulla possibilità di progettare le stazioni in modo tale da poter accogliere altri tipi di servizi, che riescano ad incrementare l'attrazione di utenti mentre si mantiene contenuta l'occupazione del territorio e si generano ricavi aggiuntivi.

Può sembrare curioso il fatto che, nonostante l'antichità delle funivie aeree come mezzo di trasporto di passeggeri, tutti questi vantaggi siano stati identificati e presi veramente in considerazione negli ultimi quindici anni, circa. O'Connor e Dale (2011) definiscono alcune

possibili ragioni per le quali potrebbe essersi presentato un lasso di tempo così lungo prima che questo mezzo di trasporto venisse utilizzato all'interno delle città specificamente per lo spostamento quotidiano degli abitanti, anziché per svolgere un ruolo interamente turistico.

Una prima possibile spiegazione è la mancanza d'informazione indipendente da essere consultata pubblicamente. Soprattutto prima degli anni 2000, la ricerca sulle funivie aeree era molto ridotta, e la maggioranza d'informazioni faceva riferimento esclusivamente al loro utilizzo in zone turistiche. Tale situazione generava che le autorità governative delle zone urbane trascurassero questo mezzo di trasporto al momento di progettare un'estensione delle reti TPL, poiché non era possibile nemmeno individuare le loro prestazioni all'interno di una città. Ovviamente, senza la possibilità di basare una decisione pubblica su dati affidabili, dare il passo avanti ed implementare le funivie aeree come mezzo di trasporto pubblico significava un rischio gigante che nessun politico voleva assumere.

Poi, la seconda ragione elencata è la sfida che rappresenta l'adeguazione del modello commerciale delle funivie aeree, il quale deve passare da una visione completamente orientata al turismo, a una rivolta allo svolgimento di un servizio di trasporto pubblico. In questo caso, oltre al coinvolgimento delle autorità che prendono le decisioni, bisogna fare appello al settore industriale dedicato alla manifattura delle funivie aeree; è necessario che ci sia uno sforzo anche da parte delle aziende sviluppatrici della tecnologia perché si tenga conto dei bisogni, limitazioni ed insomma delle caratteristiche che ne permettono un ottimo adattamento all'ambiente urbano.

Per ultimo, come terza ragione decisiva per la lenta implementazione delle funivie aeree dentro le reti di trasporto pubblico locale, si menziona infatti la preferenza che esiste verso il mercato turistico anziché verso il mercato urbano nel settore industriale involucrato. Gli autori parlano sulla cosiddetta "tecnologia di sostegno", quella che in questo caso si centra nell'ambito turistico, presente già da molto tempo e che rappresenta appunto un sostegno finanziario per le aziende, nonché sul ruolo che essa svolge in confronto alla "tecnologia disruttiva", quella che continuamente viene sviluppata mentre se ne cerca un ottimo adattamento ad un contesto interamente urbano; la prima viene presa in considerazione molto di più perché comporta dei rischi quasi nulli, invece la seconda, nonostante il suo enorme potenziale di crescita, rappresenta inizialmente un grande livello d'incertezza. Sebbene le funivie aeree in ambito urbano abbiano accolto favorevolmente alcune innovazioni create in prima istanza per l'ambito turistico, si enfatizza sul fatto che lo sviluppo di esse come mezzo di trasporto pubblico potrebbe accelerarsi se gli avanzamenti tecnologici venissero effettuati pensando sin dall'inizio al loro inserimento nelle città.

Da un punto di vista più tecnico, ci sono anche degli svantaggi intrinseci all'operatività delle funivie aeree che potrebbero influenzare negativamente il concetto che i pianificatori ne hanno. Quello che risale di più è la difficoltà legata all'evacuazione dei passeggeri in caso di guasto; la stessa natura di questo mezzo di trasporto provoca che un'operazione di salvataggio diventi estremamente complicata, poiché la solita attrezzatura utilizzata per rispondere a questo tipo di eventualità nelle reti TPL non è affatto adatta per raggiungere delle cabine sospese a qualche decina di metri. Esistono comunque delle soluzioni che

contemplano, ad esempio, l'installazione di batterie di emergenza per alimentare l'impianto nel caso ci fosse una caduta di tensione, permettendo così di portare tutte le cabine fino alla stazione più vicina per garantire la discesa in sicurezza di tutti i passeggeri.

Altri svantaggi importanti sono stati gradualmente eliminati grazie all'avanzamento tecnologico; aspetti negativi quali la vulnerabilità alle tempeste o l'impossibilità di progettare tracciati non lineari sono quasi spariti con l'implementazione di nuovi elementi che, tra l'altro, aumentano la stabilità delle cabine e la versatilità dei percorsi all'interno del tessuto urbano.

Pur esistendo degli impedimenti notevoli, negli ultimi anni le funivie aeree sono apparse come protagoniste in sempre più casi di successo all'interno delle reti di trasporto pubblico delle città. O'Connor e Dale (2011) prendono come riferimento i progetti sviluppati innanzitutto nell'America Latina durante i primi anni del ventunesimo secolo, facendo speciale enfasi nel cosiddetto Metrocable di Medellin, Colombia. Inaugurato nel 2004, questo sistema monofune è considerato come il primo sistema veramente integrato in un ambiente urbano a causa del gigantesco impatto favorevole e senza precedenti che ebbe nel paradigma di mobilità e nello sviluppo dei quartieri più isolati di Medellin.

Originariamente, la città di Medellin raccoglieva la maggior parte delle caratteristiche idonee per implementare delle funivie aeree come parte del sistema di trasporto pubblico locale: insediamenti informali nelle periferie della città, dove le condizioni topografiche diventano veramente complesse, generavano una grande quantità di difficoltà tecniche ed economiche nel fornimento del servizio di trasporto ad una quota importante della popolazione. In un primo momento, l'alternativa di costruire una linea funiviaria aerea non fu tenuta in conto; ci volle un lungo periodo di deliberazione fino a quando il Comune di Medellin decise di dare il via ad un progetto di trasporto pubblico nel quartiere Santo Domingo, uno dei quartieri con maggiori necessità in questo ambito. Attraverso una linea funiviaria aerea di circa 2.8 km e quattro stazioni, gran parte del quartiere verrebbe collegata alla rete di metropolitana di Medellin, cercando innanzitutto di ridurre il tempo di viaggio dei residenti per motivo di lavoro, il quale a volte oltrepassava le due ore (Alshalalfah et al. 2013).



*Figura 3.2: Linea K di Metrocable nel quartiere Santo Domingo di Medellín. (Davila e Brand, 2012).*

L'elemento più interessante del caso di Medellín è l'effetto positivo che la nuova proposta di trasporto riuscì ad offrire nel campo sociale subito dopo la sua inaugurazione. L'accettazione del progetto fu tale che, oltre all'affollamento nelle stazioni dai primi giorni di operazione, si presentarono cambiamenti anche nello stile di vita dei residenti della zona; ad esempio, la criminalità crollò significativamente e, secondo le autorità comunali, l'occupazione degli abitanti aumentò di circa 300% soltanto nei primi sette anni di funzionamento (Alshalalfah et al. 2013).

Naturalmente, il successo della prima linea funiviaria aerea a Medellín spinse la progettazione di altre simili in diverse zone della città. Attualmente, ci sono quattro linee di questo genere in operazione, più un'altra prossima ad essere inaugurata; c'è inoltre una linea dedicata al collegamento della rete di trasporto pubblico locale con una zona turistica nelle montagne attigue. Insomma, la rete di trasporto pubblico di Medellín è cresciuta ogni volta in più, malgrado l'esistenza di quartieri in zone di difficile accesso, grazie all'utilizzo delle linee funiviarie aeree.



Figura 3.3: Mappa della rete di trasporto pubblico di Medellín, incluse le linee funiviarie aeree del Metrocable. (Metro de Medellín, 2021).

L'esito positivo a Medellín ha comportato parallelamente un incremento d'interesse nelle funivie aeree anche in altre città della regione. In alcuni casi, si sono evidenziate delle novità molto utili per l'adeguamento di questo mezzo di trasporto all'ambiente urbano. A Caracas, in Venezuela, dove esistevano delle condizioni analoghe a quelle di Medellín, sia nell'ambito geografico che in quello socioeconomico, viene inaugurato nel 2010 un progetto con un'innovazione molto interessante in quanto alla versatilità del suo tracciato. La costruzione di due stazioni speciali che consentono la deviazione del percorso in 90 gradi fu una proposta veramente rivoluzionaria per il futuro dell'industria, poiché potenziò la adattabilità delle funivie aeree alle condizioni imposte dalle zone urbane. Inoltre, il meccanismo installato nelle stazioni dove il tracciato viene deviato permise anche di gestire l'operazione della linea in un modo abbastanza intelligente: dato che ogni tratto in rettilineo può essere isolato dagli altri, permettendo il ritorno delle cabine nella stazione di deviazione, i guasti in alcuno di essi

non comporterebbero la sospensione del servizio in tutta la linea, ma soltanto nella sezione coinvolta.



Figura 3.4: Meccanismo all'interno di una stazione di deviazione a Caracas, Venezuela. (The Gondola Project, 2021).

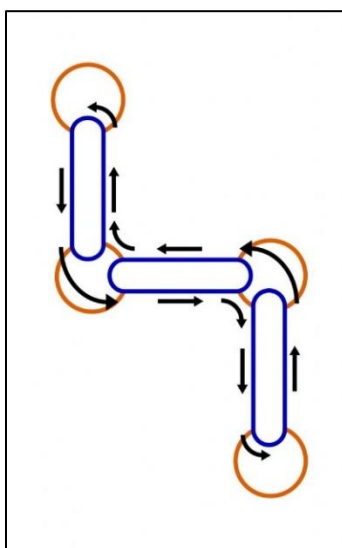


Figura 3.5: Schema di funzionamento delle linee con tracciati non lineari. (The Gondola Project, 2021).

Anche a La Paz, capitale della Bolivia, è stata sviluppata un'idea molto ambiziosa legata al fornimento del servizio di trasporto pubblico con le funivie aeree. In questo caso, il governo della Bolivia approvò nel 2012 la costruzione contemporanea di tre linee funiviarie per collegare La Paz con El Alto, la città adiacente più importante. Nel 2014, viene inaugurato il sistema composto da 11 stazioni distribuite in una lunghezza complessiva pari a 10 km, diventando il sistema di funivie aeree urbane più grande del mondo (Garsous et al. 2017). Nei primi due anni di operazione, si raggiunse la movimentazione di più di 40 milioni di passeggeri con le linee esistenti, però tale valore è cresciuto velocemente negli anni posteriori grazie all'espansione della rete con la costruzione di altre sette linee. Attualmente, essa è conformata da 10 linee, 39 stazioni, e ha una lunghezza complessiva di 32 km; inoltre, sono in fase di progettazione l'estensione di una linea e la costruzione di un'altra.

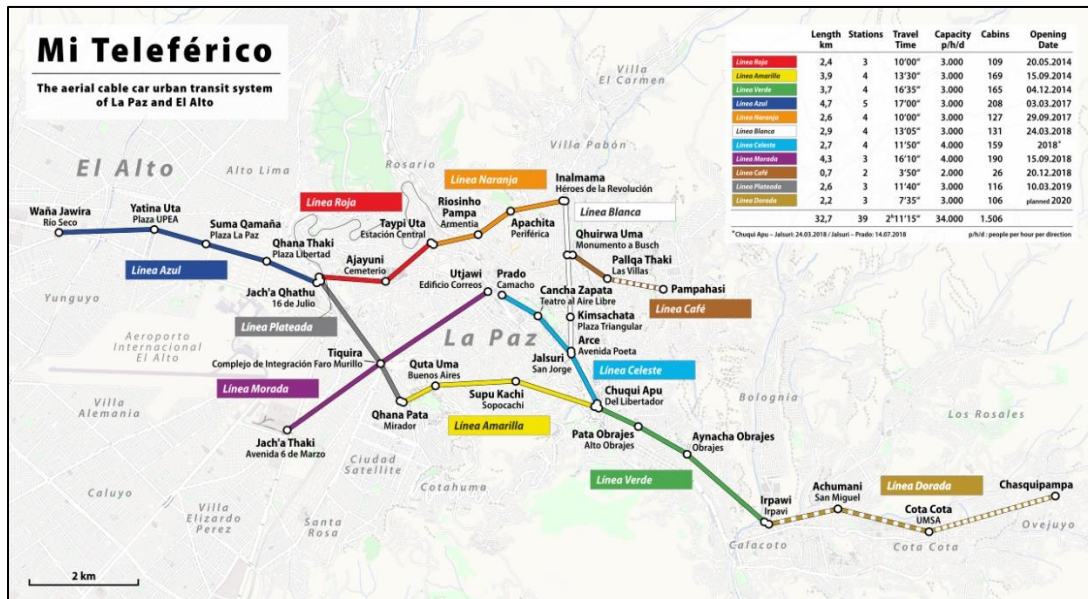


Figura 3.6: Mappa della rete di funivie aeree urbane Mi Teleférico, a La Paz, Bolivia. (Ricuperato da: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mi\\_Telef%C3%A9rico#/media/Archivo:Seilbahnnetz\\_La\\_Paz.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Mi_Telef%C3%A9rico#/media/Archivo:Seilbahnnetz_La_Paz.svg), 2021).



Figura 3.7: Stazione Irpawi della linea verde del sistema Mi Teleférico a La Paz, Bolivia. (Ricuperato da: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mi\\_Telef%C3%A9rico#/media/Archivo:Estaci%C3%B3n\\_Irpawi.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Mi_Telef%C3%A9rico#/media/Archivo:Estaci%C3%B3n_Irpawi.jpg), 2021).

Sebbene i sistemi monofune siano l'alternativa funiviaria aerea maggiormente implementata, soprattutto per i vantaggi che offrono in quanto al costo e alla versatilità per il loro inserimento nei contesti urbani, ci sono altri tipi di sistemi che hanno anche avuto un successo considerevole in alcune città fuori l'America Latina. Certamente, le caratteristiche delle zone urbane negli Stati Uniti o in Europa sono molto diverse da quelle proprie di città come Medellin, Caracas o La Paz, ragione sufficiente per promuovere la considerazione di altre tecnologie dentro il mondo delle funivie aeree che possano adattarsi in modo migliore a tali condizioni.

Un esempio di grande successo negli Stati Uniti è quello corrispondente alla cosiddetta funivia a va e vieni (Aerial Tramway) di Portland, Oregon. Diversamente da quanto visto nei casi delle città latinoamericane, lo scopo di questo progetto non riguarda l'esistenza d'insediamenti isolati né la ricerca di un rinnovamento urbanistico; la linea funiviaria è stata creata, difatti, per collegare due campus della Oregon Health and Science University, separati da una differenza di elevazione molto ripida ed inizialmente collegati in maniera limitata da poche strade che comportavano un percorso piuttosto lungo. Data questa situazione, viene inaugurata nel 2006 una linea funiviaria aerea composta da semplicemente due stazioni, una a valle ed un'altra a monte, tra cui si muovono in parallelo due cabine identiche con capacità per 78 passeggeri, trainate sempre in modo contemporaneo ed in direzione opposta.

Gli studi originali stimavano la movimentazione di 1500 persone al giorno subito dopo l'inizio dell'operazione, ma in realtà, soltanto nei primi due mesi dopo l'inaugurazione, la funivia trasportava 5600 passeggeri ogni giorno, un valore molto vicino alle stimazioni del progetto per il 2030 (Alshalalfah et al. 2013). Evidentemente, l'esito positivo di questa funivia a va e vieni è stato abbastanza oltre le previsioni iniziali.

Per ultimo, è importante elencare un progetto con buoni risultati sviluppato in Europa, visto che le caratteristiche generali delle città in questa regione sono le più simili a quelle di Milano. Il Rheinseilbahn di Coblenza, in Germania, è un sistema a tre funi di 1 km di lunghezza che attraversa il fiume Reno per collegare il centro della città con la zona dove viene realizzato ogni due anni l'evento di orticoltura Bundesgartenschau. La tecnologia a tre funi è un'evoluzione molto vantaggiosa rispetto a quella monofune perché fornisce una maggiore stabilità in presenza di vento e permette la movimentazione di cabine di gran capacità ad alte velocità; naturalmente, queste erano le prestazioni ideali per soddisfare la domanda creata da un evento che, secondo certe stimazioni, attirerebbe circa due milioni di visitatori.



Figura 3.8: Rheinseilbahn di Coblenza, Germania (Ricuperato da: <https://media.tacdn.com/media/attractions-splice-spp-674x446/0b/39/8f/5d.jpg>, 2021).



Oltre all'utilizzo di una tecnologia accattivante, c'è un altro elemento chiave in questo progetto che lo fa diventare molto particolare. La città di Coblenza si trova in una zona del fiume Reno (Gola del Reno) che fa parte dei Patrimoni dell'Umanità dell'UNESCO; in una prima istanza, il rischio di rovinamento del paesaggio patrimoniale fu la causa della determinazione di un corto lasso di tempo per il funzionamento della linea. Infatti, la linea verrebbe smontata dopo tre anni in operazione secondo i piani iniziali, funzionando soltanto dal 2010 al 2013. Comunque, l'accettabilità da parte dell'utenza locale ed il conseguente desiderio d'integrare l'infrastruttura "temporale" nella rete di trasporto pubblico della città generò la pressione necessaria perché l'UNESCO decidesse di allungare il suo periodo di vita fino a 2026 (Nuessgen, 2015).

Con questo ultimo caso è possibile sostenere che, in alcune circostanze, i benefici derivati dall'installazione delle funivie aeree in un'area urbana possono sovrapporsi alle questioni paesaggistiche, senza che questo implichi però l'omissione dell'impatto generato da esse né il tralasciamento della necessità di armonizzare al massimo il loro inserimento nell'ambiente già esistente.

## 4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La zona di analisi si trova nel settore nord-ovest di Milano, comprende parte dei quartieri Affori, Bovisa, Bovisasca, Comasina, Dergano, Quarto Oggiaro e Villapizzone in un'area pari a 5,95 km<sup>2</sup>, ed è composta principalmente da insediamenti di tipo residenziale ed industriale, ma anche da zone non urbanizzate e degradate. Risalta anche il gran numero di ferrovie che attraversano questo settore della città, le quali, pur agevolando la fornitura del servizio di trasporto ferroviario, creano delle divisioni non banali nella continuità del tessuto urbano.

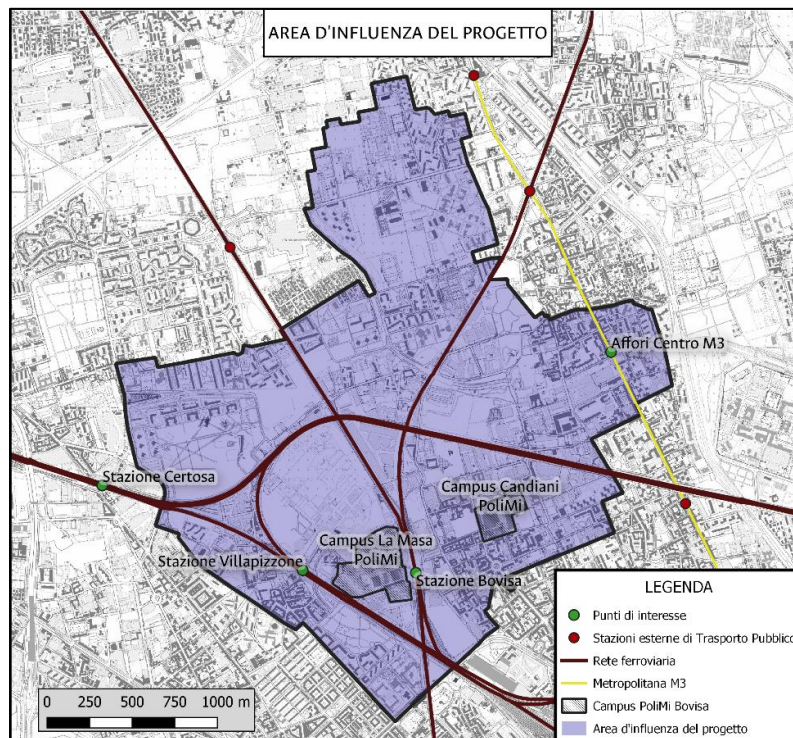


Figura 4.1: Area d'influenza del progetto (Elaborazione propria).

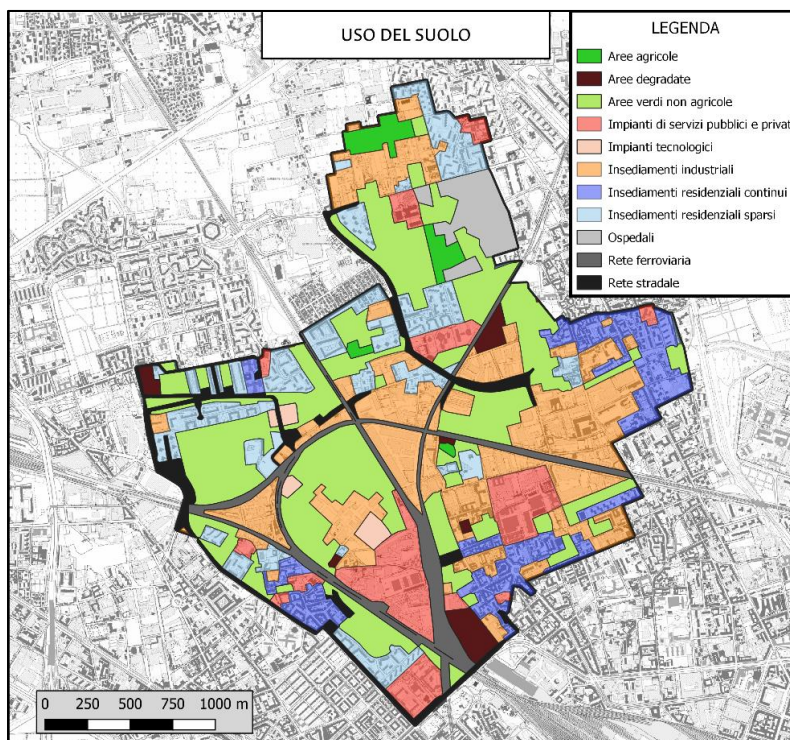


Figura 4.2: Uso del suolo nella zona di studio (Elaborazione propria, in base a dati forniti dalla Regione Lombardia).

Da una parte, la rilevante quantità di suolo con potenziale di riqualifica diventa un aspetto chiave per sostenere la proposta di costruzione di una linea funiviaria aerea, in quanto esse possiedono uno stretto rapporto con i processi di rinnovamento urbanistico, come si è già spiegato nei capitoli precedenti. Nello stesso modo, le barriere antropiche lì presenti conformate dalle ferrovie rappresentano degli ostacoli la cui ripercussione nella mobilità verrebbe diminuita considerabilmente con la messa in funzionamento di questo mezzo di trasporto.

Un elemento importante che deve essere studiato con lo scopo di capire il contesto che caratterizza la zona di studio è la popolazione residente attuale e proiettata a futuro. Lo stesso potenziale di urbanizzazione che ci si presenta è già un indizio significativo della crescita demografica prevista in questa parte di Milano nei prossimi anni, la quale, a sua volta, compone un vincolo di grande rilevanza nella progettazione di un nuovo servizio di trasporto pubblico.

L'ultimo censimento della popolazione italiana riguarda l'anno 2011; il Comune di Milano, attraverso i portali Open Data della sua proprietà, fornisce i dati che fanno riferimento a detto studio demografico anche in maniera georeferenziata, permettendo così di svolgere delle analisi sulla distribuzione spaziale dei residenti nell'area di studio.

La georeferenziazione è possibile grazie all'esistenza di sezioni di censimento, le unità minime di rilevazione censuaria, ad ognuna delle quali viene assegnato un valore di popolazione residente; le sezioni di censimento che si trovano all'interno dell'area di studio

risultano molto convenienti all'osservazione dettagliata della distribuzione demografica (e conseguentemente di quella della domanda di trasporto) poiché hanno delle dimensioni piuttosto ridotte, raggruppando piccole quantità di unità abitative data l'alta densità demografica di Milano.

Tuttavia, i valori originali di questo studio descrivono la situazione appartenente all'anno 2010. L'aggiornamento di questi dati può essere svolto con l'utilizzo di proiezioni di popolazione fatte dal Comune di Milano per gli anni compresi tra il 2020 ed il 2039. La caratterizzazione spaziale di queste proiezioni considera unicamente i quartieri anziché le sezioni di censimento, quindi la procedura adottata per poter analizzare dettagliatamente la situazione demografica nel 2030, anno di riferimento per la progettazione del servizio di trasporto pubblico con le funivie aeree, è stata quella di calcolare la variazione percentuale della popolazione dei quartieri coinvolti dall'area di studio (Affori, Bovisa, Bovisasca, Comasina, Dergano, Quarto Oggiaro e Villapizzone) tra gli anni 2010 e 2030, applicando posteriormente detta variazione percentuale alle singole sezioni di censimento. La Tabella 4.1 contiene le popolazioni dei quartieri rilevanti negli anni 2010 e 2030 accanto alla variazione percentuale di questi valori.

QUARTIERE	POPOLAZIONE		VARIAZIONE PERCENTUALE
	2010	2030	
Affori	21753	27456	26.2%
Bovisa	12060	13865	15.0%
Bovisasca	7287	7419	1.8%
Comasina	9016	9484	5.2%
Dergano	20015	25423	27.0%
Quarto Oggiaro	31595	28759	-9.0%
Villapizzone	37334	43470	16.4%

*Tabella 4.1: Popolazione dei quartieri coinvolti nell'area di studio negli anni 2010 e 2030 con la sua variazione percentuale (Elaborazione propria).*

Le proiezioni contemplano una maggiore crescita demografica nei quartieri attualmente urbanizzati in maggior misura; risulta comunque interessante il fatto che si presenti una previsione di decrescita nel quartiere Quarto Oggiaro.

Facendo poi utilizzo delle rispettive variazioni percentuali, i valori di popolazione assegnata alle sezioni di censimento all'interno dell'area di studio per l'anno 2010 sono stati proiettati al 2030. Come dato generale, si può menzionare che la popolazione totale dentro dell'area di studio passa da 35705 persone nel 2010 a 39967 nel 2030, con un aumento pari a 4262 residenti (11.9%).

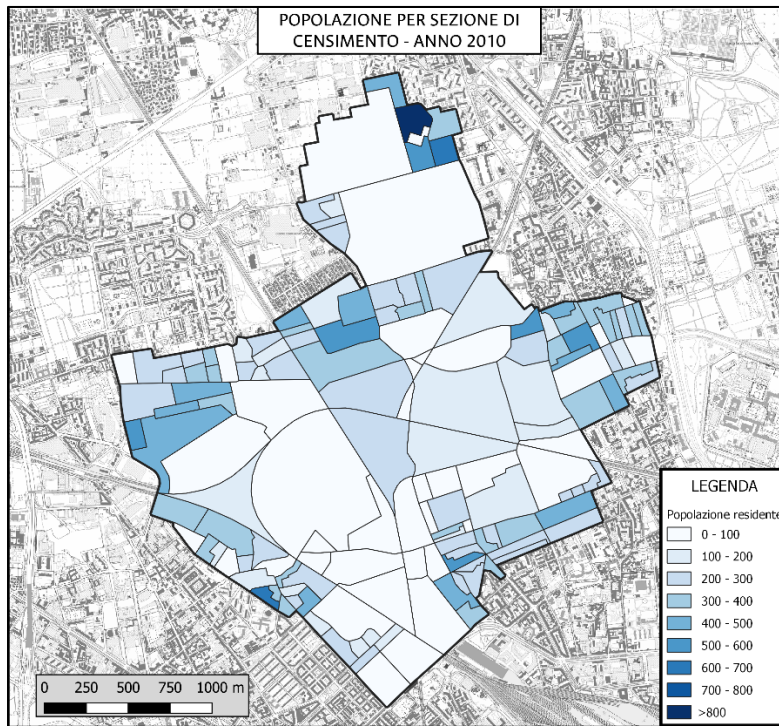


Figura 4.3: Popolazione per sezione di censimento nell'anno 2010 (Elaborazione propria, in base a dati forniti dal Comune di Milano).

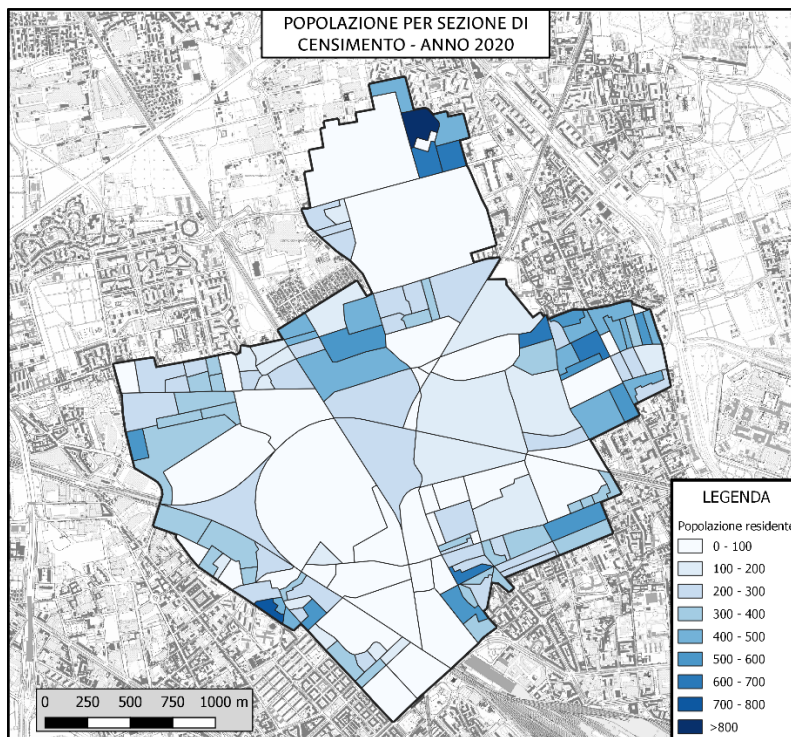


Figura 4.4: Popolazione per sezione di censimento nell'anno 2020 (Elaborazione propria, in base a dati forniti dal Comune di Milano).

Dalle mappe contenute nella Figura 4.3 e la Figura 4.4 si può evidenziare una ridotta urbanizzazione nella parte centrale dell'area di studio; la maggior parte della popolazione residente è concentrata nei bordi, dove la accessibilità ai servizi di trasporto pubblico è più elevata e, soprattutto, dove non si presenta l'incrocio delle ferrovie che segrega quella zona dal resto della città.

Per quanto riguarda l'offerta di trasporto pubblico presente nel settore, la maggior parte delle linee di superficie si focalizza logicamente nella percorrenza delle zone che contengono più utenti potenziali, ovvero, le zone dove sono concentrati i residenti. Questo però segrega ancora di più la parte centrale dell'area di studio, poiché l'assenza delle alternative di trasporto pubblico per raggiungerla riduce la sua attrattività.

Oltre a questo aspetto però, attualmente la zona può considerarsi ben servita nell'ambito del trasporto pubblico, data la grande quantità di linee e fermate che appartengono sia alla rete di superficie, alla rete di metropolitana, che alla rete ferroviaria.

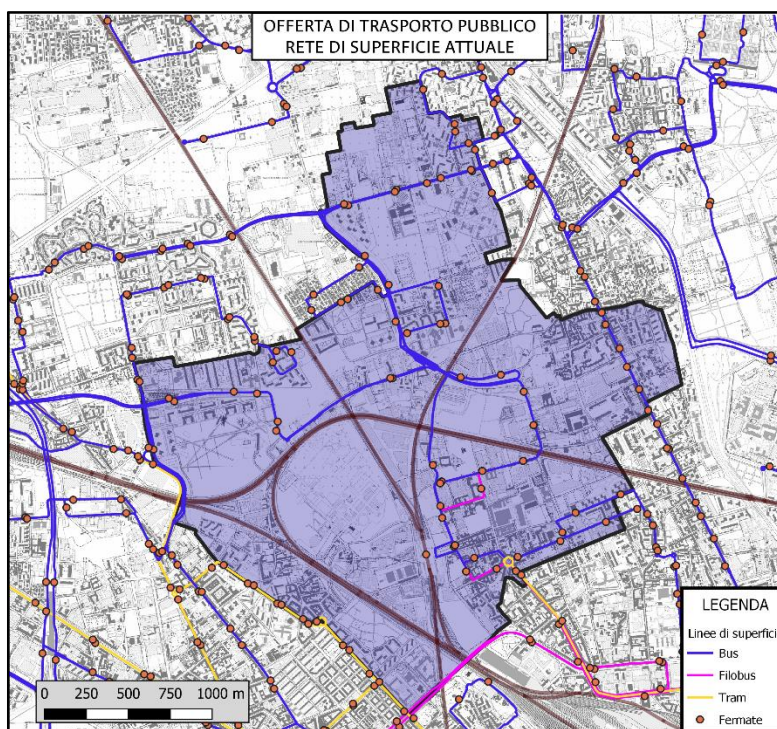


Figura 4.5: Rete di superficie attuale (Elaborazione propria).

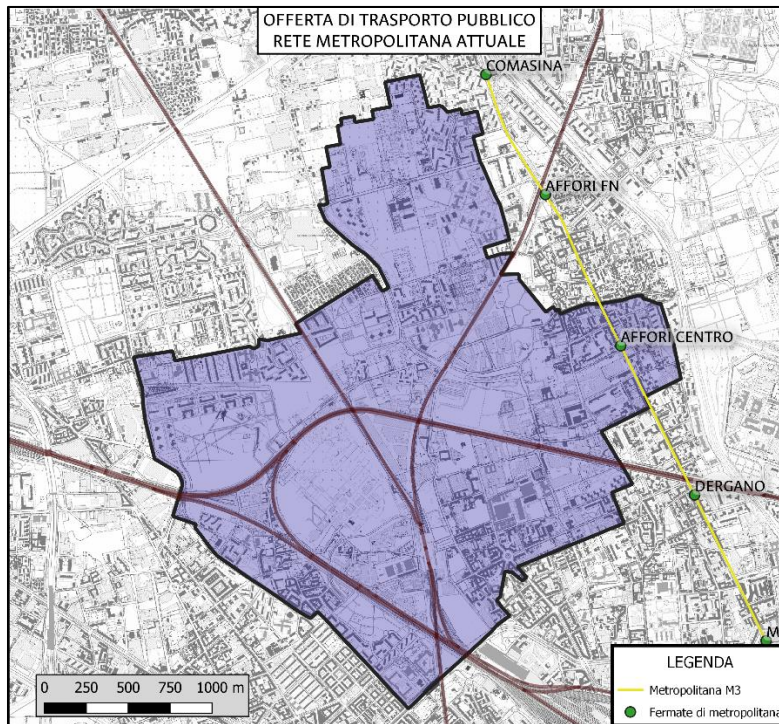


Figura 4.6: Rete metropolitana attuale (Elaborazione propria).

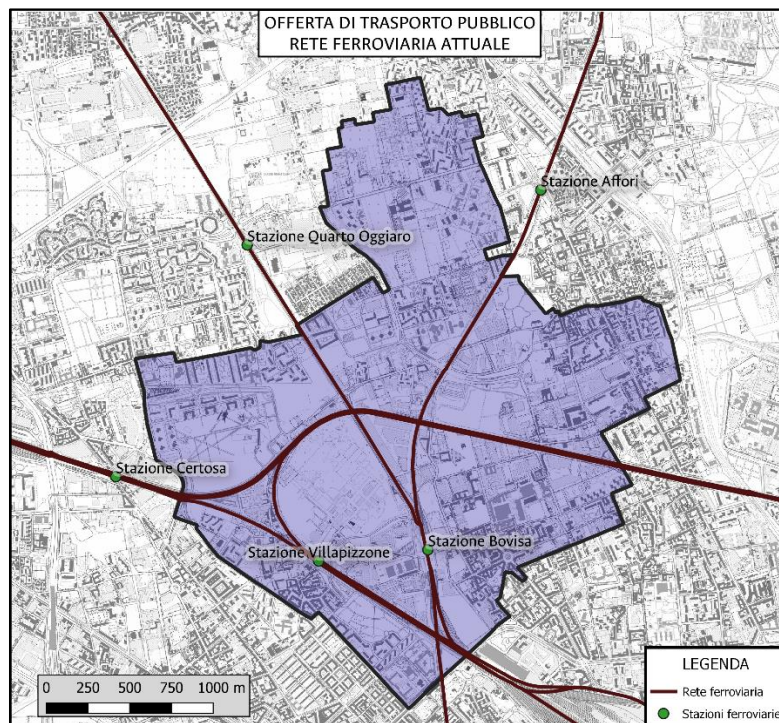


Figura 4.7: Stato attuale della rete ferroviaria (Elaborazione propria).

Più nello specifico, ci sono 9 linee di autobus, 3 linee di filobus, 3 linee di tram, 1 linea di metropolitana e 20 linee ferroviarie che hanno influenza sulla mobilità dentro l'area di studio.

Le linee di autobus possono essere classificate secondo le zone della città servite dai loro percorsi. Appunto, esistono quattro linee che iniziano nell'area di studio e che poi vanno verso il centro di Milano, mentre altre tre linee percorrono dei quartieri periferici; inoltre, c'è un servizio extraurbano verso il comune di Novate Milanese e c'è anche il servizio notturno sostitutivo della linea metropolitana M3.

LINEE DI BUS		
35	Molino Dorino M1 - Bruzzano FN	Periferia
40	Bonola M1 - Niguarda (Parco Nord)	Periferia
41	Q.re Bovisasca - Niguarda	Periferia
57	Q.to Oggiaro - Cairoli	Centro città
70	Cim. Bruzzano - Ceresio	Centro città
78	Via Govone - Bisceglie M1	Centro città
82	Bovisasca - Zara M3 M5	Centro città
89	Novate Milanese - Affori FN/M3	Extraurbana
153	Notturna M3	Notturna

Tabella 4.2: Linee di autobus con influenza nell'area di studio (Elaborazione propria).

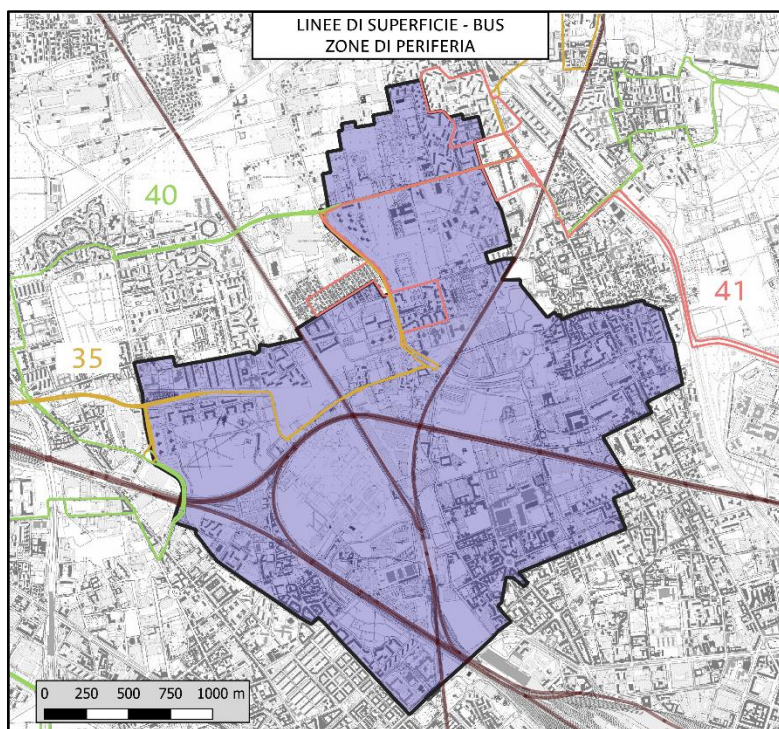


Figura 4.8: Percorso delle linee di autobus nell'area di studio che coinvolgono la periferia di Milano (Elaborazione propria).



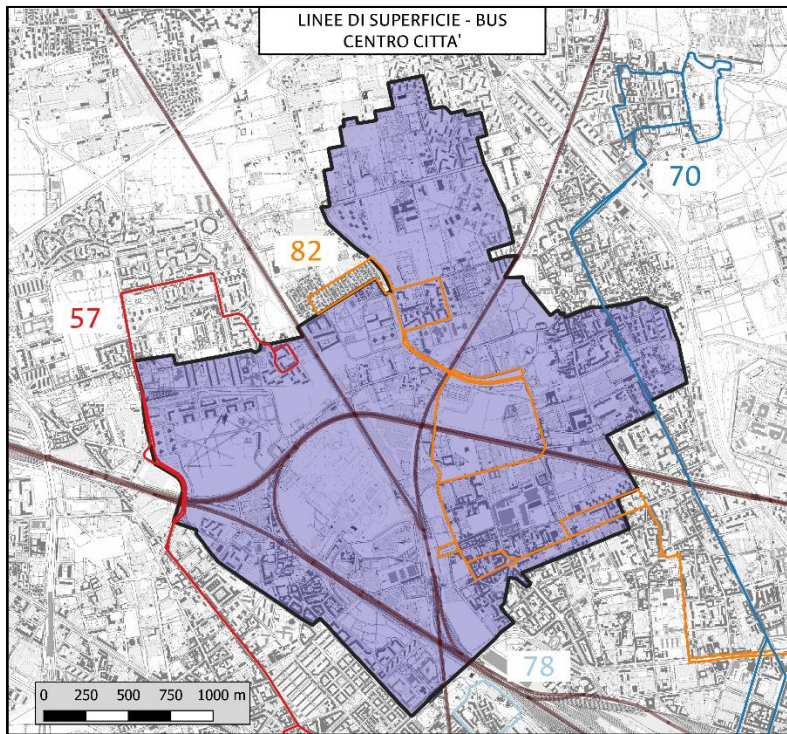


Figura 4.9: Percorso delle linee di autobus nell'area di studio che coinvolgono il centro di Milano (Elaborazione propria).

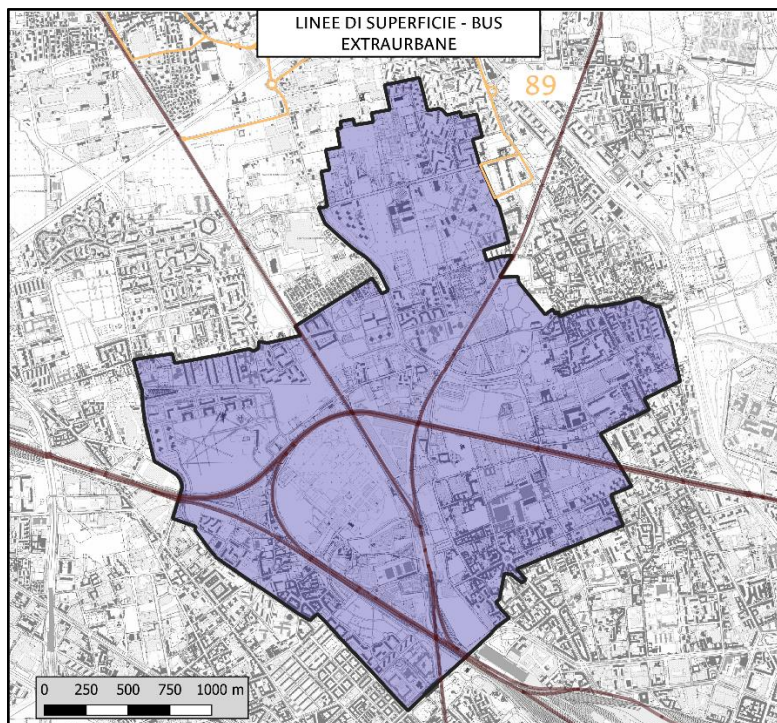


Figura 4.10: Percorso delle linee di autobus nell'area di studio extraurbane (Elaborazione propria).

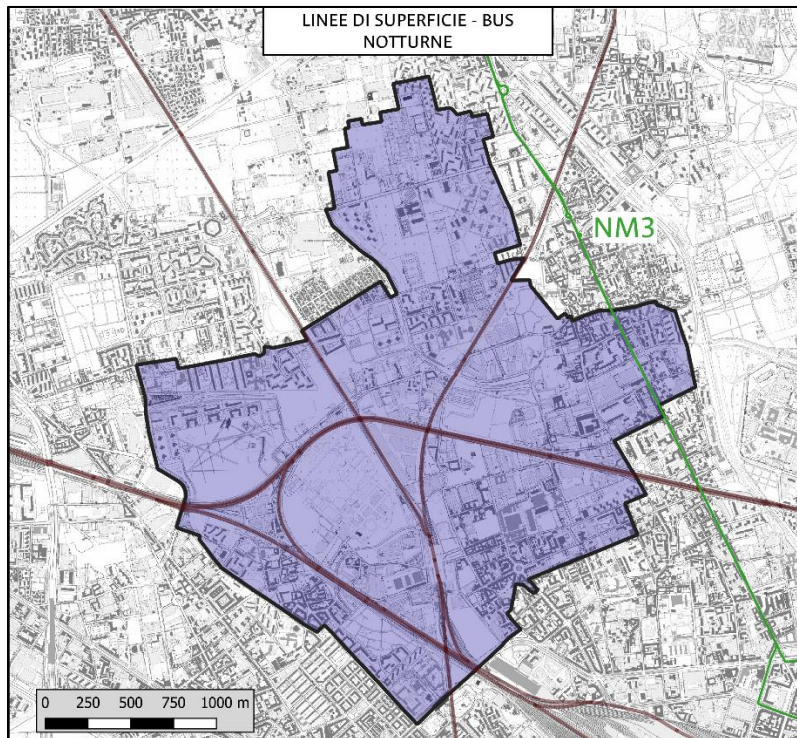


Figura 4.11: Percorso della linea di autobus nell'area di studio notturna (Elaborazione propria).

Tra le poche linee di filobus che hanno influenza nell'area di studio si trovano le linee circolare 90 e 91, molto versatili per effettuare gli spostamenti all'interno di Milano, e anche la linea 92, la quale fornisce un collegamento più diretto con l'estremo opposto della città.

LINEE DI FILOBUS	
90	Circolare destra
91	Circolare sinistra
92	Bovisa FN - Viale Isonzo

Tabella 4.3: Linee di filobus con influenza nell'area di studio (Elaborazione propria).

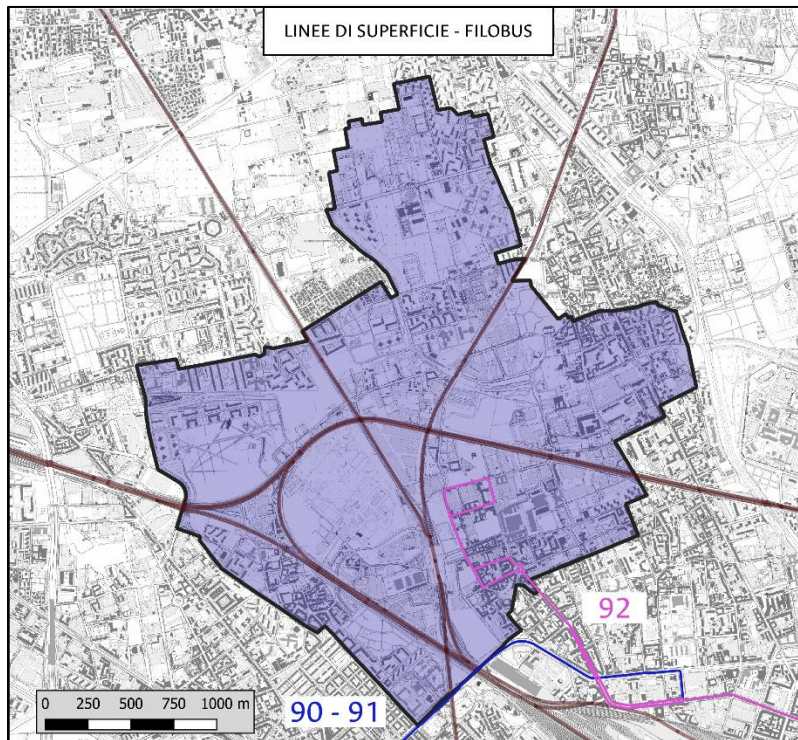


Figura 4.12: Percorso delle linee di filobus nell'area di studio (Elaborazione propria).

I tram, da parte loro, hanno anche una influenza piccola nell'area osservata. Bisogna menzionare però la recente estensione della linea 2 fino a Piazzale Bausan, con la quale risulta evidente l'intenzione di espansione del servizio tranviario verso questa zona della città.

LINEE DI TRAM	
2	P.le Bausan - P.le Negrelli
12	Roserio - Molise
19	Lambrate FS M2 - P.za Castelli

Tabella 4.4: Linee di tram con influenza nell'area di studio (Elaborazione propria).

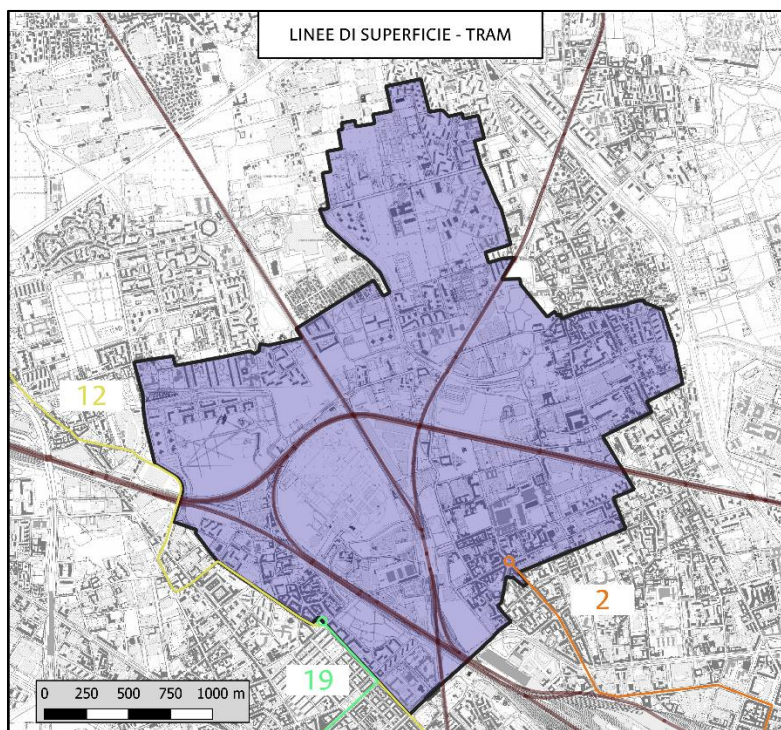


Figura 4.13: Percorso delle linee di tram nell'area di studio (Elaborazione propria).

In ultima istanza, le 20 linee ferroviarie che percorrono le stazioni nell'area di studio possono essere catalogate sia a partire dalla tipologia del servizio definita da Trenord, sia a partire dall'insieme di stazioni che vengono servite dalla linea all'interno della zona in questione. La Tabella 4.5 riassume l'informazione riguardante le linee ferroviarie.

LINEE DI TRENO			
S1	Saronno - Milano Passante - Lodi	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Bovisa - Q.to Oggiano</i>
S2	Mariano Comense - Milano Passante - Milano Rogoredo	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Bovisa - Affori</i>
S3	Saronno - Milano Bovisa - Milano Cadorna	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Bovisa - Q.to Oggiano</i>
S4	Cannago - Milano Bovisa - Milano Cadorna	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Bovisa - Affori</i>
S5	Varese - Milano Passante - Treviglio	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Villapizzone</i>
S6	Novara - Milano Passante - Treviglio	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Villapizzone</i>
S11	Chiasso - Como - Milano - Rho	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Villapizzone</i>
S12	Melegnano - Milano Passante - Milano Bovisa - Cormano	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Bovisa - Affori</i>
S13	Pavia - Milano Passante - Milano Bovisa	<i>Servizio Suburbano</i>	<i>Bovisa</i>
R16	Asso - Milano	<i>Servizio Regionale</i>	<i>Bovisa - Affori</i>
R17	Como - Saronno - Milano	<i>Servizio Regionale</i>	<i>Bovisa</i>
R22	Varese - Saronno - Milano	<i>Servizio Regionale</i>	<i>Bovisa</i>
R27	Novara - Saronno - Milano	<i>Servizio Regionale</i>	<i>Bovisa</i>
R28	Malpensa - Saronno - Milano Centrale	<i>Servizio Regionale</i>	<i>Bovisa</i>
RE1	Laveno - Varese - Saronno - Milano	<i>Servizio RegioExpress</i>	<i>Bovisa</i>
RE2	Bergamo - Pioltello - Milano	<i>Servizio RegioExpress</i>	<i>Villapizzone</i>
RE7	Como - Saronno - Milano	<i>Servizio RegioExpress</i>	<i>Bovisa</i>
MXP1	Malpensa - Milano Cadorna	<i>Servizio Malpensa Express</i>	<i>Bovisa</i>
MXP2	Malpensa - Milano Centrale	<i>Servizio Malpensa Express</i>	<i>Bovisa</i>

Tabella 4.5: Linee ferroviarie con influenza nell'area di studio (Elaborazione propria).

Una volta descritta la situazione attuale, bisogna anche dare uno sguardo alla visione futura che c'è per questa zona di Milano in termini di trasporto pubblico. Detta visione può essere ricavata dal vigente Piano Urbano della Mobilità Sostenibile PUMS, elaborato nel 2015 con analisi e proposte fatte per l'orizzonte di piano nel 2030.

La situazione proiettata dal PUMS per la mobilità complessiva di Milano considera un gran numero di elementi, tutti difatti molto pertinenti per il suo miglioramento, che vanno dal tentativo di potenziamento della rete di trasporto pubblico, fino alla gestione della domanda di sosta e parcheggio, considerando anche questioni legate alla mobilità ciclistica e pedonale. Comunque, per l'area di studio, gli aspetti che hanno una maggiore importanza in quanto al trasporto pubblico sono principalmente due: l'espansione della rete tranviaria ed il potenziamento dell'infrastruttura ferroviaria.

Da una parte, il raggiungimento del primo obiettivo contempla delle misure di espansione dell'infrastruttura tranviaria verso la parte centrale dell'area di studio, avendo lo scopo di fornire un servizio più esteso con le linee esistenti. Per la linea 2, che adesso finisce a Piazzale Bausan, si progetta un'estensione dell'infrastruttura almeno fino alla stazione ferroviaria di Bovisa; per la linea 19 esiste un'idea simile, estendendola dalla Piazza Pompeo Castelli, punto donde finisce oggi, fino alla "goccia" dove si trova attualmente il campus La Masa della sede Bovisa del Politecnico di Milano, agevolando nello stesso modo un collegamento con la stazione ferroviaria di Bovisa.

Entrambe proposte considerano una possibile ulteriore espansione verso Quarto Oggiaro e Certosa. Tuttavia, c'è un altro progetto che ha la massima prevalenza tra le idee di espansione della rete tranviaria verso questi quartieri, la cui importanza ricade nell'impatto positivo che promette anche per tante altre zone di Milano. La nuova linea tranviaria 7 Gobba - Niguarda - Certosa attraversa l'area di studio da est a ovest, per cui è prevista la realizzazione di uno scavalco che permetta il superamento della stazione ferroviaria di Bovisa. Questo elemento, indispensabile per la messa in operazione della linea, comporta un investimento notevole che deve essere studiato a profondità al momento di valutare gli aspetti economici della proposta, visto che, come viene avvertito dal PUMS, l'impiego di un'elevata quantità di soldi per la sua costruzione può far decrescere il beneficio del progetto bruscamente.

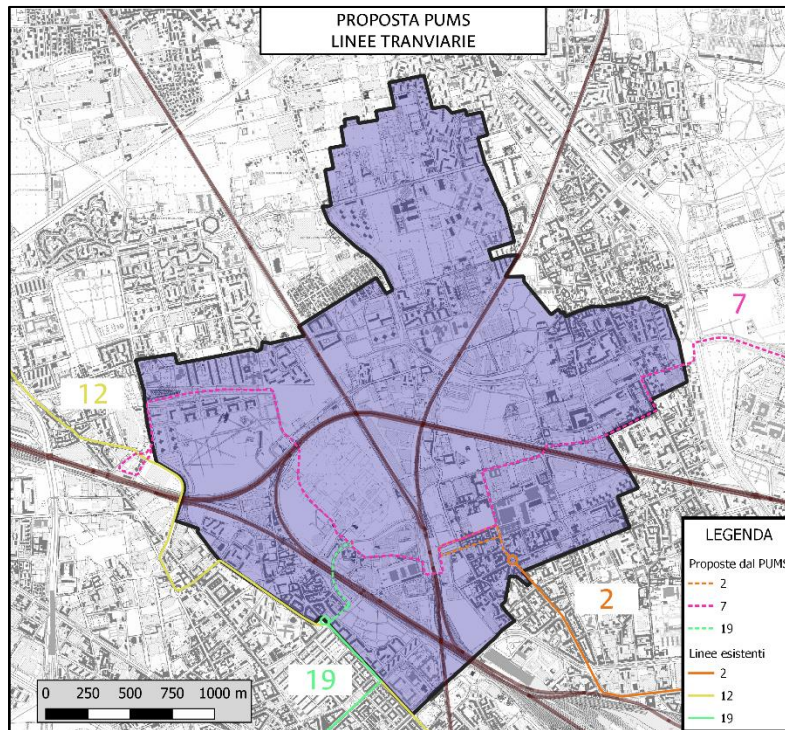


Figura 4.14: Proposte di espansione della rete tranviaria incluse nel PUMS di 2015 (Elaborazione propria).

Il potenziamento dell'infrastruttura ferroviaria si basa invece nel miglioramento dell'accessibilità ai servizi oggi esistenti, nonché alla pianificazione di nuovi servizi, soprattutto quelli che contemplan l'utilizzo della cosiddetta cintura di Milano. Il PUMS fa riferimento all'Accordo di Programma Scali Ferroviari per descrivere la proposta di costruzione di nuove stazioni ferroviarie lungo la ferrovia che percorre il nord di Milano (tra Certosa e Lambrate), quali le stazioni Dergano e Istria, il cui proposito finale è l'avviamento di una nuova linea suburbana "circolare" S16 Rho - Albairate. Sempre tenendo presente l'obiettivo di potenziamento dell'infrastruttura ferroviaria, il documento contempla la costruzione di stazioni aggiuntive a quelle incluse nell'AdP, una delle quali (Stazione ferroviaria Bovisasca) si trova all'interno dell'area analizzata in questa tesi.

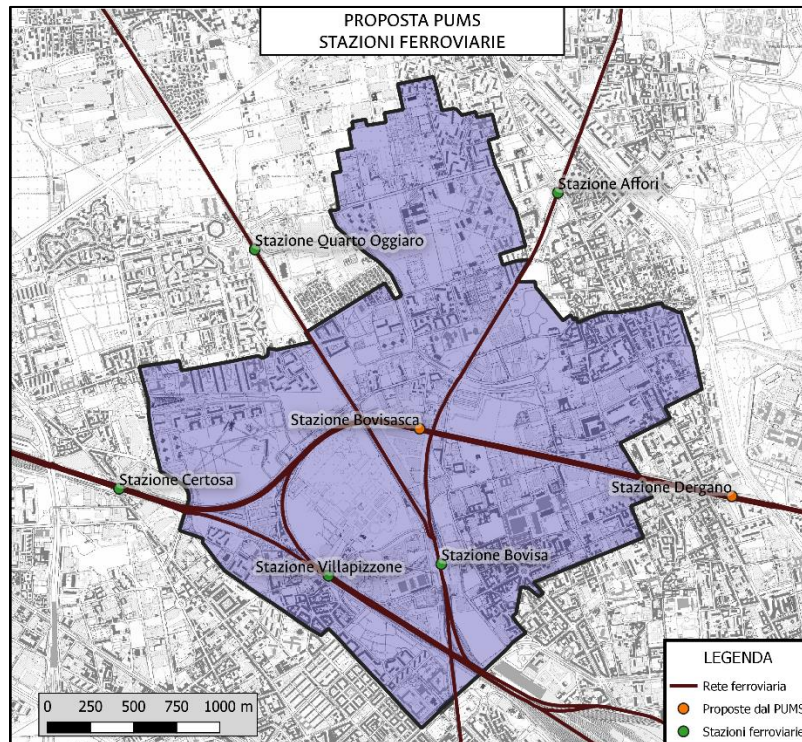


Figura 4.15: Proposte di costruzione di nuove stazioni ferroviarie incluse nel PUMS di 2015 (Elaborazione propria).

Ne vale la pena anche conoscere sui progetti che interessano la zona di studio nell'ambito urbanistico, poiché le informazioni riguardanti potrebbero tanto motivare quanto difficolitare un eventuale processo costruttivo di una linea funiviaria aerea. A questo scopo viene studiato il Piano di Governo del Territorio PGT Milano 2030, dove si possono trovare la visione, le principali linee guida e alcune strategie in materia urbanistica per raggiungere diversi obiettivi fino al 2030.

In modo complessivo, il PGT definisce una visione di Milano come una città centrata nella connettività sia all'interno che verso l'esterno. La connettività interna si ottiene attraverso la densificazione del tessuto urbano attorno a nodi specifici e fortemente legati alle infrastrutture di trasporto pubblico su ferro, cercando così di favorire al massimo l'accessibilità delle persone alle loro residenze e ai loro luoghi di lavoro con una rete di mobilità sostenibile. Quella esterna, invece, viene raggiunta assegnando un ruolo di influenza di scala regionale ai grandi vuoti urbani, nei quali esiste un potenziale enorme per lo sviluppo di progetti con carattere strategico a livello urbano, ma soprattutto a livello metropolitano e regionale.

Anche, il PGT caratterizza Milano come una città che fa spazio all'ambiente, restringendo l'uso del suolo per la futura crescita dell'impronta antropica dentro i suoi confini, e promuovendo parallelamente la riconquista di aree verdi in multipli settori occupati prevalentemente dalle costruzioni umane.

La zona denominata “Bovisa-Goccia” dal PGT ha delle caratteristiche idonee per essere un’eccellente candidata ad accogliere dei progetti che spettano sia la connettività interna ed esterna della città, sia la riconquista di importanti aree verdi (circa 177000 m<sup>2</sup>) che entrerebbero a far parte di un nuovo insieme di parchi sparsi su tutta la parte urbana.

Detta zona rappresenta anche l’opportunità perfetta per implementare delle misure vincolate a una delle principali strategie elencate dal PGT: “Trasformare, attrarre, eccellere. L’occasione dei vuoti urbani”. L’identificazione di grandi funzioni urbane “attraenti”, pubbliche o private, in un’area a proprietà non frazionata, prevalentemente pubblica, accessibile, di dimensioni notevoli, collocata su un asse strategico, e senza una vocazione chiara, può fare da traino alla rigenerazione, anche attraverso l’insediarsi di funzioni “accessorie”. Come funzioni urbane “attraenti” si possono identificare: nuovi sedi istituzionali ed amministrative, strutture logistiche e di supporto alla produzione culturale, biblioteche pubbliche, strutture ospedaliere, aule e servizi universitari legati a spazi d’incubazione alle imprese, grandi impianti sportivi, depositi per la mobilità sostenibile, nuovi parchi urbani.

In ultima istanza, il PGT descrive in modo piuttosto dettagliato gli interventi che dovrebbero essere svolti a livello urbanistico nella zona attorno a Bovisa-Goccia entro il 2030 per raggiungere gli obiettivi derivati dalla visione descritta previamente. Si parla di interventi legati alla rigenerazione ambientale, enfatizzando nell’adeguamento sia di edifici sia di spazi aperti finalizzato al miglioramento delle condizioni ambientali delle piastre produttive e alla realizzazione di connessioni ecologiche. Viene menzionata anche la necessità di potenziare il ruolo di nodo di interscambio della zona attraverso la rigenerazione infrastrutturale; si consente così l’integrazione tra le infrastrutture di mobilità e le funzioni urbane, e si riduce allo stesso tempo l’impatto negativo delle barriere antropiche. Per ultimo, si evidenzia l’importanza dell’attribuzione di nuove funzioni per servizi pubblici e di funzioni private di interesse strategico, così come quella dell’ampliamento del campus universitario e la creazione di nuovi istituti di ricerca.

Come commento aneddótico, durante la redazione di questo elaborato di tesi è stato annunciato un progetto di grande rilevanza urbanistica per il Nodo Bovisa, nato “dalla necessità di ricucire il tessuto urbano della città oggi diviso dal tracciato dei binari ferroviari” (Ufficio Stampa del Comune di Milano, 2021). Il progetto MoLeCoLa (Mobility, Learning, Community, Lab) è stato scelto da una Giuria nella seconda edizione del programma Reinventing Cities, e consiste, da una parte, nella creazione di un hub di interscambio modello tra mobilità su ferro, trasporto pubblico e smart mobility, in grado di riconnettere le aree ad est e ovest della stazione di Bovisa; comprende anche un insediamento complementare al campus universitario del Politecnico di Milano, sede Bovisa, e al nuovo distretto tecnologico che la stessa istituzione vuole realizzare nell’area della Goccia; inoltre, si concepisce come un laboratorio o spazio pilota per testare nuove soluzioni tecnologiche. Insomma, questo progetto è inteso come un progetto di comunità, dove gli abitanti e gli studenti rendono attivo l’insieme di nuovi edifici e servizi.



Quindi, questo progetto che integra le necessità della zona in materia di trasporto sostenibile con le linee guida di sviluppo urbanistico definite dal PGT sembra di essere una soluzione definitiva alle problematiche che verrebbero affrontate dalla progettazione di un sistema di funivie aeree, potendo restare così parte dell'importanza alla realizzazione di questa tesi. Tuttavia, è importante risaltare che la valutazione tecnica e finanziaria di un'alternativa comprendente un altro tipo di sistema di trasporto sostenibile, e sfruttabile anche dal punto di vista urbanistico, continua ad essere molto pertinente, poiché si possono trovare degli argomenti molto utili sull'integrazione della proposta anche con il progetto attualmente in corso di realizzazione.

## **5. ANALISI DELLA DOMANDA**

La fase di progettazione di un servizio di trasporto pubblico inizia formalmente con l'analisi della domanda esistente nell'area di studio, visto che questa ne compone l'utenza potenziale. Per questo specifico caso, i dati di domanda provengono principalmente da diversi studi fatti in anni passati che riguardano la mobilità pendolare a Milano, sia interna che esterna, coinvolgendo in questo modo gran parte della Regione Lombardia.

### **5.1. ZONIZZAZIONE**

Avendo l'intenzione di gestire detti dati di domanda con la precisione adeguata allo scopo del progetto, l'area di studio deve essere divisa in zone, ognuna delle quali potrà essere caratterizzata dalle esigenze in materia di mobilità appartenenti alle persone che la frequentano. In altre parole, la zonizzazione dell'area di studio permette di analizzare il comportamento della domanda ad un livello di dettaglio adatto alle caratteristiche del progetto.

La zonizzazione viene fatta cercando di costruire delle aree proporzionali con dimensioni coerenti al livello di dettaglio desiderato, tenendo conto della presenza di poli di attrazione e di eventuali barriere già esistenti. Per la zonizzazione dell'area di studio di questa tesi, sono state approfittate le sezioni di censimento menzionate nel capitolo precedente, le quali, essendo piuttosto piccole rispetto al grado di precisione adeguato all'analisi del nuovo servizio di trasporto pubblico, vengono raggruppate con la finalità di formare le zone definitive da usare d'ora in avanti.

Dentro l'area d'influenza definita in un primo momento sono state create 12 zone seguendo i criteri appena elencati. Tutte sono state formate dall'unione di multipli sezioni di censimento, potendo assegnargli la somma degli attributi che caratterizzano individualmente tali sezioni, e così ulteriormente contraddistinguerle in materia di ubicazione geografica, popolazione e, come si vedrà nei prossimi paragrafi, di domanda di trasporto.

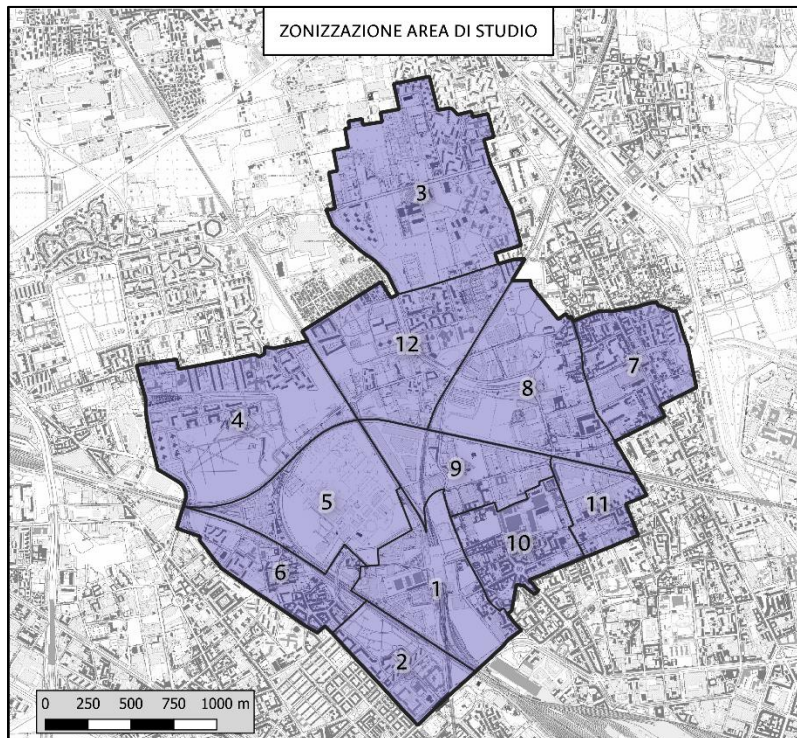


Figura 5.1: Zone interne all'area di studio (Elaborazione propria).

Posteriormente, sono state definite delle zone esterne all'area di studio, le quali sono in grado di influenzare la progettazione del servizio di trasporto pubblico proposto nonostante il fatto che esso non opererà proprio al loro interno. A queste zone esterne sono legati i viaggi in entrata ed in uscita, verso e dall'area di studio, i quali certamente possono essere realizzati in parte attraverso la nuova infrastruttura di trasporto.

Viene quindi identificato un totale di 10 zone esterne; le prime tre sono adiacenti all'area di studio, costruite sempre a partire dalle sezioni di censimento di Milano, seguendo i lineamenti descritti per la elaborazione delle prime 12 zone interne, ma questa volta tenendo conto pure delle linee di trasporto pubblico esistenti e le connessioni con l'area di studio che ne derivano. Ad esempio, la zona 13 (vedere Figura 5.2) viene definita in quel modo a causa della presenza della stazione ferroviaria Quarto Oggiaro, la quale fornisce un collegamento veloce con il settore attorno alla stazione ferroviaria di Bovisa.

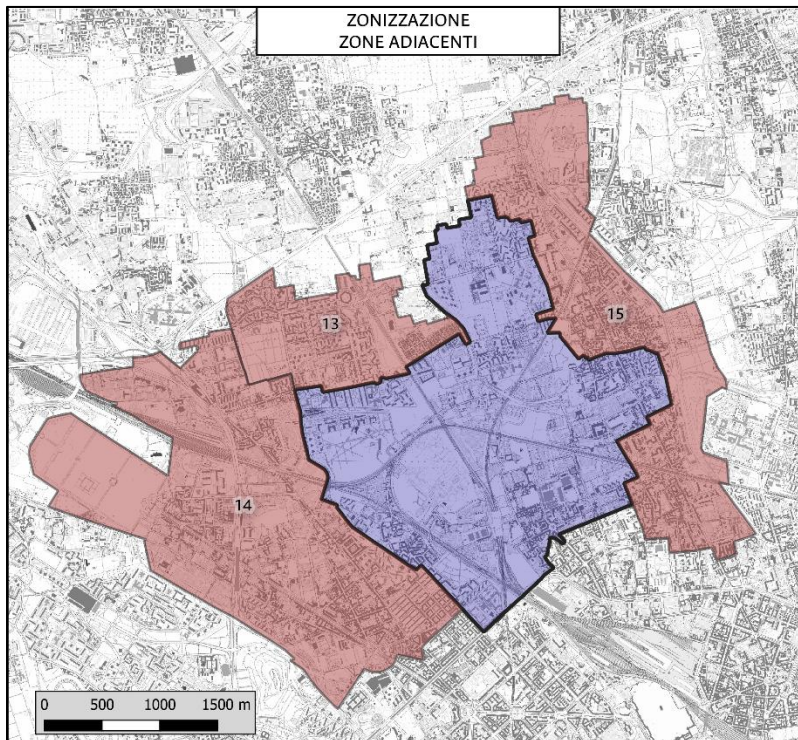


Figura 5.2: Zone adiacenti all'area di studio (Elaborazione propria).

La zona 16 fa riferimento a tutte le sezioni di censimento del Comune di Milano non contenute nelle prime 15 zone, ma che sono comunque servite da almeno una linea di trasporto pubblico. Questo ragionamento considera l'integrazione che esiste dentro la rete TPL del Comune di Milano e la sua vasta estensione dentro il territorio comunale.

Le ultime sei zone comprendono i comuni della Regione Lombardia serviti direttamente dalle linee ferroviarie che fermano alla stazione ferroviaria di Bovisa oppure alla stazione ferroviaria di Villapizzone. A questo scopo sono stati studiati i percorsi delle linee cercando di raggruppare i comuni in modo coerente ai collegamenti derivati dai servizi ferroviari; ad esempio, i comuni serviti dalle linee che fermano alla stazione ferroviaria di Bovisa e che vanno verso nord passando per la stazione ferroviaria di Affori conformano la zona 17, mentre i comuni serviti dalle linee che fermano alla stazione ferroviaria di Bovisa ma che vanno verso nord passando per la stazione ferroviaria di Quarto Oggiaro conformano invece la zona 18. Questa differenziazione è utile per tener conto della distribuzione dell'utenza sulle diverse tratte ferroviarie presenti nella zona di studio, aspetto molto rilevante al momento di costruire una simulazione (vedere Capitolo 7 "Simulazione"). Nella Tabella 5.1 può trovarsi l'elenco dei comuni compresi da ogni zona creata.

COMUNE	ZONA	COMUNE	ZONA	COMUNE	ZONA	COMUNE	ZONA	COMUNE	ZONA	COMUNE	ZONA
Erba	17	Luvinate	18	Lacchiarella	19	Pregnana Milanese	20	Como	21	Verdello	22
Casino d'Erba	17	Varese	18	Locate di Triulzi	19	Pogliano Milanese	20	Cantù	21	Bergamo	22
Inverigo	17	Laveno-Mombello	18	Sordio	19	Nerviano	20	Lentate sul Seveso	21	Verdellino	22
Lurago d'Erba	17	Cittiglio	18	Tavazzano con Villavesco	19	Parabiago	20	Carimate	21		
Lambrugo	17	Gemonio	18	Pavia	19	Vanzago	20	Desio	21		
Merone	17	Cocquio-Trevisago	18	San Zenone al Lambro	19	Rho	20	Lissone	21		
Cesano Maderno	17	Carbonate	18	San Donato Milanese	19	Vittuone	20	Sesto San Giovanni	21		
Bovisio Masciago	17	Bollate	18	Lodi	19	Sedriano	20	Monza	21		
Seveso	17	Mozzate	18	Melegnano	19	Corbetta	20	Seregno	21		
Lentate sul Seveso	17	Locate Varesino	18	San Giuliano Milanese	19	Arluno	20	Muggiò	21		
Barlassina	17	Rovellasca	18	Giussago	19	Santo Stefano Ticino	20	Pioltello	21		
Meda	17	Tradate	18	Siziano	19	Magenta	20	Segrate	21		
Cusano Milanino	17	Rovello Porro	18	Pieve Emanuele	19	Canegrate	20	Treviglio	21		
Cormano	17	Turate	18			Busto Arsizio	20	Melzo	21		
Cabiate	17	Gerenzano	18			Legnano	20	Pozzuolo Martesana	21		
Varedo	17	Cislago	18			San Giorgio su Legnano	20	Cassano d'Adda	21		
Paderno Dugnano	17	Castano Primo	18			Morazzone	20	Vignate	21		
Arosio	17	Turbigo	18			Castronno	20	Cuccia	21		
Giussano	17	Fino Mornasco	18			Gazzada Schianno	20				
Carugo	17	Cadorago	18			Gallarate	20				
Mariano Comense	17	Venegono Inferiore	18			Cavaria con Premezzo	20				
Castelmarte	17	Venegono Superiore	18			Varese	20				
Asso	17	Castellanza	18			Albizzate	20				
Ponte Lambro	17	Vanzaghella	18			Oggiona con Santo Stefano	20				
Canzo	17	Busto Arsizio	18			Jerago con Orago	20				
		Magnago	18			Solbiate Arno	20				
		Malnate	18								
		Vedano Olona	18								
		Lonate Pozzolo	18								
		Rescaldina	18								
		Novate Milanese	18								
		Ferno	18								
		Caronno Pertusella	18								
		Lomazzo	18								
		Saronno	18								
		Cesate	18								
		Grandate	18								
		Garbagnate Milanese	18								
		Como	18								
		Luisago	18								
		Gavirate	18								
		Casciago	18								
		Barasso	18								
		Comerio	18								

Tabella 5.1: Comuni contenuti in ogni zona esterna (Elaborazione propria).

Come riassunto, la Tabella 5.2 riguarda tutte le zone considerate in questa tesi. Esse saranno le zone considerate di seguito per costruire la matrice O-D che caratterizza univocamente lo scenario di domanda pertinente alla progettazione del servizio di trasporto pubblico proposto.

N° ZONA	NOME
1	Stazione Bovisa
2	Quartiere Villapizzone Sud
3	Quartiere Comasina
4	Quartiere Quarto Oggiaro
5	Goccia
6	Stazione Villapizzone
7	Quartiere Affori
8	Quartiere Affori Ovest
9	Quartiere Bovisa Nord
10	Quartiere Bovisa
11	Quartiere Dergano
12	Quartiere Bovisasca
13	Nord Area di Studio
14	Ovest Area di Studio
15	Est Area di Studio
16	Milano
17	Collegamento Bovisa via Affori
18	Collegamento Bovisa via Quarto Oggiaro
19	Collegamento Bovisa via Passante
20	Collegamento Villapizzone via Certosa
21	Collegamento Villapizzone via Passante
22	Collegamento Villapizzone via Cintura Ferroviaria

Tabella 5.2: Zone definite per lo studio della domanda del progetto (Elaborazione propria).

## 5.2. MATRICE O-D

I dati numerici con cui è possibile calcolare la domanda di trasporto e costruire in ultima istanza la matrice O-D relativa alle zone appena individuate sono stati raccolti dal portale Open Data del Comune di Milano. Essi consistono in valori di viaggi di carattere pendolare (motivo studio o lavoro) dentro, da e verso Milano, ricavati nell'anno 2011 attraverso multipli indagini. I viaggi sono identificati dalla sezione di censimento di origine e/o destinazione, e anche dal comune di origine o destinazione nel caso dei viaggi da o per Milano, permettendo così di elaborare facilmente una matrice O-D di sezioni di censimento e viaggi conteggiati attraverso le indagini. Comunque, il proposito finale di questo inciso è quello di ottenere una matrice O-D che esponga la totalità di viaggi (anziché quelli individuati unicamente con le indagini), tra le ventidue zone prese in considerazione nell'ora di punta per l'anno 2030, motivo per il quale vengono effettuate tre procedure, due delle quali basate sull'informazione inclusa nel PUMS riguardante la caratterizzazione della domanda di trasporto nell'area

metropolitana di Milano. Il primo passo consiste nell'attribuzione di un unico dato totale di viaggi in ogni coppia di zone definite per l'analisi della proposta; siccome i dati originali contemplano delle coppie tra sezioni di censimento, bisogna individuare l'appartenenza di ognuna alle zone di progetto, in maniera tale da poter sommare tutti i viaggi corrispondenti alle coppie di sezioni di censimento contenute in ogni coppia di zone di progetto. Un esempio semplice: le sezioni di censimento 1, 2 e 3 appartengono alla zona di progetto A, mentre le sezioni di censimento 4, 5 e 6 appartengono alla zona di progetto B; per poter ottenere la quantità dei viaggi di origine A con destinazione B bisogna sommare tutti i viaggi originati in 1 o 2 o 3, la cui destinazione sia 4 o 5 o 6. Così facendo si è ricavata la Tabella 5.3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	11	7	0	0	1	0	2	4	19	3	0	1	13	2	283	3	11	4	9	4	0
2	4	0	0	1	0	4	0	1	0	1	0	1	3	30	2	239	3	7	6	2	12	3
3	2	2	0	2	0	1	15	10	3	12	3	35	17	31	234	680	35	44	16	20	38	2
4	13	67	32	0	1	17	3	3	3	11	2	5	113	279	37	1338	29	70	28	40	60	3
5	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	50	5	2	2	3	1	0
6	6	72	8	3	1	0	2	3	3	9	2	4	10	337	20	1200	25	35	20	33	31	3
7	9	10	39	1	0	1	0	20	7	26	3	8	12	35	480	1496	61	59	34	38	81	6
8	4	0	12	0	0	0	34	0	4	15	1	7	5	8	107	349	17	15	3	9	21	1
9	2	2	1	0	0	0	1	1	0	6	0	8	2	5	7	132	3	7	0	1	11	0
10	12	15	14	2	0	3	2	8	31	0	9	4	3	22	61	1263	28	36	9	19	43	1
11	3	6	4	0	0	0	5	1	2	33	0	0	8	12	64	580	6	17	10	8	30	3
12	7	17	94	12	0	4	24	14	9	22	5	0	47	55	141	1020	46	78	19	21	51	2
13	17	54	153	263	2	11	14	13	14	25	7	57										
14	46	458	128	50	1	66	14	27	32	51	12	12										
15	36	40	369	15	1	18	242	80	29	169	26	30										
16	1007	1155	426	72	21	178	196	300	496	1070	243	118										
17	252	59	420	10	3	15	69	106	113	252	46	32										
18	487	72	274	26	5	37	56	98	167	450	60	43										
19	98	1	9	2	4	7	10	14	40	76	22	2										
20	250	13	28	8	7	22	21	55	95	181	42	12										
21	327	4	37	7	1	22	29	86	133	277	61	21										
22	40	0	0	0	0	2	1	1	15	28	3	1										

Tabella 5.3: Matrice O-D con valori d'indagini sul pendolarismo del 2011 (Elaborazione propria).

Con questa prima procedura si ottiene la struttura della matrice adatta all'analisi della domanda per la progettazione del servizio di trasporto pubblico proposto. I valori, però, fanno riferimento soltanto alle indagini sul pendolarismo del 2011, e quindi richiedono di ulteriori procedure.

Secondo il PUMS, per l'anno 2013 i viaggi giornalieri complessivi all'interno di Milano erano pari a 2.978.000, e quelli originati o destinati fuori Milano, ma sempre coinvolgendo il capoluogo di Regione, pari a 2.277.000. Lo stesso documento prevedeva una crescita di questi valori per l'anno 2024, portando i viaggi interni fino a 3.176.000 e quelli di scambio con Milano fino a 2.502.000.

Per trovare un valore di riferimento per l'anno 2030, si è utilizzata la variazione media annua tra il 2013 ed il 2024 (11 anni) in un periodo pari a 17 anni, tra il 2013 ed il 2030. I risultati si riassumono nella Tabella 5.4.

	<b>INTERNI</b>	<b>DI SCAMBIO</b>
2013	2978000	2277000
2024	3176000	2502000
<b>2030</b>	<b>3284000</b>	<b>2624727</b>

Tabella 5.4: Stimazione di viaggi totali interni e di scambio con Milano nel 2030 (Elaborazione propria).

Il totale di dati ricavati attraverso le indagini di 2011 è pari a 560.333 viaggi pendolari interni e 565.301 viaggi di scambio con Milano. Si può quindi calcolare la proporzione lineare tra i dati legati alle indagini e le stimazioni di viaggi totali nel 2030, la quale può essere posteriormente applicata ai valori presenti nella Tabella 5.4 per ottenere la matrice O-D di viaggi totali stimati per tutto il giorno nel 2013.

	<b>INTERNI</b>	<b>DI SCAMBIO</b>
Indagini 2011	560333	565301
Stimazioni 2030	3284000	2624727
<b>Proporzione Stimazione/Indagini</b>	<b>5.861</b>	<b>4.643</b>

Tabella 5.5: Proporzione Stimazione viaggi totali nel 2030 con Indagini sul pendolarismo nel 2011 (Elaborazione propria).

La matrice O-D risultante dopo la moltiplicazione dei valori legati alle indagini sul pendolarismo nel 2011 per la rispettiva proporzione con le stimazioni dei viaggi totali nel 2030 è quella denominata Tabella 5.6.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	65	42	0	0	6	0	12	24	112	18	0	6	77	12	1659	14	52	19	42	19	0
2	24	0	0	6	0	24	0	6	0	6	0	6	18	176	12	1401	14	33	28	10	56	14
3	12	12	0	12	0	6	88	59	18	71	18	206	100	182	1372	3986	163	205	75	93	177	10
4	77	393	188	0	6	100	18	18	18	65	12	30	663	1636	217	7842	135	326	131	186	279	14
5	6	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	6	294	24	10	10	14	5	0
6	36	422	47	18	6	0	12	18	18	53	12	24	59	1976	118	7033	117	163	93	154	144	14
7	53	59	229	6	0	6	0	118	42	153	18	47	71	206	2814	8768	284	274	158	177	377	28
8	24	0	71	0	0	0	200	0	24	88	6	42	30	47	628	2046	79	70	14	42	98	5
9	12	12	6	0	0	0	6	6	0	36	0	47	12	30	42	774	14	33	0	5	52	0
10	71	88	83	12	0	18	12	47	182	0	53	24	18	129	358	7403	131	168	42	89	200	5
11	18	36	24	0	0	0	30	6	12	194	0	0	47	71	376	3400	28	79	47	38	140	14
12	42	100	551	71	0	24	141	83	53	129	30	0	276	323	827	5979	214	363	89	98	237	10
13	100	317	897	1542	12	65	83	77	83	147	42	335										
14	270	2685	751	294	6	387	83	159	188	299	71	71										
15	211	235	2163	88	6	106	1419	469	170	991	153	176										
16	5902	6770	2497	422	124	1044	1149	1759	2907	6272	1425	692										
17	1171	274	1951	47	14	70	321	493	525	1171	214	149										
18	2262	335	1273	121	24	172	261	456	776	2090	279	200										
19	456	5	42	10	19	33	47	66	186	353	103	10										
20	1161	61	131	38	33	103	98	256	442	841	196	56										
21	1519	19	172	33	5	103	135	400	618	1287	284	98										
22	186	0	0	0	0	10	5	5	70	131	14	5										

Tabella 5.6: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi totali giornalieri del 2030 (Elaborazione propria).



Sempre secondo il PUMS, la distribuzione dei viaggi nel corso della giornata non è affatto costante. Per quanto riguarda l'ora di punta, definita nel documento come quella tra le 8:00 e le 9:00, i viaggi effettuati sono pari al 9.4% del totale di viaggi giornalieri. Con questo valore percentuale si può finalmente ricavare la matrice O-D di viaggi totali nell'ora di punta per l'anno 2030, la quale sorge dal calcolo del 9.4% dei valori contenuti dalla Tabella 5.6.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	7	4	0	0	1	0	2	3	11	2	0	1	8	2	156	2	5	2	4	2	0
2	3	0	0	1	0	3	0	1	0	1	0	1	2	17	2	132	2	4	3	1	6	2
3	2	2	0	2	0	1	9	6	2	7	2	20	10	18	129	375	16	20	8	9	17	1
4	8	37	18	0	1	10	2	2	2	7	2	3	63	154	21	738	13	31	13	18	27	2
5	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	28	3	1	1	2	1	0
6	4	40	5	2	1	0	2	2	2	5	2	3	6	186	12	662	11	16	9	15	14	2
7	5	6	22	1	0	1	0	12	4	15	2	5	7	20	265	825	27	26	15	17	36	3
8	3	0	7	0	0	0	19	0	3	9	1	4	3	5	60	193	8	7	2	4	10	1
9	2	2	1	0	0	0	1	1	0	4	0	5	2	3	4	73	2	4	0	1	5	0
10	7	9	8	2	0	2	2	5	18	0	5	3	2	13	34	696	13	16	4	9	19	1
11	2	4	3	0	0	0	3	1	2	19	0	0	5	7	36	320	3	8	5	4	14	2
12	4	10	52	7	0	3	14	8	5	13	3	0	26	31	78	563	21	35	9	10	23	1
13	10	30	85	145	2	7	8	8	8	14	4	32										
14	26	253	71	28	1	37	8	15	18	29	7	7										
15	20	23	204	9	1	10	134	45	16	94	15	17										
16	555	637	235	40	12	99	109	166	274	590	134	66										
17	111	26	184	5	2	7	31	47	50	111	21	15										
18	213	32	120	12	3	17	25	43	73	197	27	19										
19	43	1	4	1	2	4	5	7	18	34	10	1										
20	110	6	13	4	4	10	10	25	42	80	19	6										
21	143	2	17	4	1	10	13	38	59	121	27	10										
22	18	0	0	0	0	1	1	1	7	13	2	1										

Tabella 5.7: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi totali nell'ora di punta del 2030 (Elaborazione propria).

Bisogna chiarire che le procedure realizzate per il calcolo della matrice O-D di viaggi totali nell'ora di punta per l'anno 2030 costituiscono una metodologia di calcolo piuttosto semplice, che molto probabilmente sia lontana da quella che riguarda una vera e rigorosa analisi delle dinamiche demografiche e socioeconomiche della zona di studio. Tuttavia, essa permette di avere un insieme di dati logico e ragionevole sulla domanda di trasporto in questa zona per un tempo futuro, tenendo anche conto del fatto che lo stesso documento PUMS afferma che non è prevista una variazione rilevante della distribuzione spaziale e temporale dei viaggi per gli anni dopo l'orizzonte di piano (2024).

### 5.3. INDAGINI SP (PREFERENZE DICHIARATE)

L'ottenimento della matrice O-D non è sufficiente per procedere alla progettazione vera e propria del servizio. Visto che essa si riferisce alla totalità dei viaggi coinvolgenti le zone definite per l'analisi, ovvero, considera tutti i mezzi di trasporto disponibili, è necessario calcolare di qualche maniera le proporzioni di scelta di mezzo, in modo tale da avere una matrice O-D che faccia riferimento unicamente agli spostamenti eseguiti facendo utilizzo della rete di trasporto pubblico locale. È importante specificare che si intende lavorare con la domanda di tutti i servizi di trasporto pubblico locale anziché con quella esclusiva della nuova linea funiviaria perché la funzione pensata per essa è quella di complementare la rete

di trasporto pubblico esistente; in altre parole, siccome la linea funiviaria entrerà a far parte della rete complessiva di trasporto pubblico locale, tutta la domanda che spetta questa ultima interesserà anche il nuovo servizio da progettare.

Lo studio della scelta modale quando si considera la presenza di un servizio ancora inesistente costringe alla realizzazione d'indagini di preferenze dichiarate (SP per i termini in inglese *Stated Preferences*). In questo tipo d'indagini, quello che viene esposto agli intervistati sono scenari ipotetici nei quali il nuovo servizio di trasporto è già in funzionamento ed è caratterizzato da certi attributi prestazionali che possono essere confrontati con quelli appartenenti alle altre alternative per realizzare i viaggi (mezzi di trasporto); in questi scenari ipotetici, l'individuo intervistato deve semplicemente scegliere l'alternativa che ritiene sia più favorevole secondo i suoi propri criteri. L'insieme di tutte le risposte ricavate viene posteriormente analizzato in maniera tale da riuscire ad elaborare un modello di ripartizione modale che riproduca il più fedelmente possibile le preferenze dell'utenza al momento di scegliere un'alternativa di trasporto.

Le indagini SP che fanno parte di questo elaborato di tesi sono state fatte sulla piattaforma online *Google Forms*, date le facilità che essa fornisce sia sulla diffusione delle indagini che sulla raccolta delle risposte. La struttura delle indagini contempla una prima sezione in cui si spiega brevemente l'obiettivo della stessa, facendo una descrizione generale del servizio di trasporto pubblico proposto e dando qualche istruzione sulla corretta compilazione, ed in cui si chiede pure delle informazioni generali sull'individuo intervistato (età, possesso della patente di guida).

Dopodiché si chiede alla persona intervistata se risiede all'interno dell'area di studio, e posteriormente si chiede se l'individuo frequenta la zona di studio per motivi di lavoro o studio. Queste due domande hanno lo scopo di definire tre gruppi diversi di domanda, ognuno dei quali avrà un modello di ripartizione modale proprio, in modo tale da poter trattare con una maggiore precisione la domanda del servizio di trasporto proposto.

I tre gruppi di domanda sono:

- Residenti e Pendolari: Quegli intervistati che hanno risposto positivamente sia alla domanda sulla residenza che a quella sulla frequentazione della zona di studio.
- Residenti: Quegli intervistati che hanno risposto positivamente alla domanda sulla residenza all'interno della zona di studio, ma che hanno risposto negativamente a quella sulla frequentazione della stessa.
- Pendolari: Quegli intervistati che hanno risposto negativamente alla domanda sulla residenza all'interno della zona di studio, ma che hanno risposto positivamente a quella sulla frequentazione della stessa.

Nel caso entrambe domande avessero una risposta negativa, la risposta dell'intervistato non sarà tenuta in conto.

Una volta definito il gruppo di domanda, l'indagine continua con la proposizione di una situazione che contempla la realizzazione di uno spostamento per il quale la linea proposta

potrebbe essere utile. La situazione varia a seconda del gruppo di domanda come esposto di seguito:

- Residenti e Pendolari: Si descrive la realizzazione di uno spostamento tra la stazione ferroviaria Bovisa FNM e la fermata Affori Centro della linea di Metropolitana M3. Questo viaggio implica la percorrenza di circa 2 km interamente all'interno dell'area d'influenza del progetto.
- Residenti: Si descrive la realizzazione di uno spostamento dalla residenza dell'intervistato al centro di Milano, nelle vicinanze della Piazza del Duomo.
- Pendolari: Si descrive la realizzazione di uno spostamento di circa 2 km all'interno della zona di studio dopo averla raggiunta con qualsiasi mezzo. Come riferimento, i 2 km compongono approssimativamente la distanza tra la stazione ferroviaria Bovisa FNM e la fermata Affori Centro della linea di Metropolitana M3.

A questo punto compaiono nell'indagine gli scenari ipotetici dove si confrontano le prestazioni delle alternative di trasporto considerate e si chiede all'intervistato di scegliere quella che ritiene più ottima per effettuare il viaggio corrispondente al gruppo di domanda a cui appartiene. Questi scenari sottoposti alla valutazione degli intervistati sono costruiti in base alla combinazione di diversi livelli di variazione degli attributi assegnati ad ognuno dei mezzi considerati. I livelli di variazione rappresentano diverse possibili condizioni degli attributi; di solito si parla di una condizione positiva ed una negativa. Nella Tabella 5.8 vengono riassunte le alternative valutate, i loro attributi ed i livelli di variazione di ogni attributo per ogni alternativa.

	TPL CON NUOVA LINEA	TPL SENZA NUOVA LINEA	BICICLETTA - MONOPATTINO	SPOSTAMENTO A PIEDI	AUTO - MOTO
Costo totale/aggiuntivo	2	1	2	1	2
Frequenza del sistema	3	2	0	0	0
Perditempo complessivo (attesa nelle fermate, scambi)	2	2	0	0	0
Tempo/Differenza nel tempo totale di viaggio	2	2	2	1	2
Distanza da percorrere a piedi	2	2	0	0	0
Tutte le stazioni hanno copertura	2	2	0	0	0

Tabella 5.8: Alternative, attributi e livelli di variazione considerati nelle indagini SP (Elaborazione propria).

Nell'insieme delle alternative, ce ne sono due che fanno riferimento all'utilizzo del trasporto pubblico: TPL con Nuova Linea e TPL senza Nuova Linea. La prima alternativa si riferisce alla realizzazione dello spostamento formulato usando in qualche momento la linea funiviaria proposta; invece, la seconda alternativa intende l'uso della rete di trasporto pubblico locale senza includere la già menzionata linea funiviaria proposta.

Per quanto riguarda gli attributi, la ragione per cui se ne possono trovare due nelle righe che interessano il tempo ed il costo del viaggio è perché essi vengono affrontati in modo diverso da ciascun gruppo di domanda descritto qualche paragrafo prima. Per i gruppi "Residenti e Pendolari" e "Residenti", gli attributi di tempo e costo fanno riferimento ai valori totali per

il viaggio proposto, mentre per il gruppo “Pendolari”, fanno invece riferimento ai valori aggiuntivi al viaggio svolto per semplicemente raggiungere l’area di studio.

La Tabella 5.9 contiene i livelli di variazione degli attributi per il gruppo di domanda “Residenti e Pendolari”. La Tabella 5.10 contiene quelli rispettivi al gruppo di domanda “Residenti”, e la Tabella 5.11 quelli per il gruppo di domanda “Pendolari”.

	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA			MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA			BICICLETTA - MONOPATTINO			SPOSTAMENTO A PIEDI			MEZZO MOTORIZZATO (AUTO - MOTO)		
	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo
Tempo totale di viaggio [min]	15	-	20	17	-	22	10	-	14	-	25	-	6	-	10
Costo totale del viaggio [€]	2	-	4	-	2	-	0	-	0,25	-	0	-	0,5	-	2
Frequenza media delle linee [min] 1 Veicolo ogni X minuti	1	6	10	5	-	12									
Tempo perso negli scambi [min]	1	-	5	0	-	2									
Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	400	-	800	300	-	600	-	50	-	-	2000	-	-	50	-
Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	Si (0)	-	No (10)	Si (0)	-	No (10)									
	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo

Tabella 5.9: Livelli di variazione per attributo e per alternativa per il gruppo di domanda “Residenti e Pendolari” (Elaborazione propria).

	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA			MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA			BICICLETTA - MONOPATTINO			MEZZO MOTORIZZATO (AUTO - MOTO)		
	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo
Tempo totale di viaggio [min]	25	-	30	32	-	40	25	-	30	22	-	45
Costo totale del viaggio [€]	2	-	4	-	2	-	0	-	0,25	5	-	7
Frequenza media delle linee [min] 1 Veicolo ogni X minuti	1	6	14	6	-	10						
Tempo perso negli scambi [min]	3	-	10	2	-	5						
Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	400	-	800	400	-	1000	-	50	-	-	50	-
Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	Si (0)	-	No (10)	Si (0)	-	No (10)						
	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo

Tabella 5.10: Livelli di variazione per attributo e per alternativa per il gruppo di domanda “Residenti” (Elaborazione propria).

	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA			MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA			BICICLETTA - MONOPATTINO			SPOSTAMENTO A PIEDI			MEZZO MOTORIZZATO (AUTO - MOTO)		
Differenza nel tempo di viaggio [min]	-13	-	-5	-5	-	0	-5	-	0	-	5	-	0	-	10
Costo aggiuntivo del viaggio [€]	0	-	2	-	2	-	0	-	0.5	-	0	-	0	-	2
Frequenza media delle linee [min] 1 Veicolo ogni X minuti	1	6	14	6	-	10									
Tempo perso negli scambi [min]	1	-	8	0	-	3									
Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	400	-	800	400	-	1000	-	50	-	-	2000	-	-	50	-
Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	Si (0)	-	No (10)	Si (0)	-	No (10)									
	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo	Positivo	Neutro	Negativo

Tabella 5.11: Livelli di variazione per attributo e per alternativa per il gruppo di domanda “Pendolari” (Elaborazione propria).

I livelli di variazione sono definiti cercando di descrivere delle situazioni reali che interessano i mezzi di trasporto elencati. Ne vale la pena indicare che, anche cercando di emulare al massimo la realtà, quando si analizza il gruppo di domanda “Residenti”, quello con la situazione di viaggio dalla zona di studio al centro di Milano, non si valuta l’alternativa “Spostamento a piedi” perché si considera che sia un mezzo veramente poco utilizzato per effettuare detto viaggio. Inoltre, l’attributo “Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura” è particolare perché i valori numerici che caratterizzano i suoi livelli di variazione sono stati scelti arbitrariamente, tenendo comunque presente che un valore ridotto (in questo caso 0) indica uno stato favorevole rispetto a un valore alto (10 per questo caso specifico).

Il numero totale di combinazioni esistenti con i livelli di variazioni tenuti in conto è pari a 49.152. Detto valore gigantesco deve essere ridotto fino ad uno più gestibile e adatto all’esecuzione delle indagini; a questo scopo si fa l’ottenimento del piano fattoriale fratto e la scomposizione a blocchi. In questo modo, il numero totale di scenari risulta pari a 96, ma la quantità da essere sottoposta alla valutazione degli intervistati è soltanto pari a 6.

La diffusione dell’indagine è avvenuta principalmente attraverso dei gruppi su Facebook legati ai residenti dei quartieri coinvolti nell’area d’influenza della proposta. Sono state raccolte 189 risposte totali, divise nei gruppi di domanda della seguente maniera: 48 risposte del gruppo “Residenti e pendolari”, 96 risposte del gruppo “Residenti”, 25 risposte del gruppo “Pendolari”. Le restanti 20 risposte non sono state tenute in conto dovuto al fatto che in queste, entrambe le domande poste per definire i gruppi di domanda hanno avuto una risposta negativa.

Di seguito si presenta un riassunto delle risposte ottenute per ogni gruppo di domanda

	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA							MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA							BICICLETTA - MONOPATTINO				SPOSTAMENTO A PIEDI				MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)			
	Frequenza media delle linee [min]	Costo totale del viaggio [€]	Tempo perso negli scambi [min]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	PREFERENZE	Frequenza media delle linee [min]	Costo totale del viaggio [€]	Tempo perso negli scambi [min]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	PREFERENZE	Costo totale del viaggio [€]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	PREFERENZE	Costo totale del viaggio [€]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	PREFERENZE	Costo totale del viaggio [€]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	PREFERENZE
Scenario 1	1	2	1	15	400	0	0	12	2	2	22	600	10	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	2	10	50	0
Scenario 2	1	4	5	20	800	10	0	12	2	2	22	600	10	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	2	10	50	0
Scenario 3	6	2	1	15	400	0	0	12	2	2	22	600	10	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	2	10	50	0
Scenario 4	6	4	5	20	800	10	0	12	2	2	22	600	10	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	2	10	50	0
Scenario 5	10	2	1	15	400	0	0	12	2	2	22	600	10	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	2	10	50	0
Scenario 6	10	4	5	20	800	10	0	12	2	2	22	600	10	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	2	10	50	0
Scenario 7	1	2	1	15	400	10	0	12	2	2	22	300	10	0	0.25	10	50	1	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 8	1	4	5	20	800	0	0	12	2	2	22	300	10	0	0.25	10	50	0	0	25	2000	1	2	6	50	0
Scenario 9	6	2	1	15	400	10	0	12	2	2	22	300	10	0	0.25	10	50	0	0	25	2000	0	2	6	50	1
Scenario 10	6	4	5	20	800	0	1	12	2	2	22	300	10	0	0.25	10	50	0	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 11	10	2	1	15	400	10	0	12	2	2	22	300	10	1	0.25	10	50	0	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 12	10	4	5	20	800	0	0	12	2	2	22	300	10	0	0.25	10	50	1	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 13	1	2	1	15	800	0	0	12	2	2	17	600	10	1	0	14	50	1	0	25	2000	1	0.5	10	50	1
Scenario 14	1	4	5	20	400	10	1	12	2	2	17	600	10	1	0	14	50	1	0	25	2000	0	0.5	10	50	1
Scenario 15	6	2	1	15	800	0	2	12	2	2	17	600	10	1	0	14	50	0	0	25	2000	0	0.5	10	50	1
Scenario 16	6	4	5	20	400	10	1	12	2	2	17	600	10	0	0	14	50	2	0	25	2000	0	0.5	10	50	1
Scenario 17	10	2	1	15	800	0	0	12	2	2	17	600	10	1	0	14	50	1	0	25	2000	0	0.5	10	50	2
Scenario 18	10	4	5	20	400	10	2	12	2	2	17	600	10	0	0	14	50	1	0	25	2000	0	0.5	10	50	1
Scenario 19	1	2	1	15	800	10	1	12	2	2	17	300	10	0	0	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 20	1	4	5	20	400	0	0	12	2	2	17	300	10	1	0	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 21	6	2	1	15	800	10	1	12	2	2	17	300	10	0	0	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 22	6	4	5	20	400	0	1	12	2	2	17	300	10	0	0	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 23	10	2	1	15	800	10	1	12	2	2	17	300	10	0	0	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 24	10	4	5	20	400	0	0	12	2	2	17	300	10	1	0	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 25	1	2	1	20	400	0	0	12	2	2	22	600	0	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	1	0.5	6	50	0
Scenario 26	1	4	5	15	800	10	1	12	2	0	22	600	0	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 27	6	2	1	20	400	0	0	12	2	0	22	600	0	1	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 28	6	4	5	15	800	10	1	12	2	0	22	600	0	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 29	10	2	1	20	400	0	0	12	2	0	22	600	0	0	0.25	14	50	0	0	25	2000	1	0.5	6	50	0
Scenario 30	10	4	5	15	800	10	0	12	2	0	22	600	0	1	0.25	14	50	0	0	25	2000	0	0.5	6	50	0
Scenario 31	1	2	1	20	400	10	0	12	2	0	22	300	0	0	0.25	10	50	1	0	25	2000	1	0.5	10	50	1
Scenario 32	1	4	5	15	800	0	1	12	2	0	22	300	0	0	0.25	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	10	50	2
Scenario 33	6	2	1	20	400	10	1	12	2	0	22	300	0	0	0.25	10	50	0	0	25	2000	1	0.5	10	50	1
Scenario 34	6	4	5	15	800	0	1	12	2	0	22	300	0	1	0.25	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	10	50	1
Scenario 35	10	2	1	20	400	10	0	12	2	0	22	300	0	1	0.25	10	50	1	0	25	2000	0	0.5	10	50	1
Scenario 36	10	4	5	15	800	0	0	12	2	0	22	300	0	1	0.25	10	50	0	0	25	2000	1	0.5	10	50	1
Scenario 37	1	2	1	20	800	0	1	12	2	0	17	600	0	0	0	14	50	2	0	25	2000	2	2	6	50	1
Scenario 38	1	4	5	15	400	10	1	12	2	0	17	600	0	1	0	14	50	2	0	25	2000	1	2	6	50	1
Scenario 39	6	2	1	20	800	0	1	12	2	0	17	600	0	1	0	14	50	2	0	25	2000	1	2	6	50	1
Scenario 40	6	4	5	15	400	10	1	12	2	0	17	600	0	1	0	14	50	2	0	25	2000	1	2	6	50	1
Scenario 41	10	2	1	20	800	0	0	12	2	0	17	600	0	2	0	14	50	2	0	25	2000	1	2	6	50	1
Scenario 42	10	4	5	15	400	10	1	12	2	0	17	600	0	1	0	14	50	2	0	25	2000	1	2	6	50	1
Scenario 43	1	2	1	20	800	10	1	12	2	0	17	300	0	0	0	10	50	2	0	25	2000	1	2	10	50	2
Scenario 44	1	4	5	15	400	0	2	12	2	0	17	300	0	0	0	10	50	1	0	25	2000	1	2	10	50	2
Scenario 45	6	2	1	20	800	10	2	12	2	0	17	300	0	0	0	10	50	0	0	25	2000	2	2	10	50	2
Scenario 46	6	4	5	15	400	0	2	12	2	0	17	300	0	0	0	10	50	0	0	25	2000	1	2	10	50	3
Scenario 47	10	2	1	20	800	10	1	12	2	0	17	300	0	0	0	10	50	2	0	25	2000	1	2	10	50	2
Scenario 48	10	4	5	15	400	0	2	12	2	0	17	300	0	0	0	10	50	1	0	25	2000	1	2	10	50	2
Scenario 49	1	2	5	15	400	0	2	5	2	2	22	600	0	0	0	10	50	0	0	25	2000	1	2	10	50	0
Scenario 50	1	4	1	20	800	10	0	5	2	2	22	600	0	0	0	10	50	1	0	25	2000	2	2	10	50	0
Scenario 51	6	2	5	15	400	0	2	5	2	2	22	600	0	0	0	10	50	0	0	25	2000	1	2	10	50	0
Scenario 52	6	4	1	20	800	10	0	5	2	2	22	600	0	0	0	10	50	1	0	25	2000	2	2	10	50	0
Scenario 53	10	2	5	15	400	0	3	5	2	2	22	600	0	0	0	10	50	0	0	25	2000	0	2	10	50	0
Scenario 54	10	4	1	20	800	10	0	5	2	2	22	600	0	0	0	10	50	1	0	25	2000	2	2	10	50	0
Scenario 55	1	2	5	15	400	10	1	5	2	2	22	300	0	0	0	14	50	1	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 56	1	4	1	20	800	0	1	5	2	2	22	300	0	0	0	14	50	1	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 57	6	2	5	15	400	10	1	5	2	2	22	300	0	0	0	14	50	1	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 58	6	4	1	20	800	0	1	5	2	2	22	300	0	0	0	14	50	1	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 59	10	2	5	15	400	10	1	5	2	2	22	300	0	0	0	14	50	1	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 60	10	4	1	20	800	0	1	5	2	2	22	300	0	0	0	14	50	1	0	25	2000	0	2	6	50	0
Scenario 61	1	2	5	15	800	0	1	5	2	2	17	600	0	1	0.25	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	10	50	2
Scenario 62	1	4	1	20	400	10	1	5	2	2	17	600	0	1	0.25	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	10	50	2
Scenario 63	6	2	5	15	800	0	1	5	2	2	17	600	0	1	0.25	10	50	0	0	25	2000	0	0.5	10	50	2
Scenario 64	6	4	1	20	400	10	1	5	2																	

	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA							MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA							BICICLETTA - MONOPATTINO				MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)			
	Frequenza media delle linee [min]	Costo totale del viaggio [€]	Tempo perso negli scambi [min]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	PREFERENZE	Frequenza media delle linee [min]	Costo totale del viaggio [€]	Tempo perso negli scambi [min]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	PREFERENZE	Costo totale del viaggio [€]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	PREFERENZE	Costo totale del viaggio [€]	Tempo totale di viaggio [min]	Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	PREFERENZE
Scenario 1	1	2	3	25	400	0	1	10	2	5	40	1000	10	0	0.5	30	50	0	7	45	50	0
Scenario 2	1	4	10	30	800	10	0	10	2	5	40	1000	10	1	0.5	30	50	0	7	45	50	0
Scenario 3	6	2	3	25	400	0	1	10	2	5	40	1000	10	0	0.5	30	50	0	7	45	50	0
Scenario 4	6	4	10	30	800	10	0	10	2	5	40	1000	10	1	0.5	30	50	0	7	45	50	0
Scenario 5	14	2	3	25	400	0	1	10	2	5	40	1000	10	0	0.5	30	50	0	7	45	50	0
Scenario 6	14	4	10	30	800	10	1	10	2	5	40	1000	10	0	0.5	30	50	0	7	45	50	0
Scenario 7	1	2	3	25	400	10	3	10	2	5	40	400	10	1	0.5	25	50	0	7	22	50	0
Scenario 8	1	4	10	30	800	0	1	10	2	5	40	400	10	3	0.5	25	50	0	7	22	50	0
Scenario 9	6	2	3	25	400	10	3	10	2	5	40	400	10	0	0.5	25	50	1	7	22	50	0
Scenario 10	6	4	10	30	800	0	2	10	2	5	40	400	10	1	0.5	25	50	0	7	22	50	1
Scenario 11	14	2	3	25	400	10	3	10	2	5	40	400	10	0	0.5	25	50	0	7	22	50	1
Scenario 12	14	4	10	30	800	0	2	10	2	5	40	400	10	1	0.5	25	50	1	7	22	50	0
Scenario 13	1	2	3	25	800	0	2	10	2	5	32	1000	10	0	0	30	50	0	5	45	50	0
Scenario 14	1	4	10	30	400	10	1	10	2	5	32	1000	10	1	0	30	50	0	5	45	50	0
Scenario 15	6	2	3	25	800	0	2	10	2	5	32	1000	10	0	0	30	50	0	5	45	50	0
Scenario 16	6	4	10	30	400	10	0	10	2	5	32	1000	10	1	0	30	50	1	5	45	50	0
Scenario 17	14	2	3	25	800	0	1	10	2	5	32	1000	10	0	0	30	50	1	5	45	50	0
Scenario 18	14	4	10	30	400	10	0	10	2	5	32	1000	10	1	0	30	50	1	5	45	50	0
Scenario 19	1	2	3	25	800	10	1	10	2	5	32	400	10	0	0	25	50	2	5	22	50	1
Scenario 20	1	4	10	30	400	0	0	10	2	5	32	400	10	0	0	25	50	2	5	22	50	2
Scenario 21	6	2	3	25	800	10	1	10	2	5	32	400	10	0	0	25	50	2	5	22	50	1
Scenario 22	6	4	10	30	400	0	0	10	2	5	32	400	10	0	0	25	50	2	5	22	50	2
Scenario 23	14	2	3	25	800	10	0	10	2	5	32	400	10	0	0	25	50	2	5	22	50	2
Scenario 24	14	4	10	30	400	0	0	10	2	5	32	400	10	0	0	25	50	2	5	22	50	2
Scenario 25	1	2	3	25	400	0	2	10	2	2	40	1000	0	0	0.5	30	50	0	5	22	50	1
Scenario 26	1	4	10	25	800	10	0	10	2	2	40	1000	0	1	0.5	30	50	0	5	22	50	2
Scenario 27	6	2	3	30	400	0	1	10	2	2	40	1000	0	0	0.5	30	50	0	5	22	50	2
Scenario 28	6	4	10	25	800	10	0	10	2	2	40	1000	0	1	0.5	30	50	0	5	22	50	2
Scenario 29	14	2	3	30	400	0	1	10	2	2	40	1000	0	0	0.5	30	50	0	5	22	50	2
Scenario 30	14	4	10	25	800	10	0	10	2	2	40	1000	0	1	0.5	30	50	0	5	22	50	2
Scenario 31	1	2	3	30	400	10	2	10	2	2	40	400	0	0	0.5	25	50	0	5	45	50	0
Scenario 32	1	4	10	25	800	0	1	10	2	2	40	400	0	0	0.5	25	50	1	5	45	50	0
Scenario 33	6	2	3	30	400	10	2	10	2	2	40	400	0	0	0.5	25	50	0	5	45	50	0
Scenario 34	6	4	10	25	800	0	1	10	2	2	40	400	0	0	0.5	25	50	1	5	45	50	0
Scenario 35	14	2	3	30	400	10	1	10	2	2	40	400	0	0	0.5	25	50	1	5	45	50	0
Scenario 36	14	4	10	25	800	0	0	10	2	2	40	400	0	1	0.5	25	50	1	5	45	50	0
Scenario 37	1	2	3	30	800	0	4	10	2	2	32	1000	0	2	0	30	50	1	7	22	50	0
Scenario 38	1	4	10	25	400	10	2	10	2	2	32	1000	0	4	0	30	50	1	7	22	50	0
Scenario 39	6	2	3	30	800	0	3	10	2	2	32	1000	0	3	0	30	50	1	7	22	50	0
Scenario 40	6	4	10	25	400	10	1	10	2	2	32	1000	0	5	0	30	50	1	7	22	50	0
Scenario 41	14	2	3	30	800	0	3	10	2	2	32	1000	0	3	0	30	50	1	7	22	50	0
Scenario 42	14	4	10	25	400	10	1	10	2	2	32	1000	0	5	0	30	50	1	7	22	50	0
Scenario 43	1	2	3	30	800	10	3	10	2	2	32	400	0	0	0	25	50	2	7	45	50	0
Scenario 44	1	4	10	25	400	0	2	10	2	2	32	400	0	2	0	25	50	1	7	45	50	0
Scenario 45	6	2	3	30	800	10	4	10	2	2	32	400	0	0	0	25	50	1	7	45	50	0
Scenario 46	6	4	10	25	400	0	2	10	2	2	32	400	0	2	0	25	50	1	7	45	50	0
Scenario 47	14	2	3	30	800	10	1	10	2	2	32	400	0	3	0	25	50	1	7	45	50	0
Scenario 48	14	4	10	25	400	0	1	10	2	2	32	400	0	2	0	25	50	2	7	45	50	0
Scenario 49	1	2	10	25	400	0	4	6	2	5	40	1000	0	0	0	25	50	0	7	45	50	0
Scenario 50	1	4	3	30	800	10	3	6	2	5	40	1000	0	1	0	25	50	0	7	45	50	0
Scenario 51	6	2	10	25	400	0	3	6	2	5	40	1000	0	0	0	25	50	0	7	45	50	1
Scenario 52	6	4	3	30	800	10	2	6	2	5	40	1000	0	2	0	25	50	0	7	45	50	0
Scenario 53	14	2	10	25	400	0	2	6	2	5	40	1000	0	1	0	25	50	0	7	45	50	1
Scenario 54	14	4	3	30	800	10	2	6	2	5	40	1000	0	1	0	25	50	0	7	45	50	1
Scenario 55	1	2	10	25	400	10	0	6	2	5	40	400	0	0	0	30	50	3	7	22	50	0
Scenario 56	1	4	3	30	800	0	0	6	2	5	40	400	0	0	0	30	50	3	7	22	50	0
Scenario 57	6	2	10	25	400	10	0	6	2	5	40	400	0	0	0	30	50	3	7	22	50	0
Scenario 58	6	4	3	30	800	0	0	6	2	5	40	400	0	0	0	30	50	3	7	22	50	0
Scenario 59	14	2	10	25	400	10	0	6	2	5	40	400	0	0	0	30	50	3	7	22	50	0
Scenario 60	14	4	3	30	800	0	0	6	2	5	40	400	0	0	0	30	50	3	7	22	50	0
Scenario 61	1	2	10	25	800	0	1	6	2	5	32	1000	0	0	0.5	25	50	0	5	45	50	0
Scenario 62	1	4	3	30	400	10	0	6	2	5	32	1000	0	1	0.5	25	50	0	5	45	50	0
Scenario 63	6	2	10	25	800	0	1	6	2	5	32	1000	0	0	0.5	25	50	0	5	45	50	0
Scenario 64	6	4	3	30	400	10	0	6	2	5	32	1000	0	1	0.5	25	50	0	5	45	50	0
Scenario 65	14	2	10	25	800	0	0	6	2	5	32	1000	0	1	0.5	25	50	0	5	45	50	0
Scenario 66	14	4	3	30	400	10	0	6	2	5	32	1000	0	1	0.5	25	50	0	5	45	50	0
Scenario 67	1	2	10	25	800	10	2	6	2	5	32	400	0	0	0.5	30	50	1	5	22	50	0
Scenario 68	1	4	3	30	400	0	0	6	2	5	32	400	0	1	0.5	30	50	1	5	22	50	1
Scenario 69	6	2	10	25	800	10	1	6	2	5	32	400	0	1	0.5	30	50	1	5	22	50	0
Scenario 70	6	4	3	30	400	0	0	6	2	5	32	400	0	2	0.5	30	50	1	5	22	50	0
Scenario 71	14	2	10	25	800	10	1	6	2	5	32	400	0	1	0.5	30	50	1	5	22	50	0
Scenario 72	14	4	3	30	400	0	0	6	2	5	32	400	0	2	0.5	30	50	1	5	22	50	0
Scenario 73	1	2	10	30	400	0	0	6	2	2	40	1000	10	1	0	25	50	1	5	22	50	0
Scenario 74	1	4	3	25	800	10	1	6	2	2	40	1000	10	0	0	25	50	1	5	22	50	0
Scenario 75	6	2	10	30	400	0	1	6	2	2	40	1000	10	0	0	25	50	1				

	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA							MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA							BICICLETTA - MONOPATTINO				SPOSTAMENTO A PIEDI				MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)			
	Frequenza media delle linee [min]	Costo aggiuntivo del viaggio [€]	Tempo perso negli scambi [min]	Differenza nel tempo di viaggio [min]	Distanza da percorrere a piedi [metri]	Tutte le fermate nella zona di studio hanno copertura	PREFERENZE	Frequenza media delle linee [min]	Costo aggiuntivo del viaggio [€]	Tempo perso negli scambi [min]	Differenza nel tempo di viaggio [min]	Distanza da percorrere a piedi [metri]	Tutte le fermate nella zona di studio hanno copertura	PREFERENZE	Costo aggiuntivo del viaggio [€]	Differenza nel tempo di viaggio [min]	Distanza da percorrere a piedi [metri]	PREFERENZE	Costo aggiuntivo del viaggio [€]	Differenza nel tempo di viaggio [min]	Distanza da percorrere a piedi [metri]	PREFERENZE	Costo aggiuntivo del viaggio [€]	Differenza nel tempo di viaggio [min]	Distanza da percorrere a piedi [metri]	PREFERENZE
Scenario 1	1	0	1	-13	400	0	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	0	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 2	1	2	8	-5	800	0	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	0	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 3	6	0	1	-13	400	0	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	0	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 4	6	2	8	-5	800	10	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	0	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 5	14	0	1	-13	400	0	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	0	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 6	14	2	8	-5	800	10	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	0	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 7	1	0	1	-13	400	0	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 8	1	2	8	-5	800	0	2	10	0.1	3	0	400	10	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 9	6	0	1	-13	400	0	2	10	0.1	3	0	400	10	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 10	6	2	8	-5	800	0	0	10	0.1	3	0	400	10	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	2	2	10	50	0
Scenario 11	14	0	1	-13	400	10	0	10	0.1	3	0	400	10	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	2	2	10	50	0
Scenario 12	14	2	8	-5	800	0	0	10	0.1	3	0	400	10	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	2	2	10	50	0
Scenario 13	1	0	1	-13	800	0	0	10	0.1	3	-5	1000	10	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 14	1	2	8	-5	400	10	0	10	0.1	3	-5	1000	10	0	0	0	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 15	6	0	1	-13	800	0	0	10	0.1	3	-5	1000	10	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 16	6	2	8	-5	400	10	0	10	0.1	3	-5	1000	10	0	0	0	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 17	14	0	1	-13	800	0	0	10	0.1	3	-5	1000	10	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 18	14	2	8	-5	400	10	0	10	0.1	3	-5	1000	10	0	0	0	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 19	1	0	1	-13	800	0	1	10	0.1	3	-5	400	10	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 20	1	2	8	-5	400	0	0	10	0.1	3	-5	400	10	1	0	0	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 21	6	0	1	-13	800	0	1	10	0.1	3	-5	400	10	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 22	6	2	8	-5	400	0	1	10	0.1	3	-5	400	10	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 23	14	0	1	-13	800	10	0	10	0.1	3	-5	400	10	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	1
Scenario 24	14	2	8	-5	400	0	0	10	0.1	3	-5	400	10	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	1
Scenario 25	1	0	1	-13	400	0	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	0	50	0	0	5	2000	1	0	10	50	0
Scenario 26	1	2	8	-5	800	10	0	10	0.1	3	0	1000	10	0	0.5	0	50	0	0	5	2000	1	0	10	50	0
Scenario 27	6	0	1	-13	400	0	0	10	0.1	3	0	1000	0	0	0.5	0	50	1	0	5	2000	1	0	10	50	0
Scenario 28	6	2	8	-13	800	10	0	10	0.1	3	0	1000	0	0	0.5	0	50	1	0	5	2000	1	0	10	50	0
Scenario 29	14	0	1	-5	400	0	0	10	0.1	0	0	1000	0	0	0.5	0	50	1	0	5	2000	1	0	10	50	0
Scenario 30	14	2	8	-13	800	0	0	10	0.1	0	0	1000	0	0	0.5	0	50	1	0	5	2000	1	0	10	50	0
Scenario 31	1	0	1	-5	400	10	0	10	0.1	0	0	400	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 32	1	2	8	-13	800	0	0	10	0.1	0	0	400	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 33	6	0	1	-5	400	10	0	10	0.1	0	0	400	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 34	6	2	8	-13	800	0	0	10	0.1	0	0	400	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 35	14	0	1	-5	400	10	0	10	0.1	0	0	400	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 36	14	2	8	-13	800	0	0	10	0.1	0	0	400	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	0	10	50	0
Scenario 37	1	0	1	-5	800	0	0	10	0.1	0	-5	1000	0	1	0	0	50	1	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 38	1	2	8	-13	400	10	1	10	0.1	0	-5	1000	0	0	0	-5	50	1	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 39	6	0	1	-5	800	0	0	10	0.1	0	-5	1000	0	1	0	0	50	1	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 40	6	2	8	-13	400	10	1	10	0.1	0	-5	1000	0	0	0	-5	50	1	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 41	14	0	1	-5	800	0	1	10	0.1	0	-5	1000	0	0	0	0	50	1	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 42	14	2	8	-13	400	10	1	10	0.1	0	-5	1000	0	0	0	-5	50	1	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 43	1	0	1	-5	800	10	1	10	0.1	0	-5	400	0	1	0	-5	50	2	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 44	1	2	8	-13	400	0	4	10	0.1	0	-5	400	0	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 45	6	0	1	-5	800	10	2	10	0.1	0	-5	400	0	0	0.5	-5	50	2	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 46	6	2	8	-13	400	0	4	10	0.1	0	-5	400	0	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 47	14	0	1	-5	800	10	0	10	0.1	0	-5	400	0	1	0	-5	50	2	0	5	2000	0	2	10	50	1
Scenario 48	14	2	8	-13	400	0	3	10	0.1	0	-5	400	0	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	1
Scenario 49	1	0	8	-13	400	0	3	6	0.1	3	0	1000	0	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 50	1	2	1	-5	800	10	1	6	0.1	3	0	1000	0	0	0	-5	50	2	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 51	6	0	8	-13	400	0	3	6	0.1	3	0	1000	0	0	0	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 52	6	2	1	-5	800	10	1	6	0.1	3	0	1000	0	0	0	-5	50	2	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 53	14	0	8	-13	400	0	2	6	0.1	3	0	1000	0	0	0	-5	50	1	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 54	14	2	1	-5	800	10	1	6	0.1	3	0	1000	0	0	0	-5	50	2	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 55	1	0	8	-13	400	10	1	6	0.1	3	0	400	0	0	0	0	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 56	1	2	1	-5	800	0	0	6	0.1	3	0	400	0	0	0	0	50	0	0	5	2000	1	2	10	50	0
Scenario 57	6	0	8	-13	400	10	1	6	0.1	3	0	400	0	0	0	0	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 58	6	2	1	-5	800	0	0	6	0.1	3	0	400	0	0	0	0	50	0	0	5	2000	1	2	10	50	0
Scenario 59	14	0	8	-13	400	10	0	6	0.1	3	0	400	0	0	0	0	50	0	0	5	2000	1	2	10	50	0
Scenario 60	14	2	1	-5	800	0	0	6	0.1	3	0	400	0	0	0	0	50	0	0	5	2000	1	2	10	50	0
Scenario 61	1	0	8	-13	800	0	0	6	0.1	3	-5	1000	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 62	1	2	1	-5	400	10	0	6	0.1	3	-5	1000	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 63	6	0	8	-13	800	0	0	6	0.1	3	-5	1000	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10	50	0
Scenario 64	6	2	1	-5	400	10	0	6	0.1	3	-5	1000	0	0	0.5	-5	50	0	0	5	2000	0	2	10		



## 5.4. MODELLI DI RIPARTIZIONE MODALE

Le risposte ricavate dalle indagini servono alla costruzione di un modello di ripartizione modale, con cui è possibile calcolare la probabilità di scelta di un determinato mezzo di trasporto a seconda dei suoi attributi.

$$p(j) = \frac{e^{\sum_{k=1}^K a_k X_{kj}}}{\sum_{i \in I} e^{\sum_{k=1}^K a_k X_{ki}}}$$

La formula appena definita descrive il calcolo per trovare la probabilità di scelta dell'alternativa  $j$  nell'insieme di alternative  $I$ , il quale viene caratterizzato da un numero  $K$  di attributi  $X_{kj}$ . L'elaborazione dei modelli consiste nella ricerca dei parametri  $a_k$  con cui sia possibile ottenere delle probabilità di scelta accordi alle preferenze dichiarate dall'utenza nelle indagini. Detta ricerca si realizza attraverso la massimizzazione della funzione di verosimiglianza definita in termini degli stessi parametri  $a_k$ .

$$L(\alpha) = \prod_{q=1}^Q \prod_{i \in I} \left( \frac{e^{\sum_{k=1}^K a_k X_{kj}}}{\sum_{i \in I} e^{\sum_{k=1}^K a_k X_{ki}}} \right)^{n_{iq}}$$

Il termine  $q$  fa riferimento al numero dello scenario valutato, mentre  $n_{iq}$  indica il numero di scelte dichiarate nelle indagini dell'alternativa  $i$  nello scenario  $q$ .

Effettuando quindi la massimizzazione della funzione  $L(\alpha)$  rispetto ai parametri  $a_k$  per i tre gruppi di domanda definiti, ovviamente utilizzando le risposte corrispondenti elencate nella Tabella 5.12, la Tabella 5.13 e la Tabella 5.14, si è riuscito a trovare i seguenti insiemi di parametri.

	PARAMETRI		
	RESIDENTI E PENDOLARI	RESIDENTI	PENDOLARI
Frequenza media delle linee	0.0001	0.0001	0.049438662
Costo totale del viaggio	0.153149193	0.153149193	0.107936615
Tempo perso negli scambi	0.0001	0.0001	0.0001
Tempo totale di viaggio	0.005630243	0.005630243	0.129251377
Distanza totale da percorrere a piedi	0.0001	0.0001	0.0001
Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	0.004749803	0.004749803	0.0001

Tabella 5.15: Parametri dei modelli di ripartizione modale per ogni gruppo di domanda (Elaborazione propria).

## 6. CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI

Prima di procedere con la simulazione della rete TPL nell'area di studio, è necessario definire le prestazioni ed il tracciato del nuovo servizio, dato che esse sono le caratteristiche essenziali per appunto poter includerlo nella simulazione.

Come considerazione iniziale, si è deciso di contemplare l'utilizzo di un sistema a tre funi con cabine ad agganciamento automatico, nonostante il maggior costo d'investimento che esso richiede, cercando di sfruttare tre delle sue caratteristiche più rimarchevoli.

I sistemi trifuni permettono di operare a velocità più elevate rispetto ai sistemi ad uno o due funi; secondo Alshalalfah et al. (2011), la velocità massima aumenta da 21.6 km/h nei sistemi ad uno e due funi, fino a 30.6 km/h nei sistemi a tre funi. Da un'altra parte, l'utilizzo di una cabinovia trifune fornisce una maggiore stabilità, garantendo un maggior livello di confort per gli utenti, oltre che maggiore sicurezza nel caso si presentino tempeste o nevicate di grande intensità. Per ultimo, comunque importante, l'utilizzo di questo tipo d'impianto acconsente la presenza di campate più lunghe, riducendo così il numero di sostegni intermedi necessari tra le stazioni e di conseguenza l'occupazione di terreno nell'area coinvolta.

Parallelamente alla scelta del tipo d'impianto da utilizzare, è possibile effettuare la proposta di tracciato della linea funiviaria. A questo scopo, bisogna identificare in un primo momento i vincoli esistenti nell'area di studio, composti in questo caso dalle strutture di altezza notevole (più di 20 metri), poiché esse rappresentano degli ostacoli per il passo delle cabine, la cui altezza di operazione di solito si avvicina ai 25 metri sopra il livello del suolo.

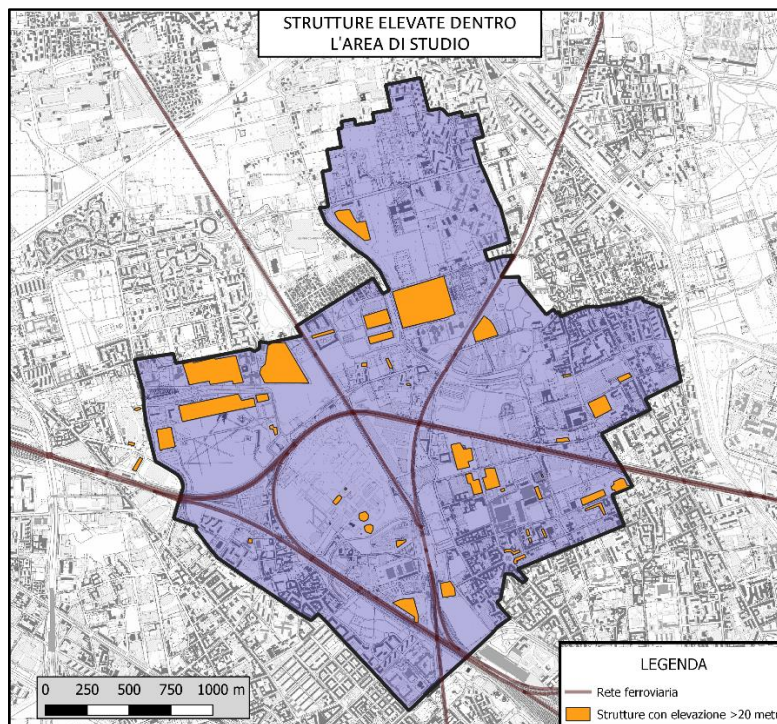


Figura 6.1: Vincoli esistenti per la costruzione di una linea funiviaria aerea (Elaborazione propria).

Bisogna anche tener conto della distribuzione di domanda all'interno dell'area d'influenza del progetto, analizzando la generazione e l'attrazione di viaggi per ognuna delle 12 zone interne definite previamente. Dopodiché, risulta molto utile considerare i collegamenti mancanti dentro la rete di trasporto pubblico attuale, in modo tale da cercare di sopperirci con il nuovo servizio proposto; la Figura 6.4 schematizza il mancato collegamento di alcune zone dentro l'area di studio, causato soprattutto dalla presenza dell'infrastruttura ferroviaria.

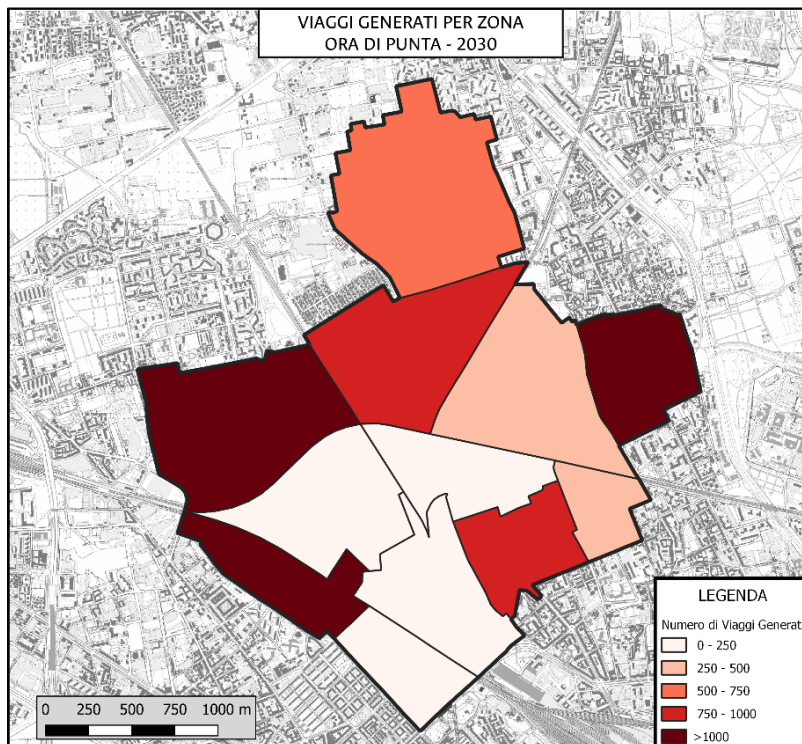


Figura 6.2: Viaggi generati da ogni zona interna (Elaborazione propria).

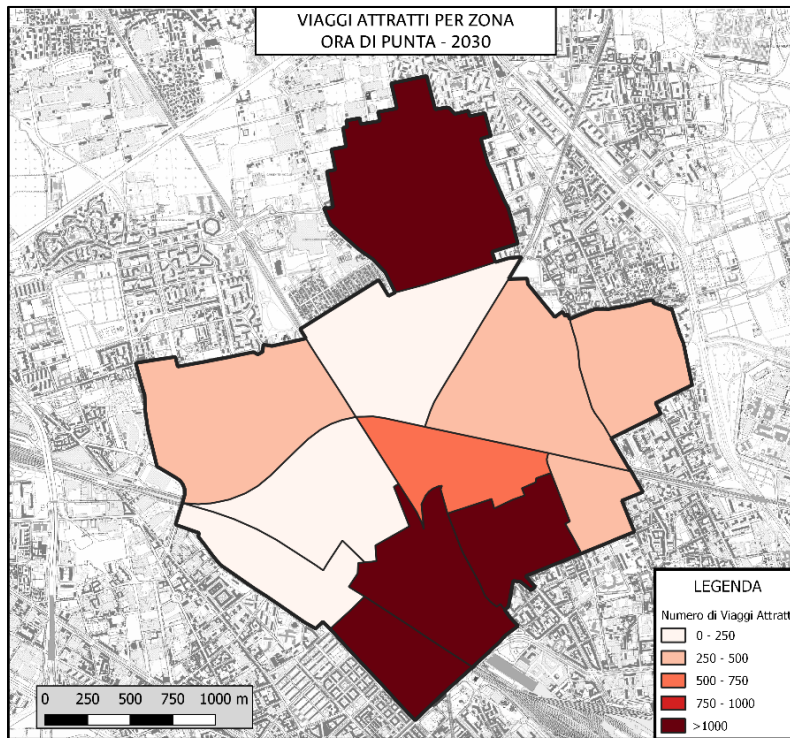


Figura 6.3: Viaggi attratti da ogni zona interna (Elaborazione propria).

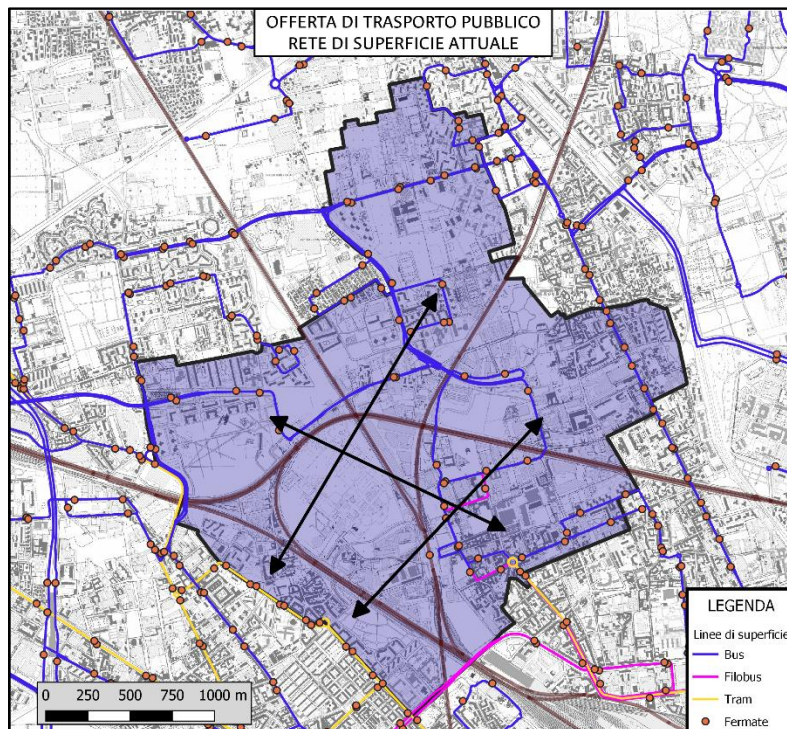


Figura 6.4: Collegamenti mancanti dentro la rete TPL attuale (Elaborazione propria).

Per finalizzare, gli ultimi criteri rilevanti per costruire le alternative di tracciato sono due: posizionare le stazioni in zone attualmente libere, ma cercando di agevolare lo scambio con altri mezzi, ed evitare il passo delle cabine sopra zone con alta densità abitativa.

Seguendo i criteri precedenti, sono state definite due alternative di tracciato. La Tabella 6.1 e la Tabella 6.2 riassumono le lunghezze delle tratte tra le stazioni di ognuna di esse.

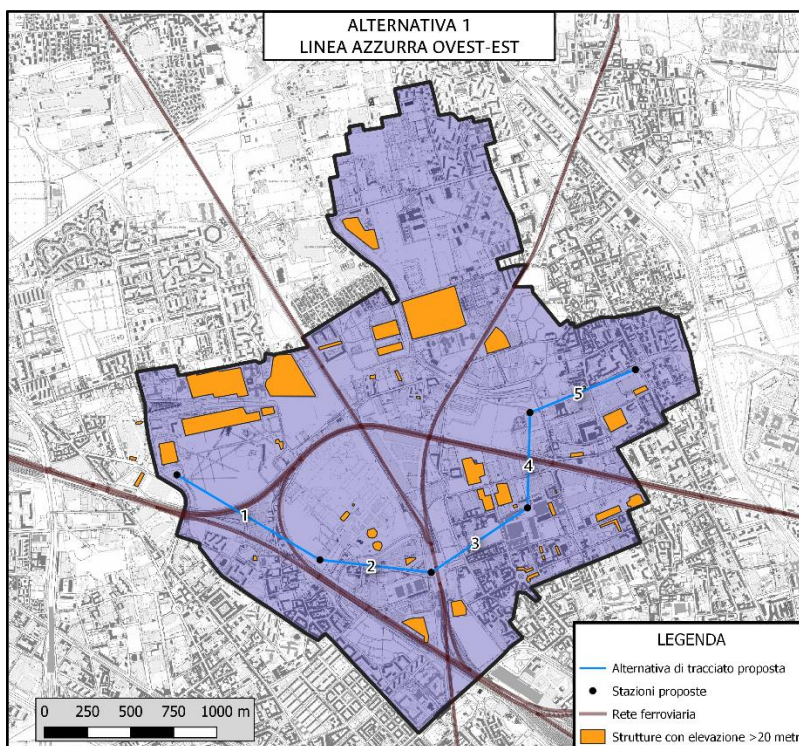


Figura 6.5: Alternativa di tracciato 1 “Linea Azzurra” (Elaborazione propria).

TRATTA	LUNGHEZZA [m]
1	1149
2	606
3	559
4	552
5	660
<b>Totale</b>	<b>3527</b>

Tabella 6.1: Lunghezze delle tratte tra stazione dell’alternativa 1 “Linea Azzurra” (Elaborazione propria).

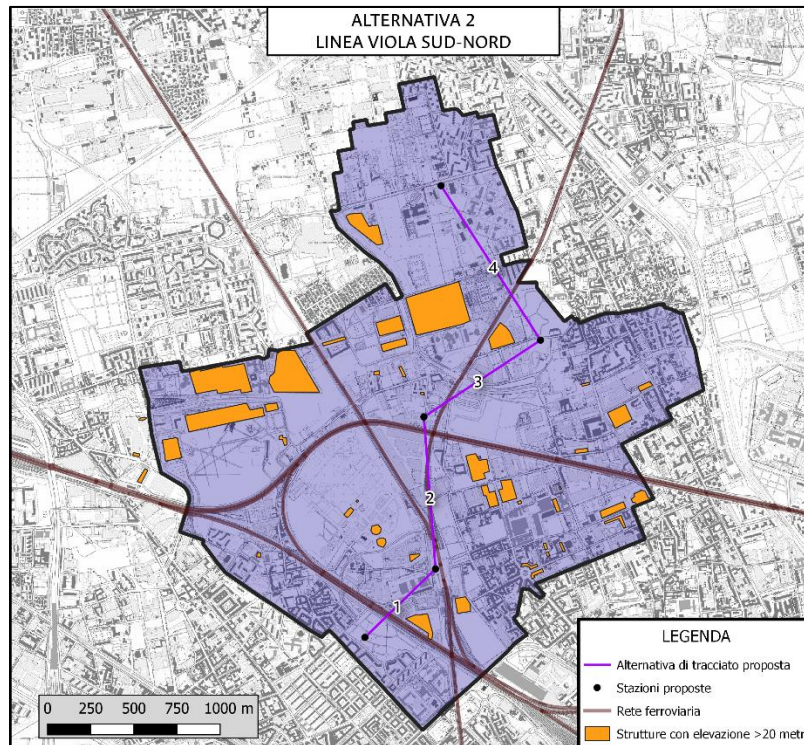


Figura 6.6: Alternativa di tracciato 2 “Linea Viola” (Elaborazione propria).

TRATTA	LUNGHEZZA [m]
1	540
2	882
3	808
4	1064
Totale	3295

Tabella 6.2: Lunghezze delle tratte tra stazione dell’alternativa 2 “Linea Viola” (Elaborazione propria).

L’operazione da realizzare dopo l’elaborazione delle alternative di tracciato è il calcolo della velocità commerciale della linea in entrambe proposte; questo valore diventerà un parametro importante nella fase di simulazione. Conoscendo la configurazione spaziale della linea in ogni alternativa, basta calcolare il tempo necessario perché una cabina percorra la sua lunghezza complessiva, il quale dipende dalla velocità massima di operazione dell’impianto e dal tempo impiegato per la discesa e la salita di passeggeri nelle stazioni. Per questo ultimo aspetto, che coinvolge anche la lunghezza della banchina a disposizione dei passeggeri, bisogna tener conto della massima velocità ammissibile per il transito delle cabine nelle stazioni, la quale è pari a 0.5 m/s.

Velocità di operazione tra stazioni [km/h]	27.0
Velocità in capolinea e stazione [m/s]	0.5
Tempo in capolinea [s]	100
Lunghezza di banchina di capolinea [m]	50
Tempo in stazione [s]	60
Lunghezza di banchina di stazione [m]	30

Tabella 6.3: Parametri operazionali del sistema funiviario (Elaborazione propria).

Con i parametri elencati nella Tabella 6.3 si procede a calcolare i tempi di percorso tra le stazioni. Sommandoli posteriormente, si ottiene il tempo totale di percorrenza della linea, quello che permette di calcolare la velocità commerciale del servizio. La Tabella 6.4 riassume i risultati rilevanti durante il processo di calcolo di tale attributo per tutte e due le alternative di tracciato proposte; ne vale la pena chiarire che la distanza misurata tra le stazioni comprende parte della banchina dentro le stesse, aspetto che deve essere tenuto in conto per calcolare correttamente i tempi di percorrenza.

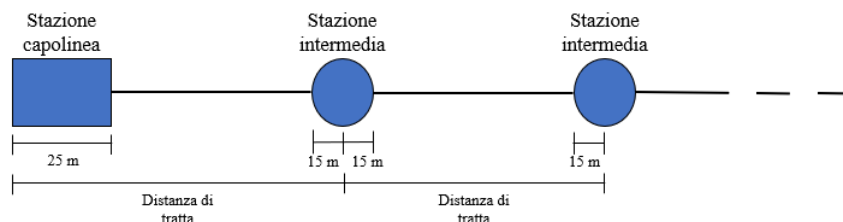


Figura 6.7: Schema di misura delle distanze tra stazioni (Elaborazione propria).

LINEA AZZURRA		LINEA VIOLA	
Distanza Tratta 1 [km]	1.149	Distanza Tratta 1 [km]	0.540
-di cui in stazioni [km]	0.040	-di cui in stazioni [km]	0.040
Tempo Tratta 1 [s]	228	Tempo Tratta 1 [s]	147
Distanza Tratta 2 [km]	0.606	Distanza Tratta 2 [km]	0.882
-di cui in stazioni [km]	0.030	-di cui in stazioni [km]	0.030
Tempo Tratta 2 [s]	137	Tempo Tratta 2 [s]	174
Distanza Tratta 3 [km]	0.559	Distanza Tratta 3 [km]	0.808
-di cui in stazioni [km]	0.030	-di cui in stazioni [km]	0.030
Tempo Tratta 3 [s]	131	Tempo Tratta 3 [s]	164
Distanza Tratta 4 [km]	0.552	Distanza Tratta 4 [km]	1.064
-di cui in stazioni [km]	0.030	-di cui in stazioni [km]	0.030
Tempo Tratta 4 [s]	130	Tempo Tratta 4 [s]	218
Distanza Tratta 5 [km]	0.66	Tempo di percorrenza totale [s]	703
-di cui in stazioni [km]	0.040	Tempo di giro [s]	1406
Tempo Tratta 5 [s]	163	<b>Velocità commerciale [km/h]</b>	<b>16.9</b>
Tempo di percorrenza totale [s]	789		
Tempo di giro [s]	1578		
<b>Velocità commerciale [km/h]</b>	<b>16.1</b>		

Tabella 6.4: Calcolo della velocità commerciale del servizio (Elaborazione propria).

A questo punto non è ancora possibile determinare la capacità della linea, dato che non si ha un dato preciso sulla domanda da gestire con l'impianto progettato; detto dato verrà generato dopo il processo di simulazione (vedere Capitolo 8: "Simulazione"). Tuttavia, giusto per fornire un esempio sul rapporto tra la capacità del sistema ed il numero e le caratteristiche delle cabine da utilizzare, nella Tabella 6.5 si fa un riassunto dei valori parametrici rilevanti a questo aspetto prestazionale della linea funiviaria.

Capacità della linea [pax/h/dir]	1200		
Capacità cabine [pax]	12		
Passaggi di cabine	100		
<b>LINEA AZZURRA</b>		<b>LINEA VIOLA</b>	
Tempo di giro [s]	1578	Tempo di giro [s]	1406
Giri di una cabina in un'ora	2.28	Giri di una cabina in un'ora	2.56
Numero totale di cabine	44	Numero totale di cabine	40

Tabella 6.5: Rapporto tra capacità della linea ed il numero totale di cabine.



Figura 6.8: Cabina tipo per impianti a tre funi con capacità oltre i 10 passeggeri (Cabina ATRIA, Doppelmayr).



## 7. ANALISI DI SENSIBILITÀ

Avendo costruito i modelli di ripartizione modale e definito le caratteristiche prestazionali del nuovo servizio di trasporto pubblico, si può fare un'analisi di sensibilità, ovvero, valutare come varia la ripartizione modale a seconda dei valori assegnati agli attributi caratteristici delle alternative. In questo caso, ne vale la pena valutare soprattutto la variazione della ripartizione modale quando si fa crescere il costo del nuovo servizio di trasporto pubblico. Quindi, per ogni gruppo di domanda, sono stati fissati i valori degli attributi di tutte le alternative, tranne quello del costo del viaggio per l'alternativa "Mezzi pubblici usando la linea proposta"; si è poi valutata la ripartizione modale quando detto specifico attributo viene definito con i valori 0.50€, 1.00€, 1.50€ e 2.00€. I valori degli altri attributi riguardanti sempre la stessa alternativa "Mezzi pubblici usando la linea proposta" vengono definiti dalle caratteristiche prestazionali determinate precedentemente.

	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA	MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA	BICICLETTA - MONOPATTINO	SPOSTAMENTO A PIEDI	MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)
Frequenza media delle linee [min]	1	8			
Costo totale del viaggio [€]	Variabile	2	0	0	2
Tempo perso negli scambi [min]	3	2			
Tempo totale di viaggio [min]	15	22	14	25	10
Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	600	450	50	2000	50
Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	Si (0)	No (10)			

PROBABILITÀ DI SCELTA						
	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA	MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA	BICICLETTA - MONOPATTINO	SPOSTAMENTO A PIEDI	MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)	
Costo totale del viaggio	0.50 €	21.6%	15.9%	24.7%	19.1%	18.6%
	1.00 €	20.3%	16.2%	25.1%	19.4%	18.9%
	1.50 €	19.1%	16.4%	25.5%	19.7%	19.2%
	2.00 €	17.9%	16.7%	25.9%	20.0%	19.5%

Tabella 7.1: Analisi di sensibilità per il gruppo di domanda "Residenti e Pendolari" (Elaborazione propria).

	<b>MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA</b>	<b>MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA</b>	<b>BICICLETTA - MONOPATTINO</b>	<b>MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)</b>
Frequenza media delle linee [min]	1	8		
Costo totale del viaggio [€]	Variabile	2	0	5
Tempo perso negli scambi [min]	8	5		
Tempo totale di viaggio [min]	30	40	30	45
Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	600	700	50	50
Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	No (10)	No (10)		

		<b>PROBABILITÀ DI SCELTA</b>			
		<b>MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA</b>	<b>MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA</b>	<b>BICICLETTA - MONOPATTINO</b>	<b>MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)</b>
Costo totale del viaggio	0.50 €	29.0%	21.5%	34.7%	14.8%
	1.00 €	27.4%	22.0%	35.4%	15.1%
	1.50 €	25.9%	22.5%	36.2%	15.5%
	2.00 €	24.5%	22.9%	36.9%	15.8%

Tabella 7.2: Analisi di sensibilità per il gruppo di domanda "Residenti" (Elaborazione propria).

	MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA	MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA	BICICLETTA - MONOPATTINO	SPOSTAMENTO A PIEDI	MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)
Frequenza media delle linee [min]	1	8			
Costo totale del viaggio [€]	Variabile	0	0	0	1
Tempo perso negli scambi [min]	8	3			
Tempo totale di viaggio [min]	-5	-5	-5	5	5
Distanza totale da percorrere a piedi [metri]	600	700	50	2000	50
Tutte le fermate nel viaggio hanno copertura	Si (0)	No (10)			

		PROBABILITÀ DI SCELTA				
		MEZZI PUBBLICI USANDO LA LINEA PROPOSTA	MEZZI PUBBLICI SENZA USARE LA LINEA PROPOSTA	BICICLETTA - MONOPATTINO	SPOSTAMENTO A PIEDI	MEZZO MOTORIZZATO (AUTO, MOTO)
Costo aggiuntivo del viaggio	0.50 €	29.1%	21.7%	32.3%	8.9%	8.0%
	1.00 €	28.0%	22.1%	32.8%	9.0%	8.1%
	1.50 €	26.9%	22.4%	33.3%	9.1%	8.2%
	2.00 €	25.9%	22.7%	33.8%	9.3%	8.3%

Tabella 7.3: Analisi di sensibilità per il gruppo di domanda “Pendolari” (Elaborazione propria).

Per le posteriori fasi della presente tesi, risulta utile calcolare la percentuale complessiva della potenziale utenza della rete TPL, inclusa la nuova linea proposta, sommando i valori di probabilità di scelta delle alternative “Mezzi pubblici usando la linea proposta” e “Mezzi pubblici senza usare la linea proposta”, sempre per ogni gruppo di domanda.

		RESIDENTI E PENDOLARI	RESIDENTI	PENDOLARI
Costo totale del viaggio	0.50 €	37.5%	50.5%	50.9%
	1.00 €	36.5%	49.4%	50.1%
	1.50 €	35.5%	48.4%	49.3%
	2.00 €	34.6%	47.4%	48.6%

Tabella 7.4: Percentuali di utenza potenziale della rete TPL per ogni gruppo di domanda (Elaborazione propria).

In ultima istanza, è possibile applicare le percentuali presenti nella Tabella 7.4 alla matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi totali nell’ora di punta del 2030 (Tabella 5.7), in modo tale da ottenere una matrice O-D riguardante esclusivamente i viaggi realizzati nella rete di trasporto pubblico locale. È importante chiarire che i gruppi di domanda finora trattati occupano delle sezioni specifiche nella matrice O-D, identificabili attraverso i colori con cui sono stati identificati gli stessi gruppi nella Tabella 7.4; per tanto, bisogna calcolare le

percentuali in modo congruo al gruppo di domanda a cui appartiene ogni cella della matrice O-D originale. Evidentemente ne risulteranno quattro matrici O-D, una per ciascuno dei valori di costo del viaggio analizzati; tutte saranno valutate separatamente nel software di simulazione PTV Visum, da dove si ricaverà la distribuzione dell'utenza nella rete TPL, e pertanto la quantità di utenti del servizio funiviario progettato (vedere Capitolo 8: "Simulazione").

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	3	2	0	0	2	0	2	2	4	2	0	2	5	2	73	2	4	2	3	2	0
2	2	0	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	2	9	2	63	2	3	3	2	4	2
3	2	2	0	2	0	2	4	3	2	4	2	8	6	9	61	175	9	10	5	6	9	2
4	4	14	7	0	2	4	2	2	2	3	2	2	30	72	11	343	7	16	7	10	13	2
5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	13	3	2	2	2	2	0
6	2	14	3	2	2	0	2	2	2	3	2	2	4	88	7	308	7	9	6	8	8	2
7	3	3	9	2	0	2	0	5	2	6	2	3	5	11	124	384	13	13	8	9	18	3
8	2	0	4	0	0	0	7	0	2	4	2	2	3	4	29	91	5	5	2	3	6	2
9	2	2	2	0	0	0	2	2	0	2	0	3	2	3	3	35	2	3	0	2	4	0
10	4	4	4	2	0	2	2	3	7	0	3	2	2	7	17	324	7	9	3	5	10	2
11	2	2	2	0	0	0	2	2	2	7	0	0	4	5	18	149	3	5	4	3	8	2
12	2	4	19	4	0	2	6	4	3	5	2	0	13	16	38	262	11	17	5	6	12	2
13	8	22	60	100	3	5	7	7	7	11	4	23										
14	18	173	49	19	3	26	7	11	14	22	7	7										
15	15	17	140	7	3	8	93	32	13	65	11	13										
16	378	433	161	28	9	68	75	113	188	402	93	46										
17	76	19	126	5	3	7	23	33	34	76	15	11										
18	145	23	83	9	4	13	18	30	51	135	19	14										
19	30	3	4	3	3	4	5	5	14	24	8	3										
20	75	5	9	4	4	8	8	18	30	55	14	5										
21	99	3	13	4	3	8	9	27	42	84	19	8										
22	14	0	0	0	0	3	3	3	7	9	3	3										

Tabella 7.5: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi effettuati nella rete TPL durante l'ora di punta del 2030, se la tariffa del nuovo servizio proposto è 0.50€ (Elaborazione propria).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	3	2	0	0	1	0	1	2	4	1	0	2	5	2	72	2	4	2	3	2	0
2	2	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	2	9	2	61	2	3	3	2	4	2
3	1	1	0	1	0	1	3	3	1	3	1	8	6	9	60	172	9	10	5	6	9	2
4	3	13	7	0	1	4	1	1	1	3	1	2	29	71	11	336	6	16	6	10	13	2
5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	13	3	2	2	2	2	0
6	2	14	3	1	1	0	1	1	1	3	1	2	4	86	6	302	6	9	6	8	8	2
7	3	3	8	1	0	1	0	5	2	6	1	3	5	11	122	376	13	13	8	9	17	3
8	2	0	3	0	0	0	7	0	2	3	1	2	3	4	28	89	5	5	2	3	6	2
9	1	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	3	2	3	3	34	2	3	0	2	4	0
10	3	3	3	1	0	1	1	3	6	0	3	2	2	6	16	317	6	9	3	5	10	2
11	1	2	2	0	0	0	2	1	1	7	0	0	4	5	17	146	3	5	4	3	8	2
12	2	4	18	3	0	2	6	3	3	5	2	0	13	16	37	257	11	16	5	6	11	2
13	8	21	59	99	3	5	7	7	7	11	4	23										
14	18	170	48	19	3	25	7	11	14	21	7	7										
15	15	17	138	7	3	8	91	31	13	64	11	13										
16	373	427	159	28	9	67	74	112	185	397	91	45										
17	75	19	124	5	3	7	23	33	34	75	15	11										
18	143	23	81	9	4	13	18	30	50	133	19	14										
19	30	3	4	3	3	4	5	5	14	24	8	3										
20	74	5	9	4	4	8	8	18	30	54	14	5										
21	97	3	13	4	3	8	9	27	41	83	19	8										
22	14	0	0	0	0	3	3	3	7	9	3	3										

Tabella 7.6: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi effettuati nella rete TPL durante l'ora di punta del 2030, se la tariffa del nuovo servizio proposto è 1.00€ (Elaborazione propria).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	3	2	0	0	1	0	1	2	4	1	0	2	5	2	71	2	4	2	3	2	0
2	2	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	2	9	2	60	2	3	3	2	4	2
3	1	1	0	1	0	1	3	3	1	3	1	8	5	9	58	169	9	9	5	5	9	2
4	3	13	7	0	1	4	1	1	1	3	1	2	29	70	10	330	6	15	6	9	13	2
5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	13	3	2	2	2	2	0
6	2	14	3	1	1	0	1	1	1	3	1	2	4	84	6	296	6	9	5	8	8	2
7	3	3	8	1	0	1	0	5	2	6	1	3	5	10	120	369	13	13	8	9	17	3
8	2	0	3	0	0	0	7	0	2	3	1	2	3	4	28	87	5	5	2	3	5	2
9	1	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	3	2	3	3	33	2	3	0	2	4	0
10	3	3	3	1	0	1	1	3	6	0	3	2	2	6	16	311	6	9	3	5	9	2
11	1	2	2	0	0	0	2	1	1	7	0	0	4	5	17	144	3	5	4	3	8	2
12	2	4	18	3	0	2	6	3	3	5	2	0	13	15	36	252	10	16	5	5	11	2
13	8	21	58	97	2	5	6	6	6	11	4	22										
14	18	168	47	19	2	25	6	11	14	21	6	6										
15	15	16	136	6	2	8	90	31	12	63	11	12										
16	368	421	157	28	9	66	73	110	183	391	90	45										
17	74	19	123	5	2	6	22	32	33	74	15	11										
18	141	22	80	9	4	12	18	30	49	131	19	14										
19	30	2	4	2	2	4	5	5	14	24	8	2										
20	73	5	9	4	4	8	8	18	30	53	14	5										
21	96	2	12	4	2	8	9	26	41	82	19	8										
22	14	0	0	0	0	2	2	2	6	9	2	2										

Tabella 7.7: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi effettuati nella rete TPL durante l'ora di punta del 2030, se la tariffa del nuovo servizio proposto è 1.50€ (Elaborazione propria).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	3	2	0	0	1	0	1	2	4	1	0	2	4	2	69	2	4	2	3	2	0
2	2	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	2	8	2	59	2	3	3	2	4	2
3	1	1	0	1	0	1	3	3	1	3	1	7	5	8	57	165	8	9	4	5	8	2
4	3	13	7	0	1	4	1	1	1	3	1	2	28	68	10	323	6	15	6	9	13	2
5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	13	3	2	2	2	2	0
6	2	13	3	1	1	0	1	1	1	3	1	2	4	83	6	291	6	8	5	7	7	2
7	3	3	8	1	0	1	0	5	2	6	1	3	4	10	117	362	13	13	7	8	17	3
8	2	0	3	0	0	0	7	0	2	3	1	2	3	4	27	85	4	4	2	3	5	2
9	1	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	3	2	3	3	33	2	3	0	2	4	0
10	3	3	3	1	0	1	1	3	6	0	3	2	2	6	16	305	6	8	3	4	9	2
11	1	2	2	0	0	0	2	1	1	7	0	0	4	4	17	141	3	4	4	3	7	2
12	2	4	17	3	0	2	6	3	3	5	2	0	13	15	35	247	10	16	4	5	11	2
13	8	21	57	96	2	5	6	6	6	11	4	22										
14	17	166	47	19	2	25	6	11	14	21	6	6										
15	15	16	134	6	2	8	89	30	12	62	11	12										
16	363	415	155	27	9	65	72	108	180	385	89	44										
17	73	19	121	5	2	6	22	32	33	73	15	11										
18	139	22	79	9	4	12	17	29	49	129	19	14										
19	29	2	4	2	2	4	5	5	14	23	8	2										
20	72	5	9	4	4	8	8	17	29	53	14	5										
21	95	2	12	4	2	8	9	26	40	80	19	8										
22	14	0	0	0	0	2	2	2	6	9	2	2										

Tabella 7.8: Matrice O-D con valori di stimazioni dei viaggi effettuati nella rete TPL durante l'ora di punta del 2030, se la tariffa del nuovo servizio proposto è 2.00€ (Elaborazione propria).

## 8. SIMULAZIONE

In questa fase di analisi si è fatto utilizzo del software di macro-modellazione di trasporto PTV Visum, fornito da PTV Group con un'apposita licenza studenti da usare esclusivamente nello svolgimento del presente elaborato di tesi. Il suddetto software ha permesso di valutare la distribuzione della domanda nella rete di trasporto pubblico dentro l'area di studio in diversi scenari che coinvolgevano le alternative di tracciato per la linea funiviaria aerea proposte due capitoli fa.

A partire dai risultati forniti dal software, è stato possibile ricavare il numero di utenti che farebbero utilizzo del nuovo servizio di trasporto pubblico, agevolando infine il calcolo di un elemento veramente significativo quale i ricavi tariffari, da includere indubbiamente nell'analisi finanziaria (vedere Capitolo 9: "Analisi Finanziaria").

Il punto d'inizio della simulazione si trova nella costruzione degli scenari da valutare in base alle previsioni fatte dal PUMS e alla loro congruenza con i tracciati proposti per la linea funiviaria. Così facendo, sono stati definiti tre scenari da rappresentare con il software per posteriormente studiare la distribuzione di domanda in ognuno di essi.

- Scenario 1 – PUMS Parziale + Linea Azzurra: Si contempla la costruzione dell'alternativa di tracciato 1 per la linea funiviaria, ovvero la Linea Azzurra, assieme all'implementazione parziale dei progetti futuri elencati dal PUMS che hanno influenza nell'area di studio, ovvero le estensioni riguardanti le linee tranviarie 2 e 19, la costruzione delle nuove stazioni ferroviarie Bovisasca e Dergano, e la costruzione della linea tranviaria 7 soltanto fino alla fermata Affori Centro della linea di Metropolitana M3. Questo ultimo provvedimento viene effettuato tenendo conto del fatto che il tracciato della Linea Azzurra si sovrappone al percorso proposto per il tram 7 all'interno dell'area di studio.
- Scenario 2 – PUMS Completo + Linea Viola: In questo scenario si contempla l'implementazione integra di tutti i progetti previsti dal PUMS, inclusa la linea tranviaria 7, e la costruzione dell'alternativa di tracciato 2 per la linea funiviaria (Linea Viola).
- Scenario 3 – PUMS Parziale + Linea Azzurra + Linea Viola: Considera la costruzione di due linee funiviarie aeree, una seguendo il tracciato dell'alternativa 1 denominata Linea Azzurra, e l'altra seguendo il tracciato dell'alternativa 2 denominata Linea Viola; contempla inoltre l'implementazione parziale del PUMS, fermando la linea tranviaria 7 al punto dov'essa raggiunge la fermata Affori Centro della linea di Metropolitana M3.

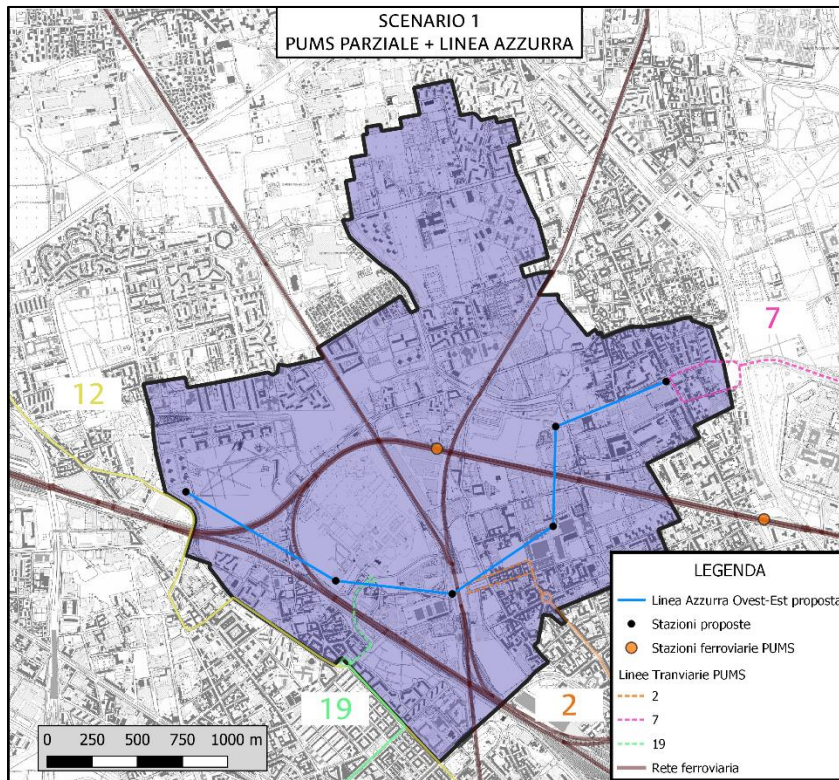


Figura 8.1: Scenario 1 – PUMS Parziale + Linea Azzurra (Elaborazione propria).

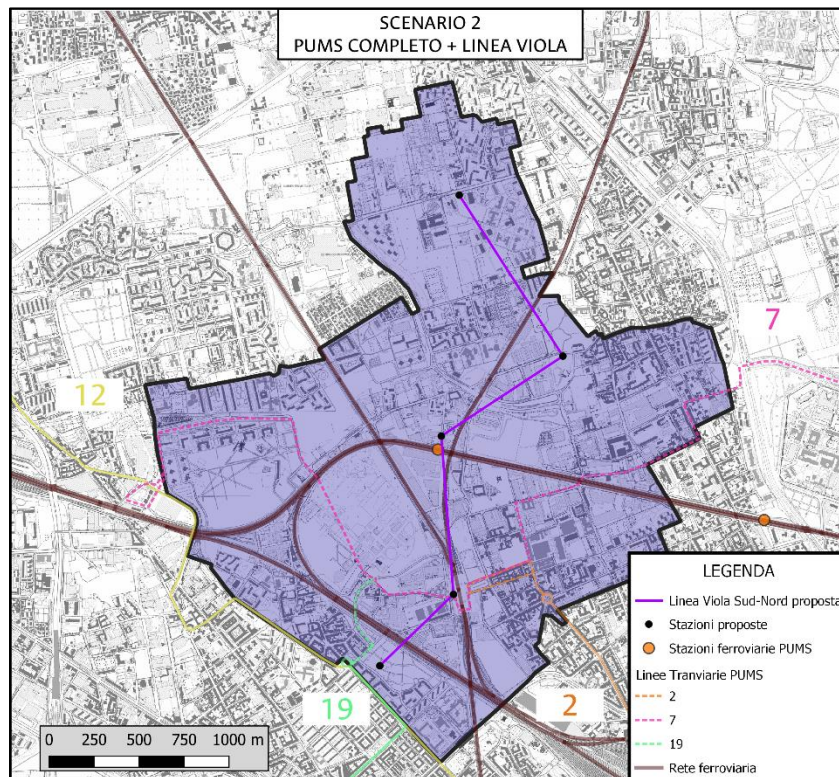


Figura 8.2: Scenario 2 – PUMS Completo + Linea Viola (Elaborazione propria).



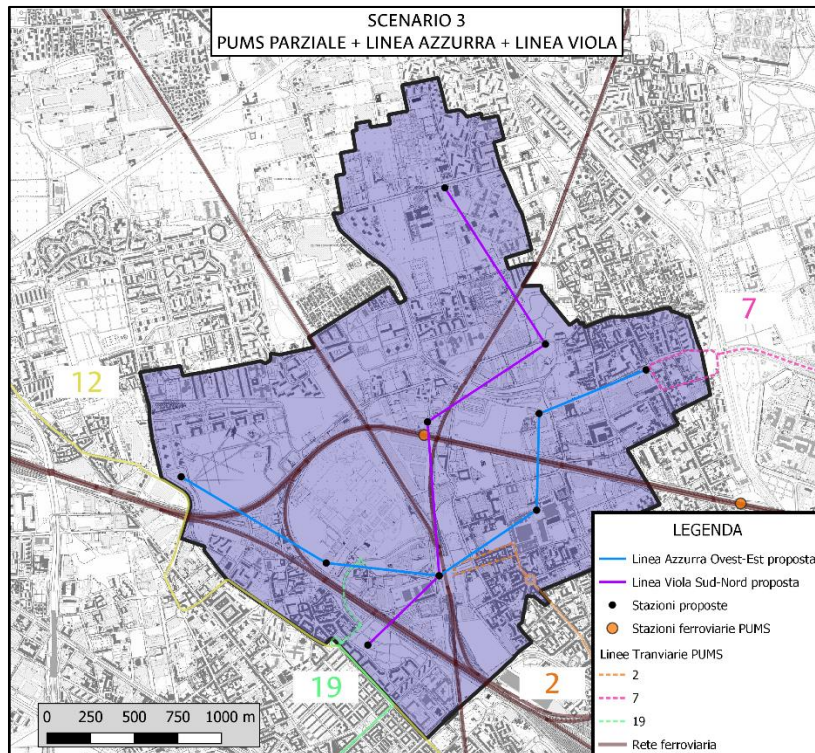


Figura 8.3: Scenario 3 – PUMS Parziale + Linea Azzurra + Linea Viola (Elaborazione propria).

La rappresentazione degli scenari nel software PTV Visum contempla la costruzione di un grafo composto da archi e nodi nel quale sia possibile riprodurre le linee di trasporto pubblico operative nell'ora di punta di un giorno ferialo (8.00 – 9.00 am). Sebbene ci siano diverse metodologie messe a disposizione dal software per il calcolo della cosiddetta assegnazione dei flussi, quella usata (Headway-based assignment) richiede l'inserimento della velocità commerciale e della frequenza delle linee come principali parametri obbligatori. Pertanto, è stato necessario fare una ricerca di tali parametri operazionali delle linee tenute in considerazione e anche definirli per i servizi futuri (tram 7, servizio ferroviario S16 sulla cintura ferroviaria, linee funiviarie). I valori di frequenza sono stati ricavati dai siti delle aziende di trasporto ATM e Trenord, mentre quelli di velocità commerciale sono stati ottenuti dalle informazioni contenute nel PUMS. La Tabella 8.1 contiene i parametri appena elencati per tutte le linee considerate nella simulazione.

Linea	Mezzo	Velocità commerciale [km/h]	Frequenza [min]
35	Bus	14.8	16
40	Bus	14.8	5
41	Bus	14.8	13
57	Bus	14.8	6
70	Bus	14.8	8
82	Bus	14.8	10
89	Bus	14.8	17
92	Filobus	14.8	5
2	Tram	14.8	7
12	Tram	14.8	8
19	Tram	14.8	6
M3	Metropolitana	30	4
S1	Treno	25	30
S2	Treno	25	30
S3	Treno	25	30
S4	Treno	25	30
S5	Treno	25	30
S6	Treno	25	30
S11 (Tratta Villapizzone - Milano)	Treno	25	30
S11 (Tratta Certosa - Villapizzone)	Treno	25	60
S12	Treno	25	30
S13	Treno	25	30
R16	Treno	25	30
R17	Treno	25	30
R22	Treno	25	30
R27	Treno	25	60
R28	Treno	25	60
RE2	Treno	25	60
MXP1	Treno	25	30
MXP2	Treno	25	60
7	Tram	14.8	7
S16	Treno	25	30
Linea Azzurra	Funivia	16.5	1
Linea Viola	Funivia	16.5	1

Tabella 8.1: Frequenza e velocità commerciale delle linee considerate nella simulazione (Elaborazione propria).

Da un'altra parte, bisogna tener conto del fatto che praticamente tutte le linee inserite nella simulazione escono dall'area di studio, creando multipli connessioni tra essa e le altre zone esterne individuate durante la fase di zonizzazione. Per cercare di non estendere troppo il grafo e così gestire una simulazione piuttosto semplice, che non comporti un'elevata capacità di processing, tutte le linee sono state collegate direttamente alle zone esterne una volta uscivano dai confini dell'area di studio, trascurando una gran parte degli scambi che ci possono avvenire nella realtà. Nonostante la perdita di accuratezza causata dall'impiego di

tale criterio nella costruzione del grafo, si è provato comunque a mettere dei collegamenti differenziati a seconda del percorso della linea; ovvero, le linee di bus, filobus e tram, nonché quella della metropolitana, sono state collegate unicamente alle cosiddette zone adiacenti, visto che esse operano unicamente all'interno di Milano. Invece, per alcune linee di treno, quali i servizi suburbani, sono stati definiti collegamenti sia con le zone adiacenti che con le zone esterne, mentre per altre (servizi RegioExpress, Malpensa Express), i collegamenti hanno tenuto conto del carattere "express" delle linee e sono stati creati soltanto con le zone esterne.

Altre considerazioni rilevanti allo sviluppo di un'ottima simulazione vengono elencate di seguito.

- Le fermate della linea 7, e anche quelle che interesseranno le estensioni delle linee 2 e 19, ancora inesistenti, sono state individuate arbitrariamente, secondo il criterio proprio dell'autore sull'adeguatezza della loro ubicazione nella rete di trasporto pubblico e nel tessuto urbano.
- Non è stato assegnato nessun perditempo agli archi connettori, quelli che servono come primo o ultimo collegamento dei viaggi essendo collegati direttamente alle zone; il tempo complessivo di viaggio considerato dal software non comprendeva quindi il tempo per raggiungere la fermata di origine, né il tempo per allontanarsi dalla fermata di destinazione.
- La distribuzione della domanda concernente una zona è stata distribuita uniformemente tra tutte le fermate che la interessano.
- Sono stati inseriti degli archi percorribili unicamente a piedi, tra alcune fermate di diversi mezzi. Esse hanno la funzione di rappresentare la possibilità di scambio tra diverse linee che fermano con relativa vicinanza, fornendo così una maggiore accuratezza alla simulazione. La velocità di percorrenza di questi archi pedonali è stata definita pari a 4 km/h.

Una volta costruito il grafo corrispondente ad ognuno degli scenari considerati per la simulazione, si è proceduto all'inserimento della domanda, descritta attraverso le matrici O-D elencate alla fine del Capitolo 7: "Analisi di Sensibilità" (Tabella 7.5, Tabella 7.6, Tabella 7.7, Tabella 7.8). Ciascuno dei tre scenari tenuti in conto sono stati simulati con le quattro matrici O-D separatamente, ovvero sono state ottenute quattro distribuzioni della domanda per ogni scenario (12 simulazioni in totale). In ogni risultato, si è individuato al dettaglio il numero di ingressi nelle linee funiviarie aeree come pure il numero di passeggeri transitando nelle loro tratte, poiché questi dati sono di enorme utilità sia per la definizione della capacità del servizio di trasporto, sia per il calcolo dei ricavi tariffari.

Di seguito si presentano i risultati generati dalle simulazioni.

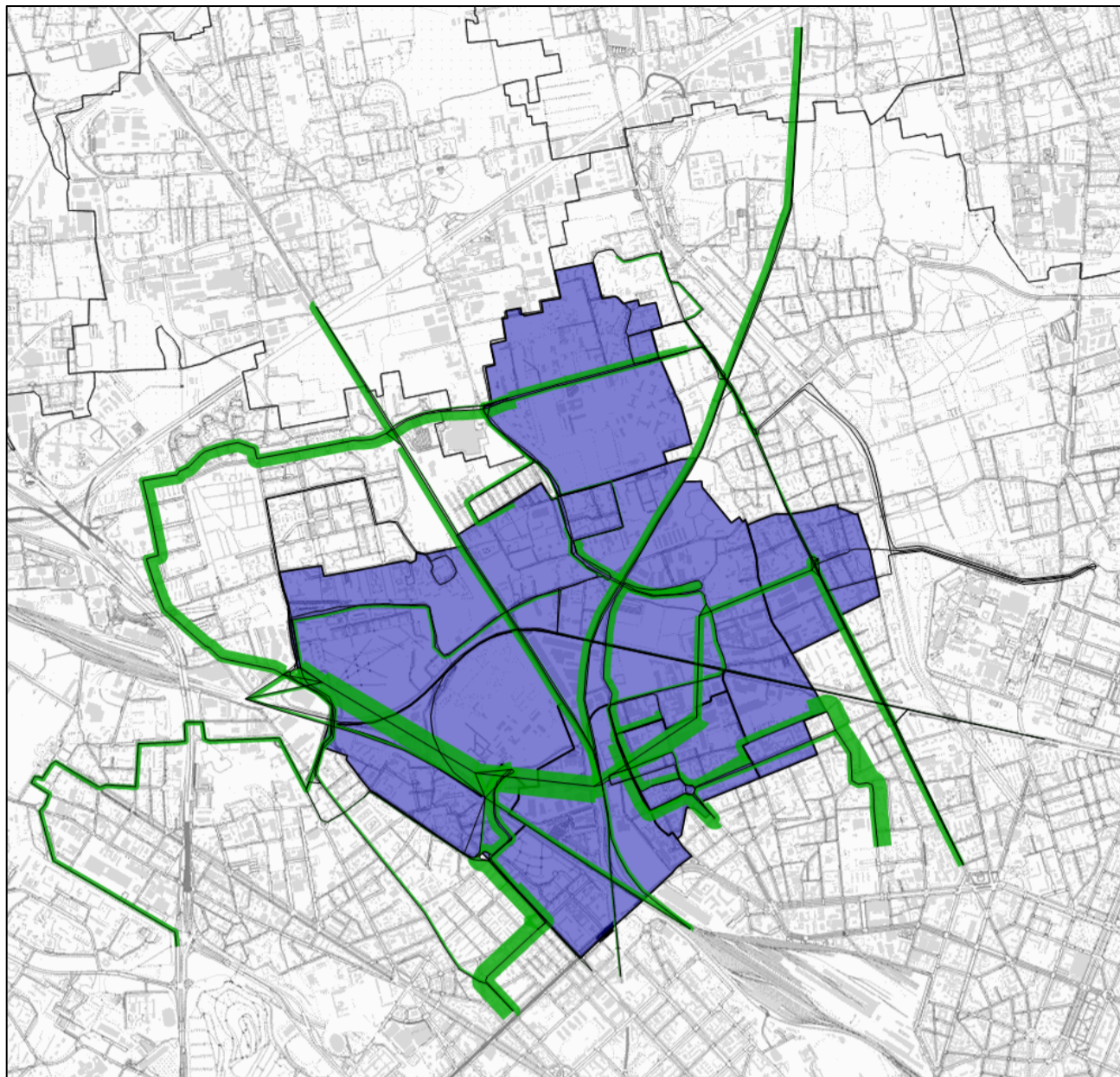


Figura 8.4: Scenario 1 – Distribuzione della domanda nella rete TPL (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

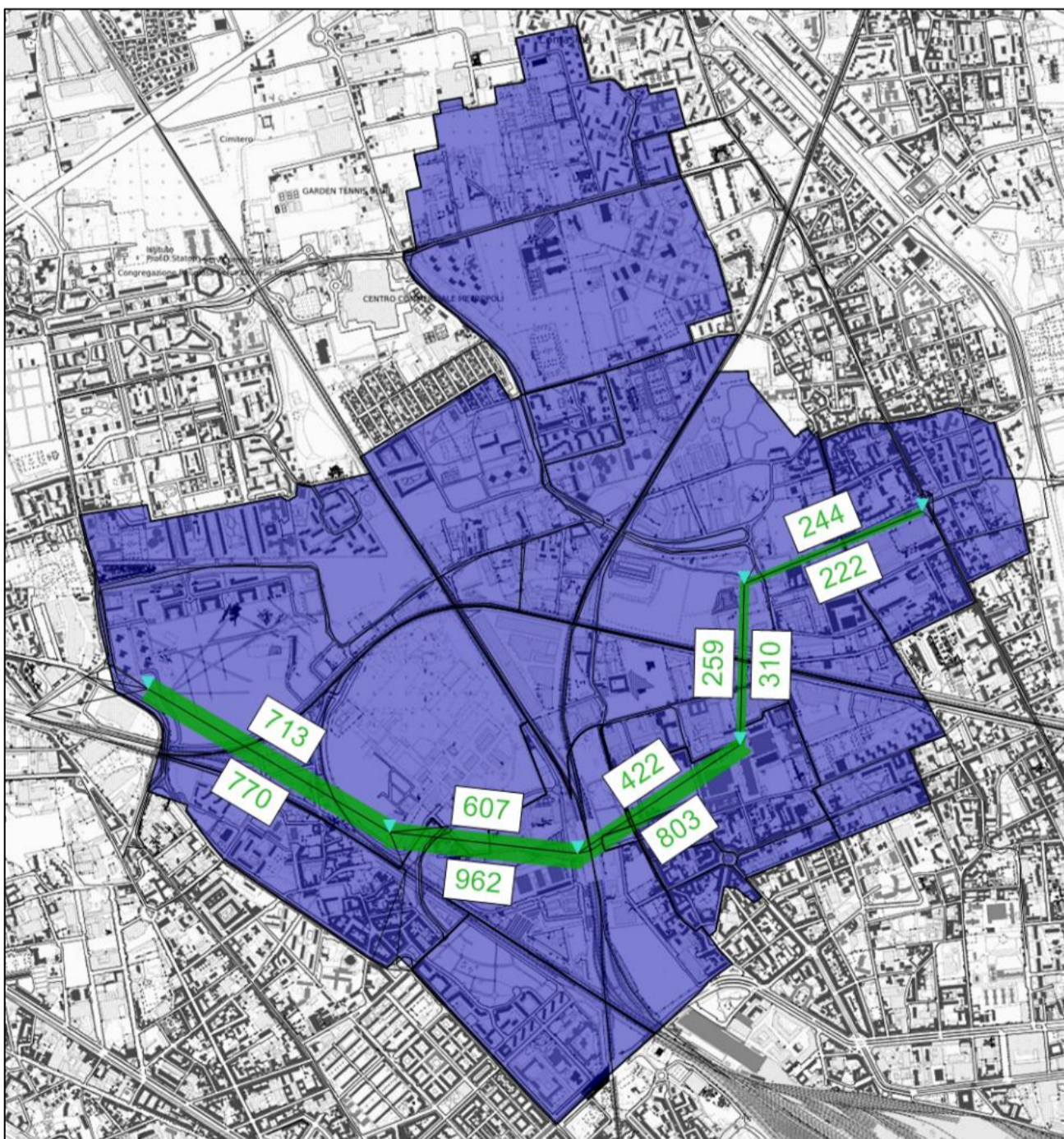


Figura 8.5: Scenario 1 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

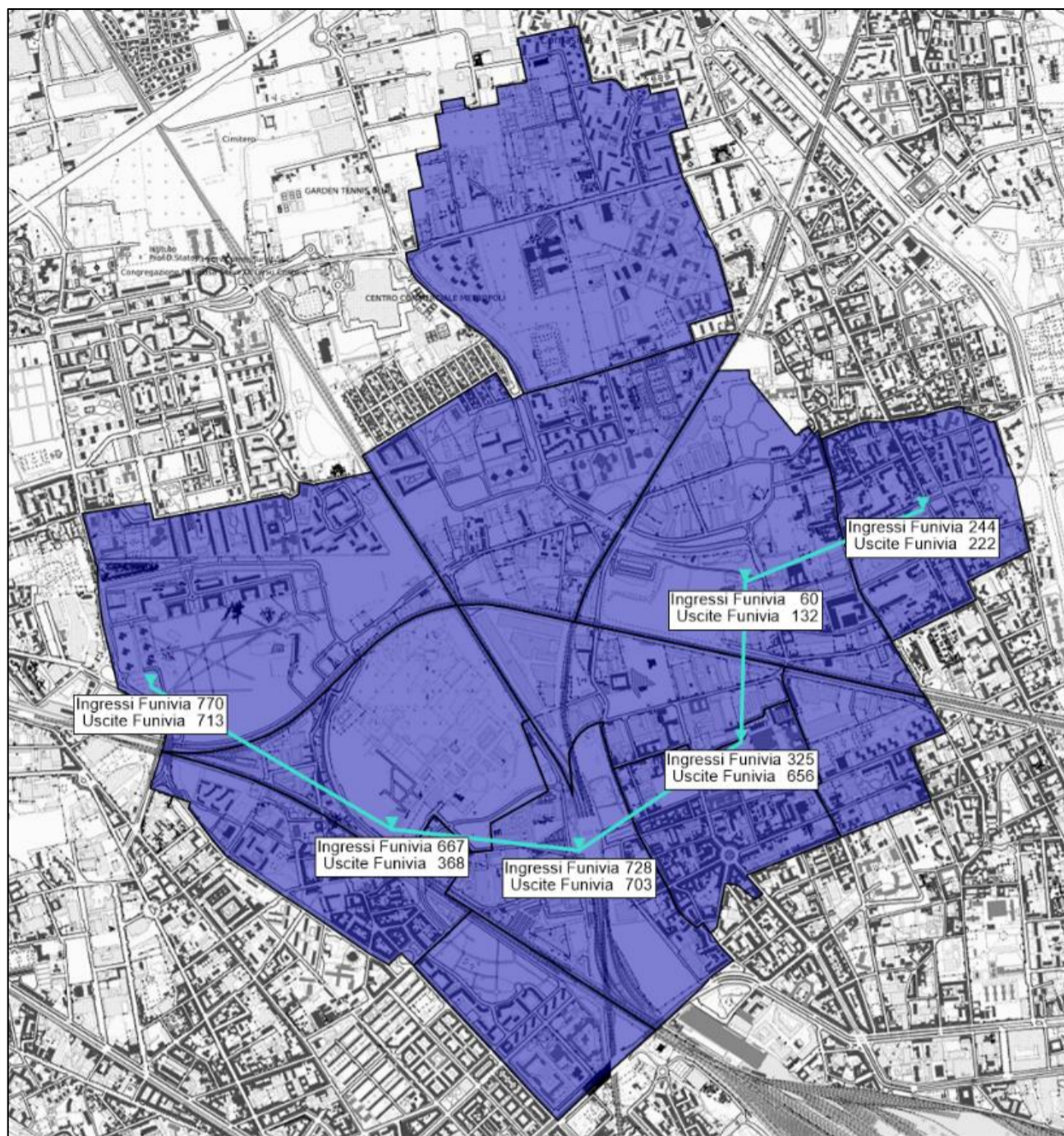


Figura 8.6: Scenario 1 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

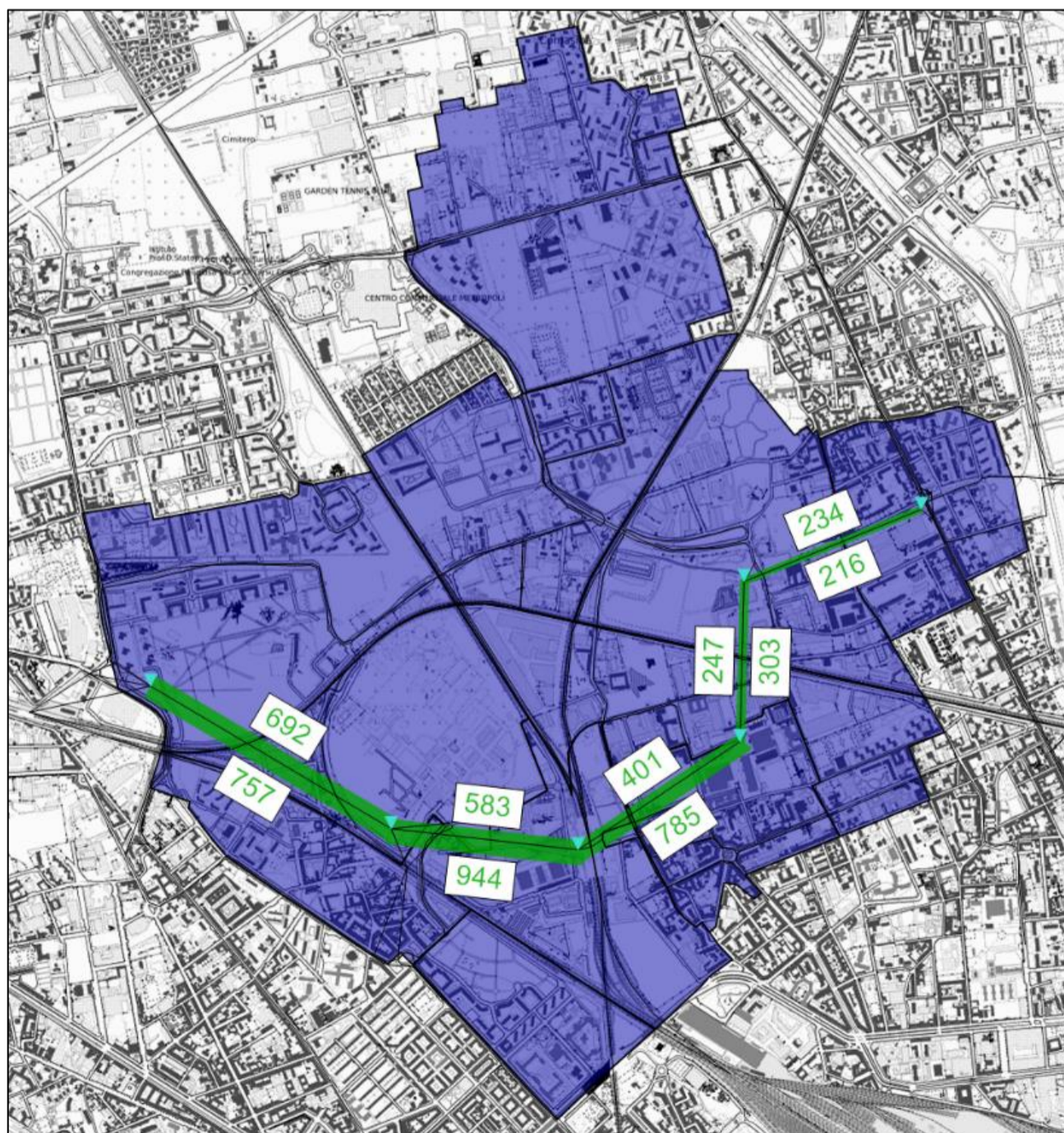


Figura 8.7: Scenario 1 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

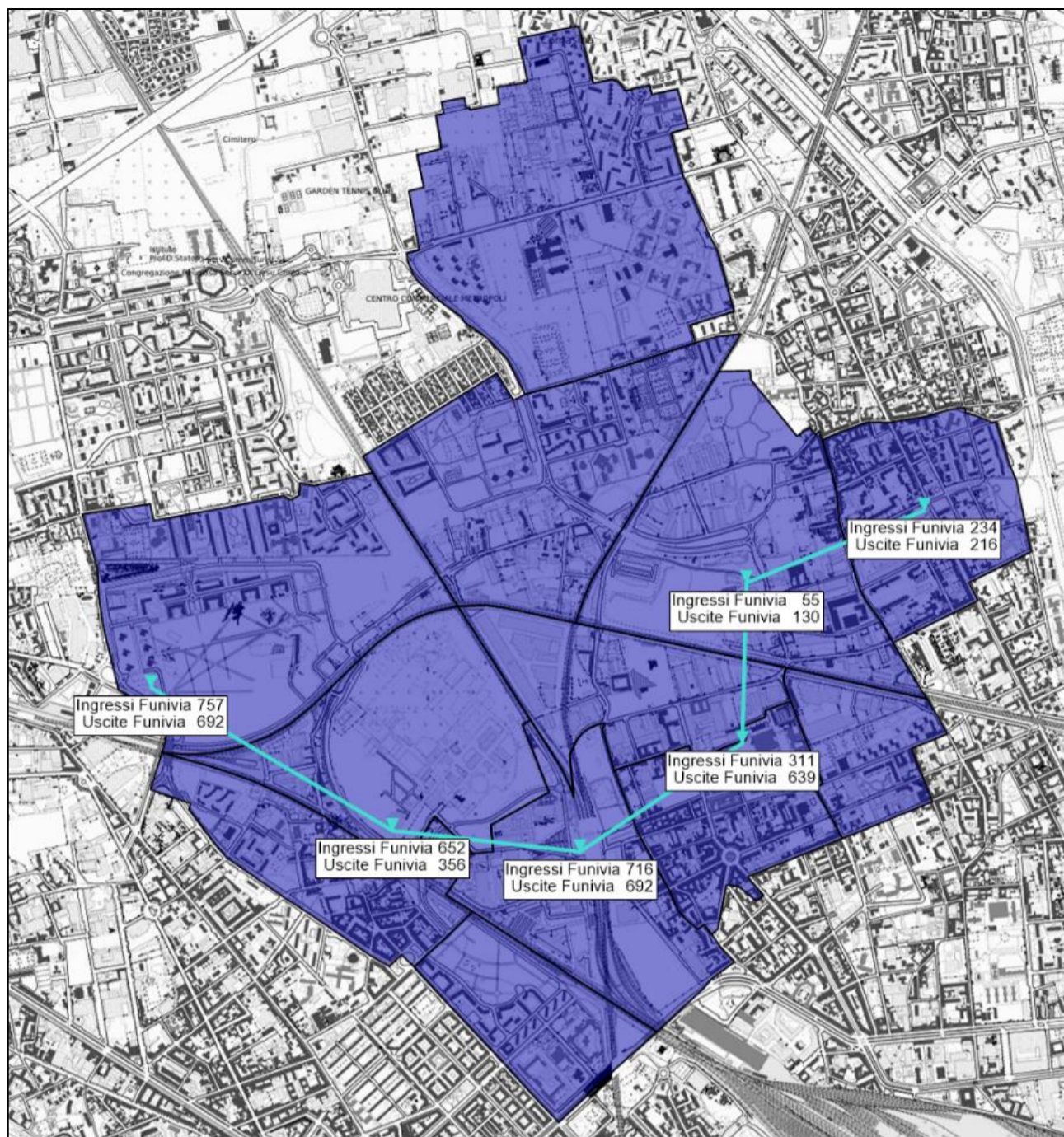


Figura 8.8: Scenario 1 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

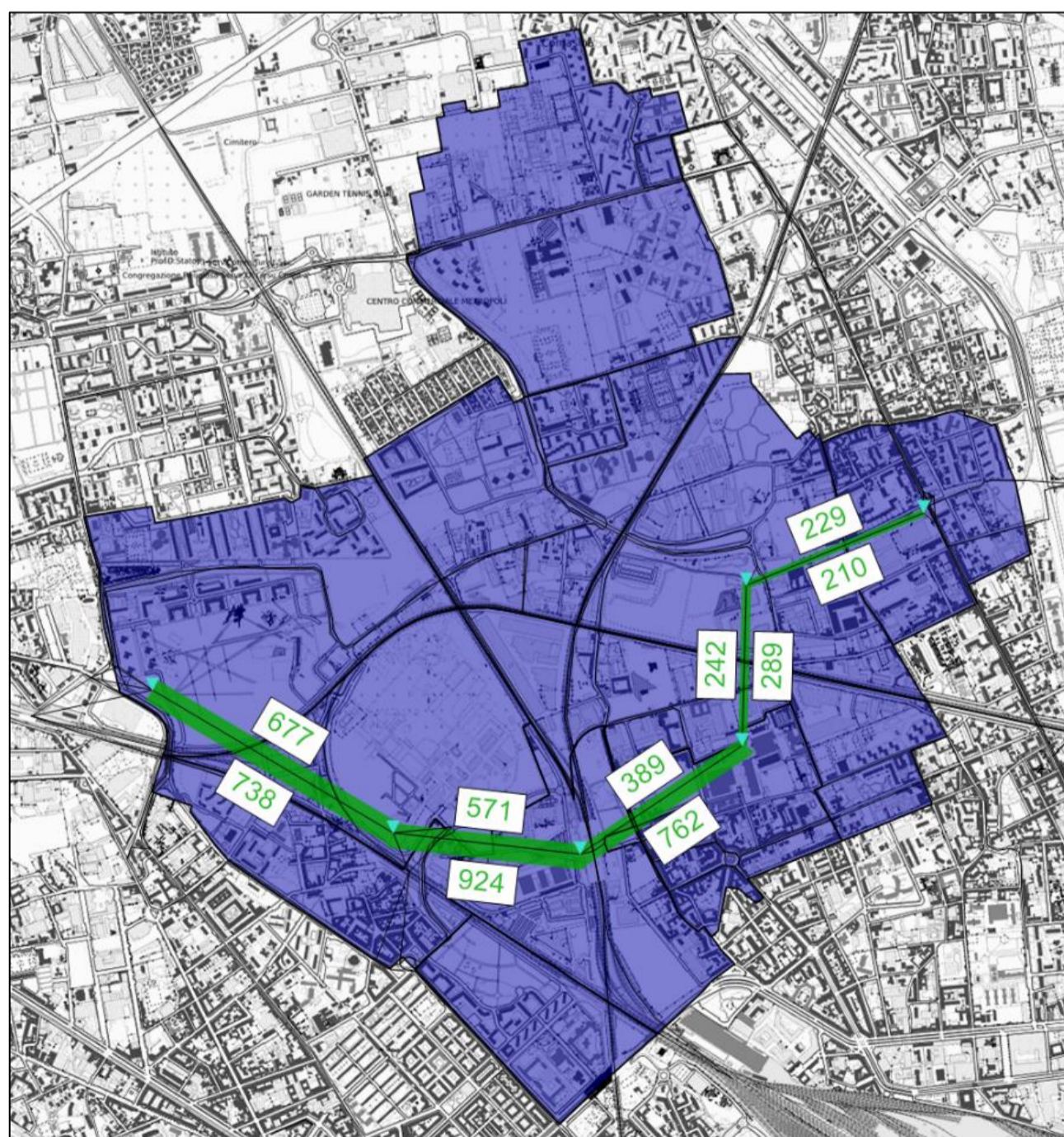


Figura 8.9: Scenario 1 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

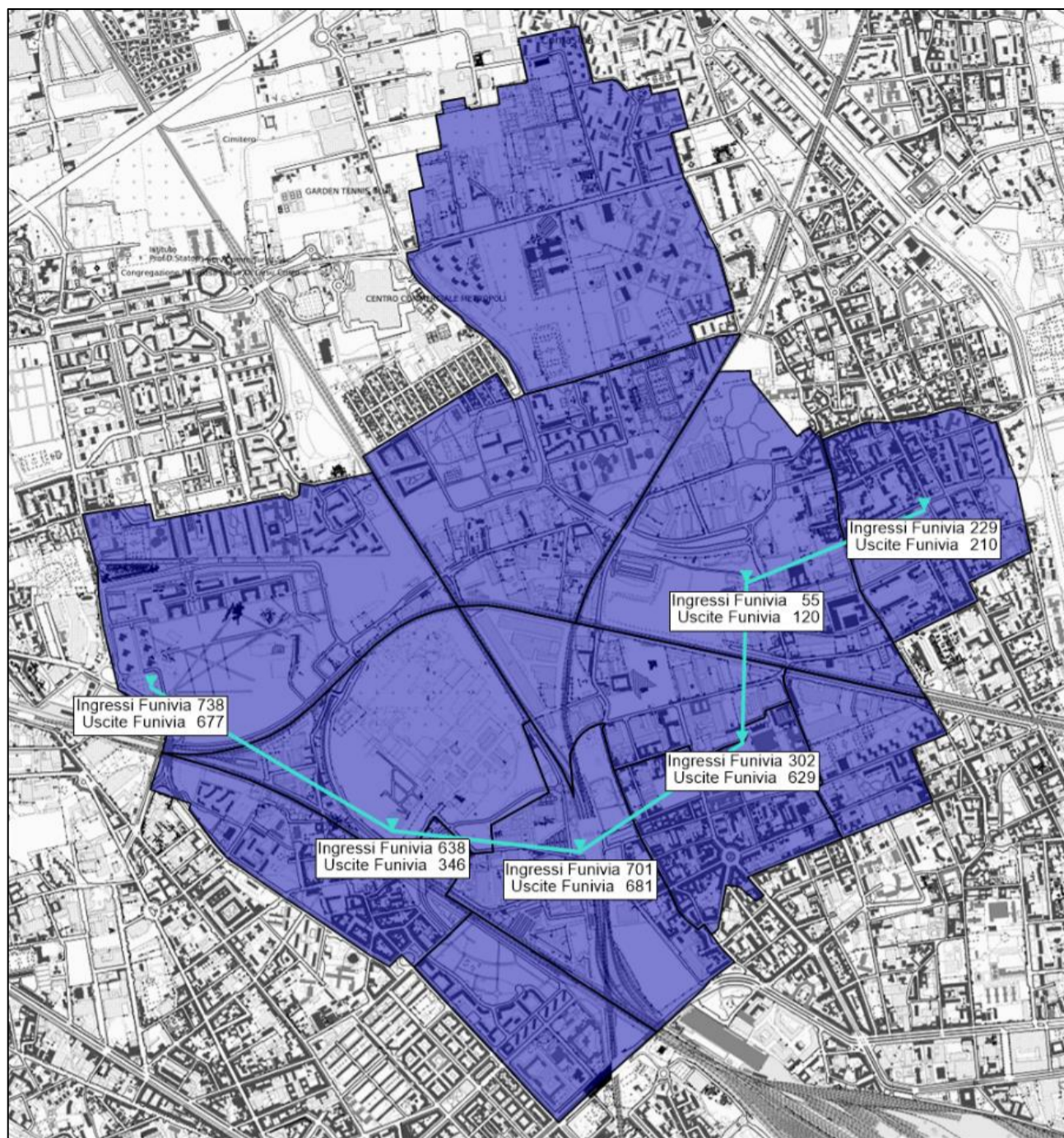


Figura 8.10: Scenario 1 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

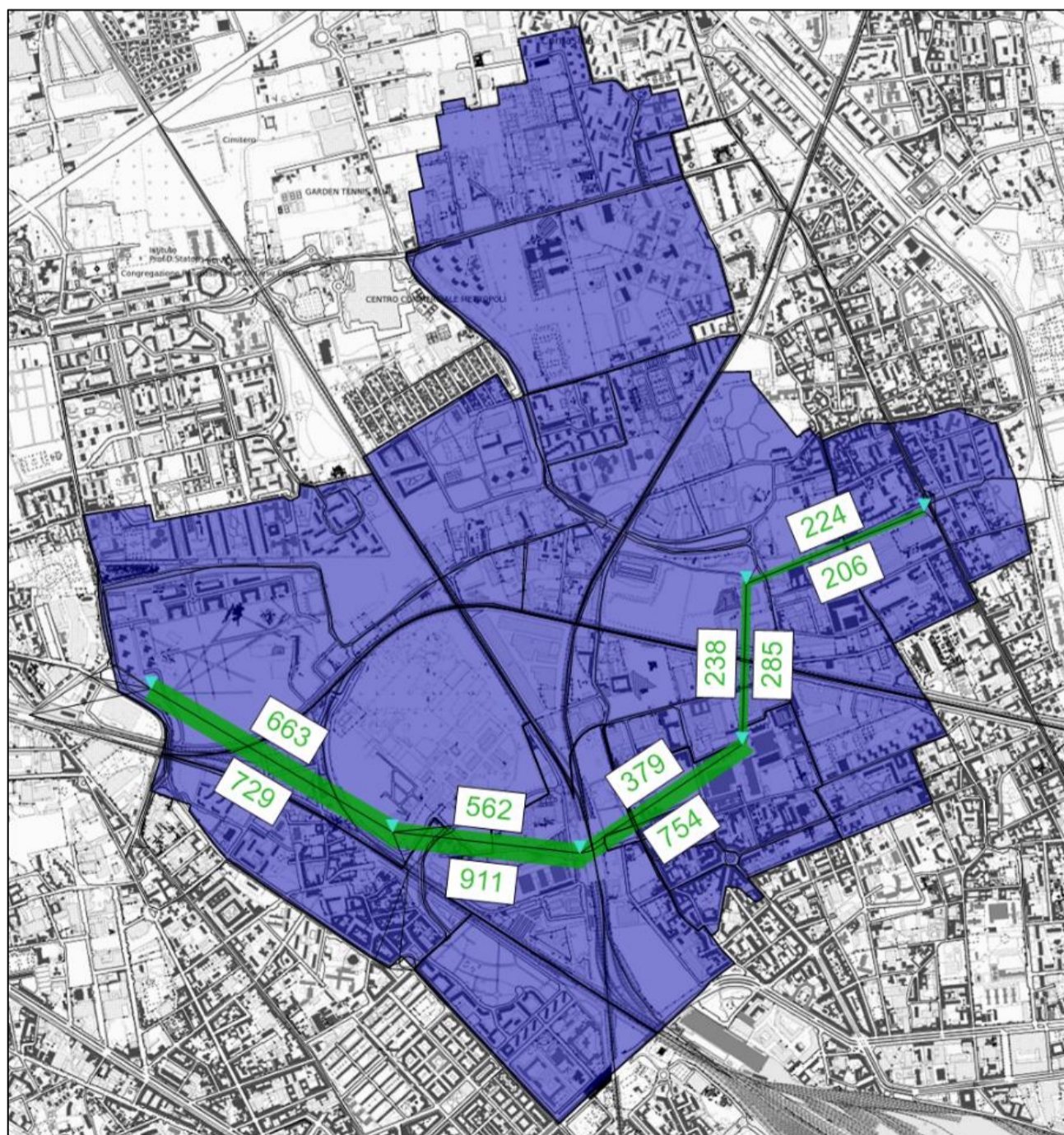


Figura 8.11: Scenario 1 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

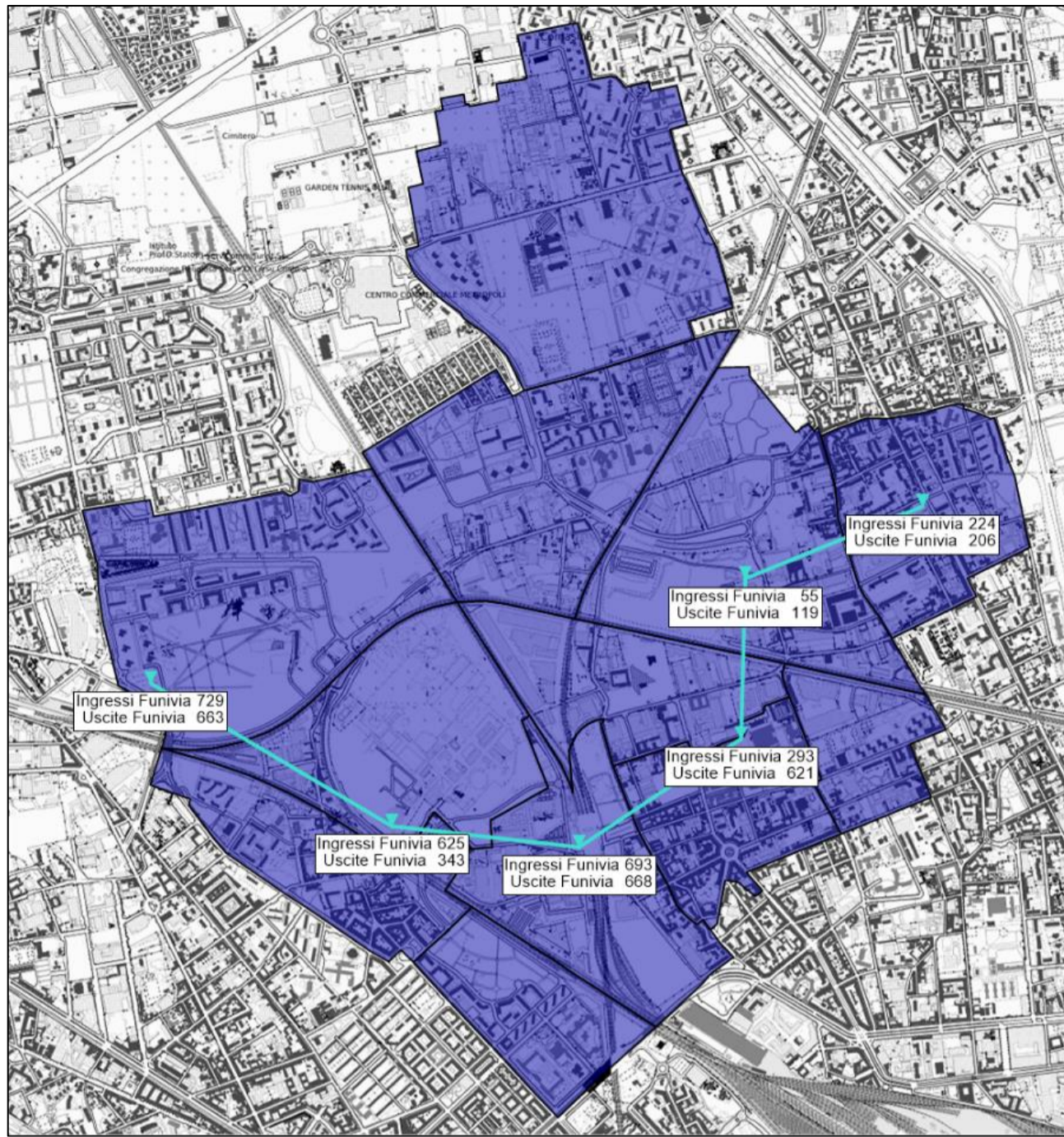


Figura 8.12: Scenario 1 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

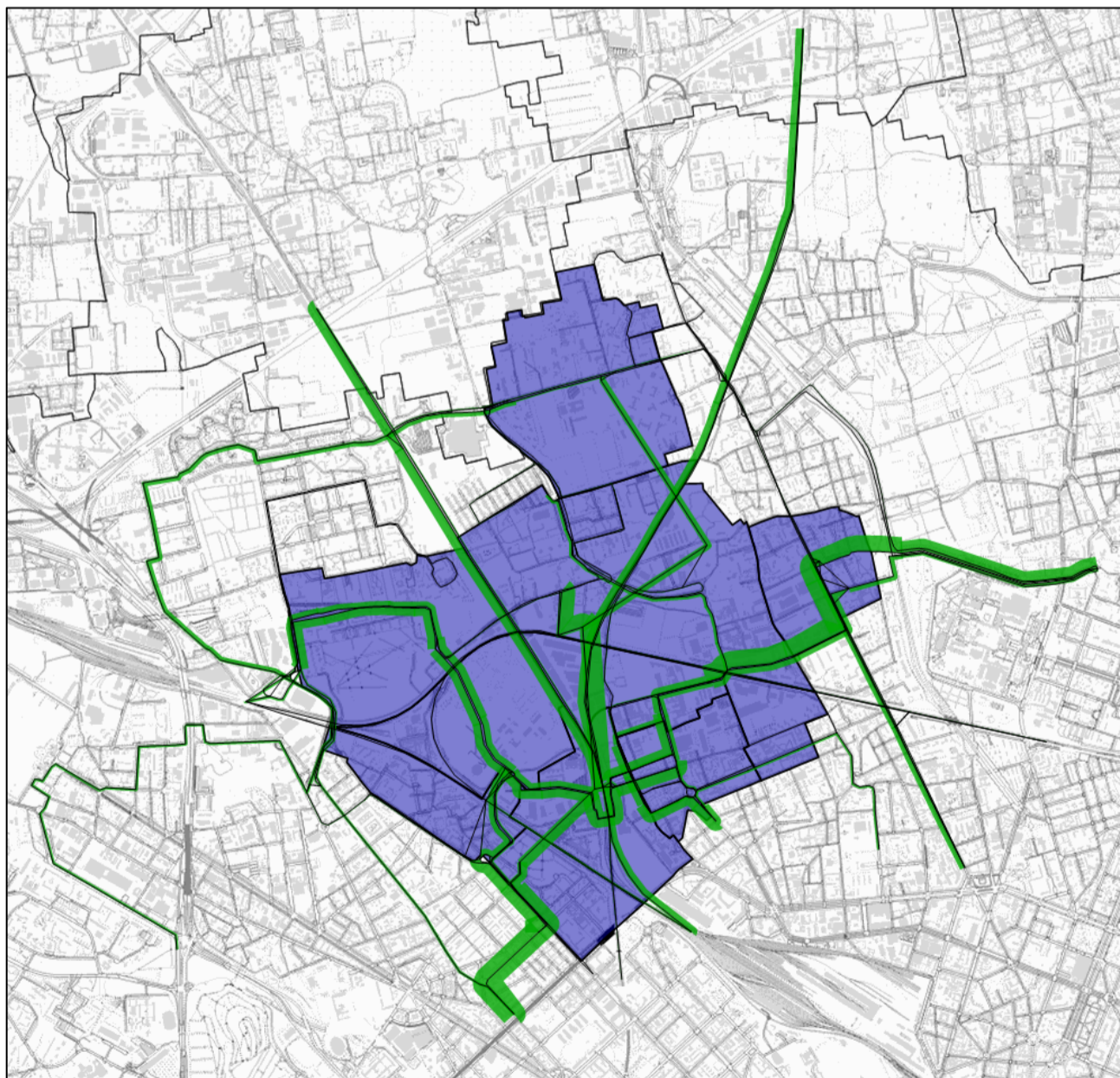


Figura 8.13: Scenario 2 – Distribuzione della domanda nella rete TPL (Elaborazione propria con il software PTV Visum).



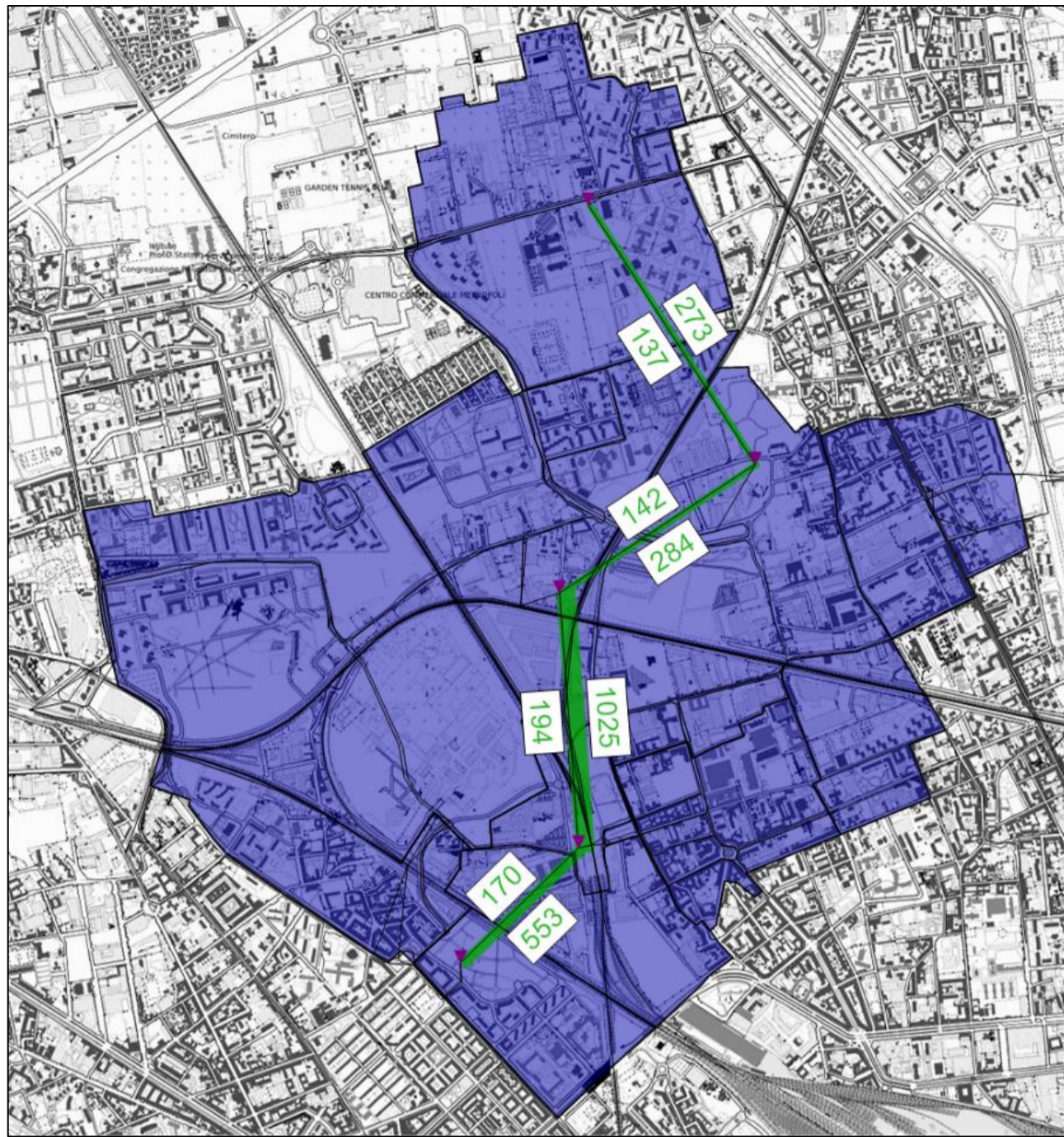


Figura 8.14: Scenario 2 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

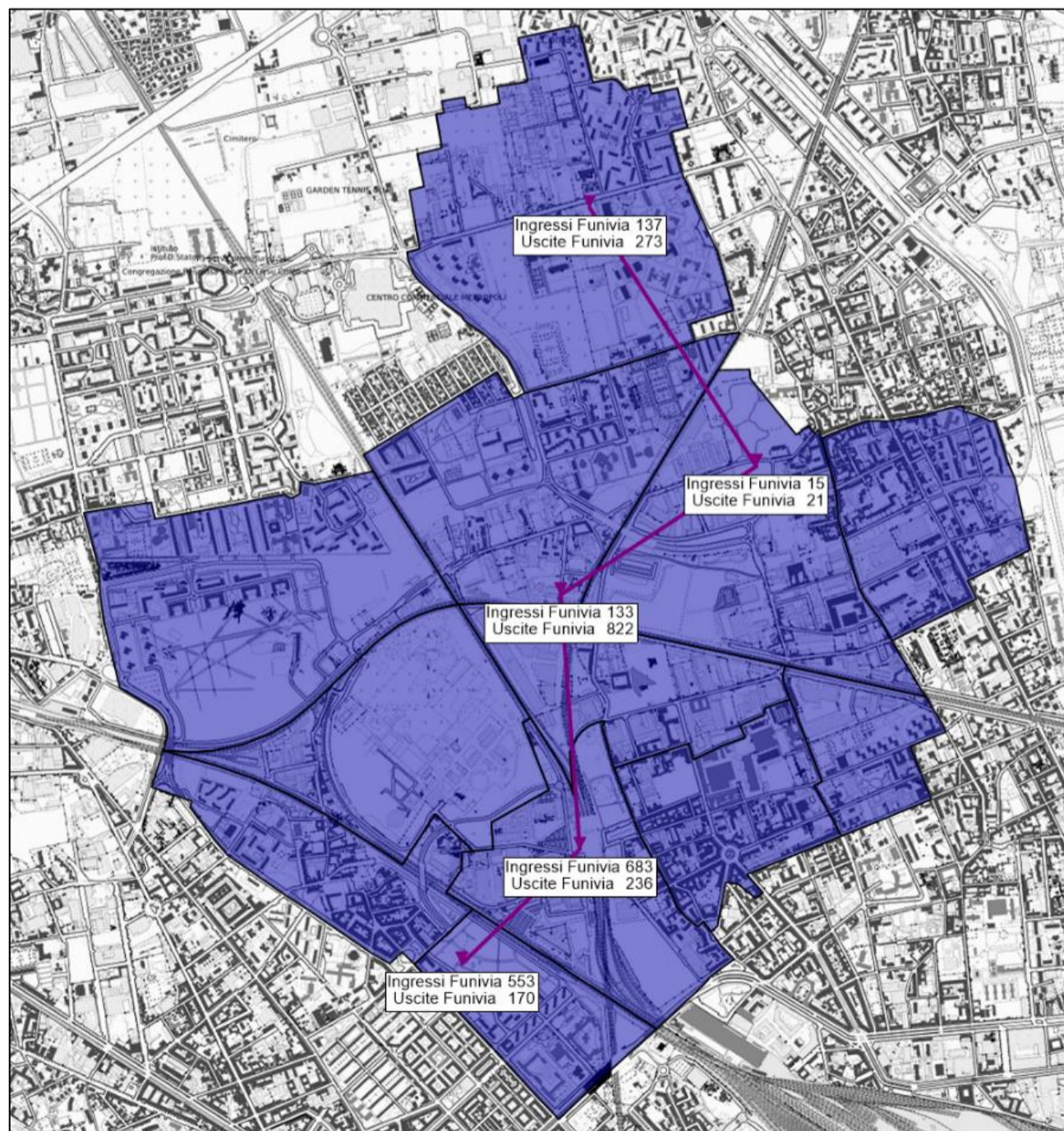


Figura 8.15: Scenario 2 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

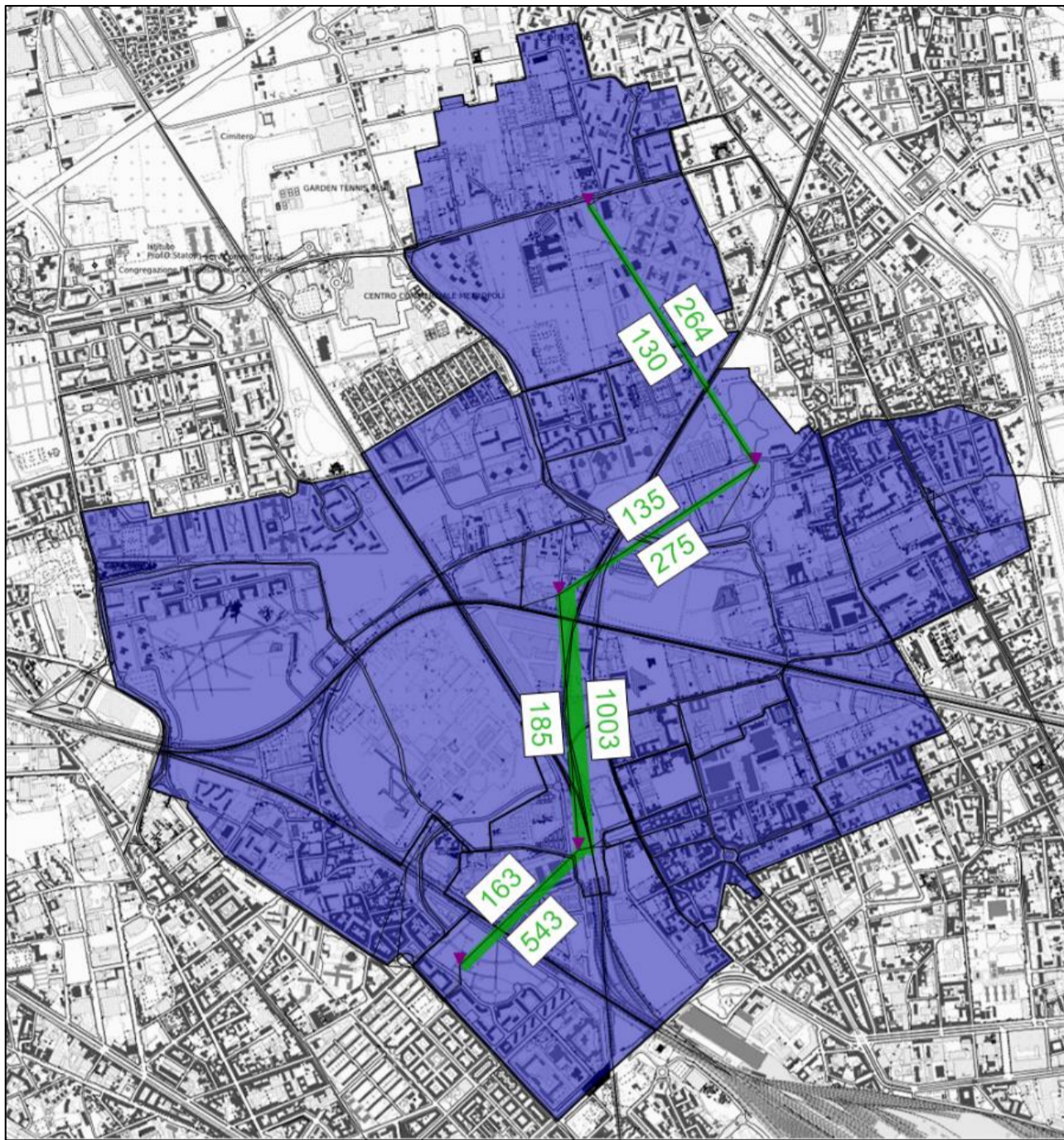


Figura 8.16: Scenario 2 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

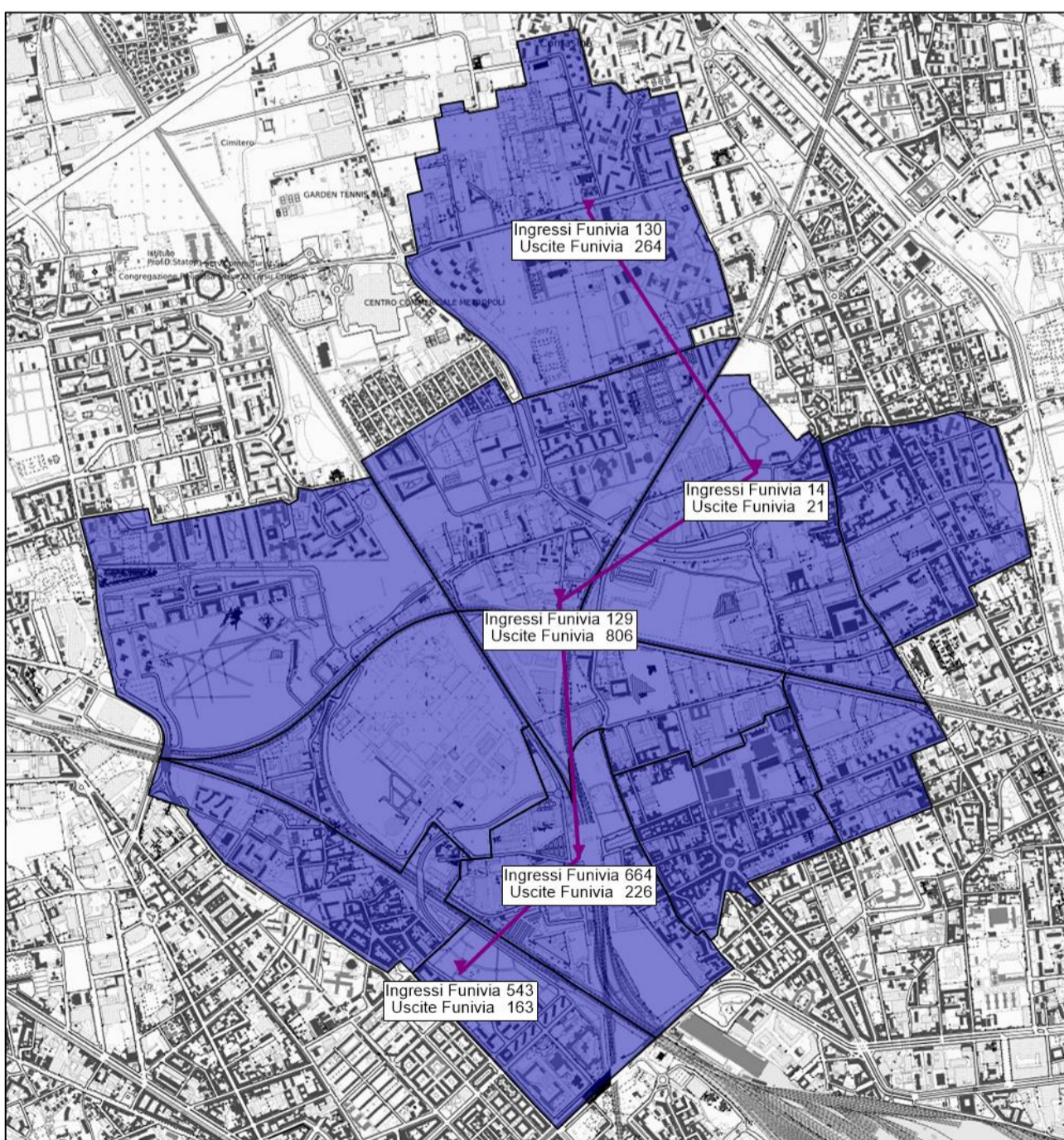


Figura 8.17: Scenario 2 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

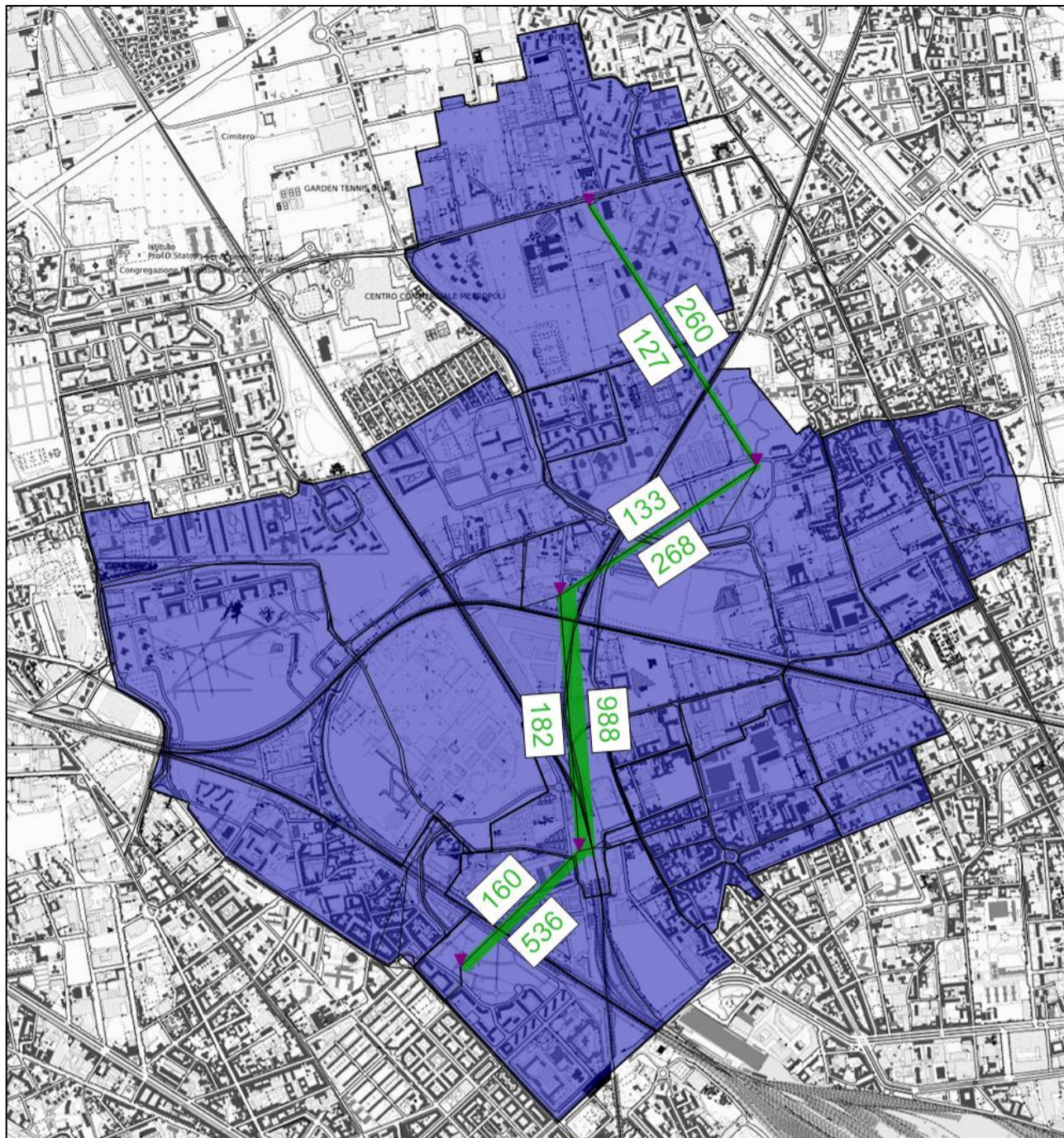


Figura 8.18: Scenario 2 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

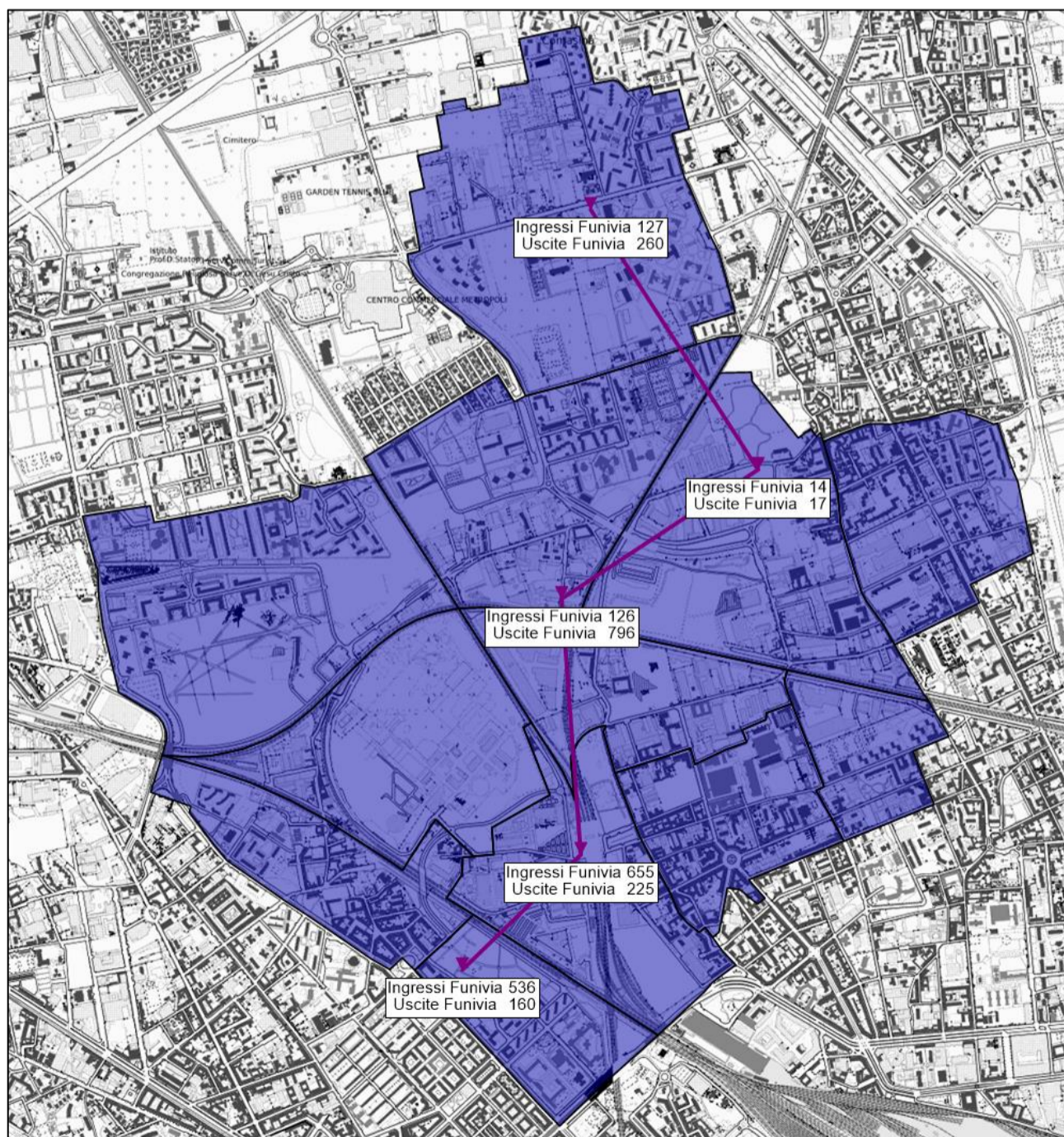


Figura 8.19: Scenario 2 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

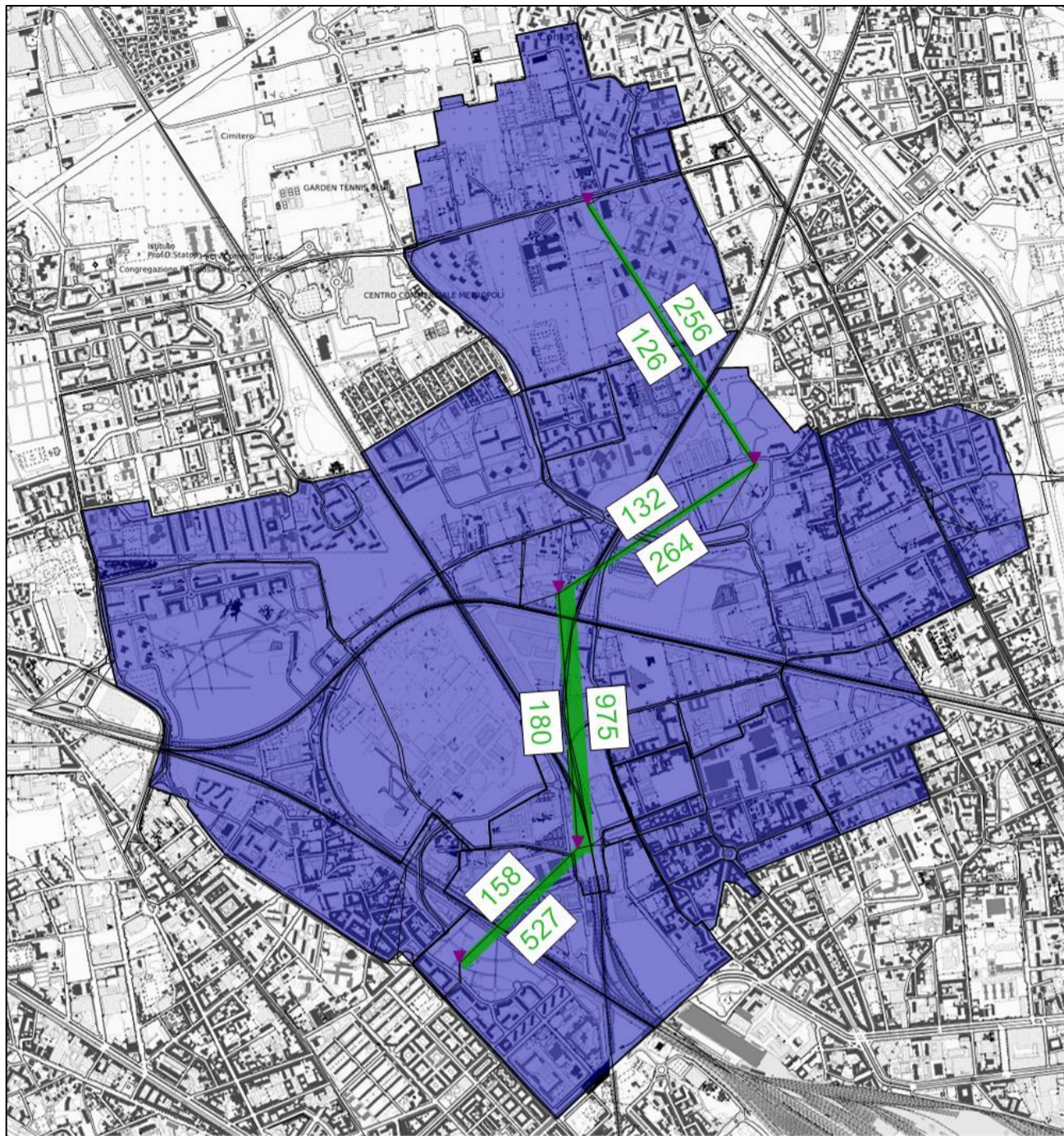


Figura 8.20: Scenario 2 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

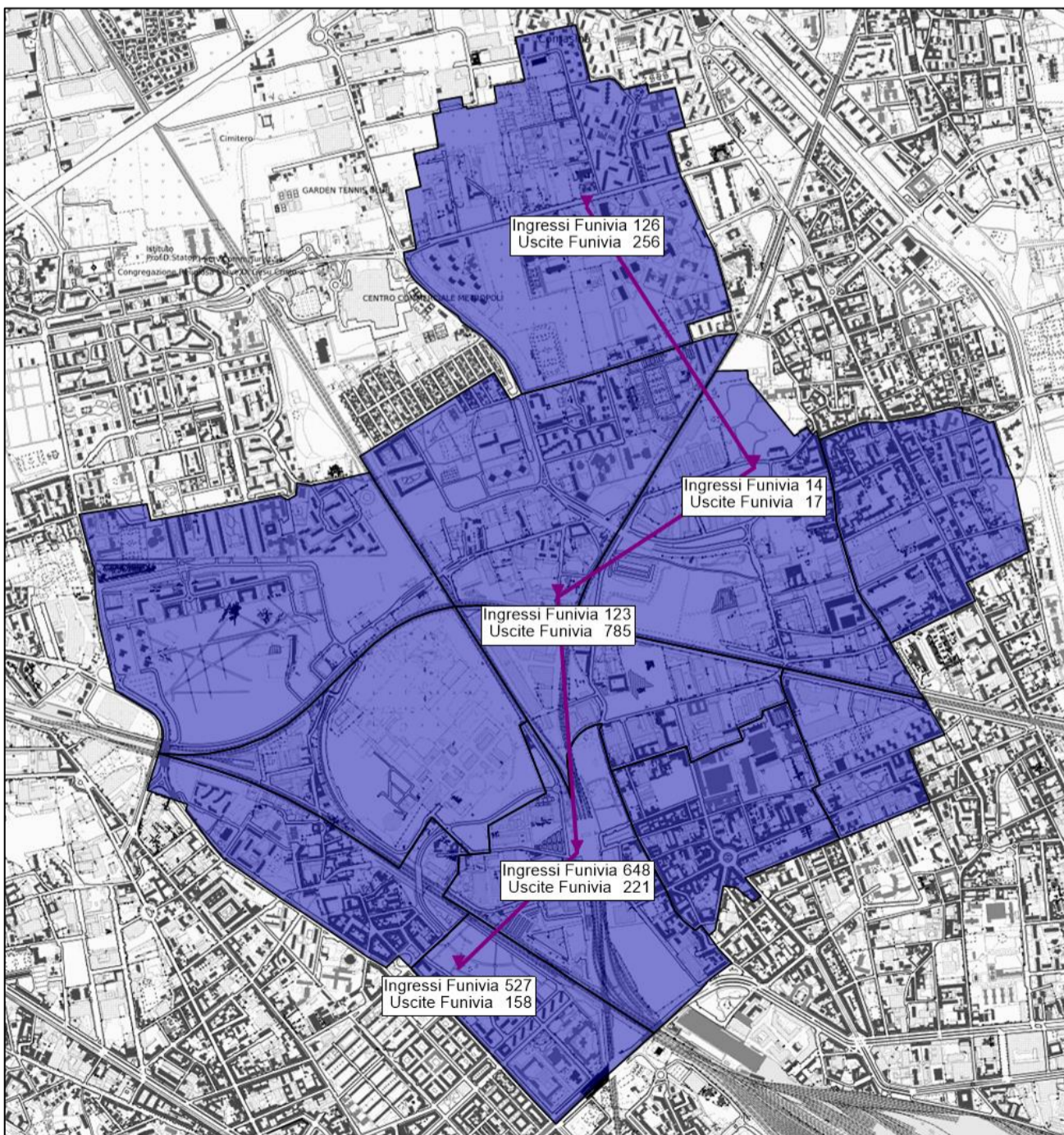


Figura 8.21: Scenario 2 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

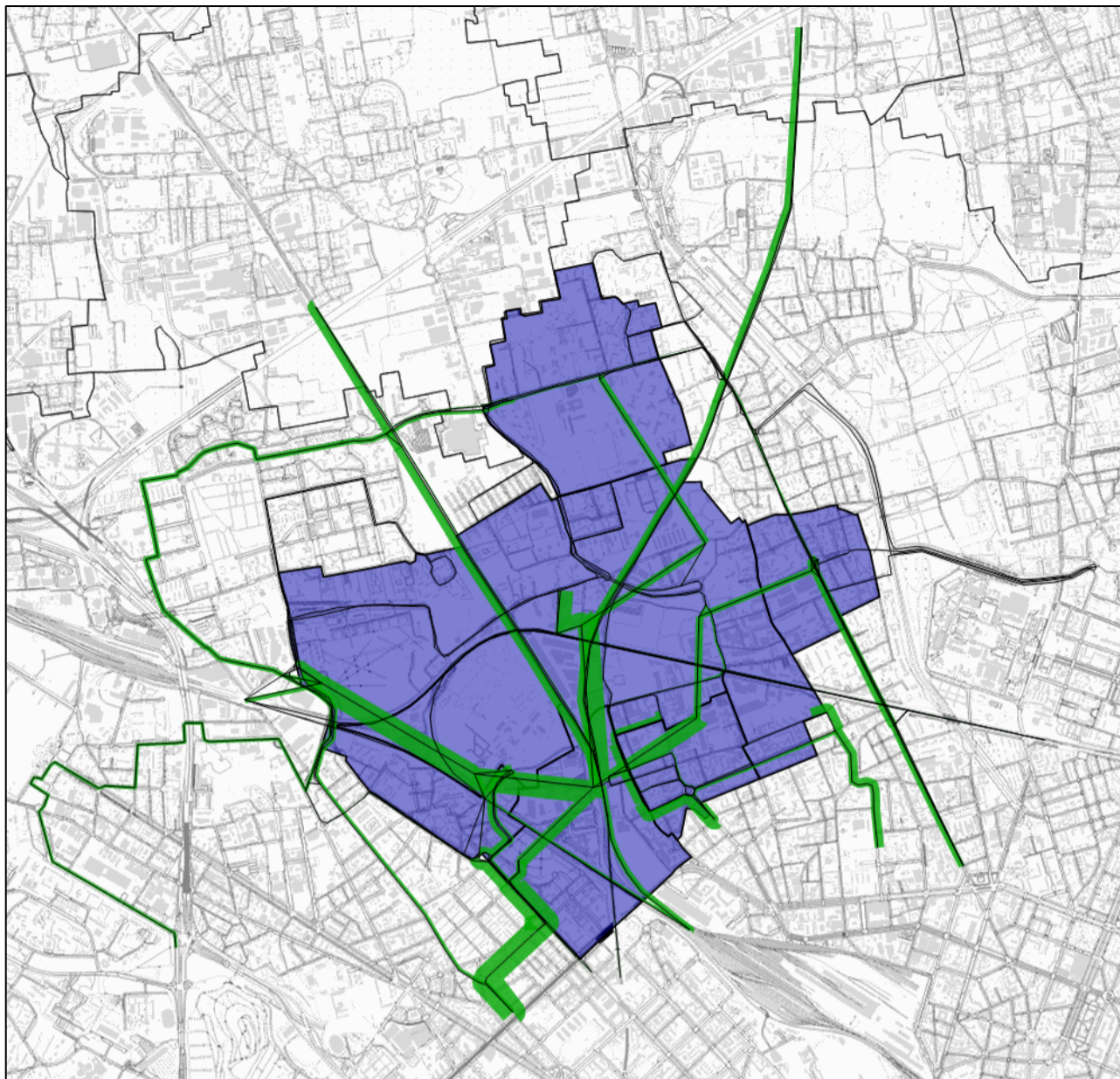


Figura 8.22: Scenario 3 – Distribuzione della domanda nella rete TPL (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

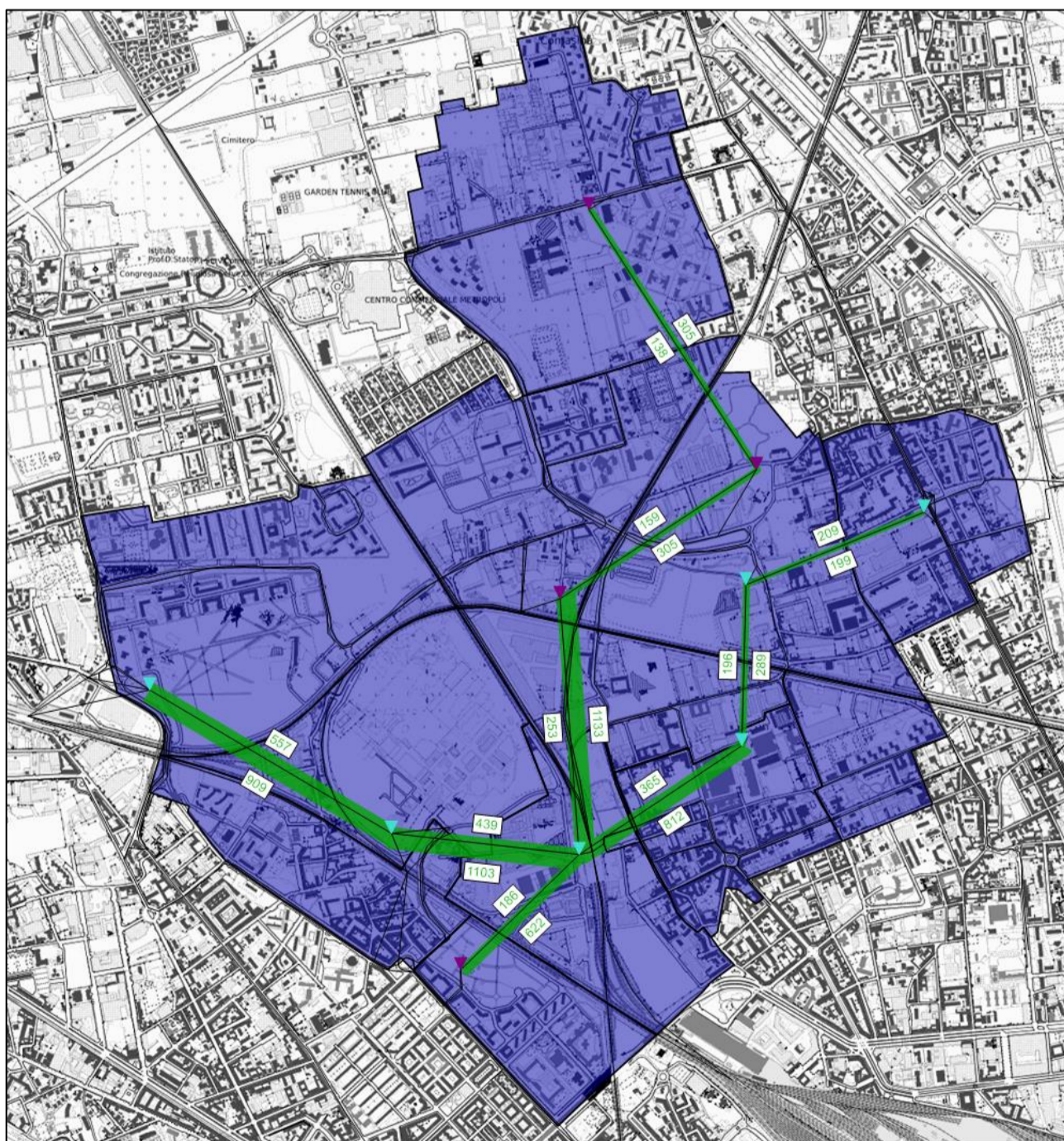


Figura 8.23: Scenario 3 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

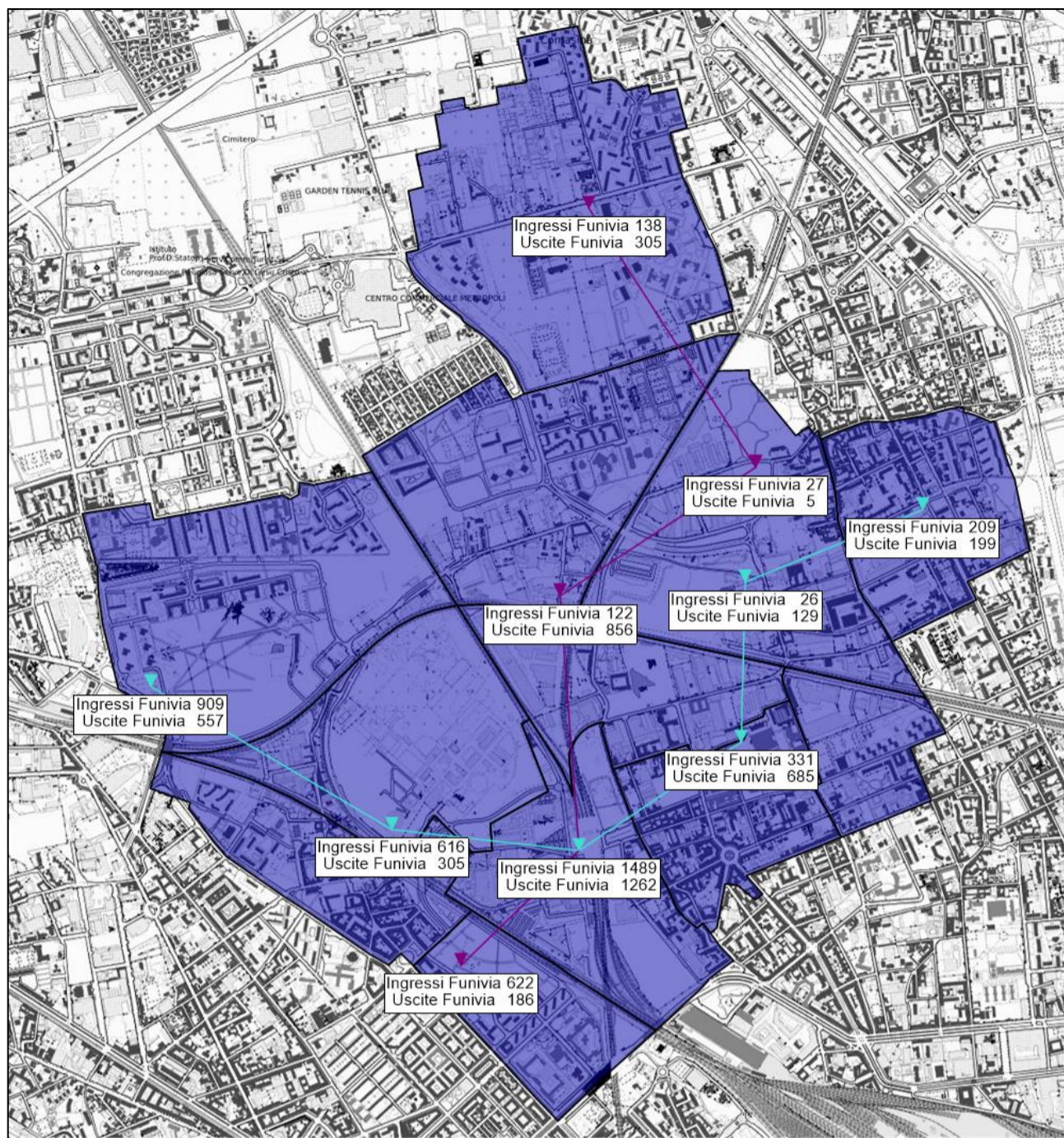


Figura 8.24: Scenario 3 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 0.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

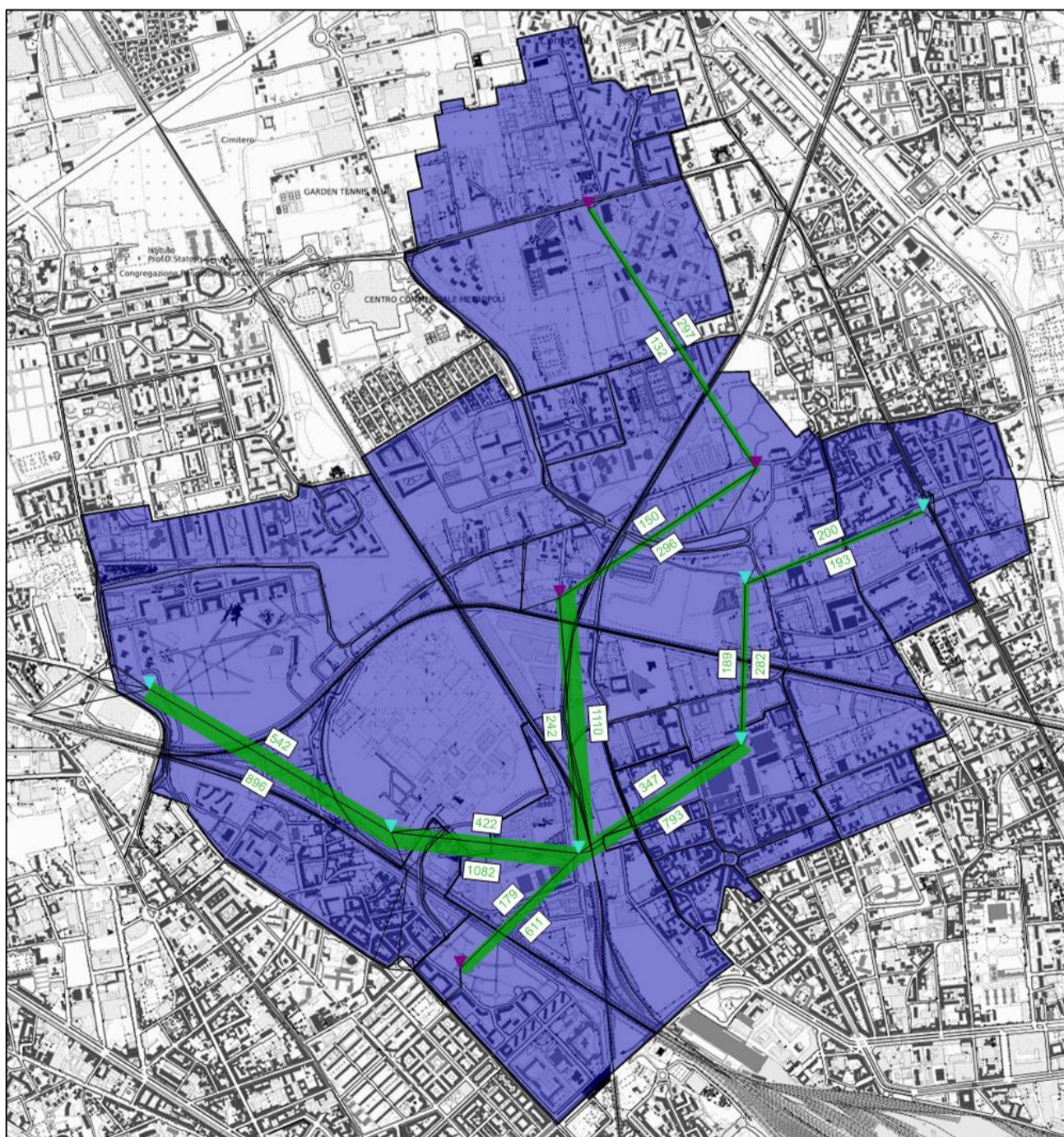


Figura 8.25: Scenario 3 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

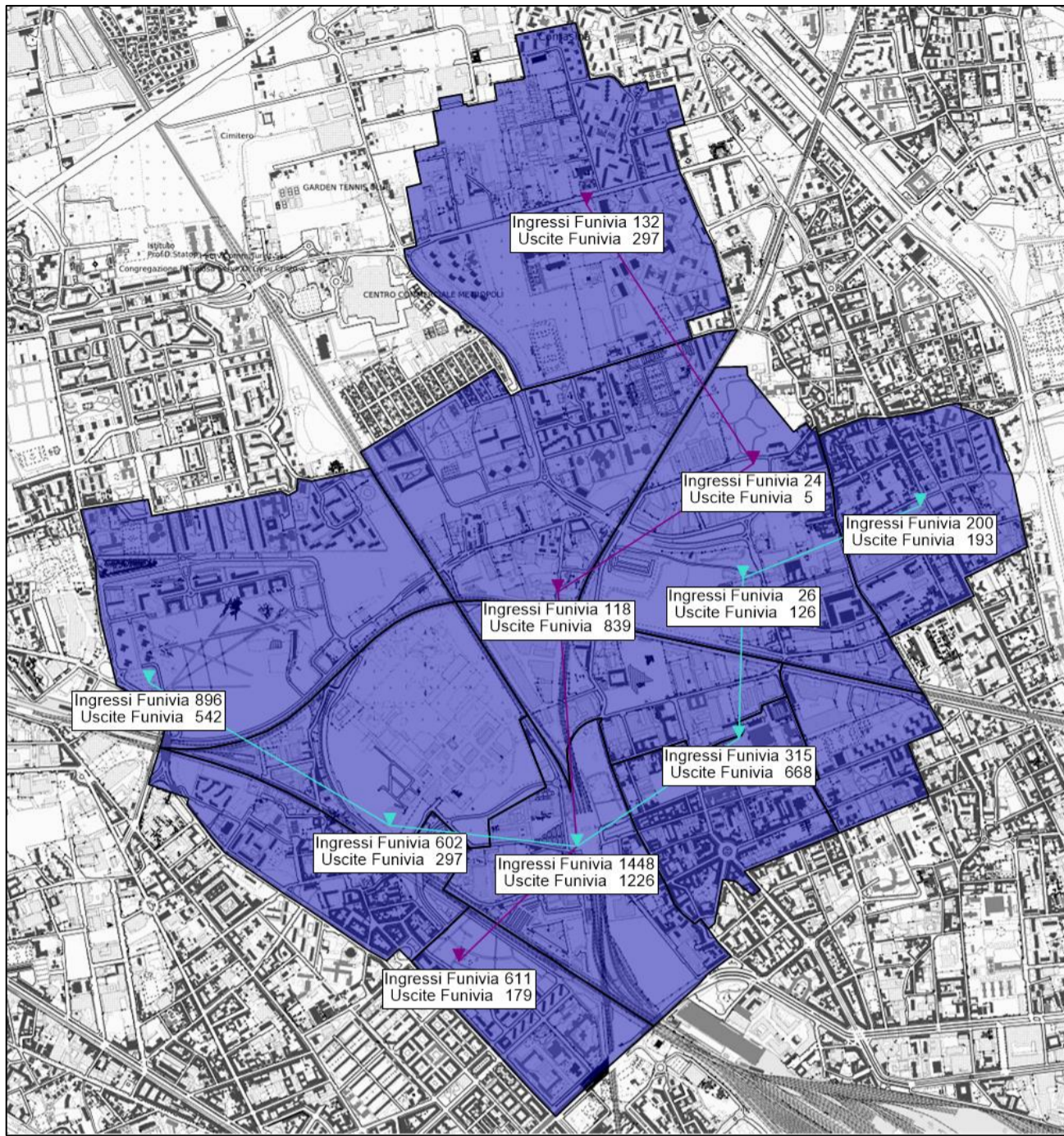


Figura 8.26: Scenario 3 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

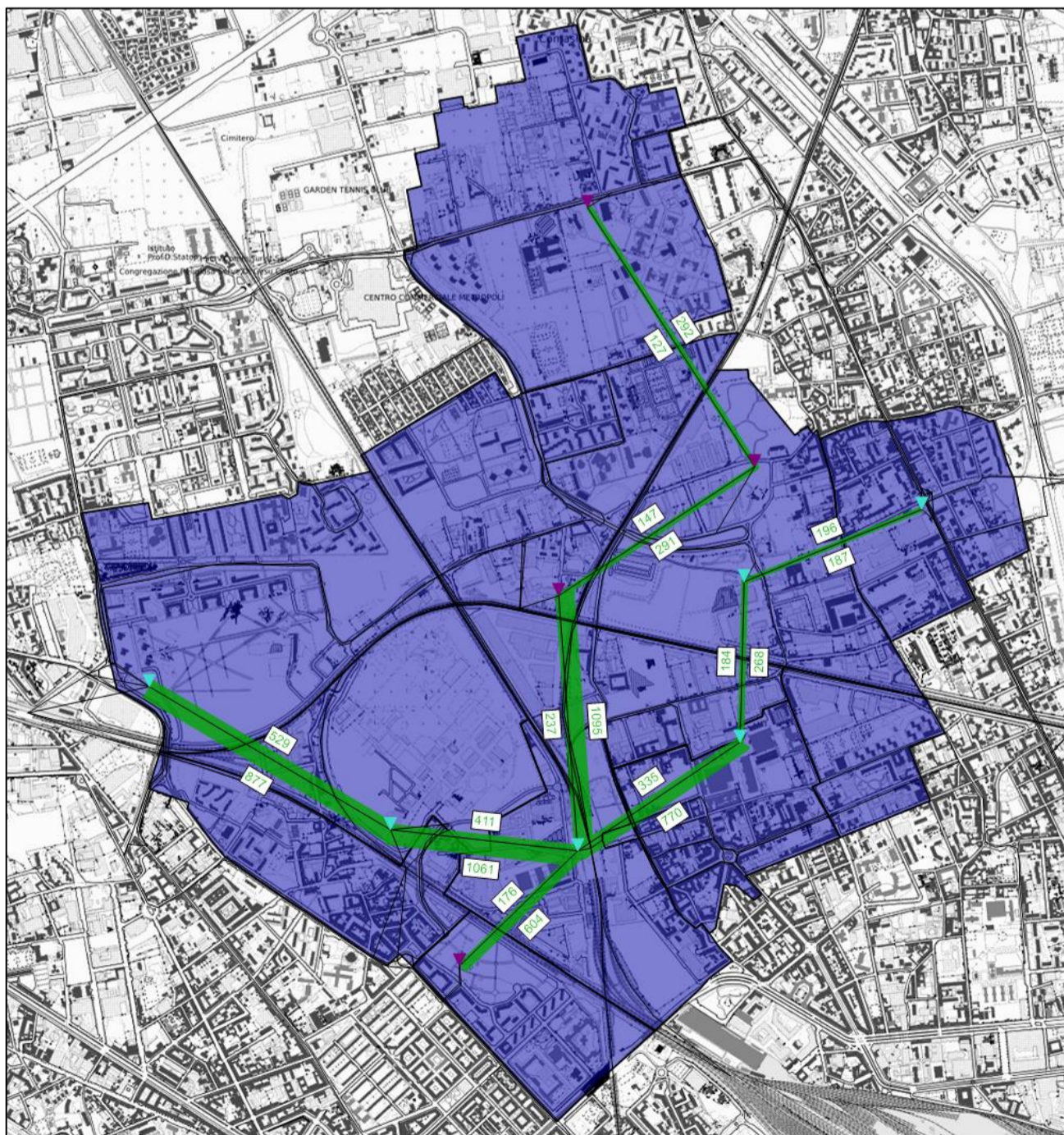


Figura 8.27: Scenario 3 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

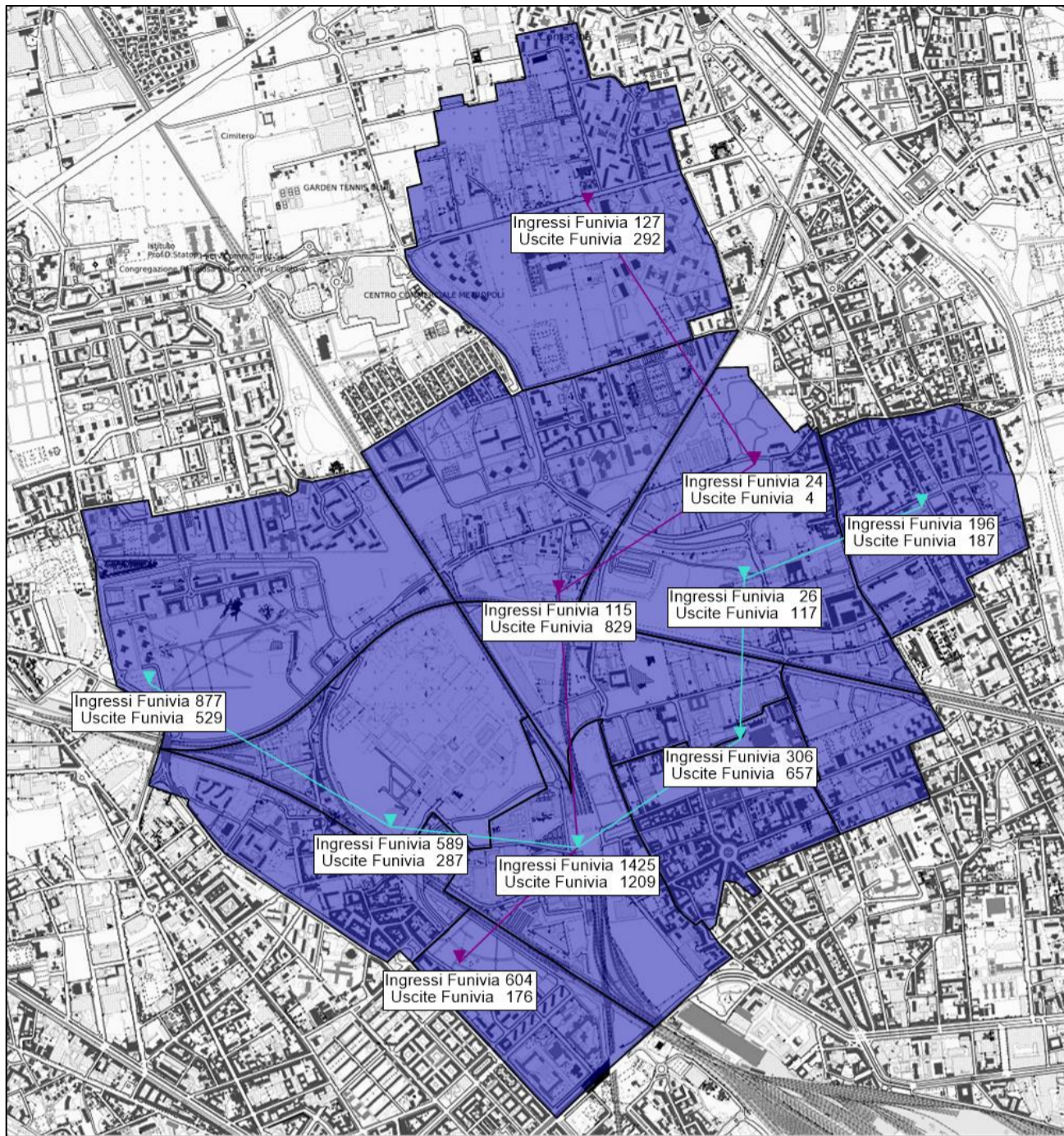


Figura 8.28: Scenario 3 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 1.50€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).

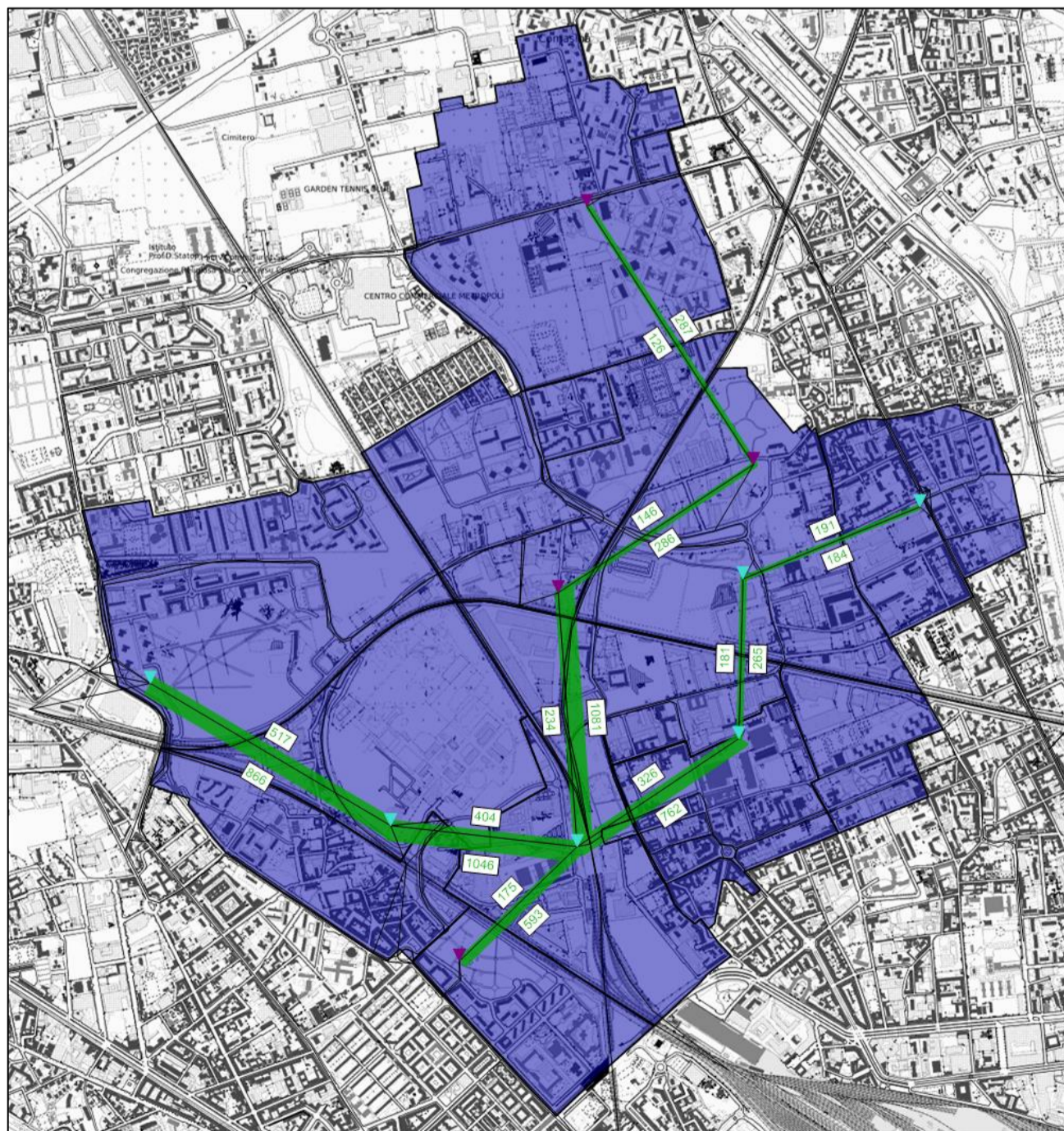


Figura 8.29: Scenario 3 – Carico delle tratte delle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum).



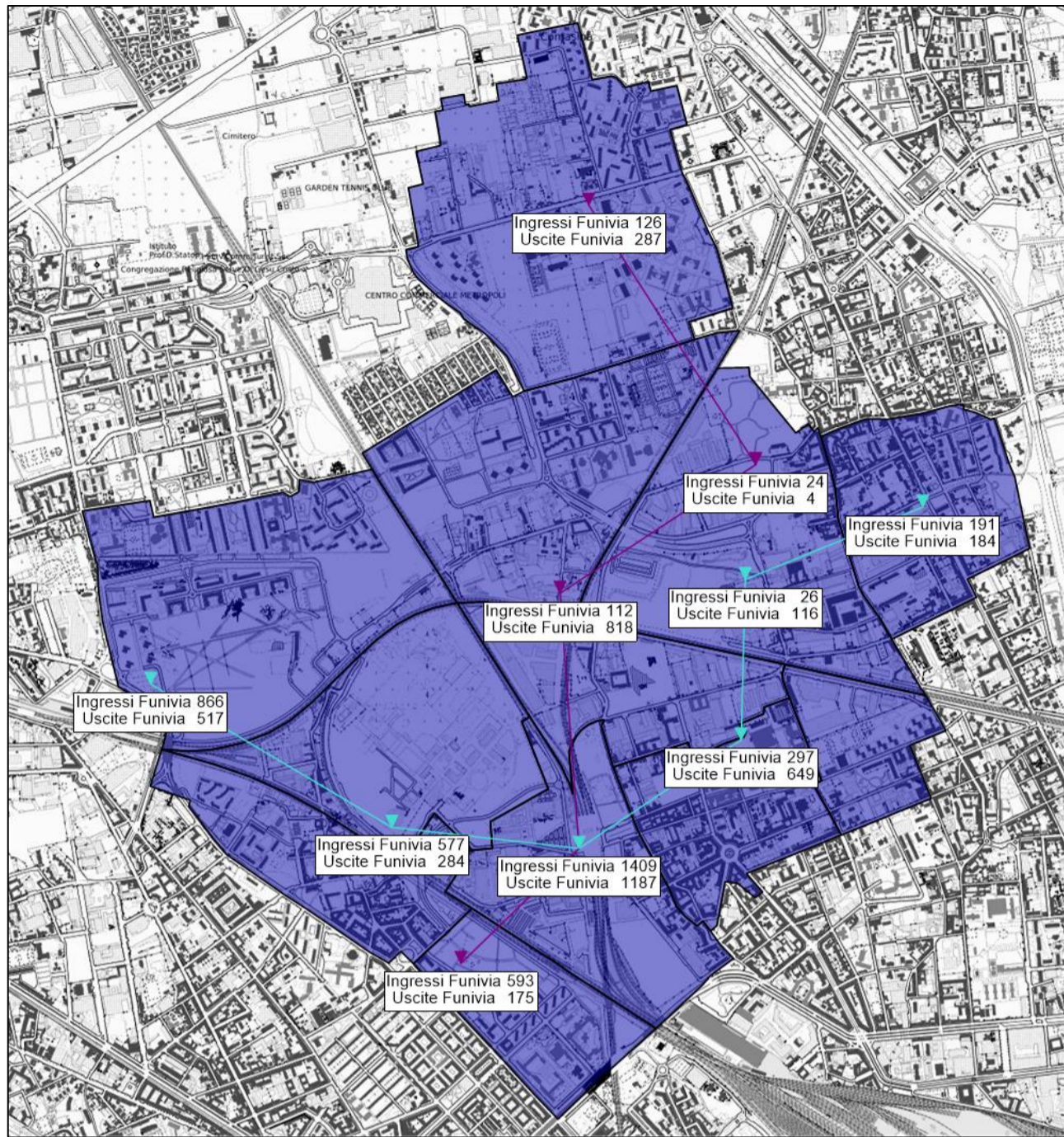


Figura 8.30: Scenario 3 – Ingressi nelle linee funiviarie aeree con la domanda rispettiva a una tariffa pari a 2.00€ (Elaborazione propria con il software PTV Visum)

La Tabella 8.2 riassume i valori più rilevanti per proseguire con lo studio della proposta.

Tariffa [€]	SCENARIO 1				SCENARIO 2				SCENARIO 3			
	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0
Ingressi nelle linee funviarie durante l'ora di punta [pax]	2794	2725	2663	2610	1521	1480	1458	1438	4489	4372	4289	4221
Carico massimo nelle tratte Linea Azzurra [pax/h/d]	962	944	924	911	-	-	-	-	1103	1082	1061	1046
Carico massimo nelle tratte Linea Viola [pax/h/d]	-	-	-	-	1025	1003	988	975	1133	1110	1095	1081

Tabella 8.2: Riassunto dei risultati delle simulazioni (Elaborazione propria).

I dati riguardanti il carico massimo sulle tratte delle linee funviarie permette infine di calcolare la capacità del servizio. Per ogni scenario, si presenta di seguito la capacità considerata per le linee e il numero di cabine necessario per garantire detta capacità negli impianti.

SCENARIO 1	
Capacità della Linea Azzurra [pax/h/dir]	1100
Capacità cabine [pax]	12
Passaggi di cabine	92
LINEA AZZURRA	
Tempo di giro [s]	1578
Giri di una cabina in un'ora	2.28
Numero totale di cabine	41

Tabella 8.3: Capacità e numero di cabine richiesti nello scenario 1 (Elaborazione propria).

SCENARIO 2	
Capacità della Linea Viola [pax/h/dir]	1200
Capacità cabine [pax]	12
Passaggi di cabine	100
LINEA VIOLA	
Tempo di giro [s]	1406
Giri di una cabina in un'ora	2.56
Numero totale di cabine	40

Tabella 8.4: Capacità e numero di cabine richiesti nello scenario 2 (Elaborazione propria).

SCENARIO 3			
Capacità della Linea Azzurra [pax/h/dir]	1300	Capacità della Linea Viola [pax/h/dir]	1300
Capacità cabine [pax]	12	Capacità cabine [pax]	12
Passaggi di cabine	108	Passaggi di cabine	108
LINEA AZZURRA		LINEA VIOLA	
Tempo di giro [s]	1578	Tempo di giro [s]	1406
Giri di una cabina in un'ora	2.28	Giri di una cabina in un'ora	2.56
Numero totale di cabine	48	Numero totale di cabine	43

Tabella 8.5: Capacità e numero di cabine richiesti nello scenario 3 (Elaborazione propria).

Ne vale la pena menzionare che l'impiego di valori di capacità superiori a quelli di carico massimo nelle tratte delle linee funiviarie è dovuto alla considerazione del fatto che può esistere una quota di domanda non considerata nella fase di simulazione e che nella realtà potrebbe caricarle di più; è meglio rischiare a sovradimensionare il servizio che rischiare a non essere in grado di coprire la domanda.

## 9. ANALISI FINANZIARIA

L'analisi finanziaria sviluppata si divide in quattro sezioni: Calcolo d'investimento, calcolo di costi di operazione e manutenzione, calcolo dei ricavi tariffari, e bilancio finanziario.

Per quanto riguarda il calcolo d'investimento, è stata implementata la procedura definita dal Decreto del Presidente della Provincia Autonoma di Bolzano 13 novembre 2006, n. 61 "Regolamento di esecuzione circa la costruzione e l'esercizio di impianti a fune in servizio pubblico", specificamente nell'Allegato A, il quale descrive una formula di calcolo del costo di costruzione di impianti funiviari in servizio pubblico. La formula fornisce un modo di trovare il costo di costruzione di distinti tipi di impianti funiviari, tra quelli le cabinovie trifune ad ammorsamento automatico, in funzione della lunghezza e della capacità della linea.

La suddetta formula ha la seguente configurazione:

$$P = (AL^2 + BL + C) + (Q - Q')x(AqL + Bq)$$

$L$  e  $Q$  rappresentano la lunghezza e la capacità dell'impianto, rispettivamente; gli altri termini nell'equazione sono parametri fissati dal documento consultato. Si riportano di seguito i valori corrispondenti alle cabinovie trifune ad ammorsamento automatico.

$$A = 1,0712 E - 01$$

$$B = 2,6580 E + 03$$

$$C = 1,6350 E + 07$$

$$Q' = 3.000$$

$$Aq = 5,0843 E - 01$$

$$Bq = 2,2915 E + 03$$

Il Decreto preso in considerazione contempla inoltre alcuni incrementi in termini percentuali del valore  $P$  che dipendono da diverse caratteristiche dell'impianto progettato. Si prevede in prima istanza un incremento pari al 10% del costo  $P$  calcolato originalmente a causa del carattere urbano del servizio, e si contempla pure un incremento del 25% per ogni stazione intermedia presente nel tracciato.

Sempre sulla base del valore originale del costo  $P$ , viene definito il costo di altri lavori aggiuntivi alla costruzione, anch'essi in termini percentuali. Per i costi relativi alle opere elettromeccaniche si stabilisce una percentuale pari al 76.78%; invece, per quelli relativi alle opere edili viene attribuita una percentuale di 12.22%, mentre per i costi aggiuntivi di vario tipo si considera una percentuale pari all'11% del costo  $P$ .

È specificato anche dei minimi di garanzia per l'assicurazione della responsabilità civile per le linee funiviarie. Detto minimi è pari a circa 3.850.000 €.

Seguendo le linee guida stabilite dal Decreto referenziato, sono stati considerati altri componenti dell'impianto trascurati dal documento, ma ritenuti importanti per effettuare una descrizione dettagliata dei costi d'investimento. Si è quindi definito un valore in termini percentuali per il costo del deposito per le cabine (15%), nonché il costo in termini monetari dell'acquisto delle cabine stesse (60.000 €), ed infine un costo legato agli espropri da svolgere per costruire le stazioni (3.000.000 € per stazione).

Il valore delle cabine è stato definito secondo le informazioni contenute nell'Analisi dei costi della funivia aerea di Sollentuna, in Svezia (Zatran, 2017). Lì si trova il valore tipico di una cabina ad ammorsamento automatico per un impianto monofune, pari a 40.000 €; il valore individuato per questo elaborato di tesi considera la capacità maggiore delle cabine contemplate durante la progettazione del servizio, e anche l'utilizzo della tecnologia trifune. Gli espropri, da parte loro, ricevono il suo valore di costo considerando un costo medio del metro quadro in terreni edificabili nella zona (600 € per m<sup>2</sup>) e un'area media di occupazione a livello del suolo delle stazioni (5.000 m<sup>2</sup>).

La Tabella 9.1 contiene le voci rilevanti al calcolo dell'investimento totale in ognuno degli scenari valutati.

	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3		
	Linea Azzurra	Linea Viola	Linea Azzurra	Linea Viola	Linea Azzurra + Linea Viola
L [m]	3526	3294	3526	3294	-
Q [pax/h/d]	1100	1200	1300	1300	-
P	29 764 333.60 €	29 211 145.98 €	30 258 488.08 €	29 457 043.67 €	-
<b>P incrementato dal 10% - Servizio urbano</b>	<b>32 740 766.96 €</b>	<b>32 132 260.58 €</b>	<b>33 284 336.89 €</b>	<b>32 402 748.04 €</b>	-
Numero stazioni intermedie	4	3	4	3	-
25% - Ogni stazione intermedia	65 481 533.91 €	56 231 456.02 €	66 568 673.77 €	56 704 809.06 €	-
15% - Deposito cabine	4 911 115.04 €	4 819 839.09 €	4 992 650.53 €	4 860 412.21 €	-
76.78% - Opere elettromeccaniche	50 276 721.74 €	43 174 511.93 €	51 111 427.72 €	43 537 952.40 €	-
12.22% - Opere edili	8 001 843.44 €	6 871 483.93 €	8 134 691.94 €	6 929 327.67 €	-
11% - Costi aggiuntivi di vario tipo	7 202 968.73 €	6 185 460.16 €	7 322 554.12 €	6 237 529.00 €	-
<b>Costo di costruzione</b>	<b>135 874 182.86 €</b>	<b>117 282 751.13 €</b>	<b>138 129 998.08 €</b>	<b>118 270 030.33 €</b>	<b>256 400 028.41 €</b>
Imprevisti 10%	13 587 418.29 €	11 728 275.11 €	-	-	25 640 002.84 €
IVA 10%	13 587 418.29 €	11 728 275.11 €	-	-	25 640 002.84 €
Numero cabine (incluse quelle di riserva)	46	45	53	48	-
Costo cabine	2 760 000.00 €	2 700 000.00 €	3 180 000.00 €	2 880 000.00 €	6 060 000.00 €
Espropri	18 000 000.00 €	15 000 000.00 €	18 000 000.00 €	15 000 000.00 €	33 000 000.00 €
Assicurazioni	3 850 000.00 €	3 850 000.00 €	-	-	3 850 000.00 €
<b>INVESTIMENTO TOTALE</b>	<b>187 659 019.44 €</b>	<b>162 289 301.35 €</b>	<b>188 129 998.08 €</b>	<b>118 270 030.33 €</b>	<b>350 590 034.09 €</b>

Tabella 9.1: Costi di investimento per ognuno degli scenari valutati (Elaborazione propria).

Poi, il calcolo dei costi di operazione e manutenzione è stato realizzato facendo ragionamenti simili a quelli elencati nell'Analisi dei costi della funivia aerea di Sollentuna, in Svezia (Zatran, 2017). Si è quindi iniziato con la definizione dell'orario di operazione del sistema, essendo questo un dato di grande rilevanza per poter calcolare posteriormente il costo dell'energia elettrica consumata e quello relativo alla retribuzione del personale necessario per il corretto funzionamento dell'impianto. L'orario definito contempla l'apertura delle linee alle 6:00 e la loro chiusura alle 23:00, generando un totale di 17 ore al giorno dedicate all'operazione e 7 ore al giorno dedicate alla manutenzione.

Per quanto riguarda il consumo energetico, si è preso il dato relativo alle linee funiviarie aeree tipo trifune definito da Fickert et al. (2018), pari a 0.29 kWh/Pers. Per il prezzo

dell'energia elettrica, si è consultato il sito dell'Autorità di Regolazione di Energia Reti e Ambiente ARERA, dove si possono trovare delle tariffe standard per la fornitura di questo servizio. Invece, il calcolo del personale richiesto si fonda nelle quantità elencate dallo studio fatto da Zatrán (2017); un dato di grande rilevanza è quello che riguarda il numero di dipendenti di supporto all'utenza in stazione ed in capolinea: siccome la banchina in capolinea è continua, a differenza da quello che accade in stazione, dove esiste una banchina individuale per ogni direzione, il numero di addetti affidati al supporto dell'utenza è soltanto uno.

<i>Consumo energetico [kWh/pass]</i>	0.29
Massima capacità oraria [pass/h]	2400
Massima capacità giornaliera [pass/giorno]	40800
Massima capacità annuale [pass]	14688000
Consumo energetico annuale [kWh]	4259520
Costo energia (Trasmissione e distribuzione) [€/kWh]	0.09
<b>Costo energia annuale</b>	<b>383 356.80 €</b>

Tabella 9.2: Costi relativi al consumo annuo d'energia elettrica (Elaborazione propria).

Dipendente di supporto all'utenza in capolinea	1			
Dipendente di supporto all'utenza in stazione	2			
		<b>SCENARIO 1</b>	<b>SCENARIO 2</b>	<b>SCENARIO 3</b>
<i>Numero capolinee</i>	2	2	4	
<i>Numero stazioni</i>	4	3	7	
Dipendenti di supporto all'utenza in linea	10	8	18	
Operai tecnici	2	1	3	
Responsabile operazione	1	1	2	
Responsabile di gestione	1	1	1	

Tabella 9.3: Numero di dipendenti lavorando nel sistema per ogni scenario (Elaborazione propria).

Si considera anche l'operazione dell'impianto 360 giorni all'anno. Definendo inoltre il numero di ore per turno e il numero di giorni di ferie, è possibile calcolare il numero di ore di lavoro effettive per i dipendenti.

Ore operative	17
Ore manutenzione	7
Giorni operativi all'anno	360
Ore per turno giornaliero	8
Ore di lavoro settimanale	40
Ore di lavoro annuale	2880
Ferie	20
Giorni effettivi di lavoro settimanale	5
Giorni effettivi di lavoro annuale	238
Ore effettive di lavoro annuale	1904

Tabella 9.4: Calcolo di ore effettive di lavoro annuale per ogni dipendente (Elaborazione propria).

In questo modo si può ulteriormente calcolare il numero di addetti necessari per ogni ruolo lavorativo richiesto.

		SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Ore di lavoro operativo per settimana	Dipendenti di supporto all'utenza in linea	1190	952	2142
	Operai tecnici	238	119	357
	Responsabile operazione	119	119	238
	Responsabile di gestione	119	119	119
Ore di lavoro manutentivo per settimana	Dipendenti di supporto all'utenza in linea	0	0	0
	Operai tecnici	98	49	147
	Responsabile operazione	0	0	0
	Responsabile di gestione	49	49	49
Ore di lavoro totale per settimana	Dipendenti di supporto all'utenza in linea	1190	952	2142
	Operai tecnici	336	168	504
	Responsabile operazione	119	119	238
	Responsabile di gestione	168	168	168
Ore di lavoro totale per anno	Dipendenti di supporto all'utenza in linea	61880	49504	111384
	Operai tecnici	17472	8736	26208
	Responsabile operazione	6188	6188	12376
	Responsabile di gestione	8736	8736	8736
Personale richiesto	Dipendenti di supporto all'utenza in linea	32.50	26.00	58.50
	Operai tecnici	9.18	4.59	13.76
	Responsabile operazione	3.25	3.25	6.50
	Responsabile di gestione	4.59	4.59	4.59
Personale operativo	Dipendenti di supporto all'utenza in linea	33	26	59
	Operai tecnici	10	5	14
	Responsabile operazione	4	4	7
	Responsabile di gestione	5	5	5
	Assistente amministrativo	1	1	1
	Delegato unico operazione e manutenzione	1	1	1

Tabella 9.5: Calcolo del personale operativo necessario per il funzionamento annuo del sistema (Elaborazione propria).

In ultima istanza, viene calcolata la retribuzione annuale dei dipendenti.

	Stipendio mensile	Stipendio annuo
Dipendenti di supporto all'utenza in linea	1 400.00 €	18 200.00 €
Operai tecnici	1 400.00 €	18 200.00 €
Responsabile operazione	1 800.00 €	23 400.00 €
Responsabile di gestione	2 000.00 €	26 000.00 €
Assistente amministrativo	1 600.00 €	20 800.00 €
Delegato unico operazione e manutenzione	2 800.00 €	36 400.00 €

Tabella 9.6: Stipendi considerati per ogni ruolo (Elaborazione propria).

		SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Retribuzione annuale del personale	Dipendenti di supporto all'utenza in linea	600 600.00 €	473 200.00 €	1 073 800.00 €
	Operai tecnici	182 000.00 €	91 000.00 €	254 800.00 €
	Responsabile operazione	93 600.00 €	93 600.00 €	163 800.00 €
	Responsabile di gestione	130 000.00 €	130 000.00 €	130 000.00 €
	Assistente amministrativo	20 800.00 €	20 800.00 €	20 800.00 €
	Delegato unico operazione e manutenzione	36 400.00 €	36 400.00 €	36 400.00 €
	<b>TOTALE</b>	<b>1 063 400.00 €</b>	<b>845 000.00 €</b>	<b>1 679 600.00 €</b>

Tabella 9.7: Costi dovuti alla retribuzione annuale del personale (Elaborazione propria).

Insomma, i costi di operazione e manutenzione sono pari alla somma del costo dell'energia consumata, gli stipendi del personale, costi relativi al materiale manutentivo, uffici, servizi legali e contabili, tutto incrementato dal 15% prevedendo possibili imprevisti.

Materiale manutentivo	500 000.00 €
Uffici e altri spazi	250 000.00 €
Servizi legali/contabili	40 000.00 €
Altri	50 000.00 €

Tabella 9.8: Costi aggiuntivi (Elaborazione propria).

	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Subtotale Costi Annuali O&M	2 286 756.80 €	2 068 356.80 €	2 902 956.80 €
Imprevisti 15%	343 013.52 €	310 253.52 €	435 443.52 €
<b>TOTALE COSTI ANNUALI O&amp;M</b>	<b>2 629 770.32 €</b>	<b>2 378 610.32 €</b>	<b>3 338 400.32 €</b>

Tabella 9.9: Costi totali annuali di Operazione e Manutenzione (Elaborazione propria).

I ricavi tariffari fanno utilizzo del numero d'ingressi nell'ora di punta, ricavato nel Capitolo 8: "Simulazione", e anche della percentuale che rappresenta i viaggi nell'ora di punta rispetto ai viaggi giornalieri (9.4%). A partire da tali valori, si può calcolare il numero di ingressi giornaliero nel sistema, dal quale viene ricavato quello annuale al moltiplicare il valore precedente per i 360 giorni definiti per l'operazione dell'impianto. Infine, i ricavi tariffari annuali si ottengono moltiplicando il numero di ingressi annuali per la tariffa considerata.

			INGRESSI LINEE FUNIVIARIE			RICAVI
			Ora di Punta	Giornalieri	Annuali 2030	ANNUALI 2030
SCENARIO 1	Tariffa	0.50 €	2794	29724	10700640	<b>5 350 320.00 €</b>
		1.00 €	2725	28990	10436400	<b>10 436 400.00 €</b>
		1.50 €	2663	28330	10198800	<b>15 298 200.00 €</b>
		2.00 €	2610	27766	9995760	<b>19 991 520.00 €</b>
SCENARIO 2	Tariffa	0.50 €	1521	16181	5825160	<b>2 912 580.00 €</b>
		1.00 €	1480	15745	5668200	<b>5 668 200.00 €</b>
		1.50 €	1458	15511	5583960	<b>8 375 940.00 €</b>
		2.00 €	1438	15298	5507280	<b>11 014 560.00 €</b>
SCENARIO 3	Tariffa	0.50 €	4489	47756	17192160	<b>8 596 080.00 €</b>
		1.00 €	4372	46511	16743960	<b>16 743 960.00 €</b>
		1.50 €	4289	45628	16426080	<b>24 639 120.00 €</b>
		2.00 €	4221	44905	16165800	<b>32 331 600.00 €</b>

Tabella 9.10: Ricavi finanziari per ogni tariffa in ogni scenario (Elaborazione propria).



Per ultimo, il bilancio finanziario contempla due parametri di grande importanza. Il primo è il tasso d'interesse annuo per prestiti bancari, pari a 1.25%, ricavato analizzando delle statistiche bancarie storiche pubblicate dalla Banca d'Italia. Il secondo parametro importante è il tasso di attualizzazione, necessario per effettuare il calcolo del Valore Attuale Netto in ogni scenario; in questo caso, il valore per questo parametro proviene dal Decreto 30 dicembre 2020 del Ministero dello Sviluppo Economico "Aggiornamento del tasso da applicare per le operazioni di attualizzazione e rivalutazione ai fini della concessione ed erogazione delle agevolazioni a favore delle imprese", dove si stipula che il tasso di attualizzazione è pari a 0.55%.

Nel bilancio finanziario viene considerata la quota di ammortamento annuale relativa a un prestito iniziale pari al 100% del costo d'investimento del progetto. Tale quota ovviamente fa parte del bilancio finanziario, inclusa nei costi di operazione e manutenzione. Vengono anche considerati degli ingressi aggiuntivi provenienti dall'affitto di aree commerciali e dalla pubblicità esibita nel sistema. Il primo componente ha un'importanza molto notevole in questo tipo d'impianti a causa della stessa natura dell'infrastruttura che lo compone. Essendo ogni stazione proprio un edificio che utilizza unicamente la parte superiore per il servizio di trasporto, logicamente c'è la possibilità di usufruire della grande quantità di spazi sotto per metterli a disposizione dell'uso commerciale. Considerando un'area media di 2500 m<sup>2</sup> destinata ai negozi in ogni stazione, i quali vengono affittati a una tariffa media di circa 18 € al metro quadro (media delle tariffe di affitto di aree ad uso commerciale nell'area di studio nel 2021, ricavata dal sito <https://www.mercato-immobiliare.info/>), si ottengono valori annuali d'ingressi aggiuntivi che superano il milione di euro.

	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Prestito - 100%	187 659 019.44 €	162 289 301.35 €	350 590 034.09 €
Tasso d'interesse annuo	1.25%	1.25%	1.25%
Periodo di ammortamento [anni]	25	25	25
<b>Quota di ammortamento</b>	<b>8 786 658.19 €</b>	<b>7 598 785.41 €</b>	<b>16 415 490.19 €</b>

Tabella 9.11: Quota di ammortamento annuale per un prestito pari al 100% dei costi di investimento in ogni scenario (Elaborazione propria).

	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Affitto locali commerciali	2 169 000.00 €	1 626 750.00 €	3 795 750.00 €
Pubblicità	150 000.00 €	150 000.00 €	150 000.00 €
<b>Totale</b>	<b>2 319 000.00 €</b>	<b>1 776 750.00 €</b>	<b>3 945 750.00 €</b>

Tabella 9.12: Ingressi aggiuntivi in ogni scenario (Elaborazione propria).

Di seguito si presentano i bilanci finanziari per ogni scenario con ogni tariffa considerata (12 bilanci in totale). In ognuno di essi è stato calcolato il Valore Attuale Netto per il periodo di analisi, pari a 25 anni, e, soltanto per quelle situazioni in cui il VAN è positivo, si è calcolato pure il Saggio di Rendimento Interno.



ANNO	Costi Investimento	Costi Operazione e Manutenzione	COSTI TOTALI	Ricavi tariffari	Ingressi aggiuntivi	BENEFICI TOTALI	BENEFICI NETTI	VAN	Anno di operazione
2028	93 829 509.72 €	- €	93 829 509.72 €	- €	- €	- €	- 93 829 509.72 €	- 94 345 572.02 €	-1
2029	93 829 509.72 €	- €	93 829 509.72 €	- €	- €	- €	- 93 829 509.72 €	- 93 829 509.72 €	0
2030	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 834 501.73 €	1
2031	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 775 237.93 €	2
2032	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 716 298.29 €	3
2033	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 657 681.04 €	4
2034	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 599 384.43 €	5
2035	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 541 406.69 €	6
2036	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 483 746.09 €	7
2037	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 426 400.88 €	8
2038	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 369 369.35 €	9
2039	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 312 649.78 €	10
2040	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 256 240.45 €	11
2041	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 200 139.68 €	12
2042	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 144 345.78 €	13
2043	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 088 857.07 €	14
2044	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	10 033 671.87 €	15
2045	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 978 788.54 €	16
2046	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 924 205.41 €	17
2047	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 869 920.84 €	18
2048	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 815 933.21 €	19
2049	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 762 240.88 €	20
2050	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 708 842.25 €	21
2051	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 655 735.71 €	22
2052	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 602 919.65 €	23
2053	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 550 392.49 €	24
2054	- €	11 416 428.51 €	11 416 428.51 €	19 991 520.00 €	2 319 000.00 €	22 310 520.00 €	10 894 091.49 €	9 498 152.65 €	25
								<b>VAN</b>	<b>65 631 980.94 €</b>
								<b>SRI</b>	<b>2.97%</b>

Tabella 9.16: Bilancio finanziario dello Scenario 1 – Tariffa 2.00€ (Elaborazione propria).

ANNO	Costi Investimento	Costi Operazione e Manutenzione	COSTI TOTALI	Ricavi tariffari	Ingressi aggiuntivi	BENEFICI TOTALI	BENEFICI NETTI	VAN	Anno di operazione
2028	81 144 650.68 €	- €	81 144 650.68 €	- €	- €	- €	- 81 144 650.68 €	- 81 590 946.25 €	-1
2029	81 144 650.68 €	- €	81 144 650.68 €	- €	- €	- €	- 81 144 650.68 €	- 81 144 650.68 €	0
2030	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 259 140.45 €	1
2031	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 230 373.40 €	2
2032	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 201 763.70 €	3
2033	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 173 310.49 €	4
2034	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 145 012.92 €	5
2035	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 116 870.13 €	6
2036	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 088 881.29 €	7
2037	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 061 045.54 €	8
2038	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 033 362.05 €	9
2039	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	5 005 829.98 €	10
2040	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 978 448.51 €	11
2041	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 951 216.82 €	12
2042	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 924 134.08 €	13
2043	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 897 199.49 €	14
2044	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 870 412.22 €	15
2045	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 843 771.48 €	16
2046	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 817 276.46 €	17
2047	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 790 926.36 €	18
2048	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 764 720.40 €	19
2049	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 738 657.78 €	20
2050	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 712 737.72 €	21
2051	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 686 959.45 €	22
2052	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 661 322.17 €	23
2053	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 635 825.14 €	24
2054	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	2 912 580.00 €	1 776 750.00 €	4 689 330.00 €	5 288 065.73 €	4 610 467.57 €	25
								<b>VAN</b>	<b>- 285 935 262.53 €</b>

Tabella 9.17: Bilancio finanziario dello Scenario 2 – Tariffa 0.50€ (Elaborazione propria).

ANNO	Costi Investimento	Costi Operazione e Manutenzione	COSTI TOTALI	Ricavi tariffari	Ingressi aggiuntivi	BENEFICI TOTALI	BENEFICI NETTI	VAN	Anno di operazione
2028	81 144 650.68 €	- €	81 144 650.68 €	- €	- €	- €	- 81 144 650.68 €	- 81 590 946.25 €	-1
2029	81 144 650.68 €	- €	81 144 650.68 €	- €	- €	- €	- 81 144 650.68 €	- 81 144 650.68 €	0
2030	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 518 593.46 €	1
2031	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 504 816.97 €	2
2032	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 491 115.83 €	3
2033	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 477 489.64 €	4
2034	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 463 937.98 €	5
2035	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 450 460.45 €	6
2036	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 437 056.64 €	7
2037	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 423 726.14 €	8
2038	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 410 468.56 €	9
2039	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 397 283.51 €	10
2040	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 384 170.57 €	11
2041	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 371 129.36 €	12
2042	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 358 159.48 €	13
2043	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 345 260.55 €	14
2044	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 332 432.17 €	15
2045	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 319 673.96 €	16
2046	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 306 985.54 €	17
2047	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 294 366.53 €	18
2048	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 281 816.53 €	19
2049	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 444 950.00 €	2 532 445.73 €	2 269 335.19 €	20
2050	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	5 668 200.00 €	1 776 750.00 €	7 4			

ANNO	Costi Investimento	Costi Operazione e Manutenzione	COSTI TOTALI	Ricavi tariffari	Ingressi aggiuntivi	BENEFICI TOTALI	BENEFICI NETTI	VAN	Anno di operazione
2028	81 144 650.68 €	- €	81 144 650.68 €	- €	- €	- €	- 81 144 650.68 €	- 81 590 946.25 €	-1
2029	81 144 650.68 €	- €	81 144 650.68 €	- €	- €	- €	- 81 144 650.68 €	- 81 144 650.68 €	0
2030	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	174 335.43 €	1
2031	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	173 381.83 €	2
2032	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	172 433.45 €	3
2033	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	171 490.25 €	4
2034	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	170 552.21 €	5
2035	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	169 619.31 €	6
2036	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	168 691.50 €	7
2037	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	167 768.77 €	8
2038	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	166 851.09 €	9
2039	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	165 938.43 €	10
2040	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	165 030.76 €	11
2041	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	164 128.06 €	12
2042	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	163 230.29 €	13
2043	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	162 337.44 €	14
2044	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	161 449.46 €	15
2045	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	160 566.35 €	16
2046	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	159 688.06 €	17
2047	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	158 814.58 €	18
2048	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	157 945.88 €	19
2049	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	157 081.93 €	20
2050	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	156 222.71 €	21
2051	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	155 368.18 €	22
2052	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	154 518.33 €	23
2053	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	153 673.13 €	24
2054	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	8 375 940.00 €	1 776 750.00 €	10 152 690.00 €	175 294.27 €	152 832.55 €	25
								<b>VAN</b>	<b>- 158 651 646.94 €</b>

Tabella 9.19: Bilancio finanziario dello Scenario 2 – Tariffa 1.50€ (Elaborazione propria).

ANNO	Costi Investimento	Costi Operazione e Manutenzione	COSTI TOTALI	Ricavi tariffari	Ingressi aggiuntivi	BENEFICI TOTALI	BENEFICI NETTI	VAN	Anno di operazione
2028	81 144 650.68 €	- €	81 144 650.68 €	- €	- €	- €	- 81 144 650.68 €	- 81 590 946.25 €	-1
2029	81 144 650.68 €	- €	81 144 650.68 €	- €	- €	- €	- 81 144 650.68 €	- 81 144 650.68 €	0
2030	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 798 522.40 €	1
2031	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 783 214.72 €	2
2032	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 767 990.77 €	3
2033	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 752 850.10 €	4
2034	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 737 792.24 €	5
2035	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 722 816.75 €	6
2036	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 707 923.17 €	7
2037	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 693 111.06 €	8
2038	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 678 379.97 €	9
2039	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 663 729.46 €	10
2040	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 649 159.08 €	11
2041	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 634 668.40 €	12
2042	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 620 256.99 €	13
2043	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 605 924.41 €	14
2044	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 591 670.22 €	15
2045	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 577 494.00 €	16
2046	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 563 395.33 €	17
2047	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 549 373.77 €	18
2048	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 535 428.91 €	19
2049	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 521 560.33 €	20
2050	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 507 767.61 €	21
2051	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 494 050.33 €	22
2052	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 480 408.09 €	23
2053	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 466 840.47 €	24
2054	- €	9 977 395.73 €	9 977 395.73 €	11 014 560.00 €	1 776 750.00 €	12 791 310.00 €	2 813 914.27 €	2 453 347.06 €	25
								<b>VAN</b>	<b>- 97 177 921.29 €</b>

Tabella 9.20: Bilancio finanziario dello Scenario 2 – Tariffa 2.00€ (Elaborazione propria).

ANNO	Costi Investimento	Costi Operazione e Manutenzione	COSTI TOTALI	Ricavi tariffari	Ingressi aggiuntivi	BENEFICI TOTALI	BENEFICI NETTI	VAN	Anno di operazione
2027	116 863 344.70 €	- €	116 863 344.70 €	- €	- €	- €	- 116 863 344.70 €	- 118 152 376.61 €	-2
2028	116 863 344.70 €	- €	116 863 344.70 €	- €	- €	- €	- 116 863 344.70 €	- 117 506 093.09 €	-1
2029	116 863 344.70 €	- €	116 863 344.70 €	- €	- €	- €	- 116 863 344.70 €	- 116 863 344.70 €	0
2030	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	7 172 611.15 €	1
2031	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	7 133 377.57 €	2
2032	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	7 094 358.60 €	3
2033	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	7 055 553.06 €	4
2034	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	7 016 959.78 €	5
2035	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 978 577.60 €	6
2036	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 940 405.37 €	7
2037	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 902 441.94 €	8
2038	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 864 686.17 €	9
2039	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 827 136.92 €	10
2040	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 789 793.05 €	11
2041	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 752 653.46 €	12
2042	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 715 717.02 €	13
2043	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 678 982.61 €	14
2044	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 642 449.14 €	15
2045	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 606 115.51 €	16
2046	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 569 980.61 €	17
2047	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 534 043.38 €	18
2048	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 498 302.71 €	19
2049	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541 830.00 €	7 212 060.51 €	6 462 757.54 €	20
2050	- €	19 753 890.51 €	19 753 890.51 €	8 596 080.00 €	3 945 750.00 €	12 541			



Dai risultati ottenuti, si può dire in prima istanza che la migliore alternativa in termini finanziari è quella descritta dallo Scenario 1 con una tariffa fissata nei 2.00€. Oltre ad essere quella con il maggiore Valore Attuale Netto dopo 25 anni, il suo Saggio di Rendimento Interno è anche il maggiore, indicando il suo carattere vantaggioso per quanto riguarda l'ambito finanziario.

## 10. CONCLUSIONI

Tutte le fasi di analisi e calcolo svolte finora forniscono una vista integra dei vantaggi e svantaggi legati all'implementazione di una linea funiviaria aerea nell'area del Quartiere Bovisa, a Nord-Ovest del centro di Milano. Soprattutto la simulazione e l'analisi finanziaria permettono di affermare che è proprio fattibile svolgere la progettazione di un servizio attrattivo per l'utenza e proficuo in termini monetari facendo utilizzo delle funivie aeree, tenendo conto però della necessità d'adempimento di certe condizioni, più specificamente la tariffa da implementare.

La fase di simulazione è stata molto utile per apprezzare l'attrattività del mezzo di trasporto in una zona dove le connessioni vengono spesso ostacolate dalle barriere che creano le ferrovie lì presenti. Un mezzo che fornisce collegamenti diretti, percorsi ad una velocità maggiore di quella caratteristica dei mezzi tradizionali (bus, tram), rappresenta insomma un'alternativa molto favorevole per l'utenza della zona. Nello stesso modo, il tracciato progettato, e più precisamente, l'agevolazione degli scambi con altri mezzi derivata dal corretto posizionamento delle stazioni nell'area di studio, acquisisce una rilevanza straordinaria nell'attrazione dell'utenza; una stazione collegata alla stazione ferroviaria di Bovisa ha dimostrato di produrre dei flussi di viaggiatori sulle linee funiviarie molto notevoli.

Da parte sua, l'analisi finanziaria ha permesso di capire sia gli ordini di grandezza degli investimenti, sia l'obbligatorietà di fissare una certa tariffa per riuscire a ricavare un profitto dal progetto. Dalla prima osservazione, risulta evidente che i costi d'investimento sono piuttosto ridotti per l'implementazione di un progetto di trasporto con queste caratteristiche in questo settore della città; ad esempio, il PUMS di 2015 menziona un investimento pari a 80 milioni di euro soltanto per le opere di scavalco della stazione ferroviaria di Bovisa, necessarie per lo sviluppo integro della linea tranviaria 7. Dalla seconda, invece, quello che si può concludere è che l'aumento della tariffa, anche se ridotto, può far diventare un progetto molto redditivo, e quindi, bisogna sempre studiare a profondità gli effetti nel bilancio finanziario provocati dalle variazioni in questo ambito.

A questo punto, bisogna menzionare che l'esistenza degli abbonamenti nel sistema tariffario della rete di trasporto pubblico locale dell'area metropolitana di Milano potrebbe far variare i risultati dei bilanci finanziari. Tuttavia, l'analisi dei ricavi tariffari attraverso questo tipo di biglietto comprende lo studio della rete complessiva di trasporto pubblico coperta da esso, andando così oltre il campo di osservazione di questa tesi.

Un altro aspetto degno di considerazione proveniente dall'analisi finanziaria è quello relativo alla generazione d'ingressi aggiuntivi con lo sfruttamento degli spazi generati dalla semplice costruzione delle stazioni. Siccome esse consistono proprio in edifici, la cui zona superiore è l'unica usata specificamente per fornire il servizio di trasporto pubblico, c'è una frazione importante dell'area costruita all'interno della struttura che può essere approfittata dal settore commerciale. Insomma, la sola costruzione dell'impianto genera un'enorme quantità di spazi disponibili per l'affitto, dai quali è possibile ottenere posteriormente una quantità notevole di ricavi che beneficiano senza dubbio le finanze dell'ente responsabile del progetto. Questa è

una delle caratteristiche proprie delle funivie aeree che le permettono di distinguersi tra altri mezzi di trasporto.

Ne vale la pena anche indicare sia i vantaggi che le difficoltà legate alla realizzazione di un'analisi economica. Per quanto riguarda i vantaggi, l'esecuzione di uno studio di questo genere permetterebbe di avere una visione molto più completa dell'influenza che ha ognuna delle alternative proposte per la fornitura del servizio di trasporto pubblico con le funivie aeree. Tuttavia, ci sono elementi che fanno parte di questa analisi abbastanza complessi per essere individuati correttamente; definire gli effetti in termini monetari del progetto sul risparmio di tempo degli utenti, la riduzione dell'emissione di sostanze inquinanti dentro la città, la congestione e incidentalità stradale, lo sviluppo urbanistico sostenibile, la crescita dell'attrattività turistica, tra tanti altri aspetti, comporta la considerazione di argomenti fuori il campo di studio dell'ingegneria dei trasporti.

Un altro aspetto da risaltare è quello relativo all'accoppiamento del sistema funiviario con altri progetti rilevanti nell'area di studio. Attraverso la simulazione si è potuto dimostrare un funzionamento ottimo assieme alle proposte descritte dal PUMS, dopo aver fatto però la considerazione appunto dell'operazione congiunta tra le future linee tranviarie (soprattutto la linea 7) e le linee funiviarie progettate. Resta ancora incerto l'adattamento dell'infrastruttura funiviaria aerea al progetto recentemente approvato di Reinventing Cities, anche se tale analisi sarebbe legata più che altro alle questioni di sviluppo urbanistico attorno alla stazione ferroviaria di Bovisa.

Per ultimo, risulta importante considerare il fatto che l'inserimento di un'infrastruttura di questo genere all'interno di una zona urbana comporta un impatto sulla zona in questione che coinvolge elementi di carattere legale, psicologici, sociologici, paesaggistici, tra gli altri. Essi, sebbene non facciano parte dell'ambito ingegneristico, devono essere studiati molto dettagliatamente allo scopo di stabilire una relazione ottima tra l'infrastruttura, l'utenza e l'ambiente in cui entrambe si trovano.

Infine, dalla presenza di un numero importante di barriere antropiche, la mancanza di collegamenti veloci con linee di trasporto pubblico, la domanda di trasporto esistente nei quartieri studiati, la disponibilità di spazio per lo sviluppo urbanistico, e il carattere vantaggioso in termini finanziari delle funivie aeree, si può affermare che l'inserimento di questo mezzo di trasporto nella rete TPL attualmente esistente nell'area di studio potrebbe fornire numerosi vantaggi nell'ambito della mobilità, dello sviluppo urbanistico e della sostenibilità ambientale.



## 11. BIBLIOGRAFIA

Alshalafah, B., Shalaby, A., Dale, S., Othman, F.M.Y. (2012). Aerial Ropeway Transportation Systems in the Urban Environment: State of the Art. *Journal of Transportation Engineering*, 138(2), 253-262.

Alshalafah, B., Shalaby, A., Dale, S., Othman, F.M.Y. (2013). Improvements and Innovations in Aerial Ropeway Transportation Technologies: Observations from Recent Implementations. *Journal of Transportation Engineering*, 139(8), 814-821.

Banca d'Italia (2021). Banche e Istituzioni Finanziarie: Condizioni e Rischiosità del Credito per Settori e Territori. Ricuperato il 01/07/2021 da: [https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/condizioni-rischiosita/2021-condizioni-rischiosita/statistiche\\_STACORIS\\_20210630.pdf](https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/condizioni-rischiosita/2021-condizioni-rischiosita/statistiche_STACORIS_20210630.pdf)

Comune di Milano (2015). Piano Urbano Mobilità Sostenibile PUMS Milano – Documento di Piano.

Comune di Milano (2017). Documento di Visione Strategica Scali Ferroviari. Ricuperato il 18/06/2021 da: <https://www.comune.milano.it/documents/20126/5272437/Documento+di+Visione+Strategica.pdf/7e2005c4-0e95-9feb-cb4c-7f8113163f1b?t=1572450187746>

Comune di Milano (2019). Piano di Governo del Territorio PGT – Documento di Piano: Milano 2030. Visione, Costruzione, Strategie, Spazi.

Comune di Milano, Ufficio Stampa (2021, 12 giugno). Reinventing cities. Nodo Bovisa, un laboratorio urbano per la mobilità sostenibile e integrata vivo 7 giorni su 7. Ricuperato il 13/06/2021 da: [https://www.comune.milano.it/-/nodo-bovisa-il-progetto-di-reinventing-cities?fbclid=IwAR0zwBBSCy\\_wuLABMXh3cWwfwGsk9yu1ZAdwp9bcLjR-TM3uS-Hb8FpTEHk](https://www.comune.milano.it/-/nodo-bovisa-il-progetto-di-reinventing-cities?fbclid=IwAR0zwBBSCy_wuLABMXh3cWwfwGsk9yu1ZAdwp9bcLjR-TM3uS-Hb8FpTEHk)

Decreto del Presidente della Provincia 13 novembre 2006, n. 611 [Provincia Autonoma di Bolzano Alto Adige]. Regolamento di esecuzione circa la costruzione e l'esercizio di impianti a fune in servizio pubblico. Ricuperato il 01/07/2021 da: [http://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/it/dpgp-2006-61/decreto\\_del\\_presidente\\_della\\_provincia\\_13\\_novembre\\_2006\\_n\\_61.aspx?view=1#nota20](http://lexbrowser.provinz.bz.it/doc/it/dpgp-2006-61/decreto_del_presidente_della_provincia_13_novembre_2006_n_61.aspx?view=1#nota20)

Decreto 30 dicembre 2020 [Ministero dello Sviluppo Economico]. Aggiornamento del tasso da applicare per le operazioni di attualizzazione e rivalutazione ai fini della concessione ed erogazione delle agevolazioni a favore delle imprese. Ricuperato il 01/07/2021 da: [https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie\\_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2021-01-28&atto.codiceRedazionale=21A00377&elenco30giorni=true](https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2021-01-28&atto.codiceRedazionale=21A00377&elenco30giorni=true)

Deliberazione 21 dicembre 2020 [Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente]. Aggiornamento delle tariffe per l'erogazione del servizio di trasmissione dell'energia elettrica per l'anno 2021. Ricuperato il 01/07/2021 da: <https://www.arera.it/allegati/docs/20/565-20.pdf>

Fickert, L., Zhang, Z., Qian, C., Luo, Y. (2018). Discussion on the Energy Efficiency and Electrotechnical Questions of Urban Cable Car System. Ricuperato il 24/06/2021 da: [https://www.researchgate.net/publication/324117699\\_Discussion\\_on\\_the\\_Energy\\_Efficiency\\_and\\_Electrotechnical\\_Questions\\_of\\_Urban\\_Cable\\_Car\\_System](https://www.researchgate.net/publication/324117699_Discussion_on_the_Energy_Efficiency_and_Electrotechnical_Questions_of_Urban_Cable_Car_System)

Garsous, G., Suárez-Alemán, A., Serebrisky, T. (2017). Cable cars in urban transport: Travel time savings from La Paz-El Alto (Bolivia). *Transport Policy*, 75 (2019), 171-182.

Nuessgen, M. (2015). Urban Ropeways in Europe, creating opportunities for urban development. Ricuperato il 17/11/2020 da: [https://www.researchgate.net/publication/283266715\\_Urban\\_Ropeways\\_in\\_Europe\\_creating\\_opportunities\\_for\\_urban\\_development](https://www.researchgate.net/publication/283266715_Urban_Ropeways_in_Europe_creating_opportunities_for_urban_development)

O'Connor, R., Dale, S. (2012). Urban Gondolas, Aerial Ropeways and Public Transportation: Past Mistakes & Future Strategies. Ricuperato il 21/10/2020 da: <http://www.oitaf.org/Kongress%202011/Referate/O'Connor%20-%20Dale%2001-2012.pdf>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Urbanization Prospects 2018: Highlights (ST/ESA/SER.A/421).

Zatran (2017). Sollentuna Cable Car. Budget Costs Memo. Ricuperato il 25/06/2021 da: <https://www.sollentuna.se/globalassets/bilaga-1.1-kostnadsuppskattning-investering-drift-och-underhall.pdf>