

Scuola di Ingegneria Civile Ambientale e Territoriale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
- Or. Infrastrutture di Trasporto –



POLITECNICO
MILANO 1863

*Ottimizzazione del posizionamento delle stazioni
di un servizio di car sharing: uno strumento a
supporto del decision maker*

Tesi di Laurea magistrale di:

Fabio Vellata 945879

Relatore: Prof. Roberto Maja

Correlatore: Ing. Valerio Paruscio

Correlatrice: Ing. Paola Tresca

Anno accademico 2020/2021

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il professor Maja che mi ha seguito ed aiutato nella stesura dell'elaborato, oltre ad avermi trasmesso la passione per le materie insegnate durante il percorso di laurea magistrale.

Ringrazio i colleghi di Poliedra che mi hanno permesso di sostenere il tirocinio da loro. Un grazie particolare va a Paola e Valerio, miei correlatori, che mi hanno pazientemente seguito ed aiutato durante tutto il percorso di elaborazione e stesura della tesi mostrandosi sempre disponibili e pronti a risolvere i miei dubbi e le mie incertezze.

Un grazie speciale va alla mia famiglia che mi ha sempre spinto a studiare quello che mi appassiona e che ha giocato un ruolo di incondizionato supporto anche nei momenti più difficili di questo mio percorso. Mi scuso, inoltre, con mia mamma alla quale in questi cinque anni non ho mai voluto riferire le date degli esami che ho sostenuto venendo a sapere il tutto solo a cose fatte.

Ringrazio i miei compagni e amici conosciuti durante il mio percorso universitario con i quali ho condiviso questi anni di studio ma soprattutto di divertimento e complicità.

Un ringraziamento particolare va, infine, ai miei amici di una vita, a mio cugino e a mia sorella che, nonostante le preoccupazioni personali, hanno saputo e trovato il modo di supportarmi durante tutto il mio percorso restando sempre al mio fianco.

SOMMARIO

Il servizio di car sharing ha assunto ormai un ruolo importante nell'ambito della mobilità urbana dei cittadini ma presenta, nella città di Milano, ancora delle problematiche irrisolte quali la definizione di un modello di domanda affidabile e che permetta di avere il dato distribuito sulle diverse aree della città, e un sistema di posizionamento delle stazioni che tenga conto degli interessi in gioco.

Ho sviluppato lo studio partendo dalle premesse del progetto europeo nuMIDAS che si pone come obiettivo di costruire nuovi modelli e strumenti per la risoluzione dei problemi riscontrati nell'analisi di alcuni servizi emergenti in ambito urbano, come i servizi in sharing, utilizzando i dati già a disposizione delle città.

Per la risoluzione, ho proposto una metodologia di indagine e di analisi dei dati che prevede la suddivisione dell'area di studio in celle in modo tale da poter avere una maggiore variabilità all'interno della municipalità dei dati raccolti. Ogni cella è caratterizzata dalle informazioni utili per la definizione della domanda e accessibili al pubblico. Le variabili considerate sono state scelte tra quelle indicate dalla ricerca di letteratura condotta e riportata nell'elaborato. I dati relativi ai viaggi effettuati sulla città di Milano, forniti da AMAT, vengono rappresentati in formato geografico e vengono elaborati ed analizzati per renderli compatibili con la suddivisione proposta. Segue la formulazione e la calibrazione di alcuni modelli di domanda lineari con le informazioni disponibili. Infine, è stato costruito uno strumento che permette il posizionamento ottimale delle stazioni a partire dal calcolo di un indice di classificazione assegnato alle celle.

Ciò che emerge dallo studio, è la definizione di un quadro delle caratteristiche fondamentali per la valutazione della domanda di trasporto del servizio e uno strumento di supporto al decision maker utile per definire la posizione delle stazioni al variare degli interessi in gioco, il tutto elaborato attraverso una metodologia di analisi e di rappresentazione replicabile in ulteriori casi di studio.

ABSTRACT

Nowadays car sharing plays an important role for the urban mobility but it still has, in Milan, some issues as the definition of a reliable demand model in order to obtain this information as spread as possible through the city, and a tool to locate new station of the service considering the different interests.

The work starts from the purposes of the European nuMIDAS project where the target is the development of new models and tools to solve the problems the municipalities came up with, using data already available.

In order to solve the problems, I proposed to use a particular methodology to analyse the data. It considers the urban area divided in a regular grid in order to have a higher variability through the city of the collected data. Every cell is characterized by some useful variables, which are available on the municipal database, to define a higher or lower level of demand. I selected the attributes according to the consulted literature reported in this study. The data concerning the trips made by car sharing in Milan, given by AMAT, have been represented in a geographic format and analysed in order to make them compatible to the subdivision proposed. Afterwards, I formulated and calibrated the linear models using the available information. The last elaboration is about the development of the optimization tool for locating new station of the service. This step required the evaluation of a specific index to classify every cell.

What is important to highlight is the definition of a framework concerning all the fundamental variables to evaluate the potential travel demand of the service and a useful tool to locate the new station according to the different interests. Furthermore, the methodology used to elaborate and represent the data is valid and could be applied to analyse other similar study case.

INDICE

<i>RINGRAZIAMENTI</i>	III
SOMMARIO	V
ABSTRACT	VII
INDICE DELLE FIGURE	XI
INDICE DELLE TABELLE	XIII
INTRODUZIONE	1
1 PROGETTO NUMIDAS E CAR SHARING	4
1.1 <i>Progetto nuMIDAS</i>	4
1.2 <i>Car sharing</i>	8
1.3 <i>Car sharing a Milano</i>	11
2 RICERCA ED ELABORAZIONE DEI DATI	15
2.1 <i>Variabili del car sharing</i>	15
2.2 <i>Dati disponibili e modello GIS</i>	21
2.3 <i>Elaborazioni dei dati disponibili</i>	25
2.4 <i>Matrice origine e destinazione</i>	32
3 ANALISI DEI DATI DEL CAR SHARING	36
3.1 <i>Analisi generali</i>	36
3.2 <i>Viaggi in car sharing</i>	42
3.3 <i>Viaggi Round-trip</i>	47
3.4 <i>Spostamenti prevalenti</i>	50
3.4.1 <i>Da Area C</i>	51
3.4.2 <i>Ad Area C</i>	53
3.4.3 <i>Zone esterne ad area C</i>	54
3.5 <i>Relazione tra viaggi e caratteristiche socioeconomiche</i>	57
4 MODELLO DI STIMA DELLA DOMANDA	61
4.1 <i>Correlazioni</i>	61
4.1.1 <i>Totale viaggi in car sharing</i>	63
4.1.2 <i>Viaggi one way</i>	65
4.1.3 <i>Viaggi round-trip</i>	65

4.2	<i>Definizione e calibrazione dei modelli lineari</i>	66
4.2.1	Modello generico	68
4.2.2	Modello one way	70
4.2.3	Modello round-trip	72
4.3	<i>Formulazione dell'indice</i>	74
4.3.1	Geometria utilizzata	74
4.3.2	Scelta degli attributi	76
4.3.3	Assegnazione dei coefficienti	78
4.4	<i>Analisi di sensitività dell'indice</i>	80
5	POSIZIONAMENTO DELLE STAZIONI	87
5.1	<i>Modello di ottimizzazione delle stazioni</i>	87
5.1.1	Variabili decisionali	88
5.1.2	Obiettivo	88
5.1.3	Numero massimo di stazioni	89
5.1.4	Distanza minima tra due nuove stazioni	90
5.1.5	Distanza minima dalle stazioni esistenti	91
5.2	<i>Scenari analizzati</i>	92
5.2.1	Scenario 0	93
5.2.2	Scenario 1	94
5.2.3	Scenario 2	97
5.2.4	Scenario 3	99
6	CONCLUSIONI	101
	BIBLIOGRAFIA	109
	ALLEGATO A	112
	ALLEGATO B	114
	ALLEGATO C	119
	ALLEGATO D	125

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1: Logo del progetto nuMIDAS	5
Figura 1.2: Rappresentazione delle diverse modalità di car sharing.....	10
Figura 2.1: Suddivisione in NIL del comune di Milano	22
Figura 2.2: Rappresentazione della suddivisione in griglia dell'area di studio. La mappa di calore rappresenta la variazione della densità abitativa all'interno della municipalità.....	26
Figura 2.3: Rappresentazione dei valori di Reddito sul territorio cittadino.....	29
Figura 2.4: Rappresentazione della percentuale di residenti di età tra i 18 e i 40 anni.....	30
Figura 2.5: Rappresentazione della percentuale di residenti in possesso di titolo universitario	31
Figura 2.6: Rappresentazione delle stazioni del servizio di car sharing round-trip.....	32
Figura 2.7: Mappa di calore relativa alle origini dei viaggi pendolari.....	33
Figura 2.8: Mappa di calore relativa alle destinazioni dei viaggi pendolari	34
Figura 3.1: Andamento mensile dei viaggi effettuati in origine con il car sharing.....	37
Figura 3.2: Andamento orario dei viaggi effettuati con il car sharing rispetto all'orario di inizio noleggio ...	38
Figura 3.3: Andamento orario dei viaggi effettuati con il car sharing rispetto all'orario di riconsegna	39
Figura 3.4: Andamento settimanale dei viaggi effettuati con il car sharing.	41
Figura 3.5: Tempo di viaggio degli spostamenti effettuati con il car sharing	42
Figura 3.6: km percorsi dagli spostamenti effettuati con il car sharing.	42
Figura 3.7: Mappa di calore dei viaggi effettuati con il car sharing - Origini.	44
Figura 3.8: Mappa di calore dei viaggi effettuati con il car sharing - Destinazioni.....	44
Figura 3.9: 100 spostamenti più frequenti effettuati con il car sharing – Viaggi round-trip	46
Figura 3.10: 100 spostamenti più frequenti effettuati con il car sharing – Viaggi one way	46
Figura 3.11: Mappa di calore dei viaggi round-trip.....	47
Figura 3.12: Mappa dei viaggi effettuati con car sharing station-based round-trip attivo nel comune di Milano	49
Figura 3.13: Andamento orario dei noleggi in modalità station-based round-trip rispetto all'orario di inizio e fine noleggio.....	50
Figura 3.14: Mappa di calore dei viaggi verso area C – Destinazioni.....	52
Figura 3.15: Andamento orario dei prelievi di car sharing nel caso di viaggi da area C.	52
Figura 3.16: Mappa di calore dei viaggi verso area C – Origini.....	53
Figura 3.17: Andamento orario dei prelievi di car sharing nel caso di viaggi verso area C.	54
Figura 3.18: Mappa di calore dei viaggi effettuati esternamente ad Area C - Origini.....	55
Figura 3.19: Mappa di calore dei viaggi effettuati esternamente ad Area C - Destinazioni.	55
Figura 3.20: Viaggi esterni ad area C con origine e destinazione nella stessa cella.	56
Figura 3.21: Viaggi esterni ad area C con origine e destinazione in celle diverse.....	57
Figura 4.1: Rappresentazione delle celle utilizzate nell'analisi delle correlazioni	63
Figura 4.2: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi in origine effettivi	70
Figura 4.3: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi one way in origine effettivi..	72
Figura 4.4: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi round-trip effettivi	73

Figura 4.5: A sinistra, la distanza tra i baricentri nel caso di maglia quadrata; A destra, la distanza tra i baricentri nel caso di maglia esagonale.	75
Figura 4.6: Suddivisione dell'area di studio in celle esagonali	76
Figura 4.7: Rappresentazione dell'indice 1 ottenuto per mezzo del metodo del confronto a coppie	82
Figura 4.8: Rappresentazione dell'indice 2 ottenuto per mezzo del metodo del confronto a coppie	82
Figura 4.9: Rappresentazione dell'indice 3 ottenuto tramite assegnazione diretta dei coefficienti	82
Figura 4.10: Rappresentazione dell'indice 4 ottenuto tramite assegnazione diretta dei coefficienti	82
Figura 4.11: Rappresentazione dell'indice 1 aggregato valutato con il metodo del confronto a coppie	86
Figura 5.1: Rappresentazione dello scenario 0	94
Figura 5.2: Rappresentazione dello Scenario 1	95
Figura 5.3: Rappresentazione dello Scenario 1bis	96
Figura 5.4: Rappresentazione dello Scenario 1ter	96
Figura 5.5: Rappresentazione dello Scenario 2	98
Figura 5.6: Rappresentazione dello Scenario 2bis	98
Figura 5.7: Rappresentazione dello Scenario 3	100
Figura A.1: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi in origine effettivi	112
Figura A.2: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi one-way in origine effettivi	113
Figura B.2: Mappa dell'indice 2 valutato con il metodo del confronto a coppie	116
Figura B.3: Mappa dell'indice 3 valutato con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti	116
Figura B.4: Mappa dell'indice 4 valutato con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti	117
Figura B.5: Mappa dell'indice 2 aggregato valutato con il metodo del confronto a coppie	117
Figura B.6: Mappa dell'indice 3 aggregato valutato con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti	118
Figura B.7: Mappa dell'indice 4 aggregato valutato con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti	118
Figura D.1: Rappresentazione dello Scenario 2ter	125
Figura D.2: Rappresentazione dello Scenario 3bis	126
Figura D.3: Rappresentazione dello Scenario 3ter	126

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1: Variabili introdotte nel modello GIS	27
Tabella 2.2: Valore medio delle variabili socioeconomiche analizzate	31
Tabella 3.1: Dati relativi agli spostamenti pendolari ed effettuati in car sharing	58
Tabella 4.1: Matrice di correlazione dei viaggi in car sharing in origine e destinazione.....	65
Tabella 4.2: Matrice di correlazione dei viaggi in car sharing one-way in origine e destinazione	65
Tabella 4.3: Matrice di correlazione dei viaggi in car sharing round-trip	66
Tabella 4.4: Coefficiente di determinazione dei modelli lineari dei viaggi in car sharing	69
Tabella 4.5: Coefficiente di determinazione dei modelli lineari dei viaggi one way	71
Tabella 4.6: Coefficiente di determinazione dei modelli lineari dei viaggi round-trip.....	73
Tabella 4.7: Variabili scelte per la composizione dell'indice.....	78
Tabella 4.8: Scala di giudizi da assegnare ai confronti a coppie tra variabili.....	79
Tabella 4.9: Set di coefficienti relative all'analisi di sensitività dell'indice	81
Tabella 4.10: Rappresentazione degli indici considerati	82
Tabella 5.1: Riassunto degli scenari esaminati	100
Tabella 6.1: Schema riassuntivo delle variabili presentata in letteratura e quelle effettivamente disponibili	103
Tabella 6.2: Variabili considerate nell'analisi delle correlazioni	104
Tabella 6.3: Variabili e relativi pesi utilizzati per la costruzione dell'indice	106
Tabella B.1: Matrice del confronto a coppie del coefficiente 1	114
Tabella B.2: Matrice del confronto a coppie del coefficiente 2.....	115

INTRODUZIONE

In questo elaborato, ho cercato di risolvere alcune problematiche del servizio di car sharing. In particolare, gli obiettivi che mi sono posto di raggiungere sono:

- Condurre una ricerca dei dati di letteratura per la definizione di un quadro, il più completo possibile, che comprenda le variabili che concorrono alla definizione della domanda del servizio di car sharing e, quindi, quali da ritenere fondamentali nel caso di costruzione di un modello di domanda.

Inoltre, voglio confrontare tale richiesta di informazioni con i dati che risultano essere attualmente disponibili ed accessibili in termini di caratteristiche socioeconomiche, del sistema dei trasporti e delle attività commerciali sulla città di Milano.

- Formulare e calibrare un nuovo modello di domanda che consenta la definizione della stessa all'interno del territorio comunale. In particolare, l'obiettivo è quello di costruire un modello che permetta di evidenziare la variabilità della domanda all'interno della municipalità con un elevato grado di dettaglio.
- Costruire un nuovo strumento che permetta la definizione della posizione ottimale di nuove stazioni che concorrono al potenziamento del servizio e al soddisfacimento della domanda laddove ce ne sia più bisogno ma che possa anche essere utilizzato per altri scopi come, ad esempio, l'individuazione delle aree periferiche più interessanti per l'ampliamento del servizio.

I punti che ho elencato precedentemente nascono dall'esperienza del progetto nuMIDAS al quale ho preso parte durante il tirocinio che ho svolto a Poliedra. Questo progetto europeo nasce con lo scopo di creare nuovi modelli e strumenti per poter risolvere i problemi o le mancanze che affliggono i nuovi ed emergenti servizi di trasporto in ambito urbano, come i servizi in sharing. Per raggiungere tale obiettivo, il progetto parte dai dati già disponibili e li analizza per dare una risposta ai quesiti presentati dalle città pilota e dai partner. Infatti, molto spesso, il problema dei

dati non è quello di non essere sufficienti o non abbastanza dettagliati ma è la loro gestione e l'analisi degli stessi, dovuta principalmente alla complessità che presenta tale processo. Uno studio dettagliato dei dati a disposizione è necessario per definire quali sono le informazioni che possono essere estratte ed indirizzare, eventualmente, nuove campagne di raccolta dati nel caso di mancanza di informazioni.

Uno dei sistemi analizzati all'interno del progetto europeo è il car sharing, comprensivo di tutte le varianti ad oggi esistenti ed attive. Questo risulta essere un servizio ampiamente diffuso in ambito urbano, soprattutto nelle città più popolate ma non solo e sta assumendo sempre di più un ruolo complementare al sistema dei trasporti pubblici così da completare l'offerta di servizi di cui il cittadino può usufruire. Il car sharing, però, risulta spesso sfuggire alle dinamiche del pendolarismo risultando in questo modo più difficile da indagare ed analizzare.

Nello specifico della città di Milano, il servizio presenta, in particolare, due problemi (emersi in seguito ad un confronto con AMAT – Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio). Il primo riguarda la definizione della domanda di utenti potenzialmente interessati ad utilizzare il servizio. La municipalità, infatti, ritiene di non avere un modello adeguato alla definizione della domanda di trasporto che sia accurata e variabile all'interno del territorio cittadino che comporta, quindi, una carenza nella definizione della flotta da mettere a gara.

Un secondo problema riguarda il posizionamento delle stazioni del servizio. Ovvero, la municipalità ha la necessità di un nuovo strumento che permetta di definire le aree della città che necessitano maggiormente di nuove stazioni ma che possa anche, al bisogno e a seconda degli interessi in gioco, privilegiare un ampliamento dell'area operativa nelle zone periferiche della città per erogare un servizio accessibile anche nelle aree a domanda ridotta.

Definiti i quesiti da risolvere e le premesse da cui sono partito, presento brevemente l'organizzazione dell'elaborato, soffermandomi sugli elementi più significativi per ogni capitolo.

Capitolo 1 – Progetto nuMIDAS e car sharing: nel primo capitolo, presento il progetto europeo nuMIDAS e quali sono gli obiettivi che si pone di raggiungere. Passo, poi, ad una breve introduzione del car sharing e dei servizi attivi sulla città di Milano.

Capitolo 2 – Ricerca ed elaborazione dei dati: in questo capitolo, espongo l'analisi della letteratura condotta per indirizzare la raccolta dei dati utili per la definizione della domanda di car sharing e del profilo dell'utente tipo del servizio. Riporto, poi, i passaggi effettuati per l'elaborazione dei dati a disposizione sui database municipali e regionali.

Capitolo 3 – Analisi dei dati del car sharing: il capitolo è dedicato all'elaborazione e allo studio dei dati dei viaggi effettuati con il car sharing all'interno della città di Milano con l'obiettivo di

riconoscere delle peculiarità dal punto di vista dell'utilizzo.

Capitolo 4 – Modello di stima della domanda: nel quarto capitolo, analizzo le possibili correlazioni tra i set di dati elaborati nel capitolo 2 e i viaggi in car sharing effettuati nella città di Milano. In seguito, calibro dei modelli lineari per la definizione della domanda.

Successivamente, ho costruito un indice che permette la classificazione delle celle in cui è suddiviso il comune di Milano per determinare le zone che necessitano maggiormente dell'installazione di una nuova stazione del servizio.

Capitolo 5 – Posizionamento delle stazioni: partendo dall'indice calcolato nel Capitolo 4, ho definito un processo di ottimizzazione della posizione delle stazioni del servizio di cui presento, successivamente, i risultati ottenuti.

1

PROGETTO NUMIDAS E CAR SHARING

In questo primo capitolo, presento il progetto europeo nuMIDAS, a cui sta lavorando il consorzio Poliedra insieme ad altri partner, gli obiettivi che si pone e la strategia utilizzata per raggiungerli. Dall'incontro con i partner del progetto, è emersa l'esigenza di AMAT (Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio del comune di Milano) di avere a disposizione uno strumento che aiuti nella definizione dei bandi di gara per i servizi in sharing. In particolare, ha espresso interesse per la formulazione e calibrazione di un nuovo modello utile per la definizione della domanda di trasporto ed un sistema che permetta di ottimizzare il posizionamento delle stazioni di un servizio di car sharing station-based. Tale strumento deve anche permettere il posizionamento delle stazioni laddove la domanda di viaggio è ridotta, ovvero nelle aree periferiche della città.

Espongo, poi, le informazioni fondamentali per l'inquadramento del servizio di car sharing, presentandone le generalità, come lo si definisce, qual è la sua importanza nell'ambito della mobilità urbana, quali sono i trend evolutivi, le sfide da affrontare e le opportunità di sviluppo.

Infine, faccio un breve accenno di come il servizio è nato in Italia, soprattutto a Milano, e dei servizi di car sharing ad oggi attivi in città.

1.1 Progetto nuMIDAS

nuMIDAS (New Mobility Data & Solutions Toolkit) è un progetto europeo che si pone l'obiettivo di analizzare i nuovi sistemi di trasporto emergenti (ma non solo), dando spazio soprattutto ai servizi che interessano e influenzano la mobilità urbana delle persone e delle merci. Partendo dai dati raccolti e a disposizione delle città pilota (Barcellona, Leuven, Milano e Salonicco) e dalle esigenze di ciascuna, l'obiettivo del progetto è la creazione di una dashboard di strumenti e

modelli utili per affrontare le esigenze e le problematiche emerse da un confronto con le municipalità che vi partecipano.

Nel definire le linee guida del progetto, sono emersi alcuni aspetti fondamentali che si vogliono considerare. Questi si possono riassumere in:

- Identificare i nuovi ed emergenti trend evolutivi relativi alla mobilità urbana di persone e merci;
- Riconoscere e considerare nuovi paradigmi e variabili che influenzano sempre con maggiore peso l'analisi del trasporto e della mobilità urbana;
- Esaminare e valutare diverse opzioni di raccolta e di utilizzo dei dati sulla mobilità, attraverso l'analisi di nuovi sistemi di raccolta e gestione dei dati ma anche considerando nuovi metodi e strumenti per il loro utilizzo come l'intelligenza artificiale e tecniche di machine learning [1].



Figura 1.1: Logo del progetto nuMIDAS

Nella fase iniziale del progetto, abbiamo condotto una discussione su quali servizi e sistemi di trasporto studiare e analizzare, definendo se fossero coerenti con lo scopo del progetto. Sono emerse numerose proposte riguardanti sia l'ambito urbano che quello extraurbano. In seguito a questo primo confronto, abbiamo deciso di considerare i servizi che riguardano in particolare la mobilità urbana soprattutto delle persone dando minore spazio al trasporto delle merci, in quanto interessano in maniera limitata l'ambiente cittadino. Tra le proposte, abbiamo selezionato alcuni servizi di trasporto e raccolta dati ritenuti più interessanti e in linea con gli obiettivi posti, anche sulla base di un confronto con le città pilota del progetto:

- Analisi dei dati di trasporto: riguarda la raccolta dei dati da diverse sorgenti (come infrastrutture di trasporto, smart cards, applicazioni di localizzazione e social networks) per avere delle informazioni specifiche e in tempo reale sul traffico, l'ambiente e la domanda di viaggio;
- Progettazione e policy del trasporto: prevede la stima e l'identificazione delle policy, degli

investimenti e del design urbano più appropriati da adottare per ottimizzare le prestazioni del sistema di trasporto;

- Modellizzazione della domanda: ovvero lo studio dei possibili viaggi partendo da un campione di dati comportamentali degli utenti o dalle informazioni a disposizione;
- Gestione del trasporto pubblico: riguarda l'organizzazione del TPL (Trasporto Pubblico Locale) per rispondere in maniera più efficace alla domanda di viaggio e migliorarne il livello di servizio;
- Last mile logistics: interessa l'ultimo miglio del trasporto delle merci, ovvero dal magazzino di stoccaggio alla destinazione finale. Tale servizio, pur non riguardando il trasporto di persone, gioca un ruolo importante all'interno della mobilità e del traffico urbano;
- Noleggio: è un servizio che permette di affittare un veicolo per un periodo di tempo medio-lungo. Questo tipo di servizio è stato generalmente ricondotto ad un ambito per lo più extraurbano ma si possono trovare anche modalità di utilizzo all'interno della città;
- Mobilità condivisa - Micromobilità: riguarda la condivisione di veicoli piccoli e leggeri tra diversi utenti in momenti diversi della giornata che consentono lo spostamento degli utenti della strada e che operano a bassa velocità (tipicamente sotto i 25 km/h). Rientrano in questo tipo di mobilità gli scooter elettrici, il bike-sharing e i monopattini elettrici;
- Mobilità condivisa - Car sharing: riguarda la condivisione di un veicolo tra diversi utenti simultaneamente o in momenti diversi della giornata. In questo caso si può anche riconoscere il sistema del car-pooling che viene ritenuto un servizio di mobilità condivisa ma ad uso prettamente extraurbano venendo quindi escluso dalla trattazione;
- Mobility as a Service (MaaS): è un sistema che combina le modalità di trasporto offerte da diversi operatori, partendo dalla definizione dello spostamento come utilizzo di uno o più servizi operanti in città arrivando, nelle configurazioni più avanzate, all'acquisto di un'unica soluzione per l'intero viaggio;
- Integrazione tra C-ITS (Cooperative Intelligent Transport systems) e CAV (Connected and Autonomous Vehicles): prevede l'utilizzo della connettività tra veicoli (V2V - Vehicle-to-Vehicle) e tra veicoli e infrastruttura (V2I - Vehicle-to-Infrastructure) per avere un servizio di gestione coordinata del traffico;
- Gestione delle infrastrutture elettriche (Mobilità elettrica e ricariche): infrastrutture necessarie per la ricarica delle batterie o per riempire i serbatoi della auto a idrogeno;
- Parking Management: interessa l'ottimizzazione delle aree di parcheggio fornendo dati

real-time sui posti disponibili, prenotazione del parcheggio, opzioni di pagamento del parcheggio;

- Ride-hailing e Ride-sharing: il primo consiste nel noleggio di un'auto con un autista senza condividere il viaggio con altri utenti; il secondo è basato sulla condivisione del veicolo con altri utilizzatori.

Dei sistemi di trasporto selezionati, abbiamo, poi, condotto un'indagine approfondita della letteratura con lo scopo di dare, in primo luogo, una definizione univoca del servizio e dell'importanza che questo assume all'interno della mobilità urbana nel trasporto di persone e delle merci. Questa prima parte introduttiva è stata fatta per definire in maniera chiara il servizio oggetto di studio ma anche per fornire una conoscenza e un lessico comune a tutti i partner del progetto.

In seguito, abbiamo analizzato gli aspetti relativi alle tendenze di crescita e di sviluppo del sistema, anche considerando le nuove tecnologie che stanno emergendo in questi ultimi anni. Abbiamo effettuato un'analisi dei gaps, ovvero dei problemi del servizio che ancora non hanno avuto modo di essere risolti o affrontati con i giusti strumenti e che necessitano, quindi, di un ulteriore approfondimento o di un nuovo approccio nell'analizzarli.

Infine, per concludere il quadro di definizione del servizio, abbiamo riportato le opportunità che si potrebbero cogliere per avere un miglioramento del sistema, siano queste di carattere tecnologico o di tipo organizzativo. In particolare, ci siamo concentrati sugli strumenti di regolamentazione utilizzati dalle municipalità per favorire o per disciplinare la presenza e l'utilizzo del servizio all'interno del territorio comunale.

Dopo una prima sezione della scheda dedicata all'inquadramento generale del servizio, siamo passati ad una raccolta di casi di studio ritenuti significativi. In particolare, abbiamo focalizzato la ricerca su quei casi di carattere puramente teorico o già implementati che hanno risolto o affrontato un problema esistente (ovvero tra quelli riportati nei gaps) partendo dalla raccolta e dall'analisi dei dati a disposizione. Abbiamo voluto, inoltre, evidenziare la tipologia dello strumento utilizzato e le problematiche che sono state risolte. Vengono, poi, riportati i dati di input necessari per l'utilizzo dello strumento e i dati di output che fornisce in modo tale da fornire una spiegazione degli strumenti necessari ad una futura applicazione del metodo. Abbiamo prestato particolare attenzione ai KPIs (Key Performance Index) che abbiamo riportato come metodo di valutazione degli effetti dell'applicazione dello strumento sul caso di studio.

Da questa ricerca, sono emersi strumenti e modelli a livello ancora del tutto teorico che non hanno ancora avuto modo di avere un'implementazione a livello reale e dei casi pratici per i quali, invece, è possibile avere informazioni derivanti dalla raccolta diretta dei dati [2].

Partendo dal progetto nuMIDAS, sono emerse alcune esigenze da parte di AMAT, in particolare sull'organizzazione dei servizi in sharing nella città di Milano. Durante la definizione dei bandi di gara, l'azienda si è accorta che il dimensionamento della flotta da mettere a gara risultava spesso sovra o sottodimensionata (a seconda del servizio) rispetto agli interessi degli operatori. Abbiamo ipotizzato che questo passaggio potrebbe essere influenzato da uno strumento di definizione della domanda potenziale non adatto allo scopo o non più idoneo con il cambiamento e lo sviluppo dell'ambiente urbano e dei servizi di trasporto attivi sul territorio. Inoltre, l'agenzia ha registrato uno scarso interesse degli operatori nel garantire il servizio nelle zone più periferiche della città dove, probabilmente, la convenienza finanziaria viene meno. Questo aspetto però è in controtendenza con la volontà di AMAT di poter offrire ai cittadini un servizio di trasporto il più possibile accessibile e distribuito all'interno della municipalità. L'agenzia ha, inoltre, espresso l'intenzione di produrre un bando per l'ampliamento del numero di stazioni di un servizio di car sharing che opera in modalità station-based.

Partendo da queste esigenze, mi sono posto l'obiettivo di definire un modello di domanda che consenta di individuare, in maniera più precisa possibile, il numero di potenziali utenti interessati al servizio, partendo dai dati che AMAT e i database municipali e regionali mettono a disposizione. Il passaggio successivo è quello di definire nuove postazioni delle stazioni del servizio in modo da soddisfare tale domanda, controllando l'ottimizzazione tramite l'introduzione di vincoli che traducono i possibili interessi in gioco. Nello specifico, l'interesse di AMAT nel definire quali celle periferiche potrebbero essere le più interessanti nell'ottica di un ampliamento del servizio.

1.2 Car sharing

Il car sharing è un modello di noleggio nel quale gli utenti possono affittare le auto per il tempo necessario, solitamente breve, ai fini dello spostamento da compiere. Generalmente, l'utente effettua il noleggio da un operatore che, oltre ad essere il proprietario della flotta, è anche il responsabile della manutenzione [3]. Il principio del car sharing è semplice: gli utilizzatori beneficiano dei vantaggi derivanti dall'uso dell'auto privata senza avere i costi e le responsabilità che ne derivano dal possesso. In questo caso, inoltre, l'accesso al servizio è sulla base del bisogno effettivo dell'utente, diminuendo l'indice di inutilizzo che si avrebbe nel caso del veicolo privato [4] in quanto permette a più utenti di utilizzare lo stesso mezzo in periodi diversi della giornata.

L'idea della condivisione dei veicoli ha origini già a partire dal secondo dopoguerra. La prima organizzazione di condivisione di auto documentata risale al 1948 a Zurigo, nato soprattutto per motivi economici. Tale sistema non ha però avuto grande successo e non sono stati riportati sviluppi successivi.

I primi anni '70 vedono lo sviluppo di alcuni nuovi, e per l'epoca avveniristici, progetti di

condivisione dell'auto. Degli esempi significativi si sono avuti in Francia e nei Paesi Bassi. Il primo, sviluppatosi a Montpellier, con il nome di ProcoTip, utilizzava vetture attivate a gettoni che permettevano lo sblocco dell'auto. Tale esperimento non ebbe molto successo e venne ritirato solo due anni dopo il lancio. Il secondo ebbe maggiore seguito, rimanendo attivo dal 1973 fino al 1988. Prevedeva il noleggio di piccoli veicoli elettrici, controlli elettronici per la prenotazione e la riconsegna, e un gran numero di stazioni all'interno della città per rendere il servizio capillare e accessibile.

È poi tra gli anni '80 e '90 che numerose proposte di car sharing (senza scopo di lucro) sono stati sviluppati in paesi quali Svizzera, Germania, Paesi Bassi, Svezia, Stati Uniti e Canada.

La vera svolta arriva però con lo sviluppo dei sistemi di comunicazione soprattutto con l'accesso alla rete internet. Ed è così che numerosi car sharing vedono la luce all'inizio degli anni 2000 diffondendosi soprattutto nei paesi più sviluppati. A partire dal 2010, vengono anche introdotti i servizi di P2P (Peer-to-Peer). Infine, questo servizio è sbarcato anche nei paesi in via di sviluppo sfruttando in particolar modo l'elevata densità abitativa che si presenta generalmente come una variabile importante per il successo del sistema [5].

Nella definizione del car sharing si possono individuare diverse tipologie e modalità di organizzazione e di utilizzo del servizio. La prima distinzione da fare è tra un car sharing di tipo station-based e uno free floating. Il primo caso si basa su un modello a stazioni nelle quali è possibile ritirare l'auto che è stata prenotata e alle quali obbligatoriamente bisogna tornare per concludere l'utilizzo. A seconda del modello che si considera, la stazione di destinazione deve essere la stessa di quella della partenza oppure può essere una qualsiasi stazione posta all'interno dell'area operativa del servizio. Per stazione, si intende un parcheggio riservato al veicolo in sharing, generalmente su strada, che può essere anche dotato di colonnina di ricarica nel caso di mezzo elettrico. Per quanto riguarda un car sharing free floating, invece, il viaggio può iniziare da una qualsiasi area di sosta all'interno dell'area di copertura del servizio dove il veicolo è parcheggiato e può concludersi in un qualsiasi parcheggio (tra quelli che lo consentono) che sia sempre contenuto all'interno dell'area operativa del servizio.

Fatta tale distinzione, ad oggi, è possibile riconoscere diversi modelli operativi di car sharing. Uno di questi è il modello round-trip. Questa configurazione prevede che la riconsegna del veicolo avvenga nella stessa stazione in cui è iniziato il noleggio. Un grosso vantaggio per gli operatori è quello di evitare problemi derivanti dallo sbilanciamento del sistema e il relativo problema di riallocazione dei mezzi, permettendo quindi una grossa riduzione dei costi dovuti a tale operazione. Più recentemente, sono emersi anche nuovi modelli quali la tipologia one-way e quella PVS (Personal Vehicle Sharing) [4]. Il primo permette di compiere viaggi monodirezionali e di poter parcheggiare il veicolo in una qualsiasi stazione o parcheggio nel quale è consentita la sosta. Nel

caso del modello PVS, il servizio viene offerto da un privato che nel breve periodo mette a disposizione il proprio veicolo. In questo caso, la figura dell'operatore non è richiesta, ma ci sono delle compagnie che permettono di mettere in contatto la domanda (l'utente) con l'offerta (il proprietario dell'auto), fornendo le infrastrutture necessarie come le piattaforme online, il supporto al cliente, l'assicurazione dell'auto... Si basa su questo principio il car sharing P2P (Peer-to-Peer): veicoli privati messi temporaneamente a disposizione e in condivisione per un utente del servizio [4].

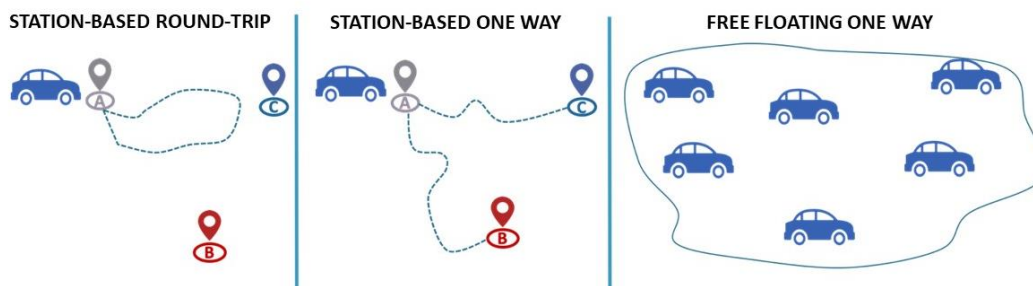


Figura 1.2: Rappresentazione delle diverse modalità di car sharing

Una volta definito in che cosa consiste il servizio del car sharing, bisogna anche capirne la sua importanza in ambito urbano e come si inserisce all'interno dei servizi di trasporto pubblico locale. Il car sharing permette di ampliare il ventaglio delle possibili scelte modali favorendo l'accesso a destinazioni altrimenti non raggiungibili con il trasporto pubblico locale (TPL), a piedi o in bicicletta. Una delle opportunità del car sharing è anche quella di integrarlo all'interno del trasporto pubblico come connessione intermodale [3]. Simultaneamente, il servizio permette di mitigare l'impatto sociale e ambientale che l'utilizzo dell'auto privata comporterebbe [6]. I veicoli in condivisione, infatti, hanno un tasso di utilizzo maggiore, come precedentemente accennato, rispetto all'auto privata in quanto il tempo in cui rimangono fermi si riduce. È stato anche ipotizzato che, nel lungo periodo, un tasso di utilizzo elevato potrebbe comportare anche una riduzione delle aree di parcheggio da mettere a disposizione. L'introduzione del servizio di car sharing ha anche portato, secondo alcuni sondaggi, ad una riduzione dell'acquisto e del possesso di un'auto privata in quanto le esigenze di mobilità di solito coperte dal mezzo di proprietà possono essere effettuate con un servizio alternativo [7].

Il servizio di car sharing, soprattutto negli ultimi anni, è stato coinvolto, sempre più nella tematica ambientale dell'inquinamento da gas di scarico in ambito urbano. Nell'ambito della costruzione di città sostenibili, i veicoli messi a disposizione degli utenti hanno, generalmente, un'elevata efficienza e favoriscono la riduzione delle emissioni, condizioni spesso imposte dalla municipalità. Infatti, c'è un'attenzione crescente nell'utilizzo di veicoli completamente elettrici e di veicoli ibridi

vista la crescente problematica ambientale [6].

L'orientamento generale della ricerca è relativo soprattutto all'analisi del comportamento degli utenti, all'analisi della domanda, allo sviluppo di strumenti di ottimizzazione per la progettazione e la gestione del servizio e ai modelli di business. Una delle problematiche maggiormente discusse in letteratura è sicuramente lo sbilanciamento dell'offerta durante le ore di punta della domanda, portando gli operatori a dover compiere onerosi interventi di riallocazione dei veicoli nel caso della modalità del servizio free floating [3].

Un aspetto fondamentale è definire le dimensioni della flotta da mettere al bando tale che questa possa essere finanziariamente sostenibile per gli operatori che offrono il servizio ma che al tempo stesso possa essere in accordo e soddisfare i bisogni degli utenti.

Per favorire (ma in alcuni casi anche contenere) il diffondersi del servizio di car sharing, le amministrazioni locali si basano spesso su strumenti di regolamentazione. Dall'altra parte anche gli stessi operatori intervengono per adattarsi alle nuove regole e per rendere il sistema sempre più attrattivo per gli utenti. Per esempio, la gestione dei parcheggi destinati al servizio di car sharing è spesso dovuta ad un accordo tra la municipalità e gli operatori che pagano una tariffa annuale. La municipalità dall'altra parte garantisce alcuni benefit, quali: l'esenzione dal tempo massimo di sosta nei parcheggi a lato strada, assegnazione di alcuni di questi alla sola sosta delle auto del car sharing, creazione di aree di parcheggio dedicate... [8]. Alcune politiche degli ultimi anni a favore delle problematiche ambientali hanno portato le amministrazioni locali a incoraggiare l'utilizzo da parte degli operatori di flotte totalmente elettriche anche attraverso degli sconti o degli incentivi.

Sono state introdotte anche alcune politiche per affrontare il problema della riallocazione. Una delle più interessanti è l'introduzione di una tariffa che vari a seconda del punto di riconsegna del veicolo: se l'utente termina il viaggio in un'area al momento del noleggio carente di mezzi disponibili ha uno sconto sul costo totale di utilizzo. Oppure anche in collaborazione con il trasporto pubblico locale: in alcuni casi è stato introdotto uno sconto sulla tariffa nel caso la destinazione del viaggio effettuato con i mezzi pubblici sia una stazione del car sharing [9].

Quindi, da una parte la municipalità regola lo sviluppo del servizio mentre gli operatori si occupano di adeguarsi e di renderlo il più attrattivo possibile per gli utenti.

1.3 Car sharing a Milano

Il primo car sharing in Italia nasce a Milano nel 2001, grazie ad alcuni soci di Legambiente. Altri servizi nascono nell'ambito del progetto di innovazione europea e si concentrano in particolare a Palermo, con il primo car sharing elettrico, e a Bologna con un servizio di tipo convenzionale. I primi modelli sono tutti station-based con la possibilità di effettuare sia viaggi round-trip che one-

way in quanto il controllo del posizionamento dei veicoli risultava facilitato e meno oneroso.

Una svolta importante del car sharing in Italia, ma anche nel resto del mondo, è segnata dall'arrivo dei servizi free floating, il primo dei quali istituito a Milano nel 2013. Lo seguono numerosi altri operatori che avviano servizi con le stesse peculiarità anche nelle altre grandi città quali Roma, Torino, Firenze, Catania, Modena e Bologna [10].

Oggi a Milano sono attivi cinque servizi di car sharing di cui tre free floating e due station-based. Ne presento, quindi, brevemente le caratteristiche:

- Share now. Nasce dalla fusione tra car2go e DriveNow già precedentemente operanti a Milano. È un servizio free floating che consente il noleggio 24/7. È possibile scegliere tra una varietà di veicoli di diverse dimensioni con alimentazione elettrica o tradizionale e la tariffa varia a seconda della categoria scelta partendo da una base di 0.19 €/min con 200 km di percorrenza inclusi. È, inoltre, possibile effettuare un noleggio ad ore pagando in aggiunta i chilometri percorsi. Oppure esistono piani che prevedono il noleggio giornaliero o prolungato su più giorni aggiungendo, ad un costo di base, una tariffa per ogni chilometro percorso di 0.19 €. Nelle tariffe sono compresi: il parcheggio gratuito nell'area operativa, il rifornimento e la ricarica, il navigatore integrato e la copertura assicurativa [11]. L'area operativa del servizio comprende solo il comune di Milano e alcune aree isolate che presentano luoghi di interesse come l'ospedale San Raffaele o la fermata della metro M3 di San Donato Milanese.
- Enjoy. È un servizio free floating che consente il noleggio sia di utilitarie sia di minivan. L'utilizzo può avvenire anche al di fuori dell'area di copertura del servizio ma la riconsegna deve avvenire all'interno di quest'ultima. Il costo è di 0.19 €/min per le utilitarie e di 0.25 €/min per il minivan fino ad un massimo di 50 km di percorrenza; oltre questa soglia si aggiunge una tariffa chilometrica pari a 0.29€/km. Fornisce, inoltre, la possibilità di effettuare un noleggio giornaliero con 50 km di percorrenza compresi per poi pagare la tariffa chilometrica precedentemente specificata. I vantaggi compresi nella tariffa sono: rifornimento gratuito, libero accesso alla ZTL e parcheggio gratuito [12]. L'area di copertura del servizio comprende il comune di Milano, quello di Sesto San Giovanni e altre aree isolate limitrofe alla città.
- LeasysGo. È un nuovo servizio di car sharing free floating di auto totalmente elettriche da poco istituito sulla città di Milano. Il costo del servizio prevede una tariffa annuale pari a 19.99 € per l'iscrizione al servizio. Esistono poi due diverse modalità di utilizzo: un abbonamento di 19.99 € al mese che comprende una disponibilità mensile di 120 minuti e per ogni minuto aggiuntivo, si paga una tariffa aggiuntiva di 0.29 €/min; oppure una

modalità pay-per-use che prevede solo il costo per l'uso del servizio e la tariffa al minuto è uguale a quella precedente specificata. Il tempo massimo di noleggio è fissato a 24h continuative. Il parcheggio risulta essere gratuito sulle strisce blu, come anche il rifornimento e l'accesso alle ZTL. Inoltre, esiste un servizio gratuito di shuttle A/R dalla città all'aeroporto di riferimento [13].

- E-Vai. È un car sharing station-based pensato per permettere di viaggiare all'interno della regione Lombardia. Le auto possono essere ritirate e riconsegnate solo in determinati punti (generalmente stazioni ferroviarie, aeroporti o luoghi di particolare interesse) e la durata del noleggio può variare da un minimo di un'ora ad un massimo di 7 giorni. Il costo del noleggio di un'auto elettrica è pari a 6.00 €/h mentre un'auto ibrida costa 2.40 €/h con l'aggiunta di un costo per chilometro di 0.48 €. Esiste anche la possibilità di usufruire di una tariffa giornaliera. Il rifornimento è incluso nel costo del noleggio e il parcheggio è gratuito nei soli comuni convenzionati con il servizio. È anche possibile riconsegnare l'auto in una città diversa da quella di partenza con una maggiorazione di prezzo [14].
- Ubeequo. È un servizio di car sharing station-based che permette di effettuare viaggi round-trip. Le auto a disposizione sono di diverse categorie fino ad arrivare al Cargo e si differenziano per le tariffe di noleggio. La prenotazione viene effettuata in anticipo indicando la data e l'ora del prelievo e anche della riconsegna. Questa deve avvenire possibilmente nello stesso punto di ritiro del mezzo o in alternativa in un parcheggio il più vicino possibile. È possibile scegliere tra quattro diverse tipologie di veicoli che prevedono un costo all'ora a partire da 7 € con in aggiunta un costo chilometrico di 0.20 € dopo i primi 30 km compresi dall'inizio del noleggio. È anche possibile effettuare un noleggio giornaliero o mensile a seconda delle necessità. Il costo del carburante è incluso nella prenotazione e il parcheggio è gratuito sui parcheggi a pagamento [15].

Il servizio di car sharing erogato da E-vai presenta poche stazioni all'interno del comune di Milano in quanto lo scopo principale non è quello della mobilità urbana ma degli spostamenti a medio e lungo raggio all'interno della regione. Si differenzia anche dal punto di vista tariffario in quanto più economico rispetto agli altri rendendolo particolarmente attrattivo nel caso di lunghe distanze da percorrere e meno per gli spostamenti urbani vista la carenza per quanto riguarda l'accessibilità.

Gli operatori di car sharing free floating presentano, invece, una tariffa al minuto e al chilometro generalmente superiore ma permettono di avere un'accessibilità al servizio e una flessibilità per il punto di restituzione dell'auto maggiore rispetto ai servizi station-based. Il sistema presenta comunque delle difficoltà nella possibilità di coprire in maniera esaustiva tutta l'area operativa in quanto generalmente la densità di auto nelle aree periferiche risulta sempre essere minore rispetto

alle zone centrali. Questo aspetto porta ad avere dei tassi di utilizzo inferiori nelle aree periferiche dovuto all'imprevedibilità di poter avere un veicolo a disposizione nelle vicinanze.

Ubeequo risulta essere l'unico operatore attivo in città a fornire un servizio station-based che consente di effettuare viaggi round-trip e ha un numero di stazioni che consente di avere una buona copertura nelle zone centrali della città. Le tariffe sono più convenienti rispetto a quelle di un car sharing free floating ma l'accessibilità al servizio è limitata dalla presenza delle stazioni.

Tra i servizi operativi sul territorio cittadino, E-vai e Ubeequo sono gli unici due car sharing con modalità station-based e che quindi sono adatti ad essere utilizzati come base di partenza per la costruzione dello strumento richiesto da AMAT. E-vai, però, presenta un numero di stazioni in città piuttosto limitato e, soprattutto, nasce come car sharing regionale. Quindi, ho deciso di condurre la fase di ampliamento del servizio e di ottimizzazione della posizione delle stazioni, partendo dalle postazioni già esistenti del servizio di car sharing erogato da Ubeequo.

2

RICERCA ED ELABORAZIONE DEI DATI

In questo secondo capitolo, presento l'analisi della letteratura condotta per la definizione di un quadro di caratteristiche socioeconomica, legate al sistema dei trasporti o alle attività commerciali che, generalmente, comportano una maggiore o minore potenziale domanda di trasporto del servizio di car sharing.

In seguito, sull'OPEN DATA del comune di Milano, ho reperito i dati disponibili e utili per lo scopo dell'elaborato. Generalmente, le variabili sono fornite per NIL, ovvero l'unità geografica in cui viene suddiviso il comune di Milano.

Date queste informazioni, ho successivamente costruito un modello GIS e, attraverso alcune elaborazioni, ho suddiviso il comune di Milano in celle quadrate regolari, unità alla quale ho ricondotto i valori delle variabili prese in considerazione.

Infine, ho reperito e riportato con lo stesso formato geografico anche la matrice origine e destinazione degli spostamenti pendolari interni al comune di Milano per valutare quali sono le aree della città maggiormente generatrici di spostamenti per motivi di studio e di lavoro.

2.1 Variabili del car sharing

Il primo passaggio che ho effettuato è stata l'analisi della vasta letteratura disponibile relativa al car sharing con l'obiettivo di definire quali possano essere le variabili di interesse e che, generalmente, caratterizzano le aree a maggiore domanda di trasporto per il servizio oggetto di studio. Questa analisi mi ha permesso di far emergere delle peculiarità significative e utili da tenere in considerazione anche per le analisi successive.

Le informazioni trovate nell'analisi della letteratura sono, generalmente, riconducibili ad attributi socioeconomici che caratterizzano l'ambito cittadino. Infatti, le variabili che vengono spesso citate sono: l'età media del tipico utente del servizio di car sharing, il genere, il grado di istruzione, il reddito e la densità abitativa. Altri aspetti sono il possesso dell'auto privata, soprattutto l'influenza che il car sharing ha sulla percentuale di proprietari di mezzo proprio, e il motivo dello spostamento dell'utente del car sharing che, secondo alcuni sondaggi, risultano essere spesso diverse da quelle di un generico spostamento pendolare effettuato per motivi di studio o di lavoro.

Il primo aspetto a cui, in letteratura, viene data particolare rilevanza è l'età di coloro che generalmente usufruiscono del car sharing. Questi sono molto spesso associati ad una tipologia di utente giovane, soprattutto tra i 30 e 40 anni. Queste persone prediligono, per alcune tipologie di spostamento, questo servizio: si è stimato che possono rappresentare anche il 50% dell'intero mercato del car sharing [16]. Questa propensione dei giovani nell'utilizzo del car sharing viene molto spesso spiegata con il fatto che non possiedono generalmente un mezzo privato da utilizzare per gli spostamenti (prevalentemente occasionali) e che hanno dimestichezza nell'utilizzo di un dispositivo mobile con connessione ad Internet. Infatti, la prenotazione dell'auto avviene, nella quasi totalità dei casi, dalle app che i singoli operatori mettono a disposizione. Questo è anche uno dei motivi di disinteresse o di non utilizzo del servizio da parte della popolazione più anziana che, invece, non ha dimestichezza con tali sistemi. Una zona residenziale con elevate percentuali di persone anziane potrebbe presentare molto probabilmente un più basso livello di domanda rispetto ad aree della città con percentuali elevate di residenti giovani.

In alcune trattazioni, si prende in considerazione anche il genere dell'utente del car sharing: questo aspetto potrebbe avere influenza sulla propensione di un utente ad utilizzare il servizio. Secondo alcuni sondaggi, sono maggiormente interessate al servizio le donne di età compresa tra i 30 e i 40 anni [17] (a riguardo ho, però, trovato spesso risultati contrastanti dei sondaggi condotti per i diversi studi consultati).

Viene posta, anche, particolare attenzione al grado di istruzione dell'utente. Infatti, l'utilizzatore del car sharing è, generalmente, una persona che presenta un livello di istruzione elevato, almeno di grado superiore ma, molto più spesso, di carattere universitario [18].

Il reddito medio mensile è un'altra caratteristica da considerare nella definizione del profilo dell'utente del car sharing e nell'individuazione delle aree della città interessanti per lo studio. Coloro che hanno un reddito nella media o superiore sono maggiormente propensi all'utilizzo del servizio, restando però sensibili alla variazione di costo che il servizio potrebbe subire [16].

Uno degli aspetti più importanti e che sempre viene riportato in letteratura come indicatore fondamentale per indagare la domanda di trasporto di car sharing è la densità abitativa. Maggiore risulta essere questo parametro e maggiore risulterà essere la domanda e l'utilizzazione del

servizio. Avere un'elevata densità abitativa significa avere nel raggio di poche centinaia di metri un bacino di utenza maggiore in quanto il punto di inizio noleggio è ad una distanza percorribile a piedi per più potenziali utenti rispetto ad una zona dove questo valore è inferiore. Inoltre, quartieri molto popolosi presentano generalmente bassi tassi di possesso di auto privata che determina una maggiore propensione dell'utente ad utilizzare il servizio. In questo caso, però, il dato potrebbe dipendere dalla carenza di posti auto su strada e quindi non adeguata alle esigenze [19].

Questo conduce ad un altro aspetto particolarmente interessante per definire una maggiore o minore propensione per l'utente ad utilizzare il car sharing, ovvero il possesso dell'auto privata. Questo può incidere sulla domanda del car sharing e sulla definizione dell'utente medio del servizio. Solitamente, se non si è proprietari di un'auto privata, si è maggiormente propensi ad usufruire di un servizio di car sharing [17]. Infatti, l'utilizzo di questo servizio risulta essere molto spesso fondamentale per coprire le necessità di mobilità dell'utente non altrimenti soddisfatte dal sistema del trasporto pubblico locale. L'utilizzo del car sharing è quello che più si avvicina al possesso di un'auto privata in città che permette in questo modo di integrare il sistema dei trasporti laddove questi sono carenti ma soprattutto per gli spostamenti che non garantisce. Secondo uno studio riportato in [16], quasi il 30% degli utenti non avrebbe effettuato lo spostamento se non ci fosse stato a disposizione un servizio di car sharing. Questo potrebbe essere indicativo del fatto che non solo il car sharing è visto come un'ulteriore scelta modale nel ventaglio delle possibilità ma diventa anche generatore di viaggi altrimenti non effettuabili con il servizio di trasporto pubblico locale. Inoltre, secondo alcuni studi [16], il car sharing sta cambiando la percezione del possesso di un'auto di proprietà. Come già detto precedentemente, questo servizio potrebbe andare a sostituire i viaggi effettuati con l'auto privata, senza dover sostenere i costi che comporta, quali l'assicurazione, l'acquisto, il parcheggio e ulteriori altri fattori, tra cui anche le conseguenze ambientali e sociali. Con il car sharing si ha, inoltre, accesso a mezzi con emissioni di gas di scarico molto ridotte perché sono generalmente veicoli ibridi o completamente elettrici. Questo passaggio è generalmente favorito, incentivato o imposto dalle politiche delle amministrazioni locali che presentano sempre maggiore attenzione all'inquinamento nelle aree urbane.

Uno dei costi precedentemente accennati dovuti al possesso di auto privata è il pagamento del parcheggio per effettuare la sosta in area urbana. Questo aspetto nel caso del car sharing viene parzialmente o totalmente annullato. Infatti, molto spesso i parcheggi a pagamento sono gratuiti per le auto del car sharing oppure esistono proprio dei parcheggi riservati per questo tipo di servizio. Fanno eccezione il caso in cui l'auto venga lasciata in poli di grande interesse, in particolare gli aeroporti, dove potrebbe essere richiesto un pagamento aggiuntivo per il parcheggio oppure in città diverse e non limitate a quella di partenza (anche se in questo caso non si dovrebbe più parlare di car sharing urbano). I parcheggi giocano un ruolo fondamentale oltre che nel possesso dell'auto privata anche nella definizione della domanda di utilizzo. Infatti, nelle aree dove risulta essere più

difficile il parcheggio, oltre ai costi di gestione del mezzo, si aggiunge anche il disagio di non poter sostare in prossimità del domicilio. Con la possibilità di avere dei parcheggi riservati al car sharing, invece, questo problema viene meno permettendo, quindi, un parcheggio facile e gratuito all'utente del servizio.

Un'ulteriore variabile da tenere conto nella definizione della domanda di car sharing è anche la distanza che l'utente deve percorrere per eccedere al servizio. Infatti, secondo la letteratura [20], l'utente del car sharing è disposto ad effettuare un certo percorso a piedi per raggiungere la stazione più vicina. L'aspetto importante è, quindi, definire quale sia il limite massimo che l'utente è disposto ad effettuare a piedi per raggiungere la stazione e di conseguenza capire quale sia il raggio di influenza di ogni stazione. Alcuni studi [21] hanno dimostrato che oltre i 500m di percorso a piedi, i potenziali utenti che potrebbero usufruire del servizio si riducono in maniera consistente: tale perdita viene quantificata percentualmente con un 80% del totale degli interessati che non noleggerebbe il mezzo. Quindi, si dovrebbe mantenere una densità di una stazione ogni 500m circa. Un ulteriore studio preso in considerazione considera come limite massimo 5 min di percorso per raggiungere la stazione più vicina [20]. Sapendo che un pedone cammina generalmente ad una velocità compresa tra i 2 e i 6 km/h, si ottiene un range di distanza tra i 150 e i 500m.

Fondamentale per determinare la domanda di trasporto è definire come si muovono gli utenti e le ragioni dei loro spostamenti. Risulta essere essenziale conoscere come si muovono le persone per creare un servizio di car sharing che incontri le necessità dell'utente. Sulla base di un sondaggio effettuato tra gli utenti del car sharing [16], è stata definita una classifica delle motivazioni di spostamento per le quali gli utenti usufruiscono maggiormente del servizio. La prima posizione è occupata da spostamenti effettuati per piacere, quindi con scopo ricreativo o sociale. Per questo motivo, risulta essere interessante conoscere quali sono le aree della città dove si possono trovare un numero piuttosto elevato di poli di attrazione per scopo sociale o personale. Tra questi, si citano in particolare i supermercati o i grandi centri commerciali, i pub e le discoteche che sono generalmente luoghi frequentati da una fascia di popolazione giovane, precedentemente individuata come potenziale utilizzatrice del servizio. Un altro possibile motivo di utilizzo del car sharing è lo scopo lavorativo non inteso nel caso pendolare casa-lavoro (che potrebbe comunque essere in seppur in maniera ridotta di interesse) ma soprattutto negli spostamenti a fini lavorativi svolti nell'arco della giornata. Quello che emerge in maniera chiara dalle indagini effettuate è che il car sharing non ha come motivazione primaria di utilizzo quella dello spostamento pendolare che invece caratterizza il trasporto pubblico.

J. Bergstad et al. [22], nell'ambito del progetto STARS, hanno condotto una raccolta dati per definire il profilo dell'utente del car sharing. Tali informazioni sono state raccolte sia a livello nazionale sia a livello locale delle singole municipalità coinvolte. Quello che emerge da questa indagine è che il profilo dell'utente del car sharing round-trip station-based e quello del free-

floating è sotto alcuni aspetti diverso e cambia a seconda non solo dello stato considerato, ma anche sulla base della città. A livello nazionale, questa indagine è stata condotta in 5 paesi europei: Francia, Germania, Italia, Paesi Bassi e Regno Unito. Partendo dai risultati dei sondaggi di quest'ultimo, l'utente tipo del car sharing che è stato delineato è un giovane, che vive in centro città vicino al luogo di lavoro e ai quartieri della vita notturna. Questo profilo comprende circa l'11% del totale degli intervistati in Inghilterra e Galles e il 23% in Scozia. Altre categorie importanti che usufruiscono del servizio sono: coloro che abitano in case di dimensioni superiori alla media e in un quartiere suburbano ben accessibile con i mezzi di trasporto, i giovani lavoratori tra i 20 e i 30 anni che affittano casa in quartieri costosi e ben collegati con i mezzi pubblici al centro città, e residenti anziani che vivono in piccoli quartieri suburbani che hanno a disposizione tutti i servizi necessari. In Francia, emerge come utilizzatore tipo del car sharing un utente con un'età di circa 45 anni. Il 70% degli utilizzatori abita vicino al centro e sono generalmente nuclei familiari composti da due adulti e i bambini. Presentano, inoltre, una buona istruzione e una posizione lavorativa di alto livello con stipendio sopra la media. In Italia, invece, per un car sharing station-based, la fascia di età che maggiormente utilizza il servizio è tra i 36 e i 55 anni. La maggior parte di loro ha una laurea o almeno un diploma e vivono in una zona urbana. In Germania, i profili raccolti per il car sharing round-trip station-based e per il free floating si differenziano leggermente. In entrambe i casi sono giovani con un buon livello di istruzione, che vivono in aree urbane e con un reddito superiore alla media. Per il free floating, gli utenti sono, generalmente, più giovani rispetto a coloro che usufruiscono del servizio station-based mentre, nel secondo caso, c'è una prevalenza di nuclei familiari con bambini. Infine, nei Paesi Bassi, i membri hanno età compresa tra i 30-40 anni, i 2/3 di loro sono laureati e compresi in una fascia di reddito alta. Sono generalmente residenti nelle aree ad alta densità abitativa. Da questa analisi nazionale, emergono aspetti già visti precedentemente nell'analisi della letteratura: un utente giovane (tale definizione può variare da stato a stato ma si può generalmente indentificarlo tra i 20 e i 40/50 anni), con istruzione universitaria, che risiede in una zona urbana. Sono generalmente lavoratori con uno stipendio nella media o superiore.

In questo progetto è anche stata condotta un'indagine a livello locale, prendendo come esempio alcune municipalità. Sono state analizzate in questa fase le città di Londra, Torino, Monaco e Berlino. Nella capitale del Regno Unito, non sono state riscontrate differenze tra gli utenti del car sharing station-based e il free floating. Inoltre, i profili individuati sono piuttosto in linea con quelli rilevati su scala nazionale. A Torino, si possono distinguere essenzialmente due profili: gli studenti e i lavoratori. I primi hanno un'età compresa tra i 21 e i 24 anni, con un'istruzione elevata, che vivono in un appartamento condiviso e con reddito inferiore alla media. Nel secondo caso, si hanno soprattutto uomini compresi tra i 30 e i 44 anni con un grado di istruzione elevato. Per Monaco e Berlino, invece, si possono riconoscere alcune differenze tra il servizio free floating e station-based come visto nell'analisi nazionale. Nel primo caso l'utente è giovane, ben istruito e con reddito alto,

di solito sopra la media. L'età media è attorno ai 36 anni e ha un'occupazione a tempo pieno. Per il servizio station-based, cambia l'età media che risulta essere di 45 anni, superiore a quella del free floating. Per il possesso dell'auto privata, nel caso di station-based, ben il 72% degli utenti non possiede un'auto propria, percentuale più bassa nel caso del servizio free floating.

Viene, inoltre, condotta un'indagine sul possesso della patente di guida, condizione necessaria per accedere al servizio di car sharing. Per quanto riguarda le patenti di guida, generalmente i maschi sono in numero superiore rispetto alle femmine (tranne nei Paesi Bassi). Questo aspetto si ripercuote anche sugli utilizzatori del car sharing. In questo caso, quindi, ho trovato delle informazioni diverse rispetto a quelle precedentemente esposte: il sondaggio effettuato in questo studio riporta che generalmente la percentuale di utenti del servizio di genere maschile supera quella delle donne.

Nello studio, vengono, poi, analizzate anche le scelte di mobilità degli utenti del car sharing in confronto con la scelta generica della popolazione di una determinata area. A livello di dato nazionale per Francia, Scozia e Inghilterra, è possibile notare che l'utilizzo dell'auto privata da parte dei membri del car sharing è decisamente inferiore rispetto ai livelli rilevati considerando la popolazione in generale. Al contrario, gli utenti del car sharing utilizzano di più il TPL, la bicicletta e sono più propensi ad effettuare tragitti a piedi (questo aspetto è interessante soprattutto nel caso di car sharing station-based per definire la distanza massima che le stazioni devono avere per ottenere un servizio accessibile).

A livello delle singole città, la tendenza alla multimodalità dell'utente del car sharing risulta essere confermata, seppur con alcune differenze tra le diverse città. Torino è l'unica città che fa eccezione nel caso dell'utilizzo dell'auto privata: la percentuale di utenti del car sharing che usufruiscono del mezzo proprio risulta essere decisamente superiore rispetto al dato riscontrato nelle altre città.

Un'altra informazione che si ricava da questa indagine è che le motivazioni per cui si utilizza il car sharing sono soprattutto legati al piacere e allo svago e non risulta che possa essere un servizio utilizzato per coprire tragitti tipicamente pendolari. Queste informazioni sono perfettamente in linea con quanto precedentemente trovato.

Infine, è stato anche effettuato un sondaggio sul possesso dell'auto privata. Mentre a Londra, la percentuale di coloro che rinunciano all'auto per usufruire del car sharing è elevata, come visto anche per Berlino per il sistema station-based, questa percentuale crolla decisamente per il caso della città di Torino (che già faceva eccezione nel caso di utilizzo di auto privata da parte degli utenti del car sharing). Quindi, il legame tra utilizzatori del car sharing e riduzione del numero delle auto private non trova una netta conferma in quanto le informazioni trovate in letteratura appaiono contrastanti. Rimane però assicurato la relazione tra utilizzatori del car sharing e possessori di mezzo privato: coloro che non hanno un'auto privata sono più propensi ad usufruire del servizio di

car sharing.

Riassumendo, il servizio di car sharing è generalmente maggiormente utilizzato nelle aree a densità abitativa maggiore, con livelli di istruzione elevati, con una buona percentuale di residenti giovani (20-40 anni) e caratterizzate da reddito medio superiore alla media della popolazione. Un altro aspetto importante è determinato dall'accessibilità del servizio che si traduce nella massima distanza da percorrere a piedi per chi vuole usufruire del servizio. Dai sondaggi presentati, emerge che generalmente l'utente del car sharing è più propenso ad effettuare spostamenti a piedi o con i mezzi di trasporto pubblico locale. Non è generalmente proprietario di un'auto privata e predilige lo spostamento in car sharing per raggiungere zone con un numero ridotto di parcheggi su strada. Dai sondaggi condotti in [22], emerge che gli utenti del servizio sono, generalmente, dei lavoratori o, in misura ridotta, degli studenti. Infine, le motivazioni per cui il servizio viene utilizzato sono soprattutto legate alla sfera sociale o personale, lasciando in secondo piano gli spostamenti pendolari.

2.2 Dati disponibili e modello GIS

Dopo aver fatto un'analisi della letteratura per individuare quali sono generalmente le caratteristiche da considerare per la previsione dei potenziali utenti del car sharing, ho raccolto i dati resi disponibili dal comune di Milano per poterne usufruire sotto forma di dato geografico. In primo luogo, ho notato che i set di dati a disposizione sull'OPEN DATA del comune di Milano [23] sono molto spesso suddivisi per NIL, ovvero l'unità geografica con cui viene generalmente rappresentata la città. Tale suddivisione individua 88 aree all'interno del territorio amministrativo comunale. Per questo motivo, per la rappresentazione dei dati ho utilizzato lo shape file riportante tale suddivisione in modo tale da poter essere utilizzato come base per la costruzione del modello GIS, vedi Figura 2.1.

Il primo passaggio è stato di considerare le caratteristiche socioeconomiche che, generalmente, influenzano maggiormente la domanda del servizio di car sharing e che sarebbe utile avere a disposizione per le analisi successive.

Ho, dapprima, ottenuto il dato sulla popolazione dei residenti a Milano. Il dataset presentava la serie storica dei residenti a Milano suddivisi per anno, NIL, età e genere. Sono stati estratti, con l'utilizzo del software MATLAB, il totale dei residenti per l'anno 2011 suddivisi per NIL e il dato più aggiornato riferito al 2020. Ho deciso di estrapolare anche il dato relativo al 2011 in quanto numerosi dataset utilizzati successivamente fanno riferimento a quest'anno e potrebbero, quindi, essere non coerenti con il dato del 2020. Il confronto con le due serie di dati ha portato ad osservare che la variazione della popolazione residente risulta essere attorno al 3%. Per tale motivo, nelle analisi successive ho fatto solo riferimento alla popolazione e alla densità aggiornata al dato 2020,

in quanto ritenuto più significativo e rappresentativo della realtà. Inoltre, è possibile ritenerlo compatibile anche con i set di dati riferiti all'anno 2011 in quanto, così facendo, si commette un errore minimo. Conoscendo l'area dei NIL, ho ricavato la densità abitativa per il 2020, fattore che risulta essere preponderante per il successo del servizio del car sharing in quanto determina una domanda di trasporto più elevata rispetto ad aree meno densamente popolate.

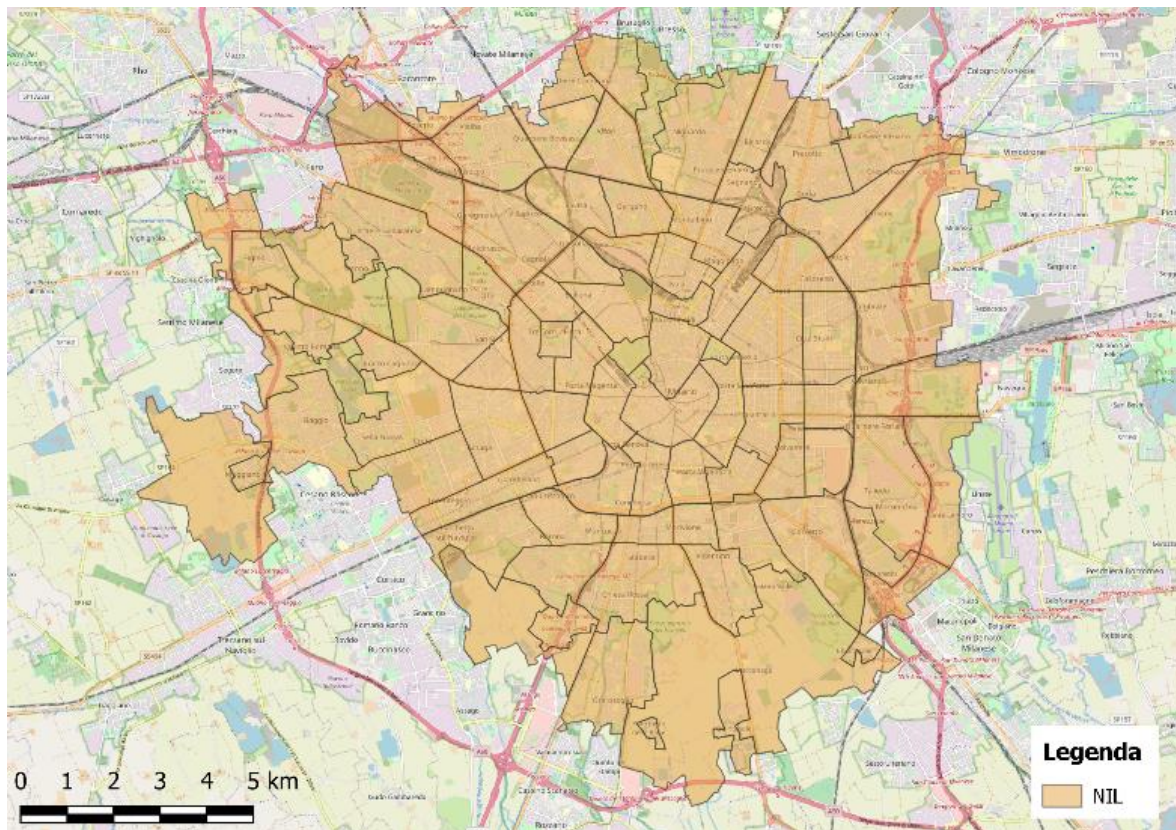


Figura 2.1: Suddivisione in NIL del comune di Milano

Ho, poi, considerato la suddivisione della popolazione per età e genere. Essendo il dato completamente disaggregato, ho proceduto a fare un'elaborazione in modo tale da renderlo maggiormente leggibile e più utile per lo studio che ho condotto. Per questo motivo, ho deciso di aggregare il dato secondo determinate fasce d'età e suddividendolo per genere. Le classi in cui ho raccolto i dati sono: 0-17 anni, 18-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69, 70-79 e over 80. Per quanto riguarda il gruppo 0-17 anni, il dato non verrà poi utilizzato in quanto questa fascia di età non è in possesso di patente di guida e quindi non può essere utente del servizio. Per quanto riguarda le altre classi, nelle analisi successive verranno generalmente raggruppate ulteriormente. In particolare, sono andato a definire una classe ritenuta giovane (che ha come limite inferiore 18 anni e limite superiore una soglia di 40/50 anni) e una di persone anziane (oltre i 70 anni di età).

La suddivisione per genere, viste le incongruenze riscontrate in letteratura (2.1), non verrà tenuta

conto nelle elaborazioni successive nelle quale ho aggregato tale dato.

Ho, poi, considerato il dato relativo all'occupazione e all'istruzione. Nel primo caso, il dato è suddiviso in 6 classi: occupati, in cerca di lavoro, casalinghe, studenti, pensionati e altro. Generalmente, l'utente del car sharing risulta essere un lavoratore o al più uno studente, distinzione che è disponibile. Ho, però riscontrato alcune problematiche: oltre al fatto che il dato è del 2011 (quindi non aggiornato), non è neanche disponibile nella suddivisione geografica che si sta considerando. Infatti, l'informazione non è suddivisa per NIL ma è generica su tutta la città di Milano. Per questo motivo, ho deciso di trasformare il dato in formato percentuale e considerarlo costante per ogni unità geografica. Tale ipotesi è sicuramente poco credibile in quanto il livello di occupazione è variabile sul territorio e verosimilmente minore nelle aree periferiche della città. La disponibilità di tale dato in formato così generico lo rende non significativo ai fini della trattazione che si intende effettuare in quanto non permette di determinare una variazione dei livelli di occupazione all'interno del comune di Milano. In questo caso il problema potrebbe essere superato affinando il dato conducendo un'indagine sull'occupazione dei residenti della città di Milano.

Il secondo dataset, quello sull'istruzione, anche questo riferito all'anno 2011, è già disponibile suddiviso secondo l'unità geografica del NIL. Ho condotto solo un'ulteriore elaborazione per portare il dato in formato percentuale rispetto alla popolazione totale residente nel rispettivo NIL nel 2011, con l'ipotesi che questa si sia mantenuta costante con l'aumento della popolazione e quindi riferibile alla popolazione residente del 2020. La suddivisione considera coloro che hanno meno di 6 anni, coloro che non hanno alcun titolo o la licenza elementare, coloro che hanno la licenza media, coloro che hanno la licenza superiore e i laureati. Tale informazione si è rivelata in letteratura [18] solitamente molto interessante per definire il profilo tipo dell'utente del car sharing e, quindi, la domanda di trasporto.

Successivamente, da un'indagine del Corriere della Sera del giugno 2021 [24], ho potuto ricavare il dato sul reddito annuale dei residenti a Milano. Il dato proposto dalla testata giornalistica è disponibile sulla base dei CAP in cui è suddiviso il comune di Milano. Quindi, ho proceduto con il rendere compatibile tale dato con l'unità geografica di riferimento attraverso un'ulteriore elaborazione. Attraverso il software open source QGIS, sono stati sovrapposti il layer dei CAP, contenente anche il dato sul reddito, e quello dei NIL e attraverso lo strumento di intersezione sono state ricavate tutte le aree in comune. Avendo ricavato le aree delle intersezioni e conoscendo la densità abitativa dei NIL della città, ho calcolato la popolazione residente in ciascuna intersezione. La suddivisione ottenuta è quindi caratterizzata da un certo valore medio di reddito e di popolazione totale residente. Sapendo ogni intersezione a quale NIL fa riferimento (perché contraddistinta da un codice numerico), ho fatto una media pesata del reddito medio delle diverse sottosezioni sulla popolazione totale residente in un NIL. In questo modo, è stato possibile uniformare il dato all'unità geografica di riferimento.

Sono, poi, passato a considerare i dati relativi al trasporto. Sempre sull'OPEN DATA del comune di Milano è disponibile il dataset riportante il mezzo di trasporto prevalentemente utilizzato (aggiornato al 2011). In particolare, i dati sono suddivisi per utilizzatori del TPL (Trasporto Pubblico Locale), dell'auto privata, per chi si muove in bicicletta o a piedi e con altri possibili mezzi. Tale suddivisione è organizzata per NIL e quindi conforme con il livello di dettaglio che ho scelto. Anche in questo caso, ho riportato il dato in formato percentuale, nell'ipotesi che questo si sia mantenuto costante con l'incremento di popolazione.

Un aspetto, invece, di grande interesse per la definizione di una maggiore o minore propensione all'utilizzo di un servizio di car sharing è il possesso dell'auto privata. Poiché non è stato possibile reperire tale dato dai database consultati, la percentuale di utenti che decidono di effettuare gli spostamenti pendolari con l'auto privata potrebbe essere un dato indicativo dell'interesse da parte degli utenti rispetto all'utilizzo del car sharing.

Poi, ho considerato alcuni dataset che riportano alcune informazioni in merito alla disposizione del trasporto pubblico in città. Ho, quindi, considerato gli shape file riportanti la posizione delle fermate del trasporto di superficie, delle stazioni della metropolitana e delle stazioni ferroviarie. Queste informazioni sono state utilizzate per conoscere il numero di fermate di TPL presente in ogni unità geografica. Tale dato potrebbe essere molto interessante nel motivare un numero più o meno elevato di origini o di destinazioni dei viaggi effettuati con il car sharing in quanto quelli appena citati sono punti di interesse all'interno della città (soprattutto nel caso delle stazioni ferroviarie). Ho, inoltre, reperito la posizione delle stazioni dei servizi station-based che operano in città.

Infine, ho raccolto anche dei dati riportanti la posizione di alcune attività commerciali. In particolare, gli shape file utilizzati fanno riferimento alla posizione di centri commerciali e dei supermercati ma anche di locali legati alla vita notturna quali pub e discoteche. Nel primo caso, tali attività potrebbero essere dei punti di interesse ai quali si potrebbero ricondurre alcuni spostamenti effettuati durante la giornata; nel secondo caso, invece, potrebbero fare riferimento all'utilizzo notturno del car sharing, soprattutto come mezzo sostitutivo del trasporto pubblico locale là dove questo viene meno in quanto il servizio risulta essere ridotto. In generale, una possibile correlazione tra le attività commerciali e il numero di viaggi in car sharing effettuati potrebbe essere indicativo della propensione dell'utente ad utilizzare il servizio per determinati spostamenti andando in questo modo a sostituire (in maniera indiretta) l'informazione mancante relativa alla motivazione dello spostamento.

Raccolti tutti i dati disponibili, ho proceduto alla costruzione del modello GIS. Dapprima, è stata caricata la suddivisione geografica del comune di Milano secondo i NIL. A questo punto, per ogni NIL, ho assegnato il corrispettivo valore di popolazione totale per l'anno 2020, popolazione

suddivisa per fascia d'età e genere, livello di scolarità, mezzo di trasporto prevalente, occupazione e reddito. Ho condotto un'ulteriore elaborazione per calcolare l'area e la densità di popolazione per ogni NIL: noti la popolazione e l'area, ho ricavato il numero di abitanti per chilometro quadrato. Ho caricato anche i file relativi alle fermate del trasporto pubblico locale, della rete metropolitana, delle stazioni ferroviarie e dei servizi di car sharing presenti sul territorio comunale, oltre alla posizione delle attività commerciali.

2.3 Elaborazioni dei dati disponibili

Come già detto, il modello GIS costruito prende come unità geografica di riferimento i NIL. Ho appurato, però, che tale suddivisione sia poco accurata e dettagliata per lo scopo dello studio in quanto voglio caratterizzare le diverse aree della città in modo più specifico possibile. Per questo motivo, ho ritenuto necessario la riduzione delle dimensioni dell'unità geografica di base del NIL alla quale sono riconducibile quasi tutti i dataset considerati. In letteratura [25], ho trovato alcuni studi che prevedono la suddivisione dell'area di studio in celle quadrate per poter effettuare l'analisi e l'elaborazione dei dati. L'obiettivo è quello di suddividere la municipalità in una griglia di celle uguali tra di loro per condurre un'analisi più dettagliata delle diverse aree della città. Le caratteristiche proprie dei NIL dovranno essere, poi, adattate alle dimensioni della nuova unità geografica di riferimento.

Ho, quindi, costruito una griglia regolare costituita da elementi quadrati di 500m per lato. Facendo l'intersezione tra la griglia e l'area del comune di Milano suddiviso in NIL, ho ottenuto delle entità di superficie di dimensioni pari o inferiore rispetto ai quadrati della griglia. Conoscendo la densità di popolazione e l'area delle nuove unità geografiche ho, quindi, ricavato la popolazione residente in ogni elemento. Poiché l'obiettivo è quello di ottenere un'unità geografica di area regolare, è possibile procedere con l'unione delle aree appartenenti alla stessa cella della griglia iniziale (ogni sottosezione è caratterizzata da un codice numerico relativo alla cella a cui fa riferimento). In questo modo è possibile ottenere una suddivisione regolare della municipalità. Conoscendo la popolazione delle singole sotto-aree e potendo conoscere la popolazione totale residente in una cella, ho effettuato una media pesata di tutte le variabili che caratterizzavano precedentemente i NIL. Ho così ottenuto una suddivisione in celle regolari, rappresentata in Figura 2.2.

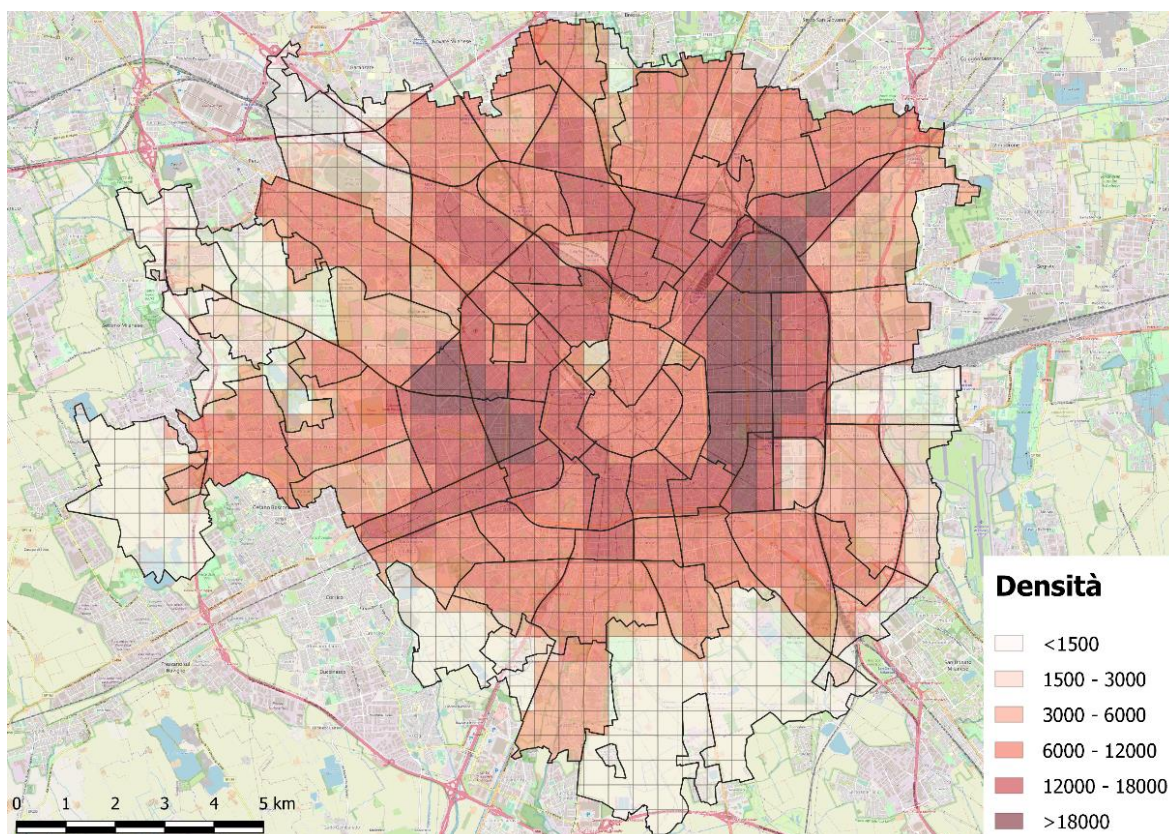


Figura 2.2: Rappresentazione della suddivisione in griglia dell'area di studio. La mappa di calore rappresenta la variazione della densità abitativa all'interno della municipalità

Successivamente, ho riportato sul GIS anche le caratteristiche del sistema dei trasporti. In questo modo, ho valutato per ogni cella quante fermate del trasporto pubblico di superficie, della metropolitana e stazioni ferroviarie sono presenti. Oltre a queste tipologie di servizi di trasporto, ho, inoltre, considerato anche le stazioni dei car sharing. Come già detto, i servizi di car sharing che operano sulla città di Milano con modalità station-based sono due; per ogni cella si determina quindi il numero di stazioni dei rispettivi servizi presenti al suo interno. Il numero di stazioni, però, potrebbe essere poco significativo per le trattazioni successive. Ho, quindi, ritenuto necessario il calcolo della distanza di tali stazioni da un punto specifico della cella per avere un riferimento sul percorso da fare, probabilmente a piedi, per accedere al servizio. Il punto a cui ho fatto riferimento per il calcolo è il baricentro della cella e la distanza viene valutata in linea d'aria.

Un ulteriore aspetto da aggiungere è quello riguardante le attività commerciali presenti all'interno di ogni cella. Questi dati potrebbero, seppur con grossi limiti, definire e riconoscere i viaggi effettuati per motivo di svago. Anche in questo caso si riporta il numero di attività per ogni cella.

Riassumendo, in Tabella 2.1 è possibile visualizzare tutti i dati che caratterizzano ciascuna cella del modello GIS elaborato.

Tabella 2.1: Variabili introdotte nel modello GIS

VARIABILE	DESCRIZIONE
ID	È il codice identificativo della cella.
NIL	È il nome esteso dei NIL del comune di Milano a cui la cella fa riferimento.
AREA	Area della cella.
POPOLAZIONE	Popolazione residente nel 2020 nella cella.
DENSITÀ	Densità abitativa della cella nel 2020.
REDDITO	Reddito medio degli abitanti della cella.
ETÀ E GENERE	Indica la percentuale di residenti nella cella divisi per genere maschile e femminile e per fasce d'età. La sigla si distingue in m = maschi e f = femmine, seguito dalla fascia di età considerata.
ISTRUZIONE	Indica la percentuale di residenti nella cella con un determinato grado di istruzione. Le diverse categorie sono: minore di sei anni, nessun titolo o licenza elementare, scuola media, scuola superiore, università).
OCCUPAZIONE	Indica la percentuale di residenti nella cella con un certo status occupazionale. Le diverse categorie sono: occupato, in cerca di lavoro, casalinga, studente, pensionato, altro).
MEZZO DI TRASPORTO PREVALENTE	Indica la percentuale di residenti che utilizzano un certo mezzo di trasporto per effettuare gli spostamenti. Si distinguono in trasporto pubblico locale (TPL), auto privata, piedi o in bici, Altro e non pervenuto.
FERMATE TPL	Numero di fermate del TPL per cella.
FERMATE METRO	Numero di fermate della metro per cella.
FERMATE STAZIONI	Numero di stazioni ferroviarie per cella.
FERMATE CAR SHARING ROUND-TRIP	Numero di stazioni del servizio di car sharing station-based che opera con modalità round-trip.
FERMATE CAR SHARING ONE WAY	Numero delle stazioni del servizio di car sharing station-based che opera con modalità one way.
DISTANZE	Per ognuna delle stazioni precedentemente elencate, ho calcolato la distanza del centroide della cella dalla fermata più vicina.
ATTIVITÀ COMMERCIALI	In questa sezione si hanno tre attributi: numero di supermercati all'interno di una cella, numero di pub e bar e numero di discoteche.

Ho, poi, condotto una breve analisi sui dati raccolti e rappresentati sul GIS, in particolare relativo alle variabili socioeconomiche.

Il primo attributo considerato è la densità abitativa (ab/km²) nelle diverse celle in cui è stata suddivisa l'area di studio e rappresentata in Figura 2.2. La variabile presenta un range di valori molto ampio: si passa da poche decine di abitanti per chilometro quadrato, valore proprio delle aree più esterne alla città, fino a 26-27 mila abitanti per chilometro quadrato. Le aree che hanno la maggiore densità abitativa e che, quindi, dovrebbe essere maggiormente generatrici di domanda, sono la zona est limitrofa al centro città, ovvero l'area di Loreto, Città Studi e Milano Dateo, e l'area compresa tra Porta Genova e San Siro. L'area del centro città risulta essere meno densamente popolata rispetto alle celle appena citate; emergono, inoltre, in maniera evidente le celle relative a Parco Sempione e dei giardini Pubblici Indro Montanelli che presentano valori molto più piccoli rispetto alle celle limitrofe. Come, invece, ci si poteva aspettare, le aree periferiche appaiono meno densamente popolate man mano che ci si allontana dal centro. In particolare, le aree sud ed ovest della città dove, agli estremi, si presentano valori molto bassi di densità, in quanto l'ambiente urbano si esaurisce in aree di carattere agricolo. Fa eccezione l'area nord e nord-est del territorio comunale. Infatti, queste zone della città non presentano una netta divisione, in termini di agglomerato urbano, tra la municipalità e il territorio dei comuni confinanti. Per questa ragione le aree cittadine confinanti con Cormano, Sesto San Giovanni e Cologno presentano ancora valori di densità piuttosto elevati.

Analizzando questa variabile nel caso della previsione dei viaggi in car sharing, posso ipotizzare che le aree limitrofe al centro saranno grandi generatrici di movimenti effettuati mentre le celle periferiche presenteranno valori di domanda inferiori.

Ho, poi, considerato la variabile del reddito medio dei residenti in città. Come è possibile vedere in Figura 2.3, questa variabile segue una distribuzione diversa rispetto alla precedente. In particolare, emergono in maniera preponderante le celle del centro città. Man mano che ci si allontana da queste zone il valore della variabile si riduce fino ad arrivare nelle aree periferiche della città dove assume i valori minimi. Questo attributo è variabile tra un minimo di 17000€ di reddito netto medio annuo e un massimo oltre gli 80000€.

In questo caso, le celle centrali dominano sulle altre e potrebbero apportare, in un ipotetico modello di domanda, un livello di utenti potenziali piuttosto elevato in quest'area della città. Allontanandosi dal centro, la generazione di domanda dovrebbe diminuire fino alla periferia dove si registrano i valori di reddito più bassi.

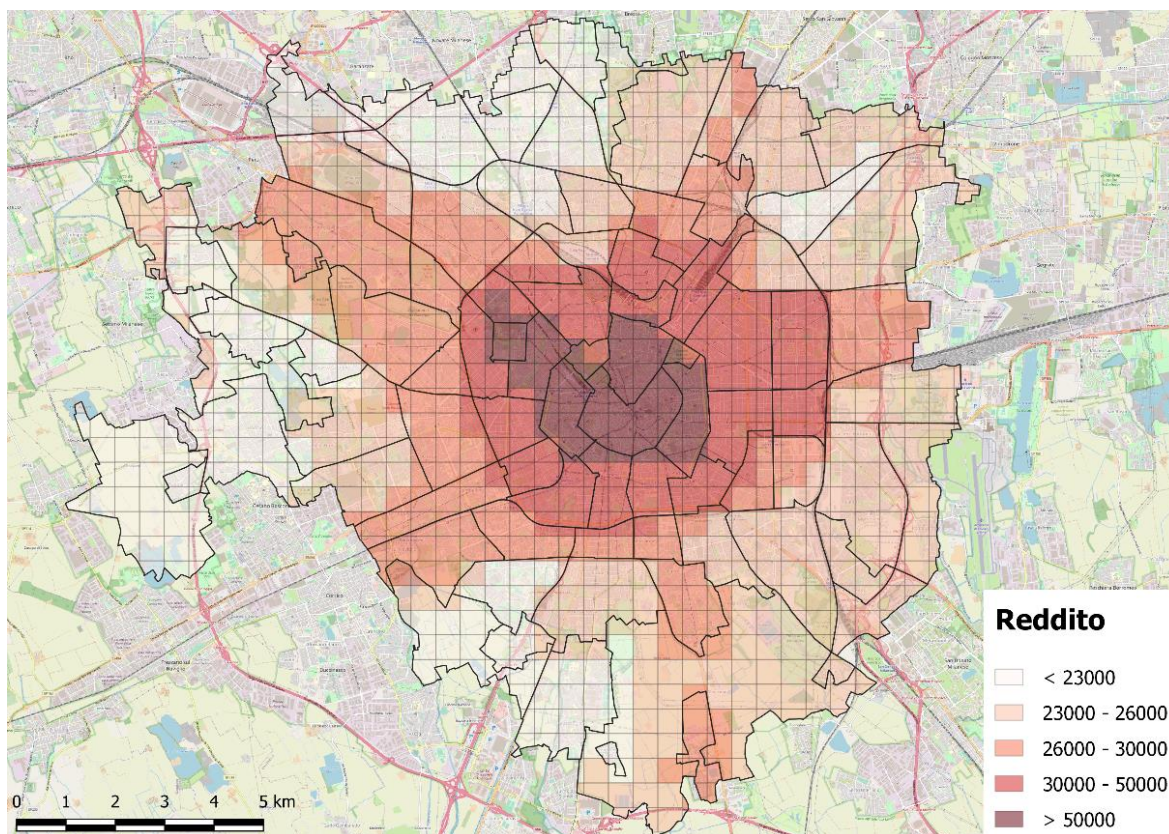


Figura 2.3: Rappresentazione dei valori di Reddito sul territorio cittadino

L'età di coloro che utilizzano il servizio di car sharing è un dato significativo per la previsione della domanda di trasporto. In particolare, dall'analisi della letteratura (2.1), è emerso che gli utenti sono, generalmente, giovani che potrebbero essere ricondotti alla fascia tra i 20 e 40 anni (alcuni studi ampliano tale range fino a 50 anni). L'informazione sull'età dei residenti nel comune, come già detto, risulta essere disponibile ed elaborata in modo tale da avere un dato più aggregato rispetto a quello grezzo. In Figura 2.4 è possibile visualizzare le aree della città con la percentuale maggiore di giovani compresi in questo range di età.

La cosa fin da subito evidente è che tale variabile presenta i valori più elevati in zone esterne al centro città assumendo il massimo nelle aree più periferiche dove si hanno delle percentuali superiori al 27% (oltre $\frac{1}{4}$ della popolazione residente). Ho, però, anche riscontrato delle celle che presentano dei valori anomali in quanto si discostano troppo dalla media. Infatti, nell'area di Forlanini (nella zona est della città), le celle assumono percentuali attorno al 60%, valore ritenuto con ogni probabilità non rappresentativo della condizione reale. Per questo motivo, le celle che hanno presentato dei valori anomali sono state escluse dalla trattazione relativa alla costruzione del modello di domanda e alla successiva fase di ottimizzazione della posizione delle stazioni per evitare di avere dei risultati influenzati da questo errore nei dati.

Il comportamento di questa variabile all'interno di un potenziale modello di domanda vedrebbe le

aree del centro città meno propense alla generazione di domanda rispetto alle aree periferiche. Rimangono, comunque, ancora significative le percentuali di residenti giovani nelle celle limitrofe all'area centrale che dovrebbero, quindi, influenzare al rialzo la domanda del servizio.

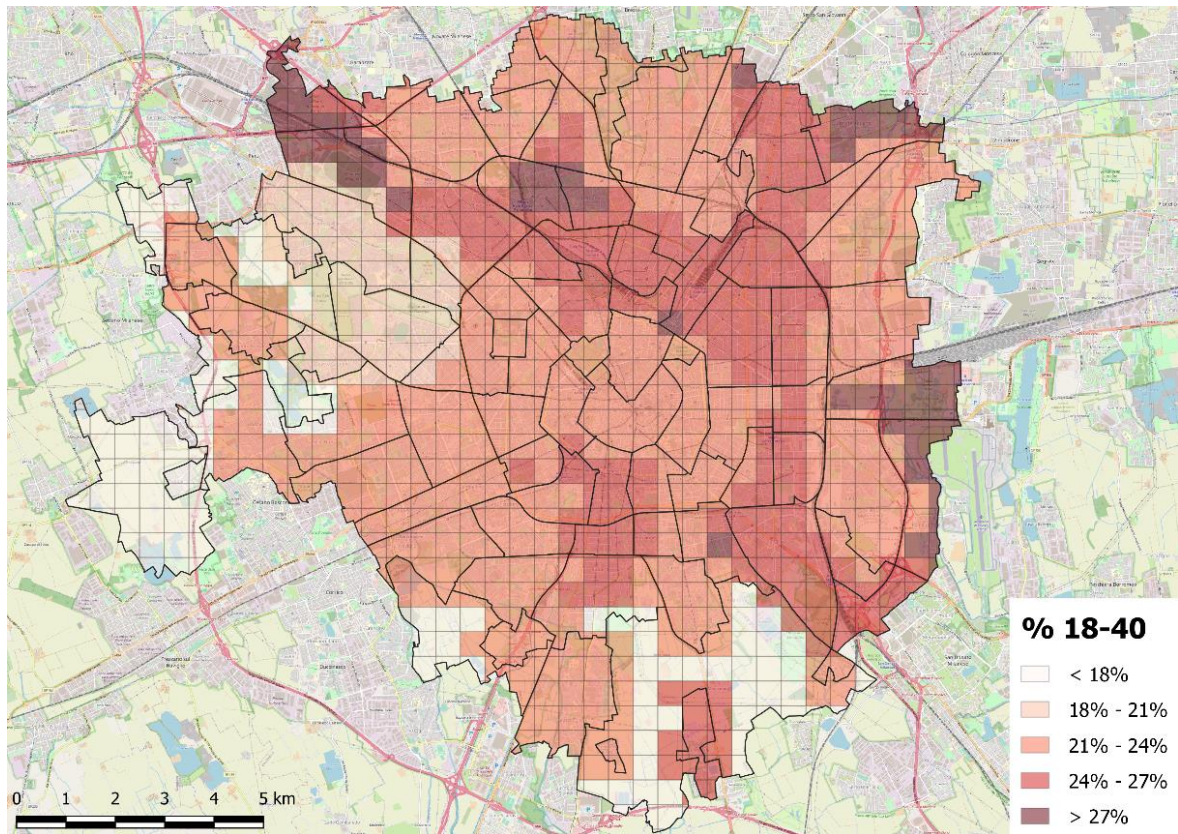


Figura 2.4: Rappresentazione della percentuale di residenti di età tra i 18 e i 40 anni

Infine, ho condotto un'analisi anche sulla percentuale di residenti in possesso di titolo di studio di livello universitario, essendo questa una delle variabili emersa dall'indagine della letteratura condotta precedentemente (2.1). Tale percentuale è variabile tra un minimo del 2-3% fino ad un massimo oltre il 35%. Come è possibile vedere in Figura 2.5, l'andamento della percentuale sembra ricalcare in parte quanto già visto per il reddito. L'area centrale della città presenta delle percentuali di persone in possesso di un titolo universitario particolarmente elevate che vanno via via ad abbassarsi spostandosi verso la periferia della città.

Questa variabile, quindi, in un potenziale modello di domanda dovrebbe determinare un livello di domanda piuttosto elevato nell'area centrale della città e penalizzare le aree, soprattutto periferiche, dove si registra un valore al di sotto della media.

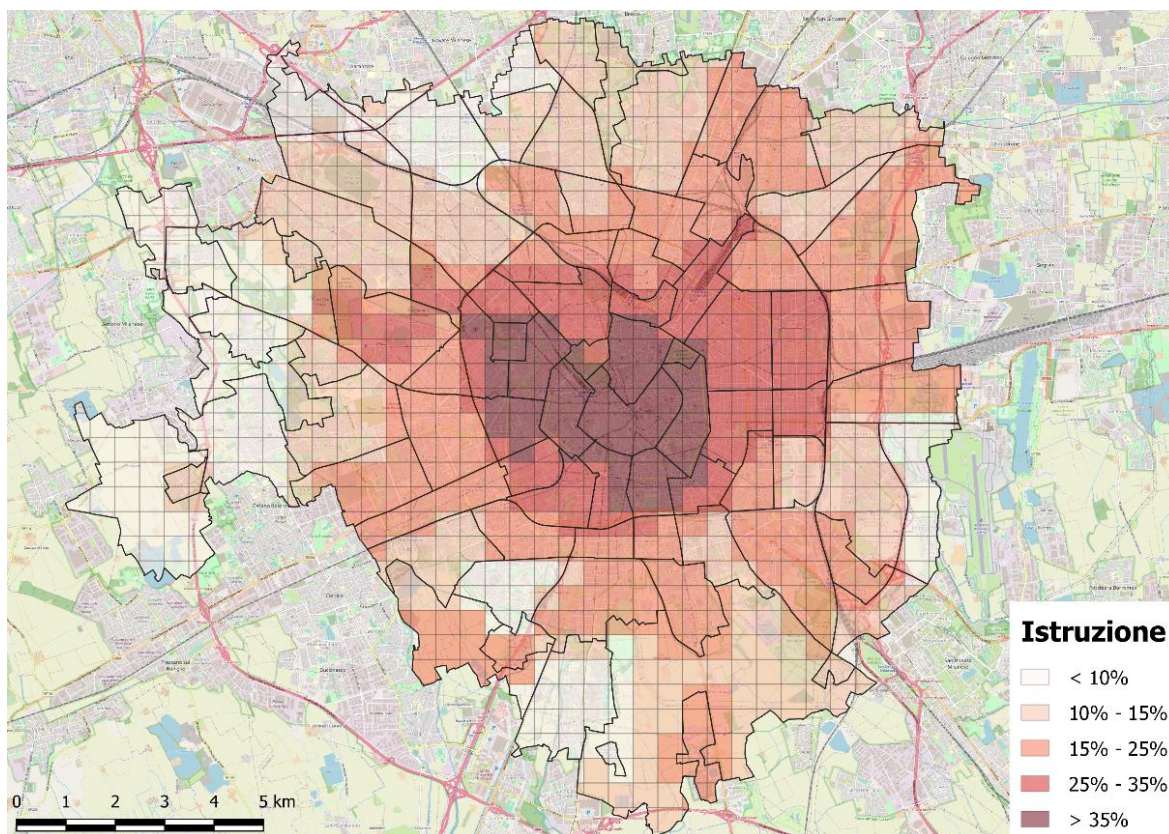


Figura 2.5: Rappresentazione della percentuale di residenti in possesso di titolo universitario

Questa analisi, come già detto, non può essere effettuata anche per la percentuale di occupati in quanto il dato è solo disponibile a livello municipale e non a livello dei singoli NIL. Quindi, non presenta variazioni all'interno del territorio municipale in quanto ottenuto come valore medio.

Ho riportato in Tabella 2.2 il valore medio delle variabili socioeconomiche esaminate.

Tabella 2.2: Valore medio delle variabili socioeconomiche analizzate

	VALORE MEDIO
DENSITÀ [ab/km2]	7051
REDDITO [€]	28182
ISTRUZIONE [%]	17.34
ETÀ (18-40 anni)[%]	25.19

Ho, infine, riportato sul GIS anche la posizione delle stazioni esistenti del servizio di car sharing che consente di effettuare viaggi round-trip. La diffusione del servizio nell'area centrale della città risulta essere piuttosto fitto mentre va via via disperdendosi nelle aree periferiche. Questa distribuzione fa pensare ad un servizio che risulta essere accessibile nelle aree centrali della città mentre nelle aree periferiche perde di attrattività per i potenziali utenti interessati in quanto la

distanza da percorrere per usufruire del servizio è troppo elevata.

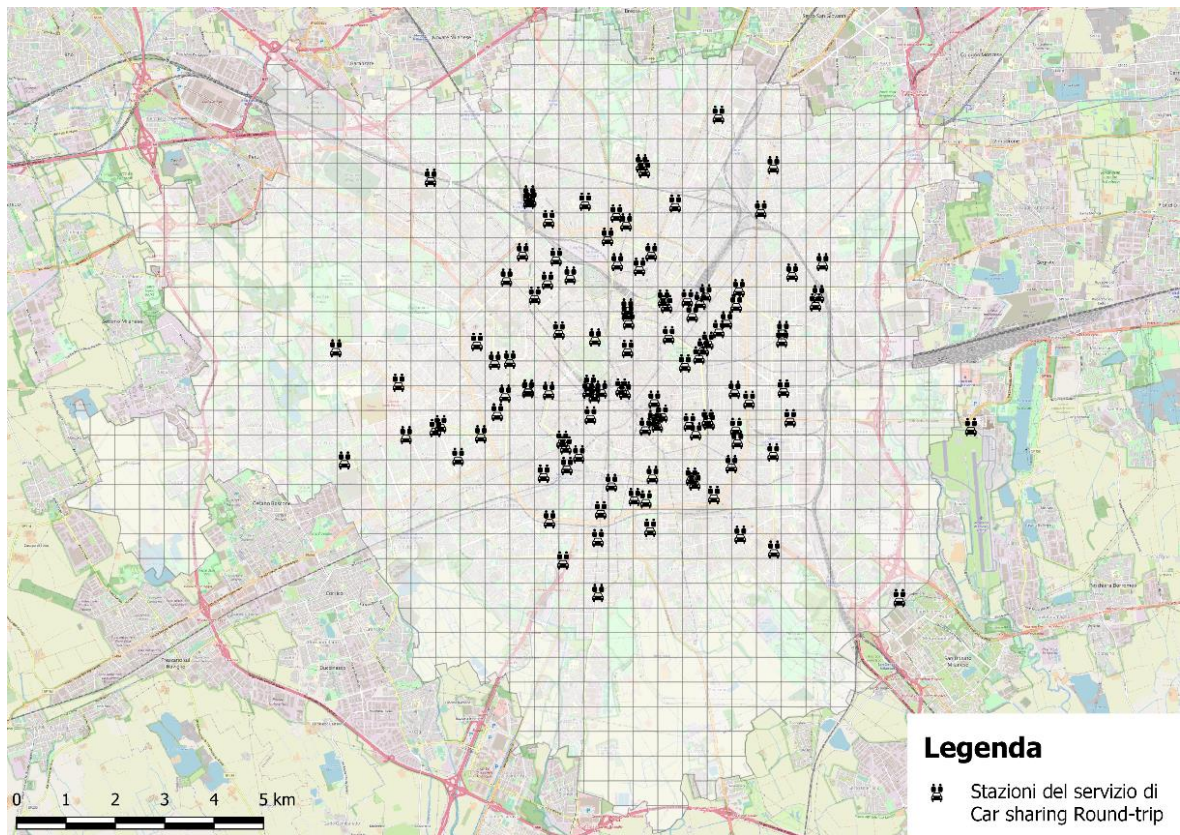


Figura 2.6: Rappresentazione delle stazioni del servizio di car sharing round-trip

2.4 Matrice origine e destinazione

Oltre alle caratteristiche socioeconomiche e del sistema dei trasporti, ho ottenuto le informazioni rispetto all'origine e la destinazione dei viaggi effettuati quotidianamente dagli abitanti del comune di Milano. Il dataset più recente disponibile sull'OPEN DATA del comune è del 2011, definito attraverso i dati raccolti dal 15° censimento della popolazione. Da tale indagine ho ricostruito la matrice origine/destinazione degli spostamenti interni al comune di Milano. L'origine e la destinazione dei viaggi è riferita agli 88 NIL gli spostamenti vengono distinti per motivo di lavoro o di studio. Non è, però, disponibile la suddivisione dei viaggi per fascia oraria mentre, in un set di dati a parte di cui ho già parlato precedentemente, è disponibile la suddivisione per mezzo di trasporto utilizzato per effettuare lo spostamento.

Come prima approssimazione, ho mantenuto un grado di aggregazione elevato non prendendo in considerazione la suddivisione per motivi di lavoro o di studio. Ho definito, quindi, i viaggi totali in partenza dai diversi NIL e in arrivo. Ho riportato queste informazioni su un modello GIS associando ad ogni NIL il corrispettivo valore di viaggi in origine e in destinazione.

Ho, poi, elaborato il dato per definire, per ogni cella della griglia costruita precedentemente, il totale dei viaggi in origine e in destinazione. L'approccio utilizzato è lo stesso descritto in precedenza: ho calcolato la densità di viaggi in origine e in partenza rispetto all'area di ogni NIL; ho effettuato l'intersezione tra la griglia ad elementi quadrati e la suddivisione in NIL; ho ricalcolato il numero di viaggi in arrivo e partenza moltiplicando la densità per l'area delle singole intersezioni; infine, ho sommato il numero di spostamenti delle aree appratenti ad una stessa cella della griglia precedentemente configurata (in quanto ogni cella è identificata da un determinato codice numerico).

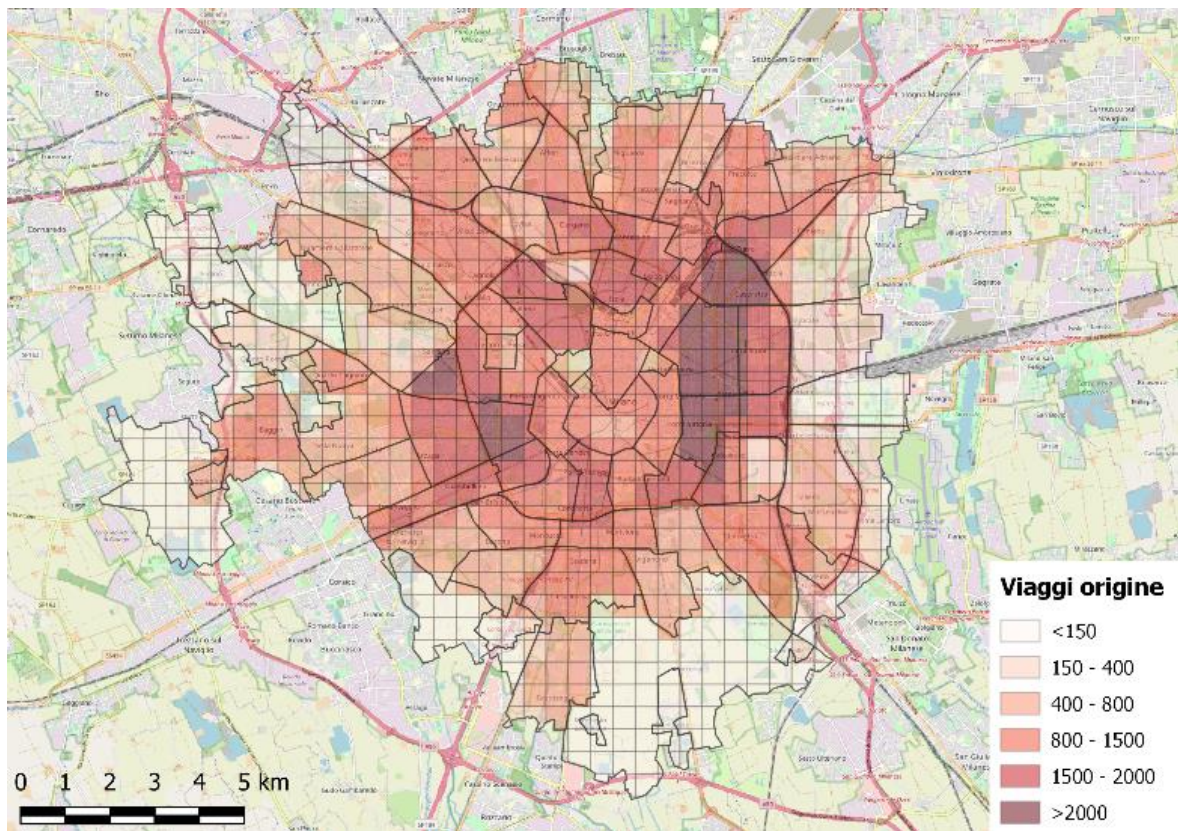


Figura 2.7: Mappa di calore relativa alle origini dei viaggi pendolari

In Figura 2.7 e in Figura 2.8, sono rappresentate le mappe di calore delle origini e destinazioni degli spostamenti abituali. Per quanto riguarda le celle origine, quelle che generano maggiori viaggi sono pressoché le stesse che in Figura 2.2 presentano densità abitativa maggiore. La mappa, infatti, è molto simile a quella ottenuta dall'analisi di questo attributo. Ho, quindi, individuato come celle maggiormente generatrici di viaggi abituali, quelle attorno al centro città, in particolare nell'area est, in zona Loreto, Città Studi e Milano Dateo, e ad ovest, nei quartieri di San Siro e Porta Genova. È interessante osservare, inoltre, che nell'area nord della città fino al confine comunale si hanno delle celle con elevato numero di viaggi in origine, tendenza non osservabile

nell'area sud della città. Si potrebbe ricondurre questa osservazione sempre alla densità abitativa: nelle aree nord, come osservabile in Figura 2.2, si hanno dei valori di abitante per chilometro quadrato superiori rispetto all'area sud che presentano soprattutto aree agricole piuttosto che residenziali.

Le destinazioni sono, invece, soprattutto le celle nell'area del centro città, ovvero in quelli che precedentemente si potevano riconoscere come il NIL Duomo e Brera. In questo caso, il valore dei viaggi che hanno come destinazione una determinata cella diminuisce man mano che ci allontana dal centro della città. Anche in questo caso i quartieri settentrionali della città presentano un maggior numero di viaggi in destinazione rispetto a quelle poste a Sud.

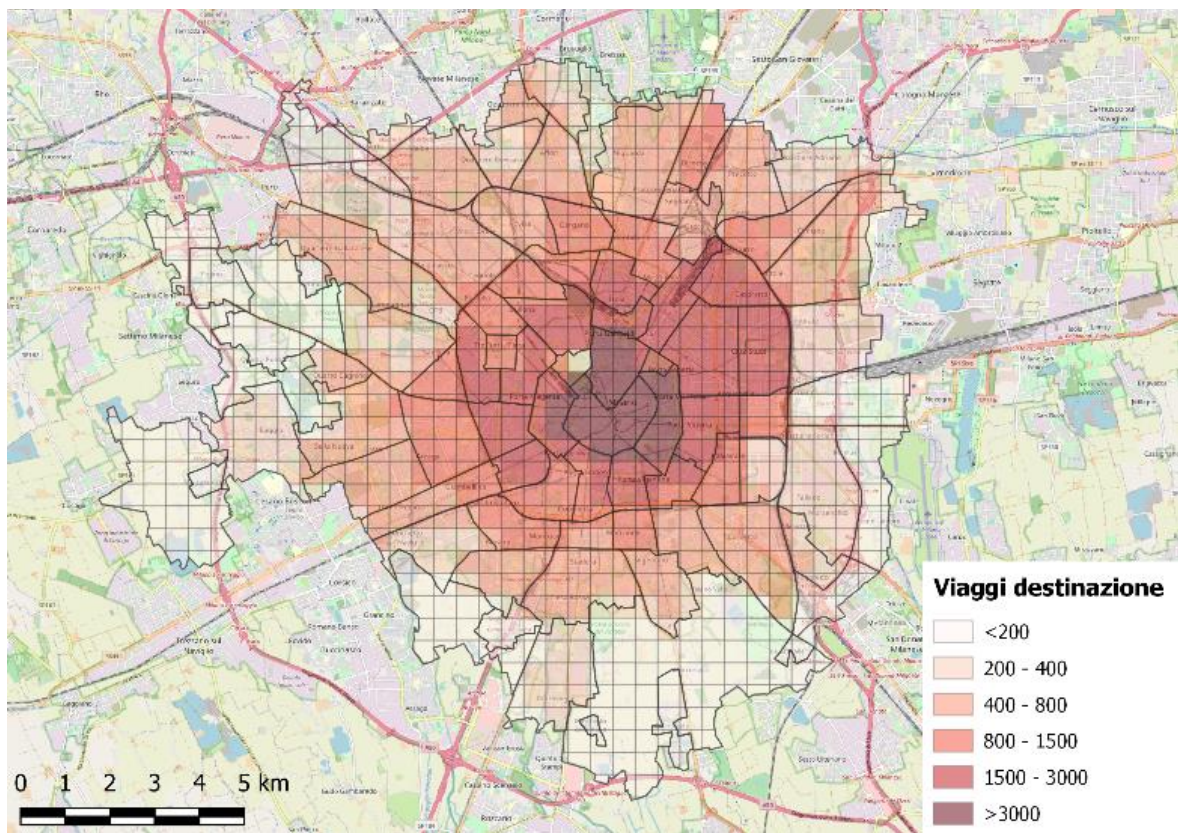


Figura 2.8: Mapa di calore relativa alle destinazioni dei viaggi pendolari

Dall'analisi appena condotta è possibile, quindi, riconoscere una tendenza ad avere viaggi che iniziano dalle aree più densamente popolate e hanno come destinazione il centro città.

Risulta essere interessante analizzare anche le scelte modali dei cittadini e come queste sono distribuite all'interno della città. Le celle che presentano le percentuali più elevate di cittadini che utilizzano il TPL per effettuare lo spostamento pendolare sono quelle esterne al centro città e si sviluppano generalmente lungo le direttrici della metropolitana, disponendosi, quindi, radialmente rispetto al centro. Questa percentuale arriva a toccare anche il 50% lungo le linee di forza della città

(ovvero metà dei residenti nella cella sceglie di utilizzare il TPL per effettuare lo spostamento pendolare) mentre le celle centrali presentano una percentuale di utilizzo attorno al 15%.

Al contrario, la percentuale di residenti che si muovono a piedi o in bicicletta presenta dei valori particolarmente elevati nel centro città e nelle celle ad esso limitrofe raggiungendo picchi di oltre il 40%. Questa tendenza potrebbe essere dovuta al fatto che le percorrenze per arrivare sul posto di lavoro o di studio sono ridotte e quindi facilmente realizzabili a piedi o in bicicletta. Questa modalità di spostamento risulta essere, ovviamente, meno utilizzata nelle aree periferiche dove le percorrenze aumentano. In queste celle appena il 5% della popolazione la sceglie per effettuare lo spostamento pendolare.

Infine, analizzando l'utilizzo dell'auto privata, il picco di utilizzo si ha nelle celle periferiche, soprattutto ad ovest e a sud della città dove si raggiungono percentuali di oltre il 50%. Questa tendenza è invece ridotta nelle altre aree della città raggiungendo il minimo in centro dove si hanno percentuali poco al di sotto del 20%.

3

ANALISI DEI DATI DEL CAR SHARING

In questo capitolo, discuto le analisi effettuate sui dati dell'utilizzo del car sharing fornite da AMAT. La serie dei viaggi fa riferimento ad un mese di raccolta dati. Questi possono rappresentare spostamenti reali o calcolati in base a stime. Ho condotto, dapprima, un'analisi generica sul set di dati per poi distinguere i viaggi round-trip dal totale. Ho, poi, ricercato delle tendenze negli spostamenti effettuati o dei percorsi ripetitivi che possono essere indicazione di una direzione prevalente di spostamento.

Dopo aver fatto le elaborazioni necessarie, ho ricercato possibili correlazioni tra i viaggi effettuati e gli attributi che vanno a caratterizzare ciascuna cella della griglia in cui ho suddiviso il territorio del comune di Milano per verificare se può esserci la necessità di procedere con analisi più approfondite.

3.1 Analisi generali

Per proseguire con lo studio, AMAT (Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio) ha fornito i dati relativi ai viaggi effettuati con il car sharing nella città di Milano. I dati fanno riferimento ad un mese di viaggi del 2019 e sono stati trasmessi in forma anonimizzata. Il dataset riporta la longitudine e la latitudine sia dell'origine che della destinazione dello spostamento. Per ogni viaggio, inoltre, è riportato il giorno di noleggio e di riconsegna del mezzo ma anche l'orario di inizio e di fine noleggio. Sono state fornite anche delle informazioni aggiuntive relative alla distanza percorsa da ogni viaggio e la durata, utili soprattutto per avere un'idea del tipo di utilizzo che gli utenti fanno del servizio. Ho, dapprima, elaborato tali dati per poter distinguere le differenze di utilizzo del servizio tra i giorni lavorativi e il fine settimana. Successivamente, ho analizzato

l'andamento orario dei prelievi per individuare eventuali picchi. Infine, ho elaborato i dati in modo tale da evidenziare gli spostamenti che vengono effettuati con maggiore frequenza.

Il totale dei viaggi effettuati con il car sharing è di 417.017 distribuiti sui 30 giorni del mese, che corrispondono ad una media di circa 14.000 viaggi al giorno. La prima elaborazione condotta sui dati trasmessi da AMAT è relativa all'andamento giornaliero dei prelievi del car sharing; quindi, i viaggi sono stati aggregati per giorno di inizio noleggio. In Figura 3.1, è possibile notare una tendenza a picchi che si ripete con cadenza regolare ogni 7-8 giorni. Non conoscendo il mese al quale i dati sono riferiti, non è possibile definire con certezza quale sia il giorno del picco. Da studi precedenti [26], però, è emerso che il picco del car sharing è, generalmente, il venerdì o il sabato, dovuto soprattutto ad un utilizzo più intenso del servizio nelle fasce orarie serali e notturne. Tale ipotesi verrà, poi, confermata successivamente conducendo l'analisi oraria dei prelievi distinta per giorno. Ho, inoltre, notato che tra la giornata del picco e le altre c'è una differenza circa di 2.000 noleggi.

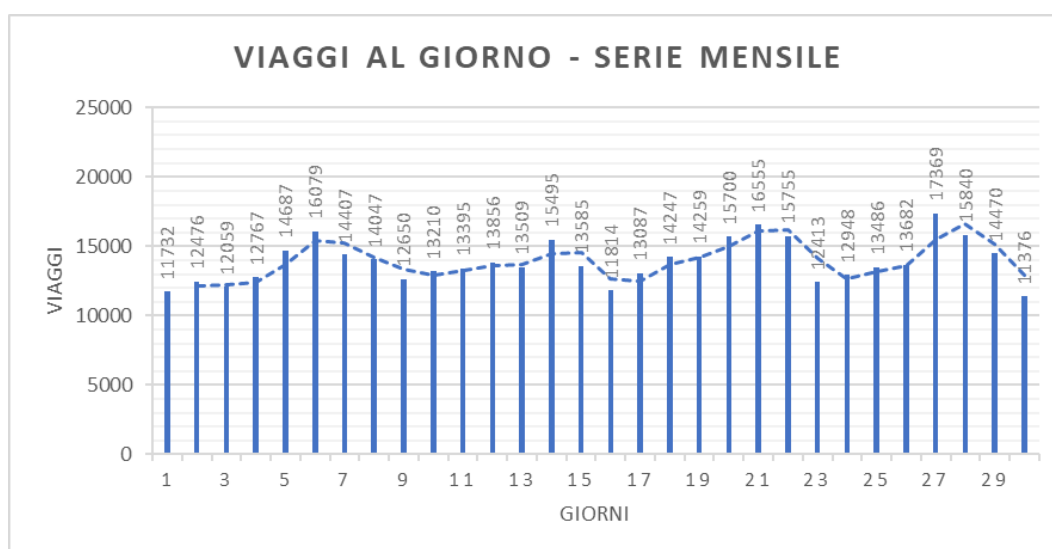


Figura 3.1: Andamento mensile dei viaggi effettuati in origine con il car sharing

Ho effettuato la stessa analisi considerando il giorno di fine noleggio: le differenze che si ottengono sono minime in quanto il numero di noleggi di durata superiore al giorno è molto ridotto. Per questo motivo, il grafico ottenuto considerando questa variabile non si differenzia da quello in Figura 3.1.

Ho condotto, poi, un'analisi sull'orario di prelievo dei mezzi per individuare eventuali picchi orari di utilizzo del servizio e se questi coincidono con una tipica curva di domanda propria degli spostamenti pendolari. In una prima fase, sono stati considerati i viaggi aggregati sui 30 giorni del mese e divisi per orario di inizio noleggio. Ciò che è possibile notare in questa fase è che si ha un

picco evidente nelle ore serali tra le 19 e le 20 e prelievi che si mantengono piuttosto costanti nelle ore notturne tra le 22 e mezzanotte. Ho registrato, successivamente, un crollo dei noleggi nelle ore notturne e un progressivo aumento dei prelievi attorno all'ora di punta pendolare del mattino, tra le 8 e le 9. Questo dato di mantiene, poi, piuttosto costante durante la giornata fino al picco serale. Da questa informazione è possibile fin da subito notare una differenza rispetto ad una generica curva che traccia gli spostamenti pendolari. Generalmente, la matrice del pendolarismo presenta due picchi molto evidenti, uno al mattino tra le 7 e le 9 e uno nel tardo pomeriggio tra le 17 e le 19. In questo caso invece, il primo picco risulta essere piuttosto ridotto e il secondo è spostato più verso sera che nel tardo pomeriggio.



Figura 3.2: Andamento orario dei viaggi effettuati con il car sharing rispetto all'orario di inizio noleggio

Analizzando anche il grafico in Figura 3.3 riferito all'orario di fine noleggio, non ho notato particolari differenze con quello precedente per quanto riguarda l'andamento della riconsegna dei mezzi durante la giornata. Tale tendenza potrebbe essere motivata con il fatto che la durata media dei viaggi in car sharing è di circa 30 min (come si vedrà successivamente) e quindi potrebbe non comportare grosse variazioni tra le diverse fasce orarie della giornata.

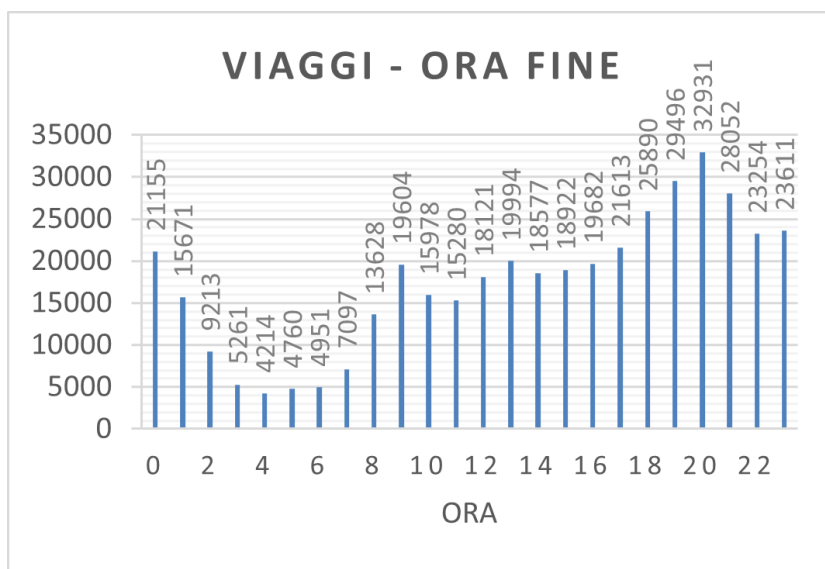


Figura 3.3: Andamento orario dei viaggi effettuati con il car sharing rispetto all'orario di riconsegna

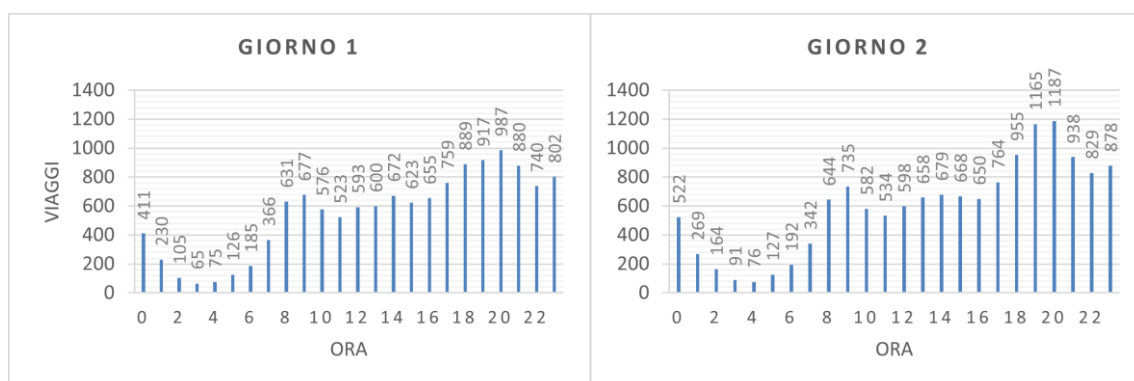
Partendo dalla serie storica dei viaggi fornita da AMAT ed analizzando l'andamento orario di 7 giorni consecutivi, ho cercato di distinguere i giorni feriali dal sabato e la domenica, così da poter studiare eventuali differenze nell'uso del car sharing durante la settimana.

Riferendosi alla Figura 3.4, le prime tre giornate presentano un andamento piuttosto simile: si individuano due picchi, uno alla mattina tra le 8 e le 9 e il secondo più evidente alla sera tra le 19 e le 20. Durante la giornata i prelievi si mantengono pressoché costanti mentre alla sera dopo le 23 i prelievi si riducono considerevolmente. Il quarto grafico presenta un andamento del tutto simile a quelli precedenti al mattino ma si differenzia nelle ore pomeridiane e soprattutto nelle ore serali per il numero di prelievi. Il picco di noleggi non si presenta più alle 19, come già visto nell'analisi effettuata precedentemente su tutta la serie mensile, ma è spostato verso le 21. Una differenza ancora più evidente è l'elevato numero di prelievi anche nelle ore serali successive al picco che si protrae fino a mezzanotte della giornata successiva. È soprattutto questo dato sui prelievi notturni che distingue il giorno 5 dai precedenti, andamento che si riconferma anche per la giornata successiva. Questi due grafici presentano numerose somiglianze. Innanzitutto, non presentano alcun picco tra le 8 e le 9 come i giorni precedenti ma si ha un picco circa a mezzogiorno, indice del fatto che la giornata considerata potrebbe non riferirsi ad una giornata di tipo lavorativo. Permane un evidente picco nel tardo pomeriggio. In questo caso, si hanno delle differenze tra le due giornate: il picco del giorno 6 si presenta attorno alle 18 e successivamente si ha un calo continuo dei prelievi riportando il dato serale e notturne allo stesso livello dei primi grafici analizzati. Tendenza che viene confermata anche nel giorno 7 dove è possibile notare come i prelievi a mezzanotte sono molto meno rispetto alle due giornate precedenti. Quest'ultimo grafico

riprende la stessa tendenza vista nei primi grafici, presentando un numero basso di prelievi nelle ore della notte e della mattina presto e due picchi, uno al mattino poco evidente e uno pomeridiano verso le 19.

Dall'analisi condotta è, quindi, possibile concludere che i primi 4 grafici sono dei giorni lavorativi, con il quarto che è un venerdì avendo una tendenza nella seconda metà della giornata differente. Il quinto giorno è un sabato in quanto presenta il picco di utilizzo verso mezzogiorno ed elevati valori di prelievi notturni. Poi è possibile riconoscere la domenica con il picco a mezzogiorno e nel pomeriggio tra le 16 e le 18, per poi avere un costante calo di prelievi raggiungendo il minimo nelle ore notturne del giorno successivo. L'ultimo grafico è un altro giorno lavorativo, ovvero il lunedì, in quanto presenta un andamento del tutto simile alle prime giornate analizzate. Questa elaborazione permette di assegnare ad ogni viaggio il giorno della settimana corrispondente e poter, quindi, distinguere le modalità di utilizzo del servizio. Quindi:

- Nei giorni feriali (dal giorno 1 al 3 e giorno 7), il servizio viene utilizzato prevalentemente la sera con un picco orario tra le 19 e le 20 che potrebbe essere dovuto in parte ad uno spostamento di tipo pendolare ma anche a degli spostamenti per motivi sociali. Durante la giornata, inoltre, si presentano dei valori piuttosto costanti con una leggera salita dei noleggi al mattino.
- Il venerdì (giorno 4) presenta un numero di noleggi molto elevato la sera tardi e la notte, indice del fatto che il servizio potrebbe essere utilizzato per spostamenti legati alla vita notturna o comunque a scopo sociale. Anche il sabato (giorno 5), presenta modalità di utilizzo simili a quelle del venerdì per quanto riguarda la sera.
- La domenica (giorno 6) invece si differenzia dagli altri casi. È possibile notare un picco a mezzogiorno che potrebbe essere simile a quanto accade generalmente in una curva del traffico: le dinamiche legate a questo picco potrebbero essere ricondotte alle attività ricreative e sociali che generalmente vengono svolte in questo giorno della settimana.



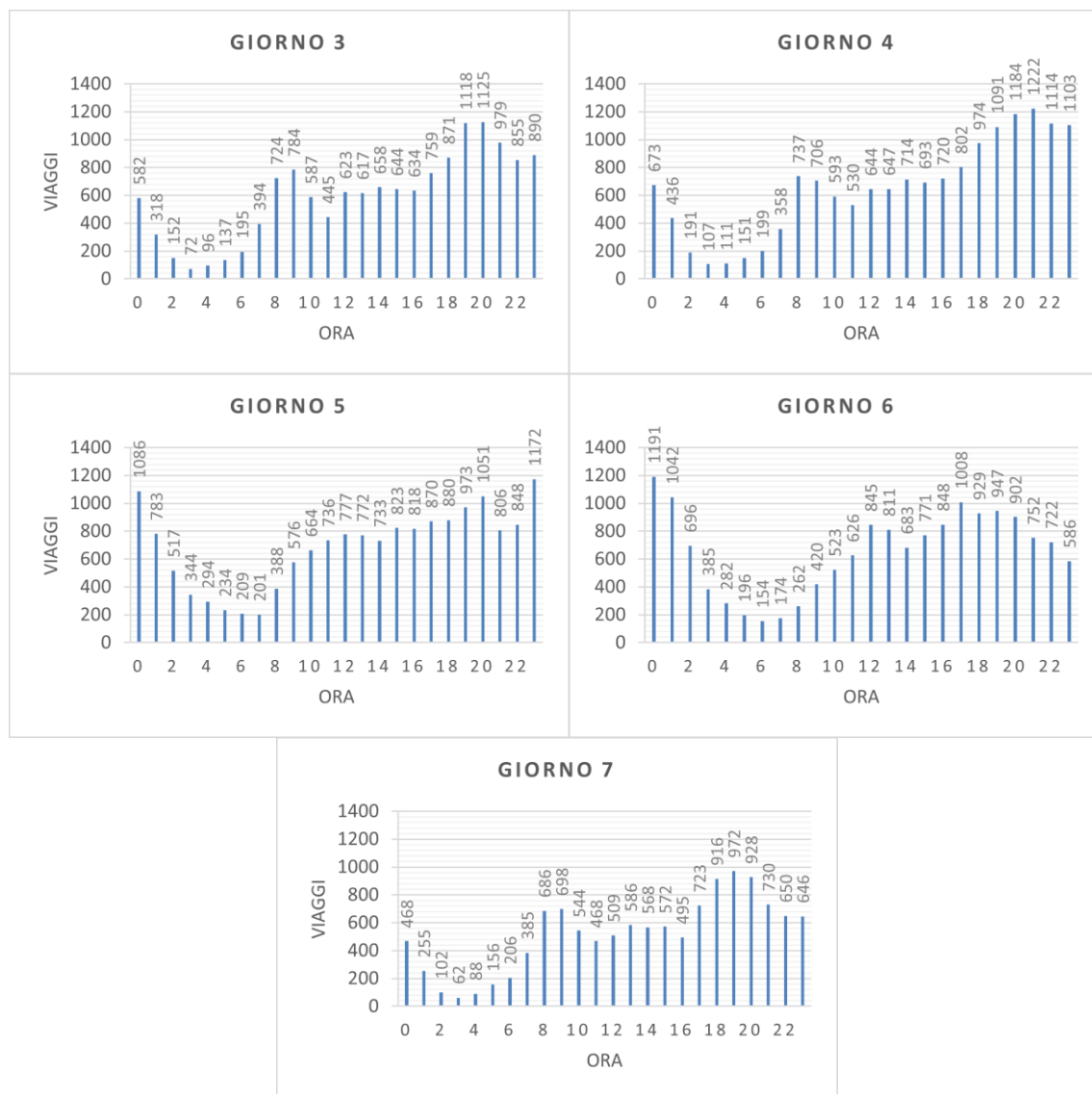


Figura 3.4: Andamento settimanale dei viaggi effettuati con il car sharing

Come già detto, i dati di AMAT forniscono anche la durata e la distanza percorsa per ogni viaggio. Ho analizzato questa informazione per avere un'indicazione sulla modalità di utilizzo del servizio di car sharing. Dall'andamento della curva del tempo di viaggio (Figura 3.5), è possibile notare un picco attorno ai 10-15 minuti. La durata media dello spostamento è circa di 30 minuti per viaggio e oltre il 95% dei viaggi non supera l'ora.

Per quanto riguarda l'andamento della curva dei chilometri percorsi (Figura 3.6), si ha un picco attorno a 3-4 km e distanza media percorsa di circa 7 km, riconducibile ad uno spostamento in ambito urbano. Inoltre, circa il 95% dei viaggi è effettuato per percorrere una distanza inferiore ai 20 km. Dall'elaborazione di queste informazioni, è possibile dedurre un utilizzo del car sharing che prevede distanze piuttosto corte con una durata del viaggio ridotta. Questa tendenza potrebbe essere motivata dall'elevato costo orario dei servizi disponibili in città ma anche da una tendenza degli

utenti a svolgere soprattutto percorsi in ambito urbano che risultano essere di lunghezza ridotta rispetto ad uno spostamento in ambito extraurbano.



Figura 3.5: Tempo di viaggio degli spostamenti effettuati con il car sharing

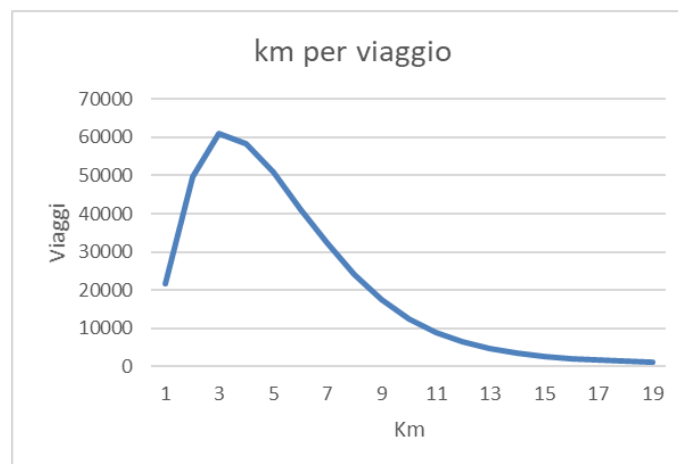


Figura 3.6: km percorsi dagli spostamenti effettuati con il car sharing

3.2 Viaggi in car sharing

Ho, poi, analizzato gli spostamenti effettuati con il car sharing in modo tale da individuare eventuali viaggi effettuati con maggiore frequenza. Per questo motivo, sono passato ad un'elaborazione geografica dei viaggi che viene condotta sul software QGIS. In totale i viaggi effettuati con il car sharing in un mese sono 417.017. Ho, però, notato che alcuni di questi viaggi presentano solo l'origine ma non riportano né longitudine né latitudine relativa alla destinazione. Non potendo ricostruire tutto il percorso effettuato, tali dati non sono adatti all'analisi che ho condotto in questa fase e ho, quindi, ritenuto opportuno escluderli dalle elaborazioni. È possibile così riportare i viaggi restanti, ovvero 416.955, sul modello GIS.

Come primo step, ho cercato di ricavare la matrice origine e destinazione di tutti i viaggi effettuati con il car sharing. Essendo origine e destinazione sottoforma di dato geografico, è necessario svolgere delle ulteriori elaborazioni. Ho riportato le origini e le destinazioni dei viaggi sul modello GIS e vi ho sovrapposto la griglia con la quale ho suddiviso il comune di Milano in precedenza. Tale operazione risulta essere interessante e fondamentale per poter selezionare solo i viaggi che avvengono all'interno del territorio comunale. Infatti, alcuni spostamenti vengono effettuati dalla città verso i comuni limitrofi coperti dal servizio di car sharing come Sesto San Giovanni o San Donato o ancora verso gli aeroporti di Milano Malpensa e Linate. Conoscendo i limiti del comune, è facile, quindi, selezionare solo i viaggi che presentano origine e destinazione all'interno della municipalità, che sono 401.458. Tale elaborazione permette di ricavare i viaggi utili per questa analisi ma soprattutto per le successive. Da adesso in poi si considererà solo questo set di dati ridotto. I viaggi che, invece, hanno origine o destinazione al di fuori del comune sono 15.497 e rappresentano circa il 3,70% dei viaggi mensili.

Ho deciso di considerare solo i viaggi interni al comune di Milano per poter semplificare lo studio. I limiti di questo approccio sono però evidenti: è come se si considerasse il comune di Milano come una entità a sé stante e non comunicante con le municipalità limitrofe. In caso di sviluppi successivi, ritengo che sia necessario il superamento di questa limitazione imposta al fine di generalizzare i risultati dello studio.

Come precedentemente detto, le celle nel quale è stato suddiviso il comune, sono univocamente individuate da un determinato numero di cella. Attraverso l'operazione di intersezione di QGIS, è possibile assegnare ad ogni origine e ad ogni destinazione il numero di cella corrispondente, e quindi è possibile clusterizzare il dato puntuale trasmesso da AMAT per ottenere la matrice origine e destinazione dei viaggi in car sharing secondo la suddivisione in celle. Per la rappresentazione grafica della matrice origine e destinazione, è necessario considerare il dato aggregato dei viaggi in uscita e in ingresso da ogni cella. Tale elaborazione permette di ottenere la mappa di calore rappresentata in Figura 3.7 e in Figura 3.8.

Come è possibile notare, le celle che generano più viaggi sono generalmente quelle del centro città. In particolare, si evidenziano alcune celle, quelle più scure, dalle quali partono oltre 3000 viaggi al mese (ovvero una media di 100 al giorno). Tali celle sono quelle limitrofe alle stazioni di Milano Porta Garibaldi e di Milano Centrale e in zona Porta Ticinese. Il numero di viaggi in origine nelle celle diminuisce progressivamente allontanandosi dal centro verso la periferia. Emergono però alcune eccezioni in particolare nell'area Nord della città verso gli abitati di Sesto San Giovanni e Cinisello, e nell'area a sud ovest, in zona Lorenteggio.

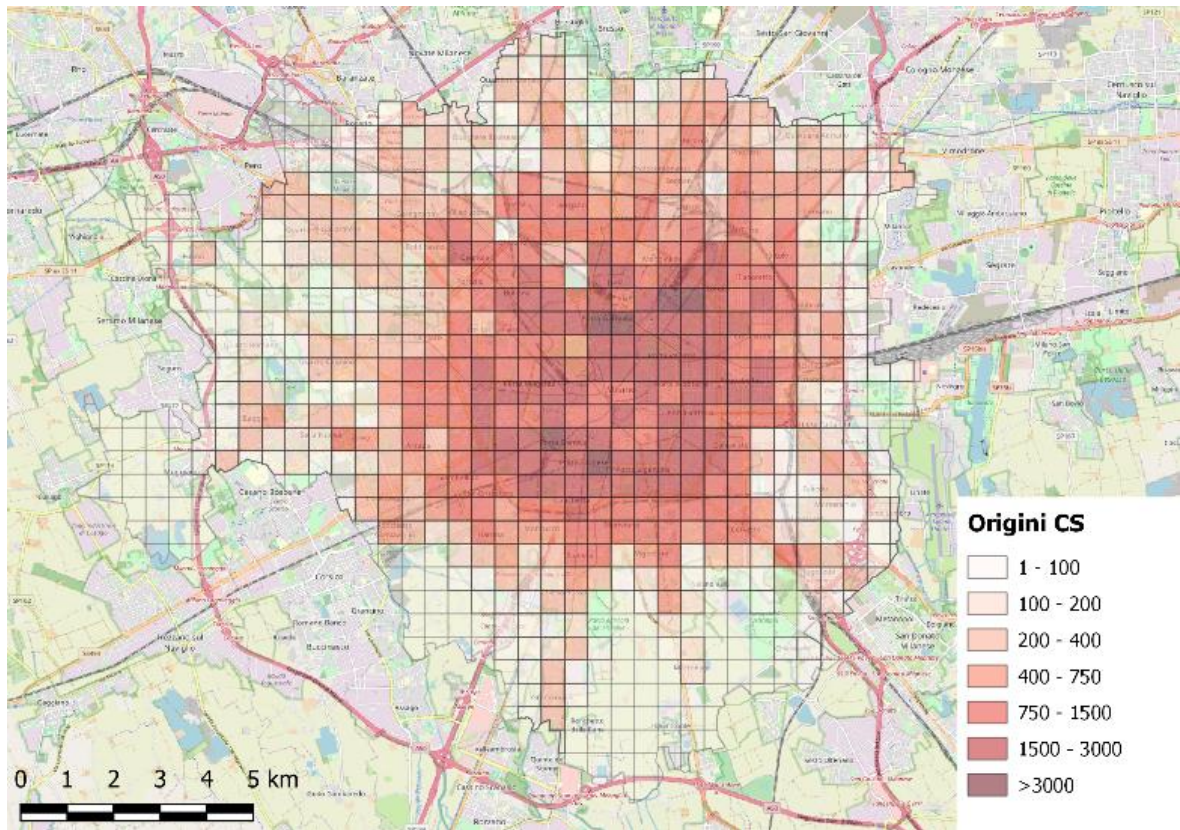


Figura 3.7: Mappa di calore dei viaggi effettuati con il car sharing - Origini

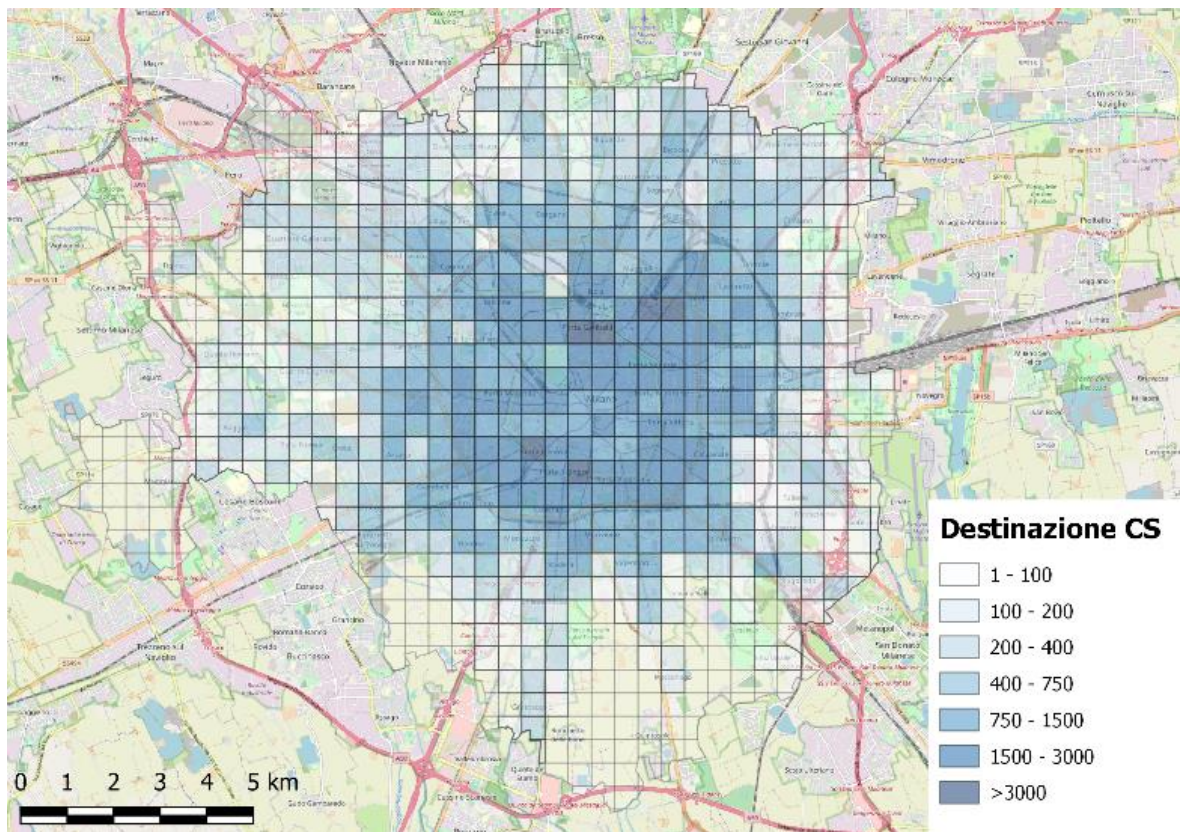


Figura 3.8: Mappa di calore dei viaggi effettuati con il car sharing - Destinazioni

Per quanto riguarda le destinazioni, la situazione risulta essere molto simile rispetto alle origini, salvo alcune lievi differenze per alcune celle. Le celle che prima si presentavano come maggiori generatrici di viaggi con il car sharing risultano anche essere mete privilegiate degli spostamenti.

Le mappe così ottenute si differenziano molto rispetto a quelle analizzate in 2.4 relative agli spostamenti pendolari. Per quanto riguarda le origini, la mappa che descrive gli spostamenti del car sharing assume come celle maggiormente generatrice di viaggi soprattutto quelle che presentano una stazione ferroviaria o ad essa limitrofe. Si registra, inoltre, una generale tendenza di utilizzo del servizio soprattutto per quanto riguarda le aree centrali della città, riducendosi man mano che ci si sposta verso la periferia. Questa tendenza potrebbe essere dovuta al fatto che nelle aree periferiche, pur essendo comprese nell'area di copertura del servizio, la probabilità di trovare un'auto disponibile e ad una distanza percorribile a piedi è minore. Ovvero la densità di veicoli risulta essere minore rispetto al centro città. Inoltre, nel caso dei servizi station-based si presenta il problema della mancanza di stazioni. Nel caso delle destinazioni la differenza risulta essere meno evidente rispetto al dato relativo allo spostamento pendolare. In questo caso, i viaggi con il car sharing presentano molto spesso come destinazione il centro città tendenza simile a quella ottenuta in Figura 2.8.

Ho, poi, ricercato i percorsi maggiormente effettuati con l'utilizzo del car sharing, evidenziando i 100 spostamenti più frequenti. Tra questi, più della metà presentano la stessa cella di origine e destinazione e sono soprattutto localizzati nell'area più centrale della città. Numerosi viaggi round-trip vengono effettuati in prossimità della stazione di Milano Centrale e di Porta Ticinese come già visto precedentemente. In questa analisi, ho evidenziato anche altre zone che generano numerosi viaggi di questa tipologia, ovvero la zona della stazione di Milano Dateo e di Porta Romana.

Per quanto riguarda gli spostamenti con origine e destinazione diverse, si ha una predominanza di viaggi da e per la stazione di Milano Centrale che hanno origine o destinazione soprattutto nella zona di Porta Vittoria. Un altro spostamento frequente, non presente in Figura 3.10, è quello effettuato dal quartiere Baggio verso la fermata M1 Bisceglie che potrebbe essere riconducibile ad uno spostamento per accedere al servizio pubblico. Infine, si sono evidenziati anche alcuni viaggi da e per la zona dell'università Bocconi; in questo caso però, per la lunghezza del percorso che vede lo spostamento tra due celle limitrofe, si potrebbe ipotizzare che rientri in una tipologia di viaggio round-trip.

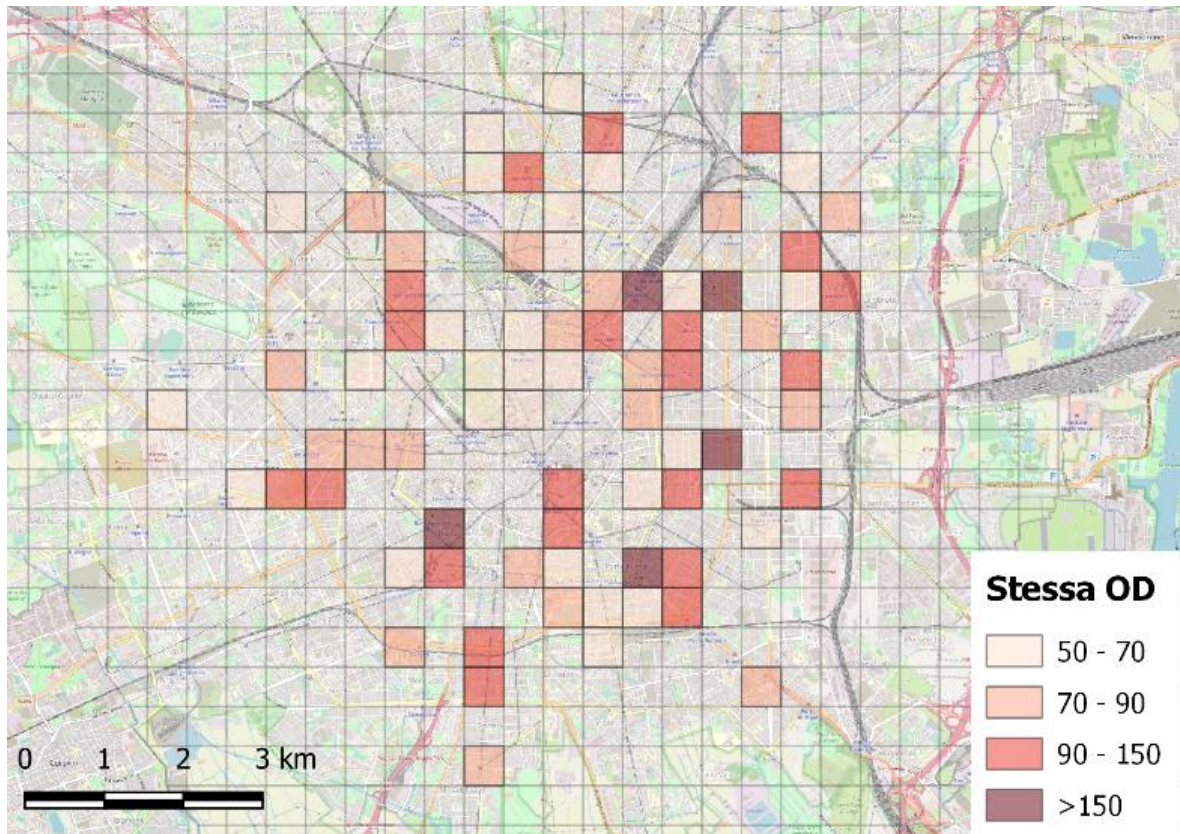


Figura 3.9: 100 spostamenti più frequenti effettuati con il car sharing – Viaggi round-trip

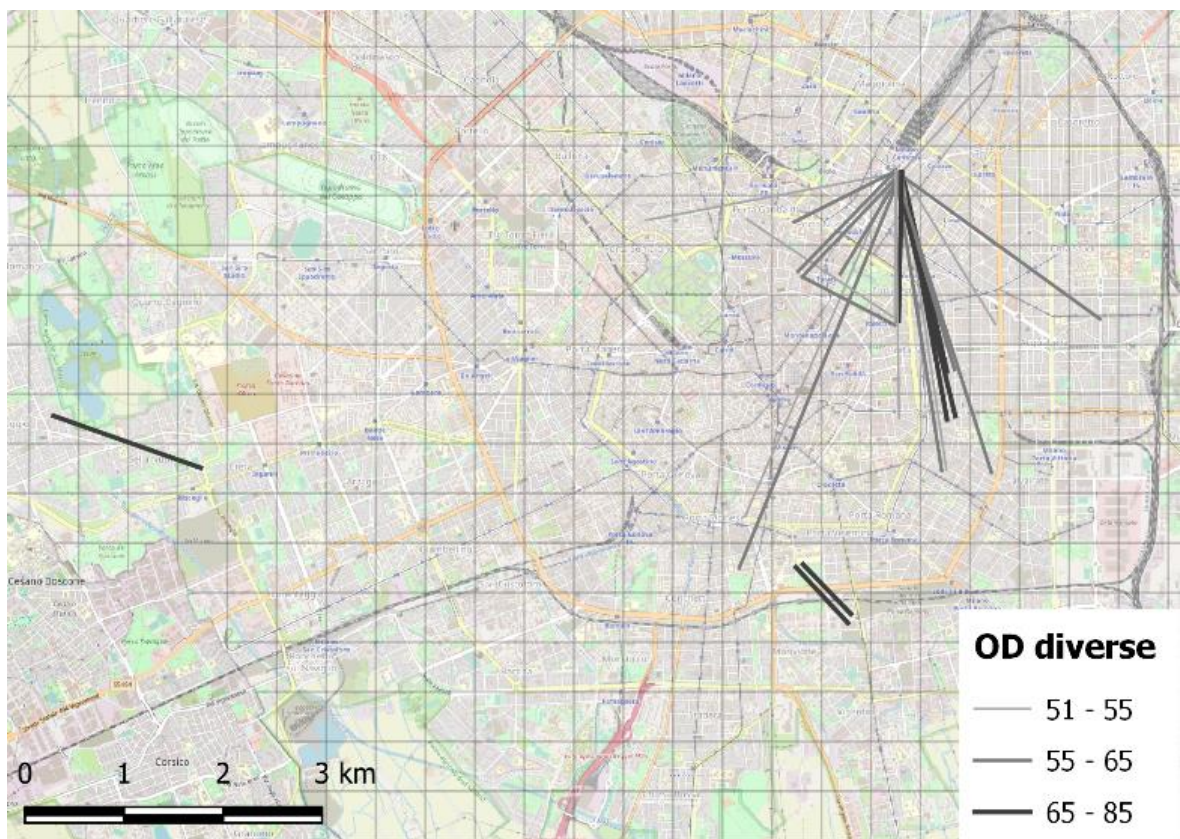


Figura 3.10: 100 spostamenti più frequenti effettuati con il car sharing – Viaggi one way

3.3 Viaggi Round-trip

I viaggi ottenuti da AMAT comprendono tutti gli operatori di car sharing attivi sul comune di Milano. Uno di questi operatori gestisce un servizio station-based ed è l'unico che consente solo viaggi round-trip ovvero con origine e destinazione che coincidono mentre tutti gli altri servizi permettono di effettuare viaggi one way. Dall'analisi precedente è emerso che tra i 100 spostamenti più frequenti, ci sono numerosi spostamenti che presentano origine e destinazione all'interno della stessa cella. Ho quindi ritenuto significativo approfondire questo aspetto.

In un primo momento, ho analizzato solo i viaggi che presentano la stessa cella di origine e la stessa destinazione che non necessariamente sono spostamenti effettuati utilizzando il servizio di car sharing station-based che consente di effettuare viaggi round-trip. Il totale dei viaggi che presenta queste caratteristiche è 13.917, ovvero circa il 3,40% del totale. Le celle con il maggior numero di viaggi round-trip sono le stesse viste in precedenza (l'area vicino alla stazione di Milano Centrale e Milano Dateo, e la zona di Porta Ticinese e Porta Romana). Inoltre, si possono notare anche alcune celle periferiche che presentano più di 30 viaggi al mese, soprattutto nell'area a nord est della città.

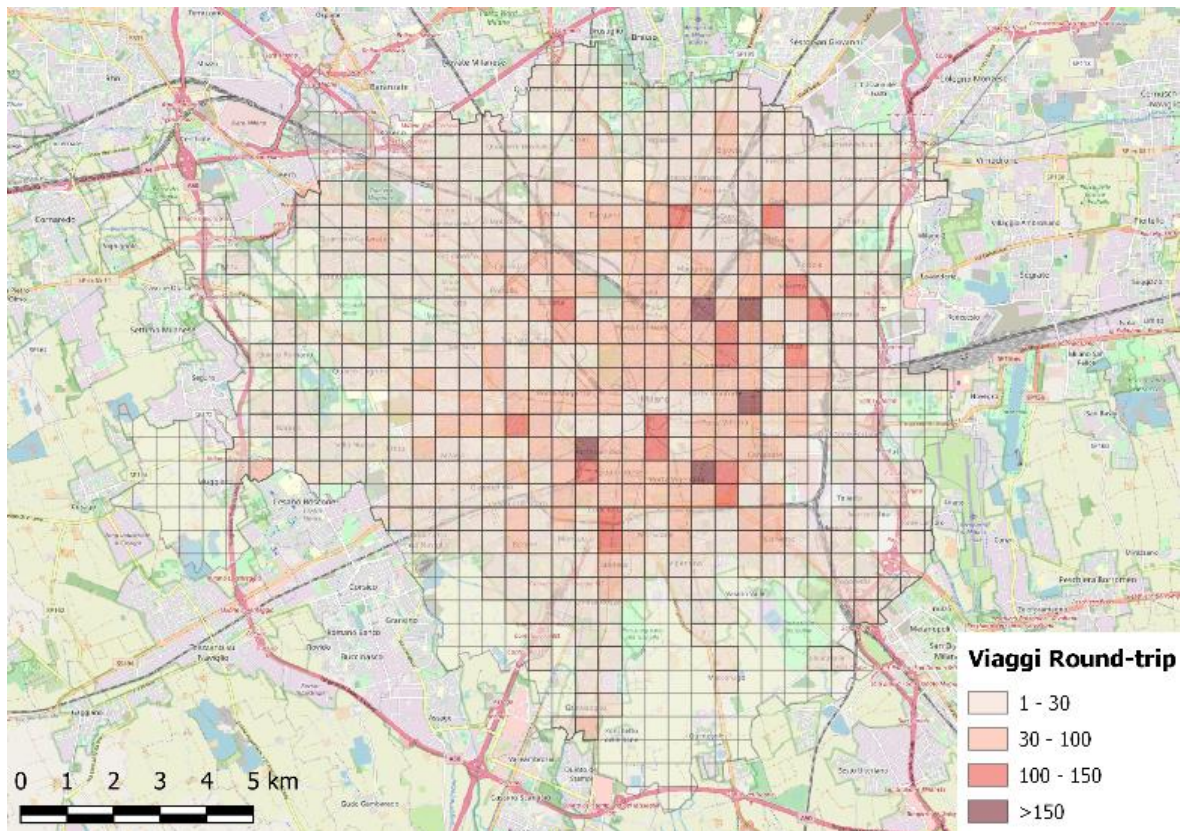


Figura 3.11: Mappa di calore dei viaggi round-trip

Per quanto riguarda l'andamento orario dei noleggi, non si notano grosse differenze rispetto all'analisi condotta sulla totalità dei viaggi: si ha un picco di prelievi al mattino attorno alle 10 e uno nel tardo pomeriggio verso le 19. Tuttavia, durante la giornata, l'andamento dei prelievi si mantiene più o meno costante. La riconsegna dei mezzi, ovvero di fine noleggio, presenta invece un picco netto attorno alle 19 e un picco meno marcato verso mezzogiorno.

La grande differenza che emerge da questo cluster di viaggi è relativa al tempo di noleggio e ai chilometri percorsi. Il tempo medio di utilizzo risulta essere circa di 150 min, ovvero circa 2h e 30min. Inoltre, anche la distanza media percorsa risulta essere molto maggiore, 28 km, rispetto a quella precedentemente trovata che risulta essere di 7km. Questa differenza potrebbe essere dovuta ad un utilizzo diverso del servizio, che viene sfruttato per compiere almeno due viaggi, uno di andata e uno di ritorno, comportando in questo modo uno spazio percorso e un tempo di noleggio maggiori.

Una volta individuati i viaggi che presentano la stessa origine e destinazione, ho ricavato quei viaggi che potrebbero essere stati effettuati utilizzando il servizio di car sharing station-based che consente di compiere viaggi round-trip attivo a Milano. Sull'OPEN DATA del comune è possibile scaricare la posizione delle stazioni di questo servizio (dato aggiornato al 2017) [23].

Per estrarre i viaggi effettuati in modalità round-trip, ho riportato le origini e le destinazioni di tutti i viaggi sul GIS, oltre alla posizione delle stazioni del servizio. A questo punto, ho considerato un raggio di 100m attorno alle stazioni, ipotizzando che la localizzazione di inizio e fine viaggio possa non essere accuratissima, e si selezionano tutte le origini e le destinazioni presenti all'interno di tale area. Ho così ottenuto due set di dati, uno riferito alle origini e uno alle destinazioni. Sapendo il codice della stazione del servizio di car sharing più vicina al punto selezionato e il numero del viaggio (che lo identifica in maniera univoca), posso ricavare i viaggi che presumibilmente vengono effettuati utilizzando il servizio station-based round-trip. Ho ottenuto un totale di 4.108 viaggi che rappresentano circa l'1% dei viaggi totali. La matrice origine e destinazione che si ottiene è costituita, come facilmente immaginabile, quasi esclusivamente dalla diagonale principale, salvo rare eccezioni, dove comunque origine e destinazione ricadono in celle limitrofe.

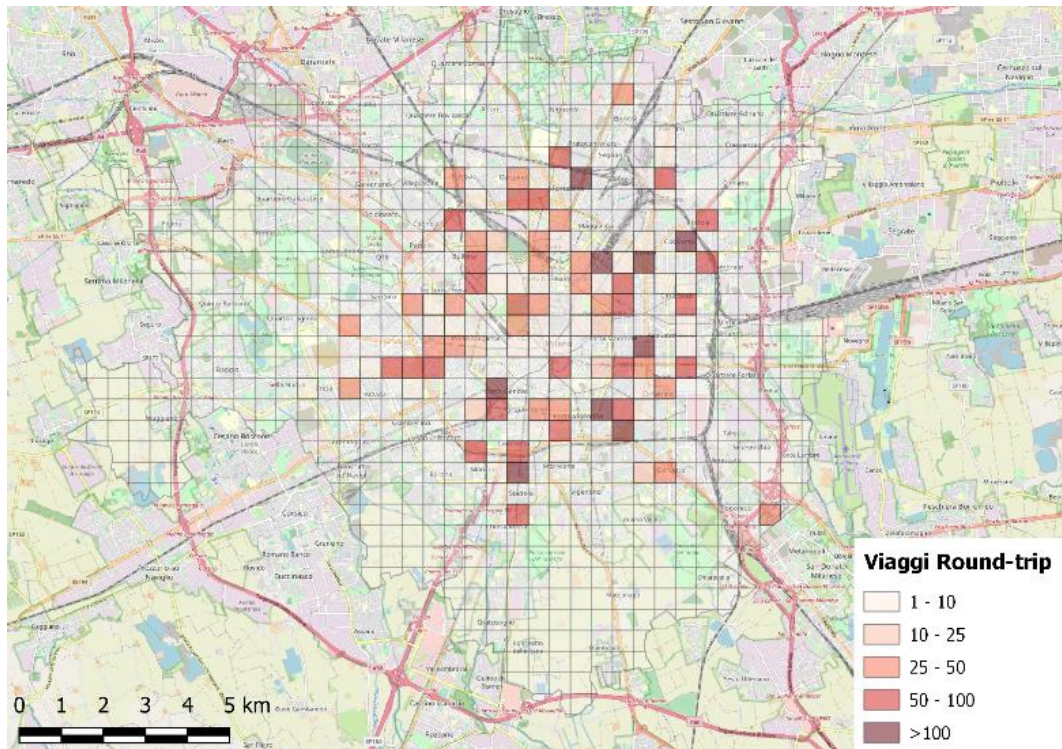


Figura 3.12: Mappa dei viaggi effettuati con car sharing station-based round-trip attivo nel comune di Milano

Sono, poi, passato ad analizzare l'andamento orario dei noleggi dei viaggi effettuati in modalità station-based round-trip. Quello che è possibile notare fin da subito, in Figura 3.13, è un picco evidente al mattino, tra le 8 e le 9. Tale tendenza non si registra né nell'analisi generale dei viaggi effettuati in car sharing, né nell'analisi condotta con i viaggi round-trip. Un altro aspetto da evidenziare è il basso numero di prelievi durante le ore notturne in quanto un servizio di questo tipo non si adatta alle esigenze degli spostamenti serali. Analizzando invece la curva dell'orario di fine noleggio, si hanno due picchi: uno nelle ore centrali della giornata e il secondo nelle ore del tardo pomeriggio attorno alle 18 e le 19. Da una prima analisi dell'andamento orario del noleggio, potrei dedurre che il servizio station-based round-trip è utilizzato soprattutto per noleggi che si estendono per più ore nell'arco della giornata o che interessano tutta la giornata lavorativa.

La deduzione precedentemente fatta potrebbe essere confermata dall'analisi della durata media del noleggio e dalla distanza media percorsa. In particolare, è possibile vedere che le medie di entrambe gli indicatori sono molto superiori rispetto alla media calcolata precedentemente. Per quanto riguarda il chilometraggio, si ha una media di 55km che è ben oltre i 7km di media dei viaggi generici. La durata media del noleggio è di circa 270 min, ovvero oltre le 4h.

Posso concludere, anche riprendendo i dati riferiti all'orario di inizio e fine noleggio, che l'utilizzo del servizio station-based round-trip è diverso rispetto agli altri modelli di car sharing presenti in città che prevedono un servizio di tipo free floating. Le distanze molto più elevate e i tempi di

noleggio più lunghi, potrebbero essere motivati da un noleggio per tutta la giornata lavorativa, prelevando l'auto al mattino e restituendola a mezzogiorno o direttamente nel tardo pomeriggio a fine orario di lavoro.

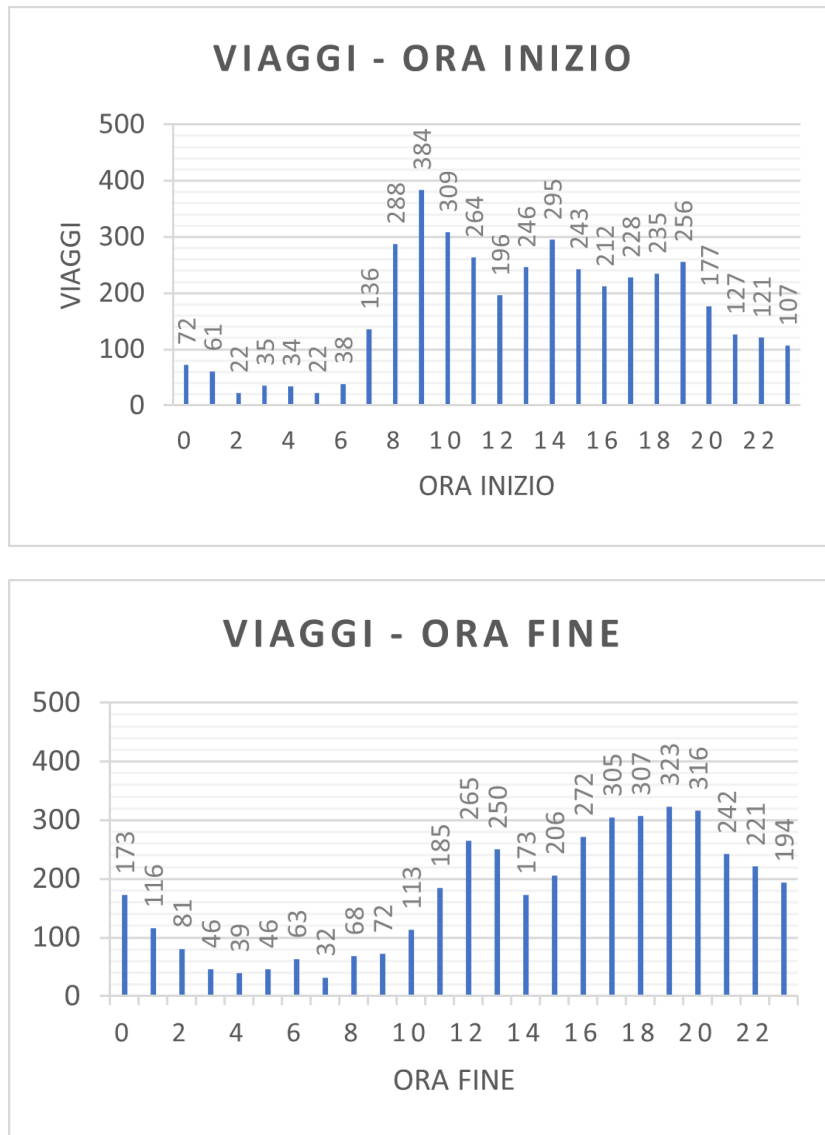


Figura 3.13: Andamento orario dei noleggi in modalità station-based round-trip rispetto all'orario di inizio e fine noleggio

3.4 Spostamenti prevalenti

Dopo aver analizzato gli spostamenti effettuati con il car sharing e dopo aver distinto i viaggi round-trip, ho ricercato se esistono delle tendenze ricorrenti negli spostamenti o, per esempio, se esistono delle direzioni prevalenti e la variabilità di tali viaggi con l'orario. Ho analizzato tre gruppi di spostamenti: dall'Area C (identificato come il centro città) verso le aree limitrofe o periferiche, dalle aree limitrofe o periferiche verso l'area C e dalle celle esterne ad area C ad altre zone esterne

ad area C.

3.4.1 Da Area C

Ho iniziato con l'analisi della prima tipologia di viaggi, ovvero quelli che avvengono da Area C verso l'esterno. Dapprima, ho riportato le origini di tutti i viaggi sul GIS e ho selezionato le origini solo interne ad Area C. Ho ottenuto così sia i viaggi che da Area C vanno verso le celle limitrofe e periferiche, sia i viaggi che da Area C terminano al suo interno. Per distinguere questi viaggi, ho riportato nuovamente sul GIS le destinazioni e ho selezionato solo quei viaggi con arrivo all'esterno dell'Area C. I viaggi così raccolti sono 41.493, ovvero circa il 10% del totale.

Come è possibile notare in Figura 3.14, la maggior parte delle destinazioni è nelle celle limitrofe ad Area C. Le mete più ambite sono sicuramente il quartiere Guastalla e Porta Romana, la zona ad est del centro, le zone limitrofe alla stazione di Milano Centrale e i quartieri Sarpi e Portello. Anche la zona di Porta Ticinese risulta essere meta di numerosi viaggi. In generale, invece, le celle più esterne ricevono meno di 100 viaggi al mese, il che significa una media di tre viaggi al giorno con origine in Area C e destinazione nelle aree esterne.

Ho, poi, analizzato l'andamento orario e giornaliero dei noleggi. Le curve di orario di inizio e di riconsegna del mezzo risultano essere molto simili. Si possono fare due osservazioni interessanti sull'andamento orario di inizio viaggio. Il primo è che dopo le 7 del mattino c'è un innalzamento notevole dei prelievi: questo potrebbe essere motivato sia dal fatto che tra le 8 e le 9 inizia l'orario lavorativo ma anche dall'attivazione di Area C che entra in servizio a partire dalle 7:30. Il servizio di car sharing così potrebbe essere particolarmente utile per evitare il pagamento di Area C in quanto tale servizio è già compreso nel costo del noleggio. Un secondo aspetto da evidenziare è nell'andamento dei prelievi nel tardo pomeriggio. Il picco serale è leggermente in anticipo rispetto al grafico generale: invece di avere il picco tra le 19 e le 20, si ha un evidente aumento dei prelievi alle 18 che coincide con la fine dell'orario di lavoro. Anche in questo caso, tale tendenza potrebbe essere influenzata da Area C che risulta essere attiva fino alle 19:30. Dall'analisi dell'andamento orario, si potrebbe concludere, che i viaggi in uscita da Area C, in particolare quelli serali, sono molto spesso riconducibili alla fine dell'orario di lavoro e quindi al ritorno a casa dei lavoratori.

Ho, poi, evidenziato gli spostamenti che avvengono con maggiore frequenza da Area C verso le zone limitrofe e periferiche. Quello che si nota è che tali viaggi si concludono nella maggior parte dei casi in celle dove è presente una stazione ferroviaria o nelle celle limitrofe ad essa. In particolare, le direzioni prevalenti sono verso le stazioni di Milano Centrale e Milano Dateo.

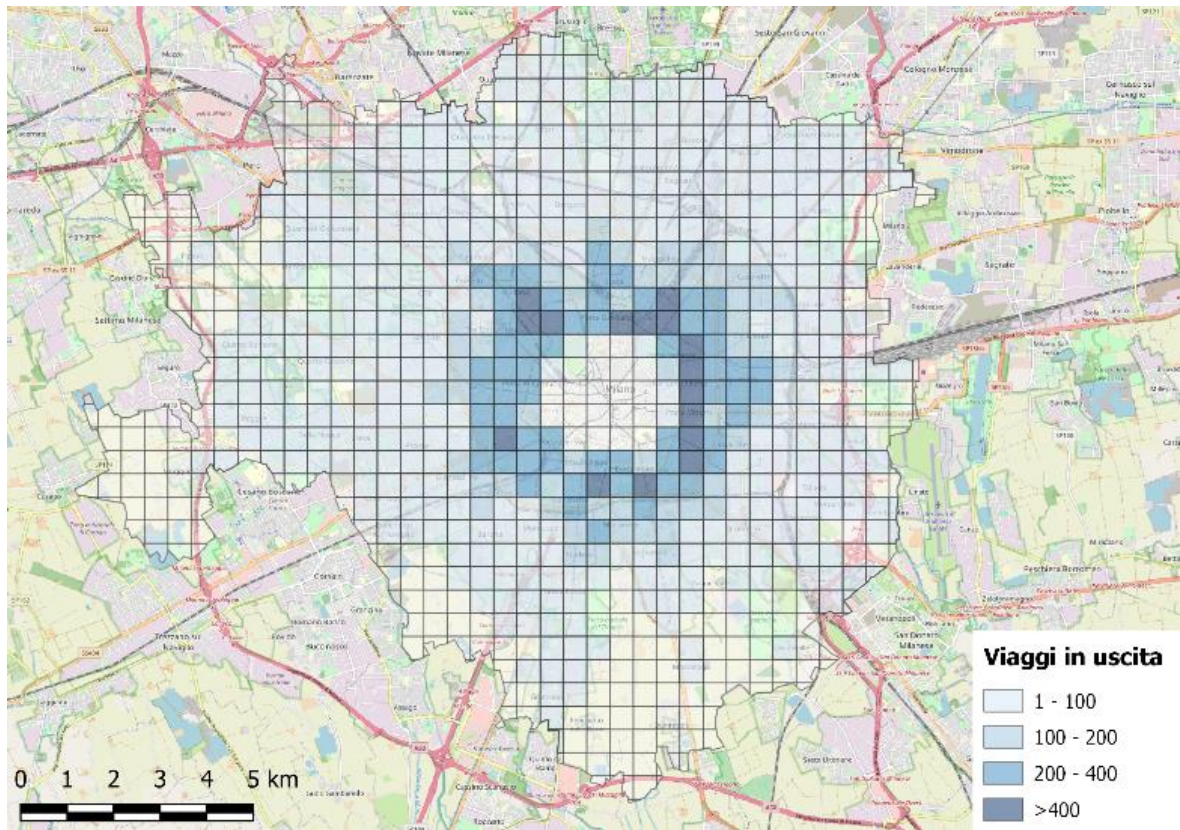


Figura 3.14: Mappa di calore dei viaggi verso area C – Destinazioni



Figura 3.15: Andamento orario dei prelievi di car sharing nel caso di viaggi da area C

Nell’ eseguire l’ analisi precedente, ho estratto anche quei viaggi che iniziano e terminano all’ interno dell’ Area C. Il totale di questi spostamenti è di 11.066, ovvero il 20% dei viaggi totali in partenza da Area C. Non ho però riscontrato peculiarità da mettere in evidenza né dal punto di vista orario né dal punto di vista di durata e lunghezza dello spostamento. Sono utili, però, per capire quale sia l’ entità dei viaggi che dal centro si dirigono verso la periferia, che sono l’ 80% rispetto al totale.

3.4.2 Ad Area C

Ho poi proceduto ad effettuare l'operazione speculare: ho analizzato i viaggi in ingresso ad Area C. In questo caso, ho riportato le origini di tutti i viaggi effettuati con il car sharing e ho selezionato solo quelle esterne ad Area C. A questo punto di tali viaggi, ho utilizzato solo quelli che hanno destinazione all'interno dell'Area C. I viaggi con tali caratteristiche sono 41.068, circa il 10% del totale. Le celle che generano il maggior numero di viaggi sono sempre quelle limitrofe al centro in particolare le zone già citate precedentemente. Nelle aree più periferiche non si riportano, invece condizioni particolari. Un aspetto da sottolineare è legato all'andamento orario dei noleggi. Ho notato, in questo caso, più che nelle elaborazioni precedenti, la presenza di un picco significativo al mattino, che ha inizio alle ore 7 e che raggiunge il culmine alle 9. Tale picco è ancora più evidente se si considera un giorno lavorativo mentre nel fine settimana c'è un comportamento diverso. Tale tendenza potrebbe essere spiegata sia con l'inizio dell'orario di lavoro sia per l'attivazione di Area C. I prelievi, poi, si mantengono pressoché costanti durante la giornata con un secondo picco verso sera.

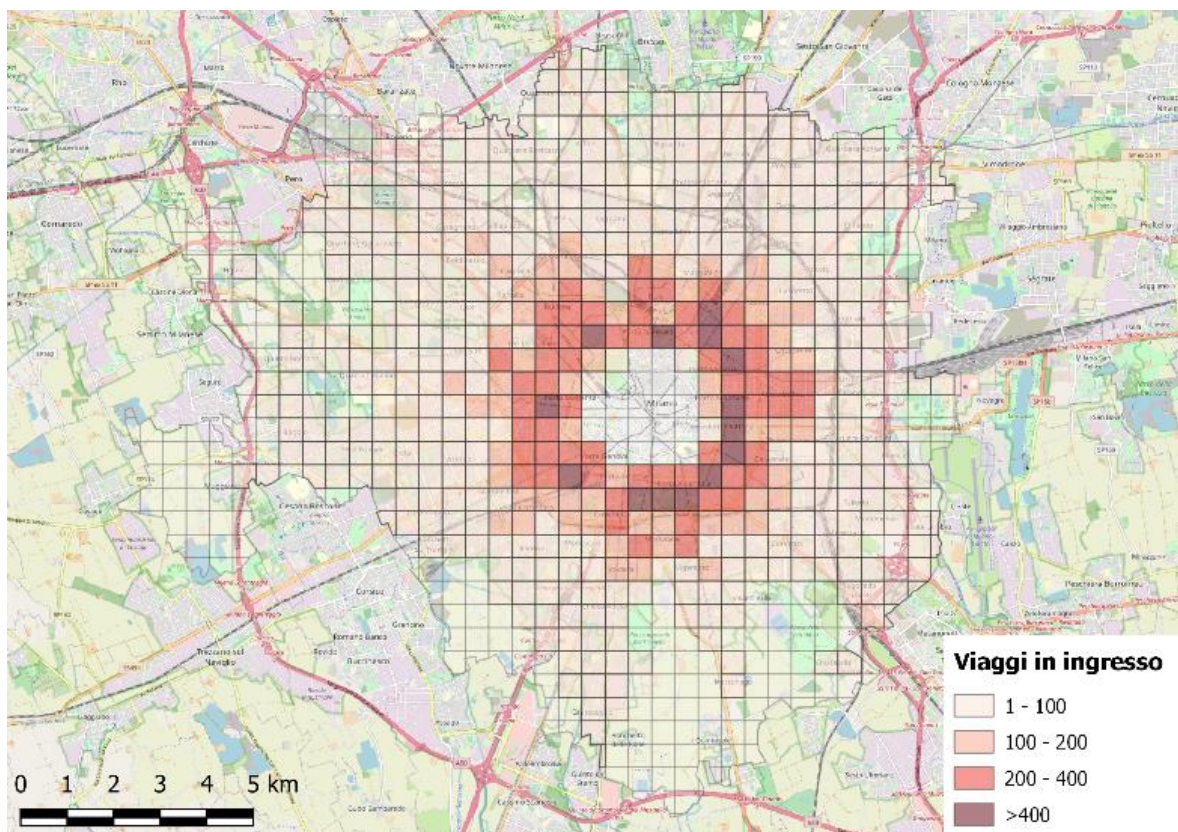


Figura 3.16: Mappa di calore dei viaggi verso area C – Origini



Figura 3.17: Andamento orario dei prelievi di car sharing nel caso di viaggi verso area C

3.4.3 Zone esterne ad area C

Ho, infine, condotto anche un'analisi sui viaggi che avvengono interamente all'esterno dell'Area C, per coglierne le direttrici di viaggio prevalenti. Ho riportato, quindi, sul GIS tutti i viaggi effettuati con il car sharing e ho selezionato quelli che presentano sia l'origine, sia la destinazione esterne ad Area C. Si ottiene un totale di 307.831 viaggi, ovvero oltre il 75% dei viaggi complessivi. Per ogni cella, ho riportato il totale dei viaggi in origine o in destinazione. La distribuzione dei viaggi nelle varie celle è osservabile in Figura 3.18. È facile notare come sia in origine sia in destinazione ci siano due celle più scure delle altre: tali celle sono in zona stazione Milano Centrale che risulta essere, come già visto in tutte le altre analisi, sia generatrice di viaggi che destinazione di numerosi spostamenti. Le rappresentazioni che ho ottenuto in questo caso ricordano molto quanto visto nell'analisi generica dei viaggi effettuati con il car sharing vista in 3.2.

Dall'analisi dell'andamento giornaliero dei viaggi e da quello orario, non sono emerse particolari differenze rispetto all'analisi generica precedentemente effettuata: si ha un picco di prelievi serali evidente tra le 19 e le ore 20 e numerosi prelievi anche in tarda serata fino a mezzanotte. Anche la distanza media percorsa e la durata media del noleggio risultano essere invariati rispetto all'analisi effettuata su tutto il set di dati.

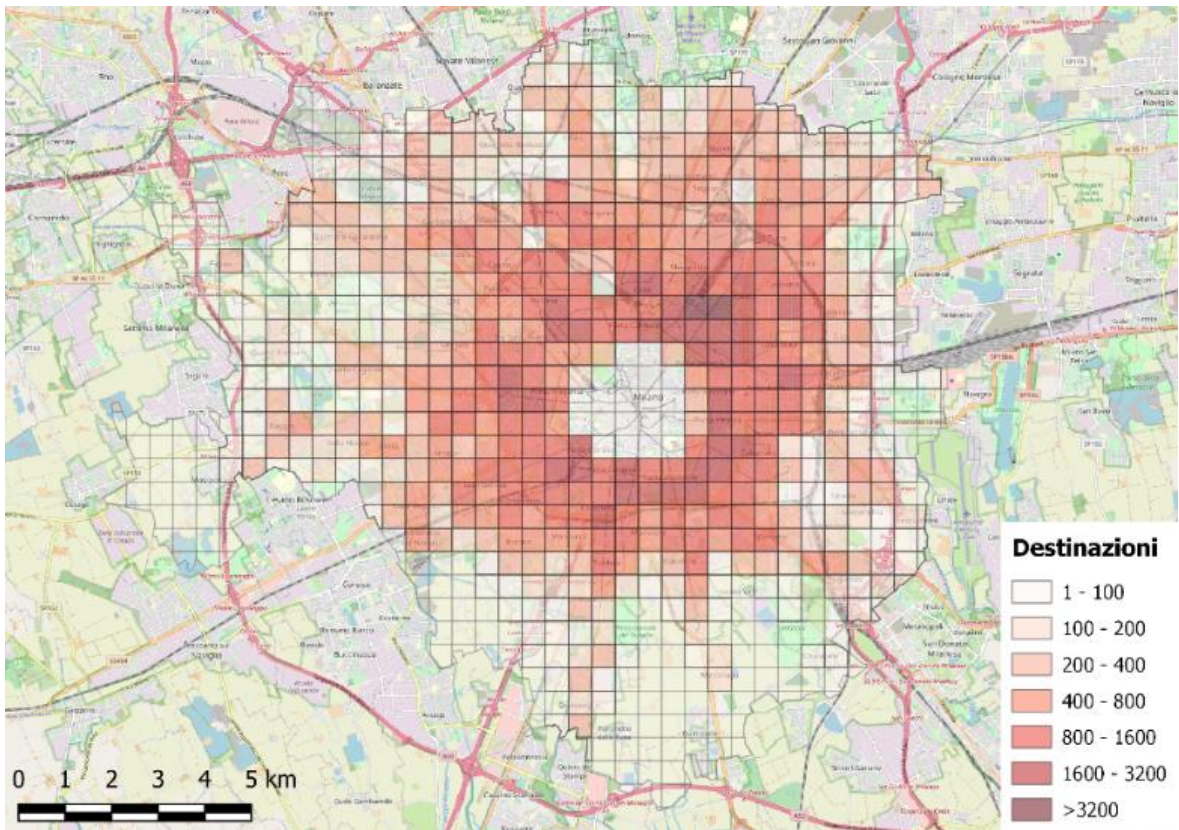


Figura 3.18: Mappa di calore dei viaggi effettuati esternamente ad Area C - Origini

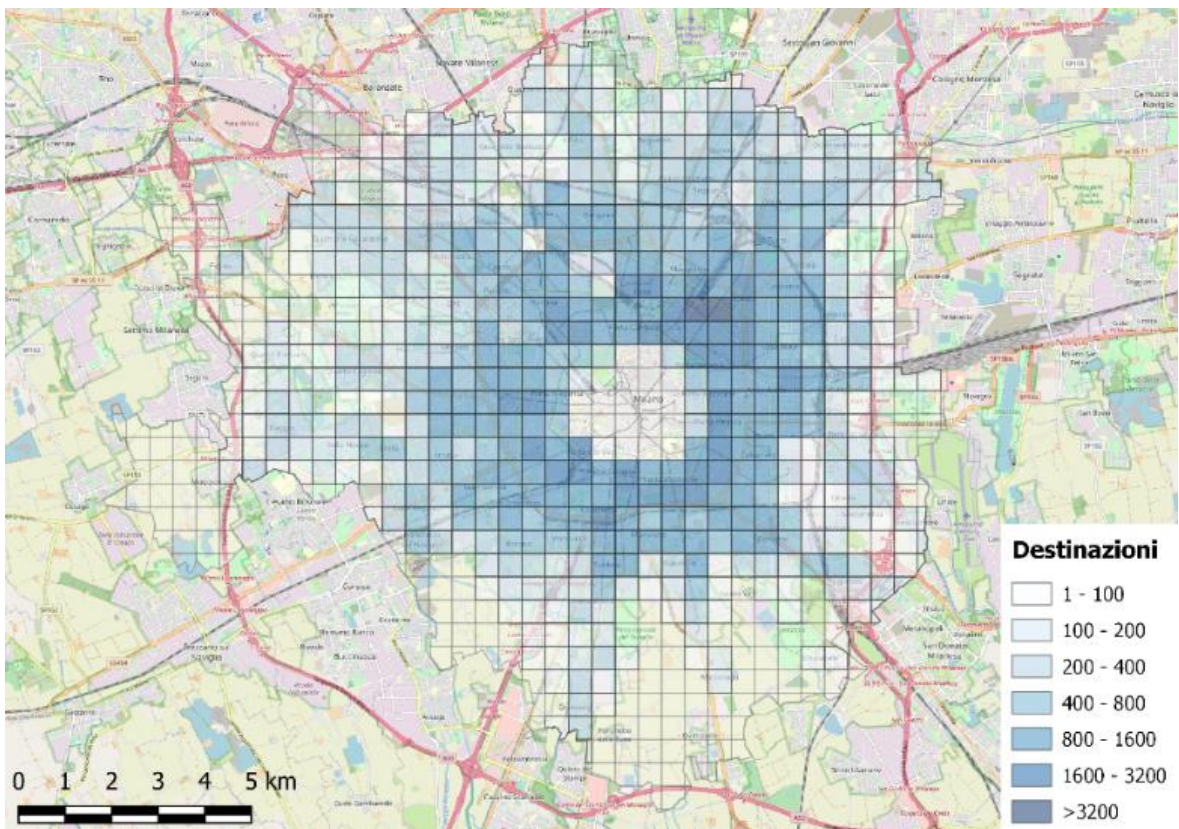


Figura 3.19: Mappa di calore dei viaggi effettuati esternamente ad Area C - Destinazioni

Ho, infine, condotto un'analisi più dettagliata sugli spostamenti effettuati più di frequente sempre riferendosi al set di viaggi con origine e destinazione esterne ad Area C. Ho considerato tutti quegli spostamenti che vengono effettuati almeno 50 volte al mese (ovvero con una media di quasi 2 viaggi al giorno). Tali viaggi sono stati suddivisi tra quelli che hanno la stessa origine e destinazione (round-trip) e quelli che, invece, hanno origine e destinazione in celle diverse (one way). Nel primo caso è possibile notare come le celle che generano più viaggi round-trip sono quelle nella zona limitrofa alla stazione di Milano Centrale, Milano Dateo e nella zona di Porta Romana. Da queste celle si effettuano dai 5 ai 10 viaggi al giorno con stessa origine e destinazione. Ci sono poi numerose celle limitrofe al centro città e verso l'area di Loreto e Città Studi dalle quali partono più di due viaggi al giorno.

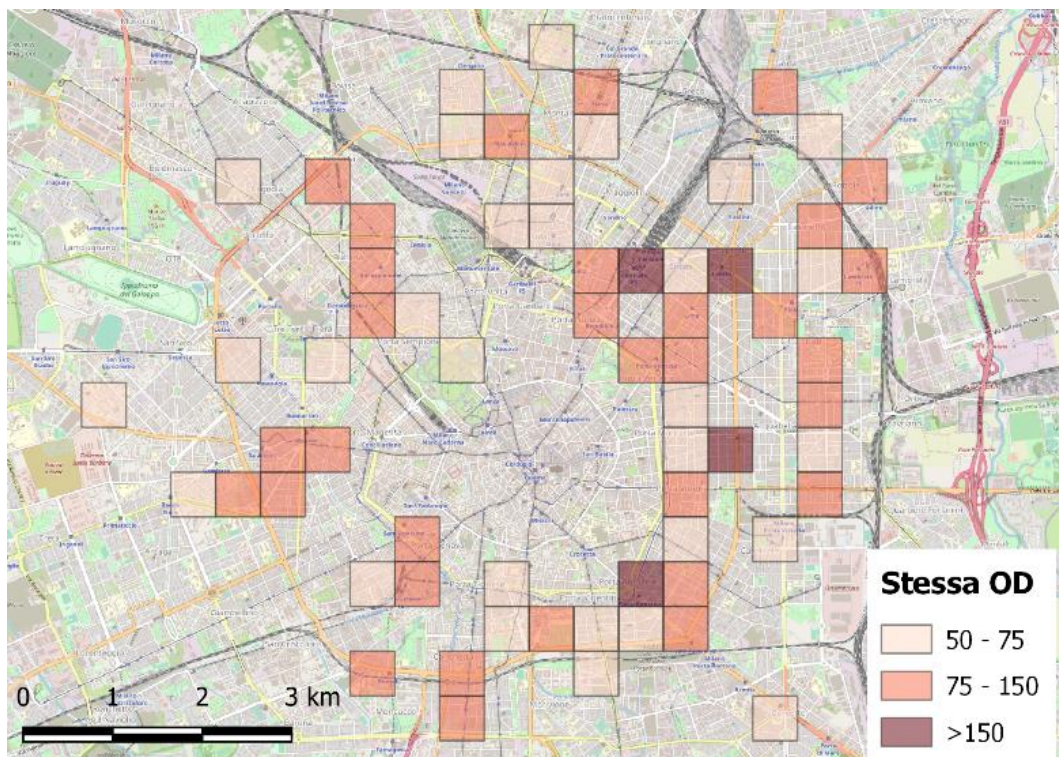


Figura 3.20: Viaggi esterni ad area C con origine e destinazione nella stessa cella

Ho, poi, analizzato i viaggi con origine e destinazione diversa. Come già visto precedentemente, i viaggi più frequenti hanno per la maggior parte come origine e come destinazione le zone limitrofe alla stazione di Milano centrale. Oltre a questi spostamenti si evidenziano anche numerosi viaggi con destinazione o con partenza l'area dell'università Bocconi e le celle limitrofe che ancora una volta potrebbero essere riconducibili a dei viaggi round-trip.

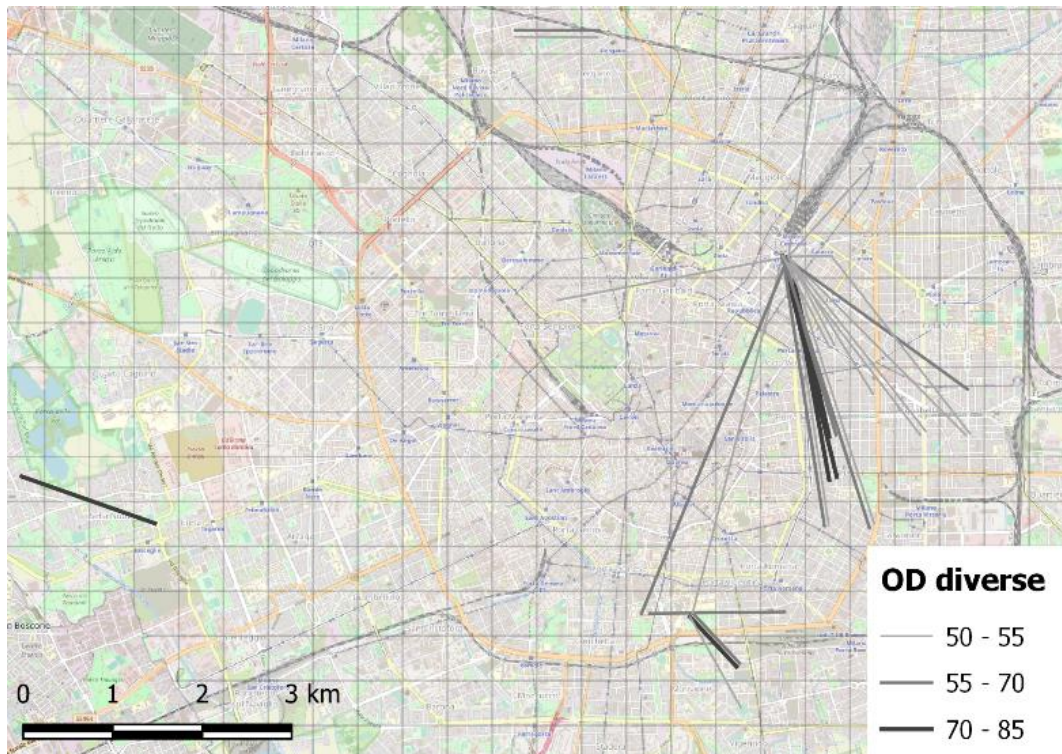


Figura 3.21: Viaggi esterni ad area C con origine e destinazione in celle diverse

3.5 Relazione tra viaggi e caratteristiche socioeconomiche

Riprendendo il modello GIS costruito precedentemente (vedi 2.3), ho aggiunto, oltre alle già presenti caratteristiche socioeconomiche, del sistema dei trasporti e alle attività commerciali, anche il numero di viaggi in origine e destinazione sia nel caso di spostamenti pendolari, sia nel caso del car sharing. Inoltre, ho riportato quest'ultimo dato oltre che per il dataset generico, anche nel caso dei viaggi one way e round-trip. Quindi, la Tabella 2.1 riportante tutti le variabili raccolte, viene integrata con questi ulteriori dati riportati in Tabella 3.1.

A questo punto, la rappresentazione geografica della suddivisione per celle del comune di Milano raccoglie:

- le caratteristiche socioeconomiche;
- le caratteristiche del sistema dei trasporti in ambito urbano;
- le attività commerciali;
- la matrice di origine e destinazione degli spostamenti pendolari;
- i viaggi effettuati con il car sharing.

Tabella 3.1: Dati relativi agli spostamenti pendolari ed effettuati in car sharing

VARIABILE	DESCRIZIONE
ORIGINE VIAGGI PEDOLARI	Totale degli spostamenti pendolari in origine dalla cella
DESTINAZIONE VIAGGI PENDOLARI	Totale degli spostamenti pendolari con destinazione nella cella
ORIGINE VIAGGI CAR SHARING	Totale degli spostamenti in car sharing in origine dalla cella
DESTINAZIONE VIAGGI CAR SHARING	Totale degli spostamenti in car sharing con destinazione nella cella
ORIGINE VIAGGI ONE WAY	Totale degli spostamenti one way in origine dalla cella
DESTINAZIONE VIAGGI ONE WAY	Totale degli spostamenti one way con destinazione nella cella
VIAGGI ROUND-TRIP	Totale degli spostamenti in car sharing con origine e destinazione all'interno della stessa cella.

Ho, a questo punto, ricercato delle possibili relazioni che possano determinare un maggiore o minor numero di viaggi in origine o con destinazione nella cella considerata. Ho, quindi, condotto un'analisi generica estesa a tutte le celle dell'area comunale, che siano generatrici o destinazione di almeno un viaggio in car sharing, per riconoscere delle relazioni tra le variabili raccolte e il numero di spostamenti effettuati utilizzando il servizio.

- Il primo indicatore considerato è la densità abitativa. Tale dato è molto spesso correlato con la generazione di viaggi effettuati con il car sharing (2.1). Le celle considerate presentano valori piuttosto eterogenei di densità abitativa che vanno da qualche centinaio ad oltre ventimila abitanti per chilometro quadrato. Tale fattore pesa molto sul numero totale dei viaggi effettuati che risulta essere maggiore nelle celle con densità abitativa elevata. Oltre i 10 mila abitanti per chilometro quadrato, si hanno celle che generano circa 1000 viaggi al mese ovvero almeno 30 al giorno.
- Il reddito delle celle è compreso tra i 18000€ netti annui delle celle più periferiche e i quasi 90000€ delle aree centrali. Ho notato che al di sopra del limite di 28000€ annui, si ha un numero di viaggi in car sharing piuttosto elevato, generalmente al di sopra dei 1000 al mese, limite che viene praticamente sempre superato nel caso di reddito superiore ai 30000€ (ovvero superiore alla media).

- Sono, poi, passato ad analizzare l'età dei residenti. Ho considerato come popolazione giovane, tutti coloro che hanno meno di 40 anni (esclusa la fascia di età 0-17 anni). La percentuale varia tra circa il 20 e il 30% con picchi dove tale percentuale arriva fino al 40%. Ho, quindi, notato che in celle che presentano una percentuale superiore al 23% di popolazione giovane residente, si supera con una buona frequenza i 1000 viaggi al mese anche se tale percentuale non è garanzia per avere un numero consistente di viaggi. Anche con percentuali piuttosto elevate di popolazione giovane, si potrebbe avere un numero molto limitato di viaggi. Al contrario, al di sotto di tale percentuale, ho registrato un numero ridotto di spostamenti.

Considerando come soglia i 50 anni, non si hanno particolari variazioni. Anche in questo caso si può riconoscere un limite al di sotto del quale il numero di viaggi è piuttosto ridotto. Tale limite è pari al 36-37% della popolazione.

- Risulta, poi, essere interessante vedere come, a percentuali molto elevate di popolazione in possesso di titolo di studio di livello universitario, corrispondano le celle con il maggior numero di viaggi. La percentuale di laureati varia da circa il 6% fino al 42%, nelle aree più centrali. Con una percentuale superiore al 24% di popolazione in possesso di titolo universitario, si ha un numero significativo di viaggi effettuati con il car sharing, superiore ai 1000 al mese.
- Ho poi condotto un'ultima analisi riguardante il trasporto pubblico. Una presenza maggiore di fermate del TPL all'interno di una cella comporta un numero di viaggi effettuati con il car sharing superiore. Si potrebbe spiegare questa dipendenza nel momento in cui si considera il car sharing come un servizio che permette di effettuare spostamenti non coperti dal trasporto pubblico e che consente l'accesso alla rete urbana del trasporto pubblico.

Per quanto riguarda, invece, il numero di fermate della metro e le stazioni ferroviarie e metropolitane, non ho trovato una relazione che valga per tutti i casi. Ho già però evidenziato precedentemente che le stazioni ferroviarie possono essere dei poli di attrazione di movimenti effettuati con il car sharing.

- Un'altra relazione che è possibile riconoscere è quella tra le attività commerciali e il numero di viaggi effettuati. Soprattutto nel caso di numerose attività quali bar e pub presenti all'interno di una cella, il numero di spostamenti in origine o in destinazione risulta essere elevato (sono attività spesso riconducibili alla sfera sociale).

Ho poi, condotto una breve analisi per quelle celle che non presentano alcun viaggio in uscita o in

entrata effettuato con il car sharing per studiare se presentano delle condizioni tali da poter essere generatrici di viaggi. Analizzando la loro posizione geografica, ho notato che molte di queste celle non possono essere fisicamente origine o destinazione in quanto non presentano abitazioni all'interno del loro territorio: sono per lo più aree agricole o scali ferroviari. Per questo motivo, ho deciso di escludere tali celle dalle trattazioni successive in modo tale da non avere influenze sulle correlazioni tra le variabili e per il successivo passaggio di stima della domanda potenziale.

Da questa analisi, emerge che potrebbero sussistere delle correlazioni più o meno forti tra il numero di viaggi in car sharing in origine o in destinazione e le caratteristiche socioeconomiche, del sistema dei trasporti e con le attività commerciali che caratterizzano le celle della griglia in cui è stato suddiviso il comune di Milano. Per questo motivo, ho deciso di procedere con un'indagine più approfondita.

4

MODELLO DI STIMA DELLA DOMANDA

Viste le possibili correlazioni esistenti tra viaggi effettuati e le variabili che caratterizzano le celle sotto il punto di vista socioeconomico, ho deciso di condurre un'analisi più approfondita. Ho, quindi, provveduto ad analizzare la matrice delle correlazioni per individuare possibili dipendenze tra le variabili.

Partendo da questo studio, ho successivamente calibrato un modello lineare che possa legare le variabili più significative con i viaggi in origine o in destinazione effettuati con il car sharing. L'obiettivo è quello di ottenere una previsione della domanda per ognuna delle celle in cui è stata suddivisa l'area di studio in modo tale da avere una conoscenza della domanda accurata e variabile all'interno del territorio cittadino.

Dopo la calibrazione dei modelli lineari, ho condotto un'analisi multicriteria per definire un indice rappresentativo del grado di attrazione di una cella per l'installazione di una nuova stazione del servizio. L'indice ottenuto è frutto di una composizione lineare degli attributi ritenuti, sulla base dell'analisi della letteratura (2.1) e delle elaborazioni precedentemente eseguite, più significativi per poter definire una maggiore o una minore propensione della cella considerata di generare domanda di trasporto.

4.1 Correlazioni

Nei capitoli precedenti, ho raccolto ed analizzato, oltre ai dati socioeconomici, anche quelli relativi al sistema dei trasporti e alle attività commerciali disponibili sulla città di Milano. In aggiunta a queste informazioni disponibili sull'OPENDATA del comune [23], ho elaborato anche i dati relativi ai viaggi effettuati in car sharing con i sistemi attivi sul territorio cittadino. Dall'analisi

combinata tra il dataset dei viaggi e le variabili che caratterizzano le celle in cui il territorio del comune di Milano è stato suddiviso, sono emerse delle possibili correlazioni. Per questo motivo, ho deciso di condurre un'indagine più approfondita a riguardo in modo tale da individuare se effettivamente sussistano delle dipendenze che potrebbero risultare utili per la successiva costruzione di un modello lineare per stimare la domanda di trasporto.

Per tale analisi, ho considerato un gruppo di celle ridotto rispetto al totale di 828 visto precedentemente e che copriva tutto il territorio municipale. Tale scelta è stata fatta confrontando la carta del comune di Milano con la suddivisione in celle effettuata dell'area. Da questa analisi, è emerso che alcune celle non presentano aree residenziali al loro interno (per esempio, le aree più a Sud della città sono spesso di uso esclusivamente agricolo). Quindi, oltre a non registrare alcun viaggio effettuato con il car sharing, né in origine, né in destinazione, queste celle non possono neanche essere potenziali generatrici di spostamenti, caratteristica che potrebbe influenzare notevolmente le correlazioni tra le variabili in esame e, successivamente, la significatività del modello lineare. Oltre a questo fattore, ho anche tenuto conto di quanto emerso dall'analisi effettuata sulle caratteristiche socioeconomiche. Infatti, sono emerse delle incongruenze sui dati di alcune celle relative alla percentuale di residenti di età compresa tra i 18 e i 40 anni. Per questi motivi, le celle in analisi in questa fase sono state ridotte a 569, ovvero solo quelle che effettivamente potrebbero essere generatrici di viaggi e presentano coerenza nei dati (vedi Figura 4.1).

Per la valutazione del grado di correlazione tra le variabili e i viaggi effettuati, ho calcolato e utilizzato il coefficiente di Pearson. Tale coefficiente rappresenta il grado di dipendenza lineare che intercorre tra coppie di attributi ed è variabile tra -1 e 1. Analizzando gli estremi si può affermare che se il coefficiente di Pearson è pari ad 1, in valore assoluto, significa che tra la coppia di variabili considerate sussiste una perfetta dipendenza lineare; se, invece, dovesse essere uguale a zero, significa che non sussiste dipendenza lineare tra le due variabili (ma non si escludono altre forme di dipendenza). Quindi, tanto più il valore assoluto del coefficiente di Pearson è prossimo all'unità, tanto più tra le due variabili sussiste un legame lineare.

Da un'elaborazione statistica eseguita attraverso il software SPSS, ho ricostruito la matrice delle correlazioni tra le origini e le destinazioni dei viaggi effettuati con il car sharing e tutte le variabili raccolte (vedi Tabella 2.1). Ho considerato di interesse ai fini dello studio soprattutto le variabili che presentano un coefficiente di Pearson superiore a 0.6, inteso in valore assoluto. Ho analizzato anche quelle variabili che presentano un valore del coefficiente superiore a 0.5 e che potrebbero essere, quindi, significative nella costruzione del modello lineare o per possibili elaborazioni successive.

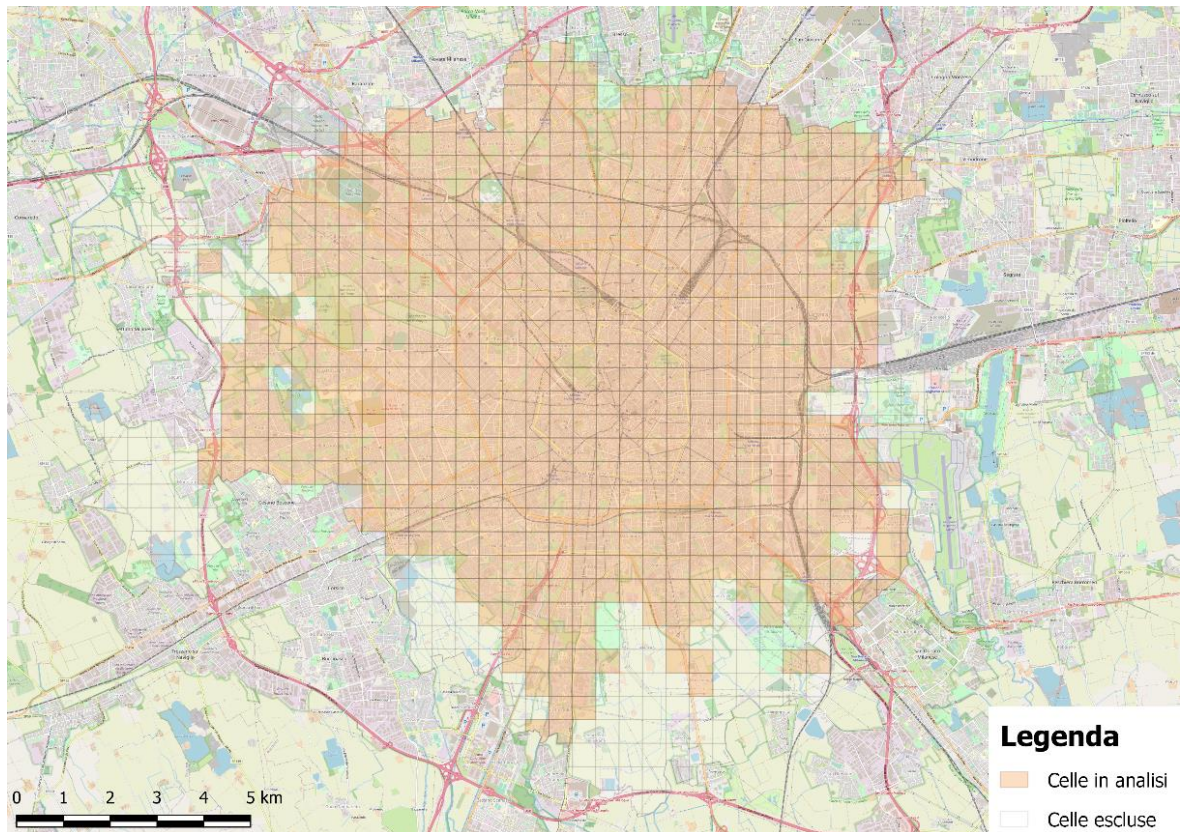


Figura 4.1: Rappresentazione delle celle utilizzate nell'analisi delle correlazioni

4.1.1 Totale viaggi in car sharing

Ho condotto, dapprima, tale analisi sul dataset generale dei viaggi in car sharing effettuati, senza distinguere tra viaggi one-way e round-trip. Come è possibile notare in Tabella 4.1, emergono dei legami interessanti con alcune delle variabili socioeconomiche. In particolare, ho notato delle dipendenze con la popolazione residente nella cella, la densità abitativa, il reddito e la percentuale di persone con titolo di istruzione universitario. Questa tendenza rispecchia perfettamente quello che è stato riportato in letteratura (2.1) che vede come indicatori importanti dell'utilizzo del car sharing tali variabili.

Al contrario di quanto ci si potesse aspettare, non ci sono correlazioni significative tra i viaggi effettuati in car sharing e l'età della popolazione residente. In questa fase, ho utilizzato una suddivisione in fasce di età diversa rispetto a quella riportata durante l'analisi dei dati socioeconomici. Ho considerato solo due gruppi ovvero la popolazione ritenuta giovane, ovvero al di sotto dei 50 anni, escludendo la fascia di età 0-17 anni che, non essendo maggiorenni, non possono essere in possesso della patente di guida, e la popolazione anziana, ovvero al di sopra dei 70 anni. Sia nel primo caso che nel secondo, il valore del coefficiente di Pearson trovato risulta essere molto basso, praticamente nullo. In seguito ad una scarsa correlazione tra i viaggi e queste due variabili, ho ipotizzato di abbassare il livello della popolazione ritenuta giovane, dapprima a 40

anni e successivamente a 30. I risultati ottenuti, però, non risultano essere diversi dal precedente, indicando ancora un grado di correlazione piuttosto basso tra queste variabili e il numero di viaggi in car sharing effettuati.

Ho, poi, studiato le correlazioni tra i viaggi e i mezzi di trasporto che i cittadini utilizzano generalmente per effettuare lo spostamento pendolare. È emersa una dipendenza negativa con la percentuale di coloro che utilizzano l'auto privata per i propri spostamenti e che, quindi, non sono interessati ad avere un servizio di car sharing a disposizione. Questo aspetto potrebbe sostituire parzialmente il dato mancante sul possesso dell'auto privata che non è stato possibile reperire. Infatti, in letteratura (2.1) è emerso che coloro che possiedono un'auto privata sono meno interessati ad usufruire del servizio di car sharing. La correlazione, per quanto possa essere significativa, ha, infatti, valore negativo così da indicare una diminuzione del numero di viaggi all'aumentare di tale percentuale. È emersa anche una dipendenza con coloro che utilizzano la bicicletta o che si muovono a piedi: questo dato potrebbe essere indicativo [22] della maggiore propensione dell'utente del car sharing ad effettuare spostamenti a piedi per raggiungere il veicolo. In questo caso, la percentuale di utenti che utilizzano queste modalità per effettuare lo spostamento non si riferisce al gruppo specifico di utenti che usufruisce del car sharing, ma potrebbe comunque essere un'indicazione interessante per rilevare la presenza di una maggiore o minore propensione della cella considerata ad essere generatrice di viaggi.

Considerando il sistema dei trasporti, invece, non si sono evidenziate particolari correlazioni con il numero di viaggi pendolari in origine o in destinazione effettuati. Ho, però, notato delle tendenze comuni: la distanza da una stazione, sia questa ferroviaria o del car sharing, comporta sempre una correlazione negativa sul numero di spostamenti. Le correlazioni più forti che emergono sono quelle con la distanza dalle stazioni dei car sharing station-based presenti sul territorio cittadino.

Infine, ho evidenziato anche le possibili dipendenze lineari tra i viaggi effettuati e le attività commerciali. Emerge una correlazione piuttosto evidente tra gli spostamenti e la presenza di bar o pub nella cella considerata. Questo potrebbe dimostrare come il car sharing viene generalmente utilizzato per effettuare viaggi a scopo personale o sociale, anche se questo fattore non può sostituire l'informazione dettagliata relativa al motivo dello spostamento.

Tabella 4.1: Matrice di correlazione dei viaggi in car sharing in origine e destinazione

Matrice di correlazione - Viaggi car sharing													
	Popolazione	Densità	Reddito	min30	min40	min50	over70	Istruzione	TPL	Auto	Piedi/Bici	Altro	NP
CS_orig	,622	,613	,662	0,001	,241	,173	-,113	,746	-,426	-,660	,765	,530	,494
CS_dest	,626	,616	,659	-0,001	,243	,175	-,113	,744	-,422	-,661	,764	,527	,493
	n_tpl	Distanza TPL	n_metro	Distanza metro	n_stazioni	Distanza Stazioni	n_RT	Distanza RT	n_SB	Distanza SB	Supermarket	Pub/bar	Discoteche
CS_orig	,450	-,321	,322	-,366	,153	-,430	,517	-,565	,248	-,596	,329	,813	,472
CS_dest	,452	-,324	,315	-,366	,152	-,431	,510	-,565	,247	-,598	,328	,814	,471

4.1.2 Viaggi one way

Effettuata l'analisi generica, ho condotto lo stesso studio considerando solo i viaggi car sharing one way. Le correlazioni emerse sono esattamente le stesse trovate nel caso precedentemente con lievi variazioni nel valore del coefficiente di Pearson. Tutte le osservazioni fatte per il set di dati precedente rimangono valide anche in questo caso. Tale somiglianza potrebbe essere dovuta al fatto che la maggior parte dei viaggi in car sharing sono effettuati con modalità one way portando, quindi, ad avere tendenze molto simili tra questi due set di dati.

Tabella 4.2: Matrice di correlazione dei viaggi in car sharing one-way in origine e destinazione

Matrice di correlazione - Viaggi one-way													
	Popolazione	Densità	Reddito	min30	min40	min50	over70	Istruzione	TPL	Auto	Piedi/Bici	Altro	NP
CS_orig	,620	,610	,667	0,001	,239	,172	-,114	,748	-,430	-,661	,768	,534	,496
CS_dest	,623	,613	,664	0,000	,241	,174	-,113	,746	-,426	-,662	,767	,530	,496
	n_tpl	Distanza TPL	n_metro	Distanza metro	n_stazioni	Distanza Stazioni	n_RT	Distanza RT	n_SB	Distanza SB	Supermarket	Pub/bar	Discoteche
CS_orig	,446	-,318	,317	-,364	,150	-,430	,504	-,563	,245	-,597	,331	,813	,474
CS_dest	,449	-,322	,309	-,364	,149	-,431	,496	-,563	,244	-,599	,330	,815	,474

4.1.3 Viaggi round-trip

Sono, poi, passato ad analizzare i viaggi round-trip effettuati. Anche in questo caso le variabili considerate sono le stesse viste nelle analisi precedenti ma le correlazioni che si evidenziano risultano essere ancora meno significativi rispetto al caso dei viaggi one-way.

Le dipendenze tra i viaggi e le variabili socioeconomiche come la popolazione, la densità e la

percentuale di residenti con titolo universitario emergono anche in questo caso. Perde, però, di importanza, l'informazione sul reddito che presenta un grado di correlazione inferiore rispetto ai dataset precedentemente analizzati.

La dipendenza più forte che emerge è quella con il numero di stazioni del car sharing station-based che permette di effettuare solo viaggi round-trip. Questa correlazione all'interno di un modello lineare porterebbe ad avere un aumento della domanda ad un incremento delle stazioni del servizio. Quindi, l'installazione di una stazione nelle celle al momento non coperte dal servizio porterebbe ragionevolmente ad un aumento della domanda potenziale. Tuttavia, l'aumento del numero di stazioni in celle in cui il servizio risulta essere già operativo potrebbe portare ad una forte contraddizione, ovvero che ad un aumento dell'offerta equivalga sempre un aumento della domanda di trasporto. Ho tenuto conto di questo aspetto nella successiva valutazione dei modelli di domanda ottenuti.

Infine, è possibile evidenziare anche una dipendenza, seppur in misura ridotta rispetto alle analisi precedenti, con la presenza di attività commerciali quali bar e pub.

Tabella 4.3: Matrice di correlazione dei viaggi in car sharing round-trip

Matrice di correlazione - Viaggi round-trip													
	Popolazione	Densità	Reddito	min30	min40	min50	over70	Istruzione	TPL	Auto	Piedi/Bici	Altro	NP
CS_rt	,532	,525	,397	-0,019	,212	,161	-0,08	,510	-,228	-,490	,520	,331	,317
	n_tpl	Distanza TPL	n_metro	Distanza metro	n_stazioni	Distanza Stazioni	n_RT	Distanza RT	n_SB	Distanza SB	Supermarket	Pub/bar	Discoteche
CS_rt	,420	-,300	,371	-,318	,185	-,318	,681	-,477	,256	-,421	,209	,604	,304

4.2 Definizione e calibrazione dei modelli lineari

Effettuata l'analisi relativa allo studio delle correlazioni che sussistono tra le diverse variabili, ho proceduto con la scelta del tipo di modello da formulare e calibrare con i dati che si hanno a disposizione.

Da un'indagine di letteratura [27], è emerso che il modello più diffuso per la definizione della domanda è generalmente un modello di tipo comportamentale basato sulla definizione dell'utilità probabilistica. Tale approccio prevede la stima della domanda potenziale per un determinato servizio di trasporto partendo dal risultato delle decisioni dell'utente. Tale approccio prevede di sottoporre all'intervistato diversi scenari in cui ha la possibilità di poter scegliere tra diverse modalità di viaggio che hanno caratteristiche diverse. Ogni sistema di trasporto proposto per effettuare lo spostamento prevede generalmente tre o quattro attributi variabili con cui l'utente si deve confrontare per poter prendere la sua decisione. Per effettuare la calibrazione di questo

modello è, quindi, necessario somministrare agli intervistati un questionario, conducendo un'indagine SP, per poi raccogliere ed elaborare i dati. Questo approccio, però, non risulta in linea con gli obiettivi proposti dal progetto nuMIDAS che prevede la costruzione di nuovi strumenti e modelli a partire dai dati e dalle informazioni già disponibili. Per questo motivo, ho deciso di percorrere una strada diversa. Inoltre, un approccio di questo tipo porterebbe alla stima della domanda solo sulla base di attributi strettamente legati alla tipologia del sistema di trasporto tralasciando gli aspetti socioeconomici dell'area in cui l'utente risiede. Per questi motivi, ho ritenuto tale approccio non in linea con lo scopo del progetto.

In letteratura [28], ho reperito alcuni esempi di modelli lineari per poter stimare la domanda di trasporto del car sharing. In particolare, viene posta come variabile dipendente il numero di viaggi effettuati in car sharing (o il numero di transizioni eseguite per accedere al servizio). Come variabili indipendenti, vengono utilizzati degli attributi che sono raggruppabili essenzialmente in tre categorie:

1. caratteristiche demografiche;
2. caratteristiche del sistema dei trasporti;
3. caratteristiche dell'ambiente urbano (riferito in particolare alla percentuale di superficie commerciale, residenziale o lavorativa).

Le categorie appena citate, trovano spesso riscontro nei dati e nelle informazioni a disposizione e rese accessibili da AMAT. Inoltre, questo approccio non prevede la raccolta di ulteriori dati attraverso delle indagini o la somministrazione di questionari per rilevare le preferenze degli utenti e risulta essere perfettamente in linea con i presupposti del progetto nuMIDAS. Per questi motivi, ho deciso di formulare e calibrare dei modelli di tipo lineare per la previsione della domanda di trasporto.

Le correlazioni precedentemente trovate (4.1) risultano in questo modo particolarmente utili per procedere alle selezioni delle variabili da utilizzare per la costruzione del modello. Infatti, ho già una prima informazioni di quali siano gli attributi che più influenzano il numero di viaggi effettuati con il car sharing e del grado di dipendenza lineare che sussiste tra le due variabili. Per la calibrazione del modello, ho utilizzato i dati in possesso, sia in termini di viaggi sia in termini di attributi associati a ciascuna cella. In questo modo, però, ho escluso la possibilità del modello di poter prevedere una potenziale domanda di trasporto non soddisfatta. Si potrebbe, tuttavia, in questo modo ottenere un modello per l'analisi della domanda di trasporto da utilizzare con un set di dati nuovi, raccolti magari attraverso una nuova indagine sul territorio per ottenere dei dataset più

aggiornati di quelli utilizzati e con informazioni puntuali più accurate rispetto all'unità geografica del NIL per il quale sono disponibili i dati sull'OPENDATA del comune di Milano. Presumibilmente, questo tipo di indagine potrebbe non essere essenziale in quanto si potrebbero reperire tutte le informazioni, o per lo meno quelle relative all'aspetto socioeconomico e demografico utilizzate nel modello, semplicemente consultando i dati raccolti da ISTAT durante il censimento della popolazione avvenuto nel 2018.

Per la costruzione dei modelli lineari, ho utilizzato il software SPSS che permette, una volta indicate le variabili da utilizzare, di ottenere l'intercetta e i coefficienti delle variabili del modello effettuando in automatico la regressione lineare a più variabili. Il metodo di ingresso delle variabili all'interno del modello è di tipo standard ovvero richiede di indicare solamente le variabili che devono essere presenti senza permettere l'iterazione basata sulla significatività statistica delle stesse. Per la valutazione della bontà del modello, ho considerato soprattutto il coefficiente di determinazione (R^2) in quanto rappresenta una misura qualitativa dell'accuratezza del modello. Maggiore sarà il valore del coefficiente di determinazione, più precisa sarà la previsione della variabile dipendente sulla base dei dati utilizzati. Inoltre, questo approccio permette anche di osservare quale sia il peso e la significatività statistica delle variabili all'interno del modello e quindi la loro importanza nel prevedere la domanda di car sharing.

Dopo aver definito e calibrato il modello, ho condotto un confronto con i viaggi previsti dal modello e quelli effettuati per ogni cella. Ho ricavato la percentuale di variazione della domanda rispetto ai viaggi effettivi e l'ho rappresentata attraverso una mappa di calore della città in cui si vanno ad evidenziare solo quei casi in cui la variazione risulta essere al di sotto del 50%, inteso come valore assoluto. Oltre al 50% ho ritenuto la previsione effettuata non significativa e non rappresentativa della realtà.

4.2.1 Modello generico

Ho, dapprima, considerato il set di dati generico relativo a tutte le tipologie di viaggi effettuati con il car sharing. La prima ipotesi di modello prevede l'utilizzo delle sole variabili socioeconomiche che nelle analisi precedenti presentavano dei valori di correlazione piuttosto elevati con le variabili dipendenti, siano queste il numero dei viaggi in origine o quello in destinazione. Il modello così formulato risulta essere costituito da densità abitativa, reddito e percentuale di persone con titolo universitario. Ho deciso di non utilizzare la variabile relativa alla popolazione residente in quanto fortemente correlata alla densità abitativa: in questo modo ho evitato di avere ripetitività del dato e possibili problemi di collinearità. Il coefficiente di determinazione ottenuto con questo primo modello è pari a 0.661 per i viaggi in origine e a 0.660 per i viaggi in destinazione. Tale valore non risulta essere particolarmente elevato. Effettuando il confronto tra i valori previsti dal modello così ottenuto e il numero di viaggi realmente effettuati, si presentano delle incongruenze piuttosto

evidenti.

Per questo motivo, ho deciso di aggiungere a tale modello anche altri aspetti che potrebbero portare ad avere un miglioramento della previsione. In un primo momento, ho considerato all'interno del modello anche il numero di attività commerciali presenti all'interno della cella. In particolare, la presenza di pub e di bar che dall'analisi precedente aveva presentato un valore del coefficiente di Pearson piuttosto elevato. Tale variabile permette di ottenere un modello con un coefficiente di determinazione decisamente più elevato, migliorando la capacità del modello di prevedere la domanda di trasporto.

Successivamente, ho provato ad aggiungere anche due ulteriori variabili: la prima è la percentuale di utenti che utilizzano l'auto privata, che aveva una correlazione negativa con il numero di viaggi effettuati in car sharing; la seconda è la percentuale di utenti che si muove in bici o a piedi. Questa ulteriore aggiunta di variabili non ha comportato un aumento del valore del coefficiente di determinazione che possa essere ritenuta significativa. Per questa ragione, ho preferito non considerarle all'interno del modello finale in quanto l'aumento della complessità del modello non è giustificata da un aumento della capacità predittiva dello stesso.

Tabella 4.4: Coefficiente di determinazione dei modelli lineari dei viaggi in car sharing

Coefficiente di Determinazione			
	Modello 1	Modello 2	Modello 3
Origine	0.656	0.776	0.779
Destinazione	0.656	0.777	0.780

Il modello lineare costruito in questo modo utilizza le variabili della densità abitativa, del reddito medio, della percentuale di residenti all'interno della cella in possesso di titolo universitario e del numero di attività commerciali presenti (Modello 2 in Tabella 4.4).

Come già detto precedentemente, ho condotto un confronto tra il numero di viaggi di car sharing in origine previsti dal modello e quelli effettivamente realizzati. Tale confronto viene poi rappresentato sul GIS sottoforma di percentuale di variazione. Da questa analisi emerge che circa il 60% delle celle ha una variazione al di sotto del 50%, inteso in valore assoluto. È possibile osservare che soprattutto le celle più periferiche sfuggono a tale previsione portando ad avere forti differenze tra il valore previsto e il valore effettivo di viaggi. Tuttavia, scendendo ad un grado di dettaglio superiore, sono poche le celle in cui il modello prevede la domanda di trasporto in maniera accurata. Per esempio, meno del 20% delle celle, ha una variazione tra domanda prevista e domanda effettiva all'interno del 10% (sempre inteso in valore assoluto).

Per questa ragione, ritengo che il modello ottenuto non sia sufficientemente affidabile per essere utilizzato per poter effettuare una valutazione della domanda partendo da un set di dati aggiornati.

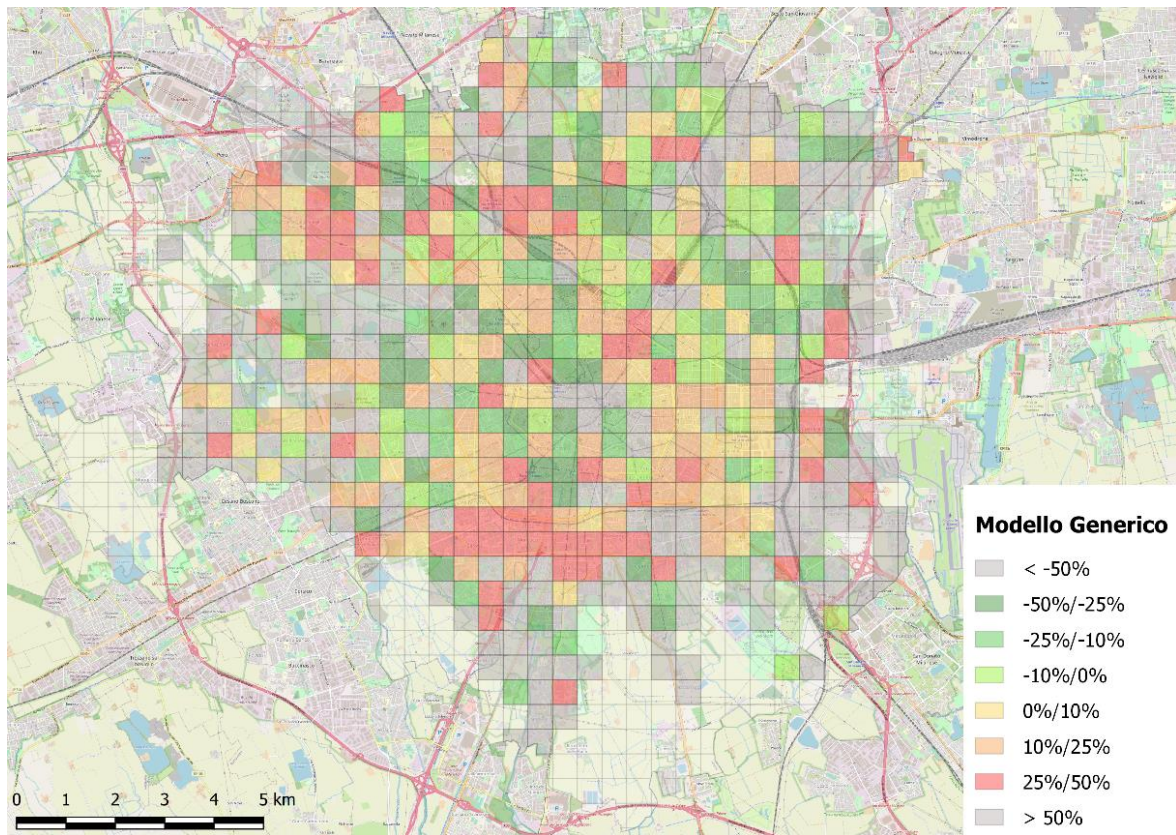


Figura 4.2: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi in origine effettivi

Ho svolto, poi, la stessa analisi anche per i viaggi in destinazione (la mappa di calore ottenuta è consultabile in ALLEGATO A). Ho ottenuto valori molto simili a quelli presentanti nel caso precedente. Anche in questo caso la percentuale di celle che presenta una variazione compresa del 10% in valore assoluto risulta essere bassa (attorno al 16%) e, come prima, il modello non è quindi sufficientemente affidabile per prevedere la domanda di viaggio.

4.2.2 Modello one way

Dopo aver effettuato tale analisi sul set di dati completo, ho condotto lo stesso studio per i soli viaggi one-way. Visto che le correlazioni che ho trovato precedentemente sono risultate molto simili a quelle viste per l'analisi generica, anche per la costruzione del modello lineare emergono pressoché le stesse considerazioni.

Ho ipotizzato un primo possibile modello considerando solo ed esclusivamente le caratteristiche socioeconomiche. I risultati ottenuti sono ancora una volta poco soddisfacenti in termini di previsione del numero dei viaggi. Per questo motivo, ho complicato il modello con l'aggiunta

dell'informazione relativa alle attività commerciali all'interno della cella. Infine, ho calibrato un terzo modello contenente anche la percentuale di popolazione che utilizza l'auto privata o che si sposta a piedi o in bici.

Come già visto precedentemente, ho escluso il primo e l'ultimo modello in quanto le variabili socioeconomiche da sole non consentono di ottenere un coefficiente di determinazione sufficientemente elevato e, nel secondo caso, la maggiore complessità del modello dovuta ad un aumento del numero di variabili non è giustificato da un significativo aumento delle capacità predittiva dello stesso. Anche nel caso dei viaggi one way, il modello scelto è costituito dalla densità abitativa, dal reddito, dalla percentuale di residenti con titolo universitario e dalle attività commerciali presenti all'interno della cella.

Tabella 4.5: Coefficiente di determinazione dei modelli lineari dei viaggi one way

Coefficiente di Determinazione			
	Modello 1	Modello 2	Modello 3
Origine	0.659	0.778	0.780
Destinazione	0.658	0.779	0.782

Rappresentando su un modello GIS le variazioni percentuali ottenute considerando il modello 2 nel caso delle origini dei viaggi, ho ottenuto una mappa molto simile a quella vista precedentemente. In maniera analoga, anche in questo caso, ho osservato che circa il 60% delle celle ha una variazione contenuta all'interno del 50% in valore assoluto. Tuttavia, sono poche le celle dove il valore dei viaggi previsti è realmente vicino a quello dei viaggi effettivamente compiuti.

Ho condotto la stessa analisi anche per i viaggi in destinazione. I risultati ottenuti risultano essere molto simili. Infatti, le celle che presentano una variazione entro il 10% in valore assoluto sono solo il 17%. Per questo motivo, non ritengo che il modello ottenuto sia affidabile per prevedere la domanda di viaggio. La mappa di calore ottenuta per questo caso è consultabile in ALLEGATO A.

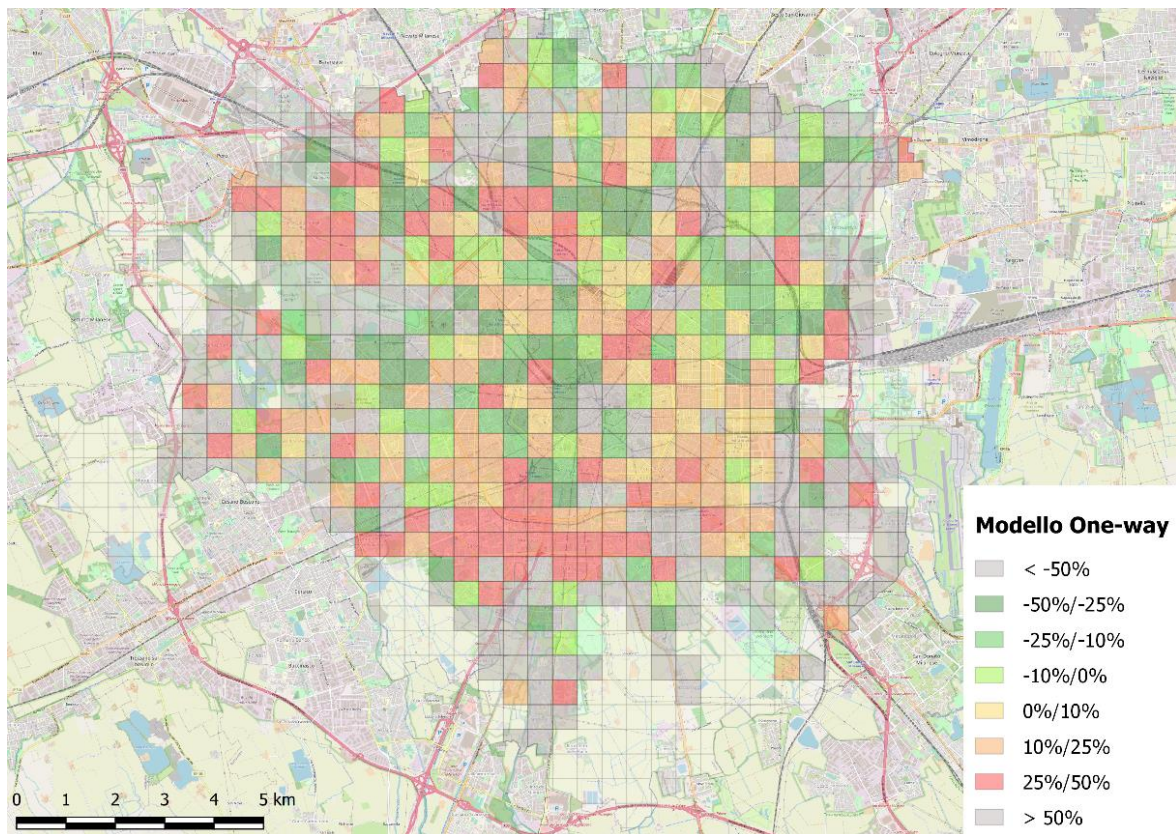


Figura 4.3: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi one way in origine effettivi

4.2.3 Modello round-trip

Ho, infine, analizzato il set di dati riguardanti i viaggi in car sharing con modalità round-trip. In questo caso, dall'analisi condotta sulla matrice di correlazione, sono emerse delle dipendenze lineari molto meno evidenti tra il numero di viaggi e le caratteristiche associate a ciascuna cella. Infatti, il coefficiente di determinazione che ho ottenuto con la costruzione del modello considerando solo le variabili socioeconomiche risulta essere piuttosto basso e non adatto al tentativo di formulare un modello che possa prevedere in maniera accurata la domanda di trasporto.

Ho, quindi, deciso di inserire all'interno del modello anche il numero delle fermate del car sharing station-based che consente viaggi round-trip. Questa operazione permette di ottenere un coefficiente di determinazione più alto ma sempre piuttosto insoddisfacente. Inoltre, aggiungendo tale variabile al modello emerge una incongruenza già messa precedentemente in evidenza: il modello così costruito prevedrebbe che ad un aumentare delle stazioni del servizio, segua un aumento della domanda. Questo aspetto potrebbe essere veritiero nel caso di celle dove non c'era precedentemente una stazione del servizio o dove, pur essendocene, permane una domanda non soddisfatta. Il modello, per come è stato concepito, comporterebbe un aumento di viaggi all'aumentare dell'offerta del servizio che risulta essere non veritiero e porterebbe ad avere delle contraddizioni. Questa variabile, infatti, ha sicuramente un legame con il numero di viaggi in car

sharing effettuati, ma non può essere di tipo lineare.

L'introduzione nel modello del numero delle attività commerciali non ha portato ad un aumento significativo dell' R^2 come nei casi precedenti. Per questo motivo ho deciso di non considerare tale variabile seppur presenti una correlazione piuttosto forte con il numero di viaggi in car sharing effettuati.

Tabella 4.6: Coefficiente di determinazione dei modelli lineari dei viaggi round-trip

Coefficiente di Determinazione		
	Modello 1	Modello 2
RT	0.364	0.611

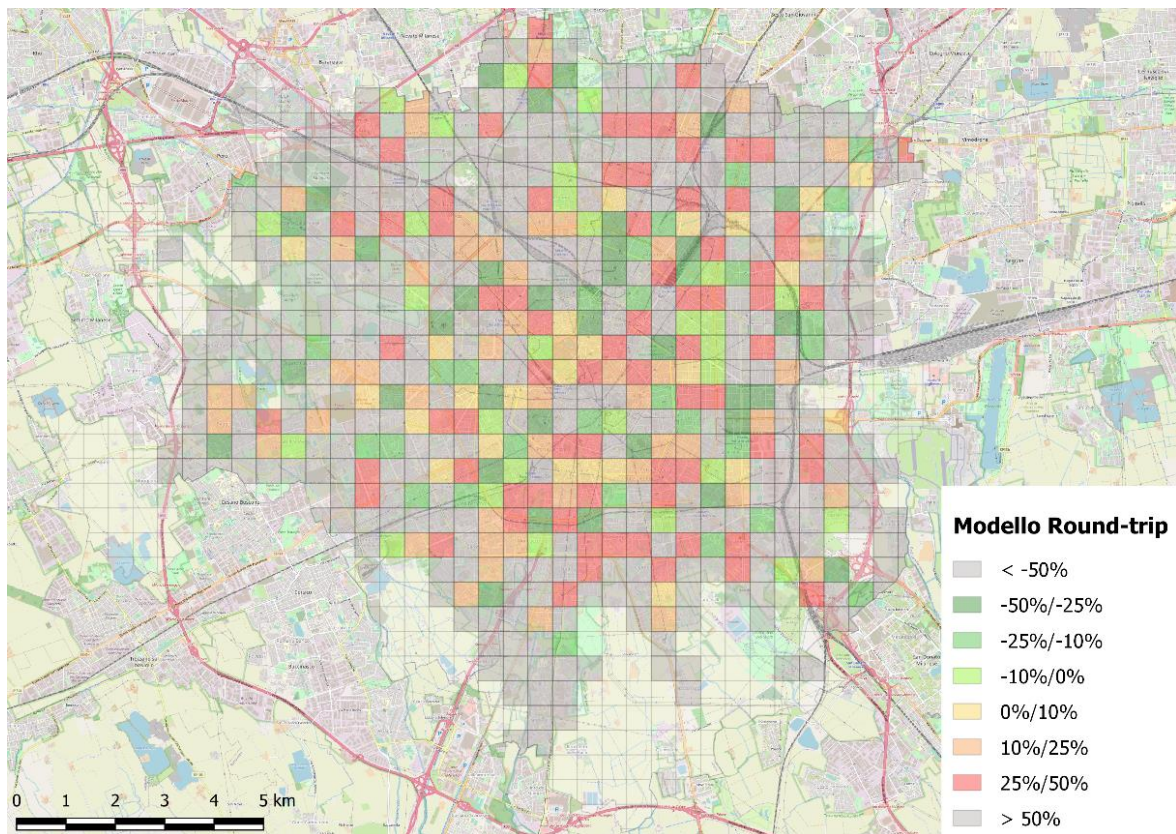


Figura 4.4: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi round-trip effettuati

Ho, poi, rappresentato la capacità predittiva del modello, visualizzando i risultati sul GIS. In questo caso, più che nei precedenti, è emersa la difficoltà del modello che ho formulato e calibrato nel determinare i viaggi effettuati con il car sharing. Dalla Figura 4.4, emergono evidentemente dei problemi sulla possibilità del modello di ottenere dei buoni risultati o che possano avvicinarsi al

valore dei viaggi effettivamente compiuti.

Una possibile spiegazione a tale comportamento insoddisfacente del modello, ma anche delle deboli correlazioni viste precedentemente, potrebbe essere dovuto ad un elevato numero di celle, soprattutto quelle in periferia e quindi non coperte dal servizio, che presentano un numero di viaggi round-trip molto basso o addirittura zero. Ho osservato, infatti, che il modello commette dei grossi errori nel prevedere il numero di spostamenti in quelle celle da cui hanno origine pochi viaggi.

Inoltre, come già detto, il modello costruito in questo caso tiene conto del numero di stazioni del car sharing round-trip che potrebbe portare ad avere delle forti incongruenze nell'applicazione dello stesso.

Questa analisi, in generale, ha evidenziato che la costruzione di modelli lineari partendo dai dati che ho raccolto ed elaborato, porta ad avere dei modelli di domanda poco affidabili.

4.3 Formulazione dell'indice

La definizione e la calibrazione dei modelli di domanda con i dati raccolti non hanno portato ad avere un metodo per la rilevazione della domanda di trasporto in ogni cella in cui è suddivisa l'area di studio. Per questo motivo, ho cercato di superare tale difficoltà assegnando ad ogni cella un valore rappresentativo di una maggiore o minore propensione della stessa ad essere potenziale generatrice di spostamenti round-trip effettuati con il car sharing. Ho, quindi, costruito un indice per la classificazione delle celle. Tale indice è costituito dalla somma pesata degli attributi ritenuti più significativi e che sono emersi dalle analisi condotte precedentemente.

4.3.1 Geometria utilizzata

Per tale analisi e anche per la successiva fase di ottimizzazione della posizione delle stazioni, ho utilizzato una geometria di suddivisione dell'area di studio differente rispetto a quella adottata nelle fasi precedenti dell'elaborato. Infatti, invece di considerare le celle quadrate, ho adottato un formato esagonale, come è possibile vedere in Figura 4.6. Nel passaggio da un formato all'altro ho mantenuto costante l'area delle celle. In questo modo, il numero delle unità geografiche in cui ho suddiviso il territorio del comune di Milano rimane pressoché costante. Ma soprattutto non variano i valori degli attributi che caratterizzano le singole celle. In letteratura [25], numerosi studi utilizzano questo formato di suddivisione dell'area di studio secondo un formato quadrato. Tuttavia, tale geometria avrebbe potuto portare ad avere alcune incoerenze nella successiva fase di ottimizzazione del posizionamento delle stazioni. Infatti, nel caso di celle di forma quadrata, la lunghezza del percorso che si compie attraversando la cella lungo il lato o lungo la diagonale si differenzia notevolmente (ovvero di un fattore pari alla radice di 2), soprattutto se lo spostamento, come è plausibile ipotizzare, dovesse avvenire a piedi. Questo si ripercuote conseguentemente sulla

distanza tra i baricentri delle celle adiacenti, portando ad avere valori diversi tra celle limitrofe (vedi Figura 4.5). Tale differenza potrebbe portare ad avere conseguenze sull'attrattività del servizio. Ipotizzando di installare una nuova stazione in una determinata cella, si presentano due diverse condizioni: le celle poste lateralmente (distanza di 500m tra i baricentri), hanno una distanza che la maggior parte degli utenti sarebbe disposta a percorrere per accedere al servizio; quelle poste in diagonale rispetto alla cella di riferimento, presentano una distanza tra i baricentri di 700m. Questo potrebbe comportare una significativa perdita di utenti potenziali in quanto in molti non sarebbero disposti a percorrere tale distanza per usufruire del servizio [21].

Utilizzando un formato esagonale, invece, si ottiene una griglia che presenta la stessa distanza tra la cella considerata e quelle adiacenti ottenendo in questo modo un dato più regolare (vedi Figura 4.5). Ipotizzando, quindi, di installare una nuova stazione del servizio in una determinata cella, tutte le celle ad essa limitrofe presenteranno lo stesso grado di accessibilità in quanto presentano la stessa distanza dal baricentro della cella considerata.

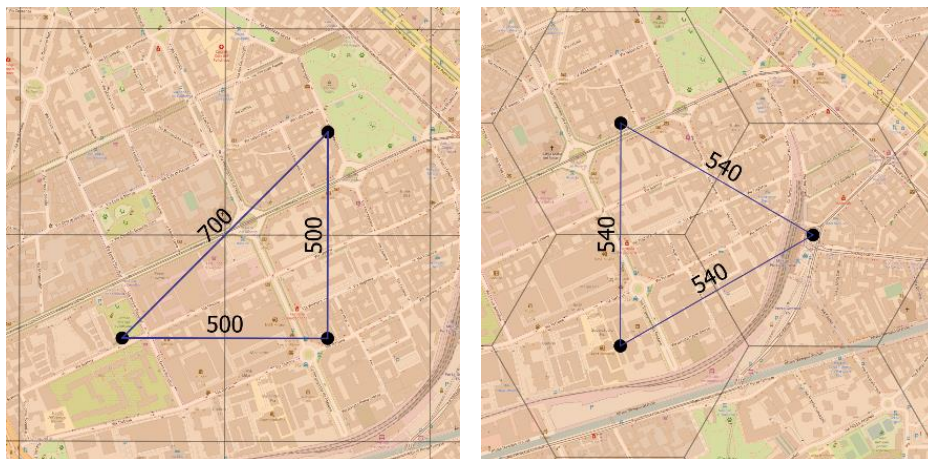


Figura 4.5: A sinistra, la distanza tra i baricentri nel caso di maglia quadrata; A destra, la distanza tra i baricentri nel caso di maglia esagonale.

La variazione di geometria non ha portato con sé una modifica significativa dei dati precedentemente rappresentati ed analizzati, i quali sono stati ridistribuiti con lo stesso metodo visto in precedenza sul nuovo formato geometrico utilizzato.

La griglia che verrà utilizzata per le successive elaborazioni consta ora di 565 celle valore dal quale sono già state escluse quelle celle che precedentemente hanno mostrato anomalie sul dato dell'età e che non possono essere potenziali generatrici di viaggi vista la posizione geografica.

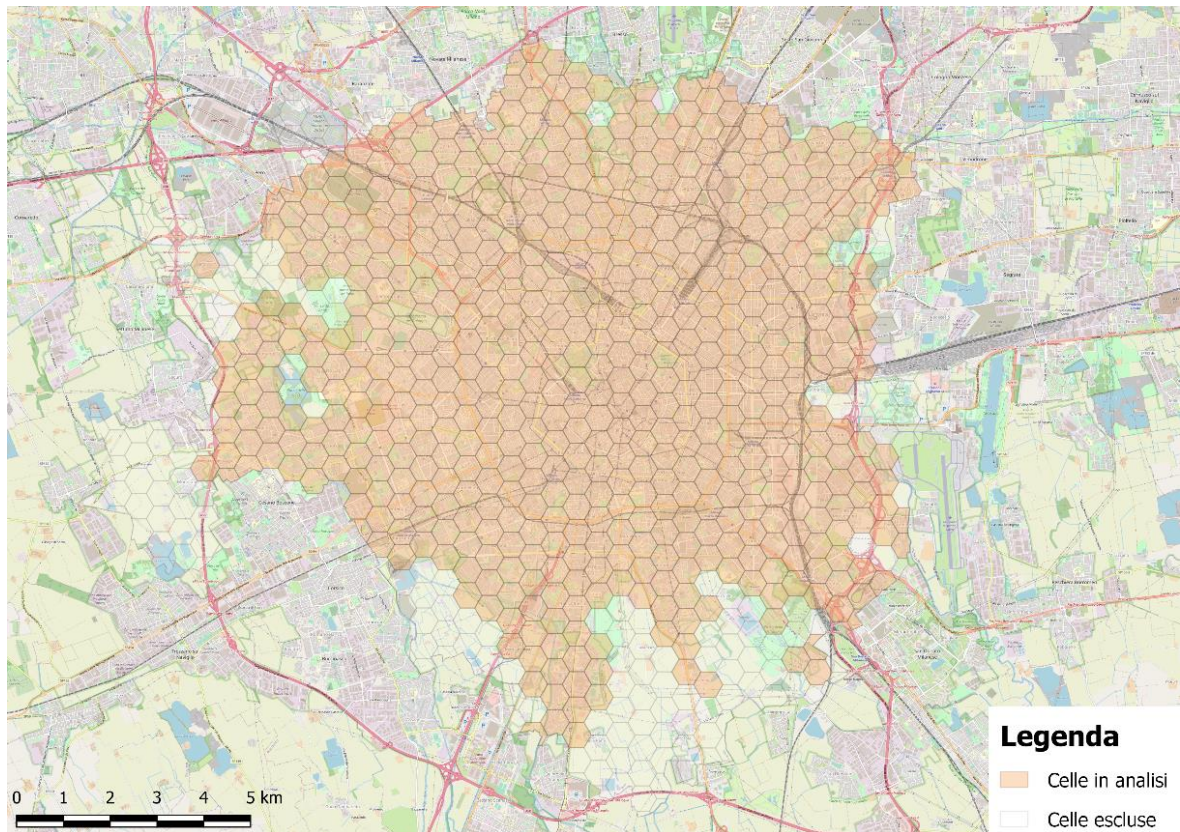


Figura 4.6: Suddivisione dell'area di studio in celle esagonali

4.3.2 Scelta degli attributi

Dopo aver modificato la geometria in esame, ho selezionato gli attributi ritenuti maggiormente significativi e quindi da considerare per la composizione dell'indice di classificazione delle celle.

La scelta delle variabili è stata fatta considerando, dapprima, le analisi delle correlazioni tra i viaggi in car sharing e le variabili a disposizione, effettuate precedentemente. Per questo motivo, ho deciso di tenere conto della densità abitativa della cella che è sicuramente un fattore essenziale per definire la maggiore o minore attrattività del servizio di car sharing. Oltre all'analisi condotta, questa variabile viene ulteriormente accreditata dalla ricerca di letteratura effettuata nel capitolo 2.1. Per le medesime motivazioni, ho considerato anche la percentuale di cittadini residenti che presentano un grado di istruzione di livello universitario in quanto fattore indicativo della propensione per l'utilizzo del car sharing.

Proseguendo con la scelta delle variabili da utilizzare per la composizione dell'indice, ho fatto anche riferimento ad indicatori ritenuti importanti in letteratura ma che non presentano lo stesso peso nelle analisi condotte. Ho ritenuto necessario aggiungere, quindi, il reddito medio dei residenti e la percentuale di persone giovani (ovvero compresi tra i 18 e i 40 anni di età) sul totale della popolazione residente nella cella di riferimento. Nel primo caso, le analisi condotte hanno portato

ad avere indicazioni di una possibile dipendenza di questa variabile anche se con importanza meno marcata nel caso dei viaggi round-trip; nel secondo caso, non si è presentato alcun tipo di dipendenza o correlazione con il numero di viaggi in car sharing effettuati; tuttavia, è un attributo a cui, generalmente, si conferisce particolare peso ed importanza per l'analisi della domanda potenziale di viaggio.

Sempre dall'indagine della letteratura (2.1), è emerso che il tipico utente del car sharing presenta solitamente delle percentuali di utilizzo del trasporto pubblico locale o di spostamenti a piedi o in bicicletta superiori alla media. Per questo motivo, ho incluso come variabili per la formazione dell'indice anche la percentuale di coloro che utilizzano il trasporto pubblico locale e di chi si sposta a piedi o in bicicletta in quanto una percentuale maggiore di tali variabili potrebbe indicare una buona propensione di una determinata cella all'utilizzo del car sharing.

Nella creazione dell'indice ho tenuto conto anche della distanza dalle stazioni del servizio di car sharing che permette di effettuare viaggi round-trip. Tale valore non ha avuto riscontro nelle analisi condotte sulle correlazioni (4.1), se non in misura piuttosto modesta. Rimane, comunque, un aspetto piuttosto interessante in quanto indicativo dell'accessibilità dell'utente al servizio. Infatti, se non ci sono stazioni del car sharing all'interno della cella considerata o se la distanza dalla stazione più vicina è molto elevata (superiore ai 600-700m), si ha una maggiore probabilità di avere una quota parte della domanda di trasporto che non viene soddisfatta per problemi di accessibilità al servizio.

Ho, poi, introdotto la variabile relativa agli spostamenti pendolari. Come detto precedentemente, il car sharing non ha come uso privilegiato quello pendolare, però tale valore potrebbe essere, comunque, indicativo del grado di mobilità che presentano le diverse aree della città. Quindi, un'ulteriore variabile considerata è data dall'origine dei viaggi pendolari.

Infine, ho fatto riferimento al set di dati trasmessi da AMAT relativi agli spostamenti in car sharing all'interno della città di Milano. Ho considerato, come variabili utili, il totale degli spostamenti effettuati con il car sharing e la percentuale dei viaggi round-trip rispetto a quelli one-way. Nel primo caso, l'attributo risulta essere interessante per capire se nella cella c'è effettivamente un utilizzo del car sharing, che sia per una modalità one-way o round-trip; nel secondo caso, invece, ho voluto tenere conto che ci sono un considerevole numero di viaggi con origine e destinazione all'interno della stessa cella pur non essendoci una stazione del servizio round-trip. Per questo motivo, tale percentuale potrebbe essere rappresentativa di un'esigenza dell'utente di effettuare un determinato tipo di spostamento per il quale non trova riscontro nei servizi che ha a disposizione all'interno della cella.

In Tabella 4.7, ho riportato le variabili scelte per la costruzione dell'indice.

Tabella 4.7: Variabili scelte per la composizione dell'indice

Densità abitativa	ab/km2
Reddito medio	€
% Istruzione universitaria	%
% Popolazione giovane (18-40 anni)	%
% Utilizzatori del TPL	%
% Utenti che si spostano in bici o a piedi	%
Distanza dalle stazioni del car sharing round-trip	m
Spostamenti pendolari in origine dalla cella	utenti
Viaggi in car sharing in origine dalla cella	viaggi
% di viaggi round-trip su viaggi one-way	%

4.3.3 Assegnazione dei coefficienti

Dopo aver definito le variabili che ho utilizzato nella formulazione dell'indice, sono passato alla definizione dei pesi da assegnare a ciascuna di queste e della modalità con cui questi vengono assegnati.

Prima, però, di definire il contributo che le singole variabili apportano alla formazione dell'indice, gli attributi sono stati standardizzati tra un valore minimo di 0 e un massimo di 100 in modo tale da poterli rendere confrontabili tra di loro.

Per la decisione dei coefficienti e, quindi del peso che le singole variabili hanno all'interno dell'indice, ho optato per due soluzioni alternative: la prima prevede l'assegnazione diretta dei coefficienti a ciascun attributo; la seconda prevede, invece, un confronto a coppie per definire l'importanza delle variabili in relazione a tutte le altre, per poi estrapolare dalla matrice formata il set di coefficienti da assegnare.

Il metodo diretto di assegnazione dei pesi non prevede passaggi critici se non l'attenzione di definire dei coefficienti la cui somma sia pari ad 1 (in caso contrario sarebbe necessario ricorrere ad una normalizzazione del set di coefficienti). In questo modo, ho ottenuto un indice il cui range di variazione è compreso tra un 0 e 100, dove la parte alta della scala definisce le celle che potrebbero maggiormente beneficiare dell'introduzione di una nuova stazione di car sharing mentre la parte bassa definisce una minore attrazione della cella per il servizio.

Il secondo metodo utilizzato è quello del confronto a coppie, detto AHP (Analytic Hierarchy Process) [29]. Questo approccio viene ampiamente utilizzato nel campo delle metodologie decisionali multicriterio e nell'analisi costi e benefici per la valutazione di alternative progettuali. Permette, infatti, di assegnare dei pesi ai singoli elementi che concorrono nella scelta dell'alternativa migliore. Nel caso specifico, ho utilizzato questo metodo per la definizione dei pesi da dare alle singole variabili per la valutazione dell'indice da assegnare alle celle. Ho utilizzato

questo approccio come alternativa a quella dell'assegnazione diretta dei coefficienti in quanto permette di poter parzialmente ridurre, anche se non eliminare, la componente soggettiva che questo passaggio decisionale inevitabilmente comporta. Il metodo prevede che ad ogni coppia di variabili venga assegnato un certo valore: questo indica il maggiore o minore grado di importanza che l'attributo posto sulla riga della matrice ha rispetto a quello posto nella colonna. Per la definizione dei giudizi, mi sono limitato ad esaminare le coppie di variabili relative al triangolo alto della matrice; poi, ho completato in automatico la parte bassa della matrice che risulta essere costituita dal reciproco dei valori inseriti (o viceversa nel caso di compilazione del triangolo basso). La diagonale principale risulta, invece, sempre essere uguale ad 1.

La scala di valori consigliata ed utilizzata per l'assegnazione dei confronti viene riportata in Tabella 4.8. Tali valori si basano sull'assunto, dimostrato [29], che le persone classificano meglio gli elementi in base ad un intervallo compreso tra 1 e 9. I valori pari vengono utilizzati nel caso il giudizio si ponga a metà tra due valori dispari.

Tabella 4.8: Scala di giudizi da assegnare ai confronti a coppie tra variabili

VALORE	INTERPRETAZIONE
1	A e B sono ugualmente importanti
3	A è poco più importante di B
5	A è abbastanza più importante di B
7	A è decisamente più importante di B
9	A è assolutamente più importante di B
1/3	A è poco meno importante di B
1/5	A è abbastanza meno importante di B
1/7	A è decisamente meno importante di B
1/9	A è assolutamente meno importante di B

Una volta ottenuta la matrice di confronto ho risolto un problema agli autovalori e agli autovettori. Il vettore da utilizzare per il calcolo dei coefficienti è quello relativo al primo autovalore della serie, ovvero quello massimo. Il passaggio conclusivo prevede la normalizzazione del vettore dei coefficienti così che la somma degli stessi sia uguale ad 1.

Ho, poi, effettuato un ulteriore passaggio. Gli indici così calcolati tengono conto esclusivamente del grado di attrattività del servizio solo in relazione alle necessità della singola cella. In questo modo però non si vanno a considerare anche i possibili contributi provenienti dalle celle limitrofe, ipotesi perfettamente plausibile data la ridotta distanza tra i baricentri. Infatti, un utente è

generalmente disposto ad utilizzare il servizio se la distanza da percorrere è di circa 500m. Essendo la distanza tra i baricentri delle celle di 540m è possibile affermare che un numero significativo di utenti possa usufruire del servizio posto nella cella limitrofa. Per questo motivo, ho ritenuto necessario valutare la formazione di un nuovo indice che tenga conto non solo dell'indice della singola cella ma anche di un contributo, seppur ridotto, delle celle limitrofe. Si intendono per celle limitrofe quelle direttamente confinanti con quella di riferimento. Il valore della nuova cella è stato calcolato utilizzando la formula seguente:

$$indice_i = \frac{2}{3}indice_i + \frac{1}{3} \frac{\sum indice_j}{6} \quad \forall i \in C \text{ e } \forall j \in C \text{ tale che } d(i,j) < D \quad [1]$$

Dove:

C : insieme di tutte le celle

D : soglia fissata che indica la distanza massima a cui si devono trovare due celle per apportare un contributo alla formazione dell'indice.

$d(i,j)$: distanza tra il baricentro della cella i e quello della cella j

L'equazione 1 risulta essere una somma pesata dei singoli contributi dati dagli elementi limitrofi. La cella considerata viene pesata per $\frac{2}{3}$ del valore totale dell'indice, mentre il contributo delle celle confinanti viene dapprima mediato sulle celle limitrofe per poi pesare per il restante $\frac{1}{3}$. In questo modo il valore ottenuto risulterà essere sempre all'interno del range di variazione dell'indice precedente ovvero tra 0 e 100. L'utilizzo di questo indice permette, quindi, di considerare anche il contributo parziale che le celle limitrofe potrebbero dare.

4.4 Analisi di sensitività dell'indice

Dopo aver definito le modalità di calcolo dei coefficienti, ho fatto variare i pesi per valutare le conseguenze che piccole variazioni potrebbero avere sul valore dell'indice da assegnare alle celle. Per effettuare tale studio, ho calcolato dapprima due set di parametri con il metodo del confronto a coppie per poi utilizzare il metodo di assegnazione diretta degli indici per poter meglio visualizzare le variazioni da imporre. In Tabella 4.9 ho riportato i coefficienti degli scenari analizzati mentre dalla Figura 4.7 alla Figura 4.10, ho riportato le rappresentazioni grafiche degli indici. Le immagini sono anche riportate in formato esteso nell'ALLEGATO B dove sono consultabili anche le tabelle

relative ai confronti a coppie dei coefficienti 1 e 2.

Tabella 4.9: Set di coefficienti relative all'analisi di sensitività dell'indice

VARIABILI	COEFF1 - CC1	COEFF2 - CC2	COEFF3	COEFF4
DENSITÀ	0.24	0.2	0.15	0.15
REDDITO	0.09	0.09	0.15	0.05
ISTRUZIONE	0.16	0.15	0.15	0.25
ETÀ	0.16	0.2	0.1	0.15
TPL	0.02	0.02	0.05	0.02
PIEDI/BICI	0.02	0.02	0.05	0.02
DISTANZA RT	0.16	0.2	0.2	0.25
ORIGINI PEND	0.03	0.03	0.05	0.03
ORIGINI CS	0.05	0.04	0.05	0.04
%RT/VIAGGI1W	0.05	0.04	0.05	0.04

Il primo coefficiente (Figura 4.7) è stato calcolato con il metodo del confronto a coppie. Nell'assegnare i giudizi (consultabili in Tabella B.1), ho considerato la densità come variabile più importante rispetto a tutte le altre in quanto sicuramente più significativa nella valutazione della maggiore o minore propensione di una cella di essere potenziale generatrice di viaggi. Seguono, come grado di importanza, la distanza dalle stazioni del servizio già esistenti, la percentuale di popolazione giovane e la percentuale di residenti in possesso di titolo universitario a cui viene assegnato valore 2 rispetto alla densità e il reddito a cui ho assegnato valore 3.

Tutte le altre variabili le ho considerate meno importanti rispetto a quelle appena citate e, quindi, il loro contributo nella formazione dell'indice risulta essere di minore importanza. Quindi, ho assegnato alle variabili dei viaggi in origine in car sharing e la percentuale di viaggi round-trip rispetto a quelli one way valore 5 rispetto alla densità abitativa, valore 6 per le origini dei viaggi pendolari e valore 7 per la percentuale di utenti che utilizzano il TPL o che si spostano a piedi o in bicicletta.

Completata la matrice dei confronti a coppie, ho calcolato il set dei coefficienti.

Tabella 4.10: Rappresentazione degli indici considerati

COEFFICIENTE 1 CC

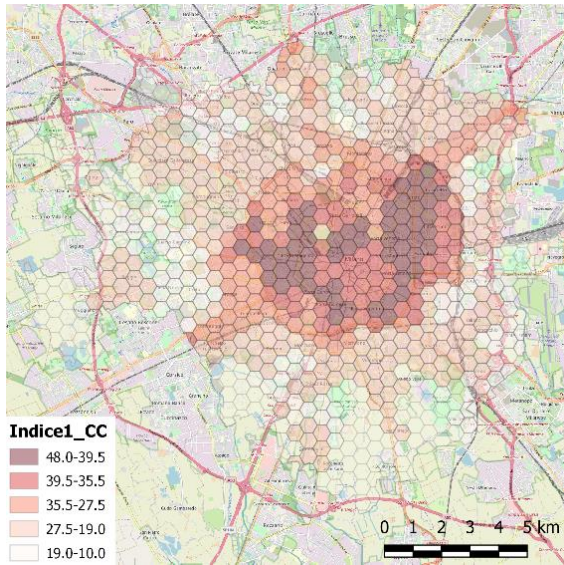


Figura 4.7: Rappresentazione dell'indice 1 ottenuto per mezzo del metodo del confronto a coppie

COEFFICIENTE 2 CC

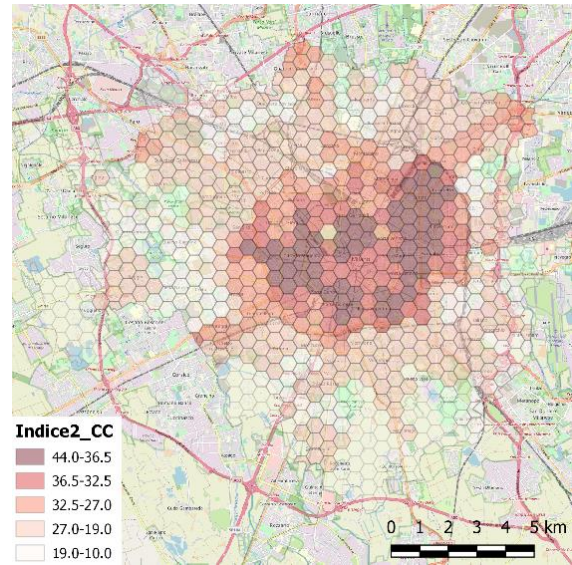


Figura 4.8: Rappresentazione dell'indice 2 ottenuto per mezzo del metodo del confronto a coppie

COEFFICIENTE 3

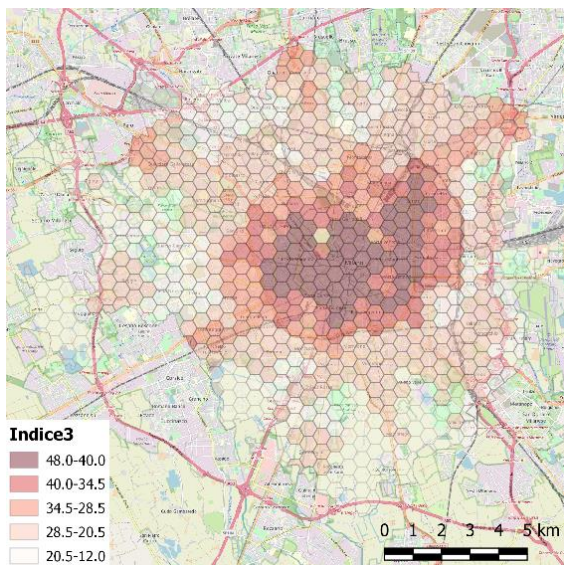


Figura 4.9: Rappresentazione dell'indice 3 ottenuto tramite assegnazione diretta dei coefficienti

COEFFICIENTE 4

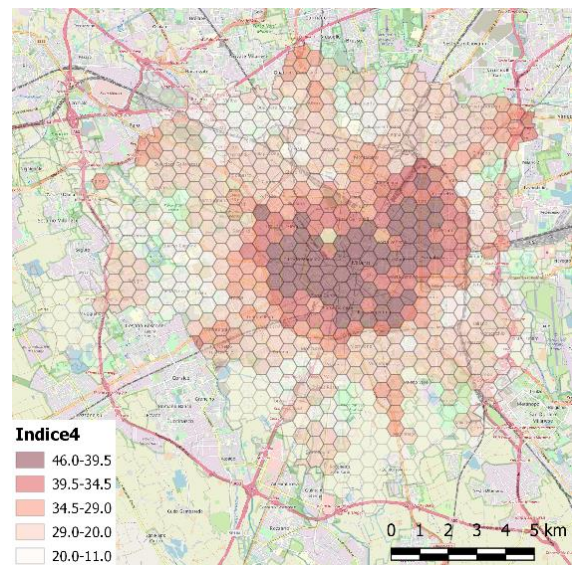


Figura 4.10: Rappresentazione dell'indice 4 ottenuto tramite assegnazione diretta dei coefficienti

L'indice 1 vede come variabile predominante quella della densità abitativa, che costituisce in questo modo quasi il 25% dell'indice totale. Questa, da sola, basta a spiegare la relativa mappa di calore ottenuta (Figura 4.7). Infatti, si ha che le celle che presentano i maggiori valori dell'indice sono quelle limitrofe all'area centrale della città dove si registrano livelli di densità abitativa

particolarmente elevati, come visto in Figura 2.2. Le celle periferiche risultano in questo modo molto penalizzate in quanto, salvo alcune eccezioni, hanno dei valori non confrontabili con le aree centrali. Un altro fattore che aumenta il divario tra il centro e la periferia in riferimento all'indice ottenuto è dato dall'istruzione, indicatore che pesa per oltre il 15% del totale. Infatti, nelle aree centrali della città si hanno delle percentuali di residenti in possesso di titolo universitario piuttosto elevate.

In generale, ci sono alcune celle periferiche che emergono rispetto alle altre in quanto presentano dei valori leggermente superiori: si tratta delle aree di Cimiano, Affori e Lorenteggio. Queste zone sono favorite in particolare da due coefficienti: l'età e la distanza dalla stazione del car sharing più vicina, indicatori che pesano entrambi oltre il 15% nella formazione del nuovo indice. Essendo delle celle periferiche, presentano delle distanze piuttosto elevate rispetto alla stazione più vicina così da ottenere un contributo da questa variabile elevato; insieme a questo fattore, si registrano, inoltre, delle percentuali di residenti di età compresa tra i 18 e i 40 anni superiori alla media.

Le altre variabili, ritenute meno significative rispetto a quelle già citate, pesano all'interno dell'indice con una percentuale inferiore: 2% per quanto riguarda la percentuale di cittadini che si spostano con il TPL o a piedi e in bicicletta, il 3% per quanto riguarda le origini dei viaggi pendolari e il 5% l'origine dei viaggi effettuati con il car sharing e la percentuale di viaggi round-trip sui viaggi one-way.

Partendo da questo risultato, ho ricavato un ulteriore set di coefficienti utilizzando ancora il metodo del confronto a coppie (Tabella B.2). In questo caso, la densità risulta ancora essere la variabile più importante ma alla pari con la distanza dalla stazione del servizio più vicina e alla percentuale di popolazione giovane. Così facendo, ho voluto dare maggiore peso alle variabili che generalmente presentano dei valori piuttosto elevati nelle aree periferiche della città. Non ho, invece, fatto variare gli altri giudizi che risultano, quindi, essere uguali ai confronti a coppie dell'indice 1.

I coefficienti così ottenuti presentano alcune variazioni rispetto ai precedenti. In particolare, l'influenza della densità viene ridotta e portata al 20% del totale del nuovo indice. Consultando la mappa riportata in Figura 4.8, questa modifica non porta ad avere grosse variazioni sul valore dell'indice per quanto riguarda le aree centrali. Infatti, anche in questo scenario si vede come le celle limitrofe alla zona centrale della città hanno un peso maggiore rispetto a quelle periferiche. Due variazioni significative si hanno, invece, per quanto riguarda la distanza dalle stazioni del car sharing e la percentuale di residenti giovani. Queste riportano lo stesso peso della densità abitativa, ovvero il 20% del totale dell'indice. L'incremento di importanza di queste due variabili ha soprattutto effetto sulle aree periferiche. Infatti, aumenta il valore dell'indice nelle celle delle aree di Affori, Lorenteggio e Cimiano, già viste nell'analisi precedente. Inoltre, emerge come importanza, anche l'area limitrofa al comune di Pero che presenta dei valori dell'indice

confrontabili con le zone precedentemente citate. Per quanto riguarda le altre variabili, il loro contributo non viene fatto variare o ci sono delle modifiche non significative.

Ho, poi, analizzato ulteriori due scenari con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti. Il primo di questi vede come variabile predominante, in termini di peso del coefficiente, la distanza dalla stazione più vicina del servizio a cui ho assegnato un peso pari al 20% del totale dell'indice. Come già visto nel caso precedente, questo fattore permette di favorire le celle più periferiche che, in questo modo, presentano dei valori dell'indice piuttosto elevati. Le variabili socioeconomiche, invece, vengono pesate tutte per il 15% tranne la percentuale di residenti giovani che conta per il 10%. La combinazione tra densità abitativa, reddito e istruzione permette di ottenere dei valori molto elevati nelle aree centrali e ad esse limitrofe. Le aree del centro città risentono in maniera significativa del peso elevato assegnato al reddito e all'istruzione in quanto, come visto in Figura 2.3 e in Figura 2.4, queste variabili assumono i valori più alti in questa zona. Il contributo degli altri attributi rimane, invece, pressoché invariato.

Infine, ho studiato un'ulteriore variazione dei coefficienti. In questo caso, ho aumentato ulteriormente l'importanza attribuita alla distanza dalla stazione più vicina del servizio rispetto alle altre variabili. Come già visto, le celle periferiche beneficiano dell'incremento del peso della variabile che in questo scenario arriva al 25% del totale. Un'altra variabile che pesa per $\frac{1}{4}$ del valore dell'indice è l'istruzione. Questo comporta dei valori decisamente elevati nelle aree più centrali della città. Seguono poi con il 15% la percentuale di residenti giovani e la densità abitativa che, nonostante risulti essere piuttosto basso rispetto agli altri scenari, gioca comunque un ruolo importante per quanto riguarda le celle limitrofe al centro città. Viene, invece, fortemente ridotta l'influenza del reddito, limitata al 5%. In questo modo, le celle della zona centrale vengono parzialmente penalizzate a favore delle celle periferiche. Infine, le altre variabili vengono mantenute con valori piuttosto bassi, variabili tra il 2 e il 5% in quanto ritenute poco significative.

L'analisi di sensitività condotta ha permesso di portare alla luce alcune considerazioni interessanti. In particolare:

- La densità abitativa risulta essere la variabile che pesa maggiormente nelle differenze tra la periferia e il centro città. I valori massimi della variabile vengono assunti dalle celle appena limitrofe al centro città.
- Il reddito, insieme alla percentuale di residenti che sono in possesso di un titolo universitario, sono due attributi socioeconomici che portano ad avere valori particolarmente elevati dell'indice soprattutto nella zona centrale della città e nelle celle ad essa limitrofe.

- L'età, al contrario, è un fattore che favorisce, seppur in maniera minima, le aree periferiche dove si hanno, in alcune zone, percentuali di residenti compresi tra i 18 e i 40 anni di età superiori alla media.
- Infine, la variabile che favorisce inequivocabilmente le celle poste in periferia è la distanza dalla stazione più vicina del servizio.
- Le altre variabili hanno subito solo variazioni minime o addirittura nessuna variazione in quanto ritenute di importanza minore nella composizione dell'indice rispetto alle altre.

Dopo aver calcolato i quattro indici, ho definito anche il valore dell'indice aggregato. Come descritto precedentemente, l'indice aggregato tiene conto, oltre che di un contributo della cella considerata, anche di un contributo delle celle limitrofe. Tale nuovo attributo è costituito per $\frac{2}{3}$ dal valore della cella considerata e per il restante $\frac{1}{3}$ dalla media dei valori delle celle limitrofe. L'indice così ottenuto è più rappresentativo della realtà perché così facendo ogni cella risente di un contributo derivante dalle celle limitrofe che potrebbero determinare un valore più elevato di domanda. Il calcolo di tale indice risente del cambio di geometria che ho effettuato: in questo modo, le celle limitrofe a quella presa in considerazione portano un uguale contributo nella formazione del nuovo indice in quanto la distanza del loro baricentro rispetto a quella di riferimento è costante. Nel caso di griglia quadrata, invece, avrei dovuto distinguere considerando due contributi diversi: il primo dato dalle celle poste lateralmente e il secondo dato da quelle disposte in diagonale. Il primo gruppo avrebbe dovuto avere un peso maggiore forte di una distanza dei baricentri delle celle rispetto a quella di riferimento di 500m; il secondo avrebbe dovuto avere un peso minore a causa di una maggiore distanza tra i baricentri (700m).

In Figura 4.11, è rappresentato il valore dell'indice aggregato nel caso del coefficiente 1 ottenuto con il metodo del confronto a coppie.

Le differenze rispetto all'indice valutato precedentemente risultano essere minime. Le celle che maggiormente risentono dell'adozione di tale indice sono quelle ai limiti del confine comunale. Infatti, tali celle presentano attorno a loro meno di 6 celle e quindi il contributo limitrofo che concorre nella formazione nell'indice risulta essere inferiore.

Le mappe relative agli altri indici valutati con questo metodo sono consultabili nell'ALLEGATO B.

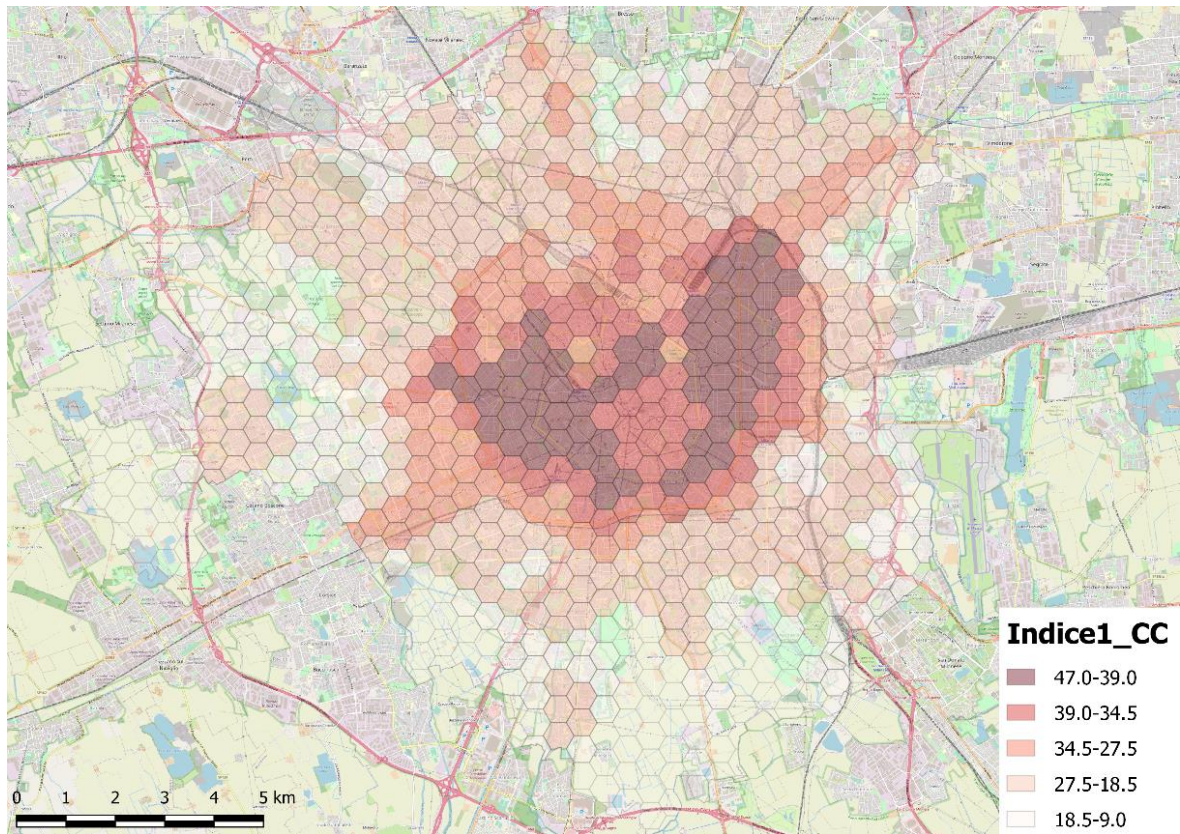


Figura 4.11: Rappresentazione dell'indice 1 aggregato valutato con il metodo del confronto a coppie

5

POSIZIONAMENTO DELLE STAZIONI

Definito l'indice di classificazione delle celle, sono passato alla costruzione di uno strumento che permette di supportare la decisione per quanto riguarda l'introduzione di nuove stazioni di car sharing che consentono di effettuare viaggi round-trip. Il processo di ottimizzazione si basa sull'indice calcolato che non rappresenta l'effettiva domanda potenziale ma una maggiore o minore propensione della cella, in base al valore degli attributi che la contraddistinguono, di generare potenziali spostamenti. I vincoli introdotti tengono conto di alcuni interessi che potrebbero giocare un ruolo importante in questa fase decisionale così da ottenere diversi scenari di analisi.

5.1 Modello di ottimizzazione delle stazioni

Dopo aver definito le modalità operative per il calcolo dell'indice, sono passato alla successiva fase di ottimizzazione della posizione delle nuove stazioni del servizio di car sharing round-trip.

In letteratura [25] ho reperito numerosi studi riguardo la costruzione di un modello di ottimizzazione della posizione delle stazioni del car sharing. Tuttavia, la maggior parte di questi è basata sulla conoscenza della domanda potenziale, variabile che non è stato possibile ricavare dagli studi precedentemente condotti. Per questo motivo, ho costruito un modello di ottimizzazione basato sulla classificazione delle celle che ho effettuato. L'indice, come già detto, rappresenta la propensione di una cella ad essere più o meno generatrice di viaggi round-trip.

Inoltre, il modello che ho ipotizzato prevede l'introduzione di alcuni vincoli che cercano di definire non solo le aree maggiormente attrattive per nuove stazioni del servizio ma che possa anche individuare se aree esterne al centro città per le quali si potrebbe valutare un ampliamento del servizio.

Come primo passaggio, ho formulato il problema di ottimizzazione che si vuole affrontare: si tratta di definire quali celle potrebbe maggiormente beneficiare dell'installazione di una nuova stazione del servizio di car sharing round-trip sulla base del valore dell'indice precedentemente calcolato. Successivamente ho analizzato i risultati ottenuti al variare dei vincoli imposti.

5.1.1 Variabili decisionali

Ho definito, quindi, la possibilità per ogni cella di avere al massimo una nuova stazione. Questa comporta l'introduzione di un nuovo posto auto riservato per il veicolo in sharing nella cella selezionata dal processo di ottimizzazione

La decisione di avere una sola nuova stazione per cella porta con sé un'ipotesi forte ovvero ho supposto implicitamente che l'introduzione di una nuova stazione soddisfi tutta la domanda potenziale presente all'interno della cella. Tale semplificazione potrebbe essere superata con la conoscenza effettiva della domanda di viaggio generata da ogni cella così da poter determinare un numero di veicoli (e quindi di posti auto riservati) adeguato alle reali necessità. Con una richiesta di viaggio elevata, si dovrebbe, quindi, procedere all'installazione di ulteriori postazioni all'interno della stessa cella.

La condizione appena presentata porta così alla definizione delle variabili decisionali: ad ogni cella viene assegnata una variabile che può assumere valore 1 se tale cella necessita dell'installazione di una stazione, valore 0 in caso contrario. Le variabili decisionali introdotte nel modello hanno, quindi, carattere binario. In questo modo, si definiscono 565 variabili, ovvero lo stesso numero delle celle in analisi.

5.1.2 Obiettivo

Una volta scelte le variabili decisionali, ho definito l'obiettivo dell'ottimizzazione. Questo, come già precedentemente detto, è volto al posizionamento di una stazione laddove l'indice che caratterizza la cella risulta essere più elevato. Quindi, la funzione da massimizzare sarà data dalla somma degli indici assegnati ad ogni cella della griglia.

$$\max \left(\sum_{i=1}^{565} indice_i * x_i \right) \quad \forall i, \text{ con } i \in C \quad [2]$$

Dove:

C : insieme di tutte le celle

Per come è stato formulato l'obiettivo, il programma andrebbe a massimizzare l'obiettivo posizionando una nuova stazione in ogni cella raggiungendo in questo modo il valore più alto ottenibile. Per questo ho proceduto con l'introduzione dei vincoli.

5.1.3 Numero massimo di stazioni

Il primo vincolo imposto è quello relativo al numero massimo di nuove stazioni. Tale parametro viene generalmente imposto o dall'operatore o del decisore politico che si occupano di individuare quale possa essere il miglior compromesso tra soddisfacimento della domanda e impegno economico richiesto. In questo caso, non avendo indicazioni a riguardo e non potendo effettuare un'analisi finanziaria in mancanza di una specifica conoscenza della domanda, nelle elaborazioni successive, tale valore viene posto, forfettariamente, al massimo pari a 10.

$$\left(\sum_{i=1}^{565} x_i \right) \leq cost \quad \forall i, \text{ con } i \in C \quad [3]$$

Dove:

C : insieme di tutte le celle

$cost$: numero massimo di nuove stazioni

Oltre a voler imporre un numero massimo di nuove stazioni, ho introdotto un vincolo che agisce sulla posizione che queste possono assumere. Per questa formulazione, ho considerato il dislocamento delle stazioni di car sharing round-trip già esistenti in quanto informazione disponibile. Visto che alcune celle già presentano una o più stazioni del servizio, ho ritenuto che la domanda di viaggio si possa ritenere soddisfatta e quindi non sussista la necessità di aggiungere ulteriori veicoli per potenziare il servizio. Quindi, il secondo vincolo imposto limita il posizionamento delle stazioni solo in quelle celle che ne sono ad oggi sprovviste. Così ho imposto che le variabili decisionali associate ad una cella che già presenta una stazione devono essere uguali a zero, ovvero non possano essere selezionate per avere una nuova stazione.

$$x_i \leq 1 \quad \forall i, \text{ con } i \in E \quad [4]$$

Dove:

E : insieme di tutte le celle che hanno già una stazione

5.1.4 Distanza minima tra due nuove stazioni

Ho, poi, introdotto due ulteriori vincoli basati sulla distanza tra le stazioni nuove e quelle già esistenti. Per questa formulazione è stato necessario utilizzare la matrice delle distanze ricavata con il software QGIS. Questa matrice riporta la distanza in linea d'aria dei baricentri delle celle tra di loro. L'utilizzo della distanza in linea d'aria risulta essere una semplificazione piuttosto forte del problema in quanto, essendo in un ambiente altamente antropizzato, il valore della distanza effettivamente percorsa dall'utente risulterà essere sempre maggiore.

In questa fase entra in gioco in maniera preponderante il passaggio tra la griglia quadrata e la griglia esagonale. Infatti, la distanza tra i baricentri di una cella con quelle che la circondano risulta essere in questo modo costante. È così possibile una definizione del vincolo sulla distanza più chiaro.

Ho generalmente imposto di non avere nuove stazioni in celle limitrofe: questa decisione è dovuta al fatto che la distanza tra i baricentri di due celle è di circa 500m che risulta essere una distanza che gli utenti sarebbero disposti a percorrere a piedi per accedere al servizio.

Tale vincolo può essere poi aumentato a seconda della distribuzione che si vuole dare: maggiore è la distanza imposta tra due nuove stazioni, maggiore sarà l'area sulla quale queste verranno posizionate. L'implementazione di questo vincolo prevede che la somma delle variabili decisionali di due celle che presentano una distanza inferiore al limite imposto debba essere minore o uguale ad 1.

$$x_i + x_j \leq 1 \quad \forall (i, j), \text{ con } i \text{ e } j \in C \text{ e tali che } d(i, j) < D \quad [5]$$

Dove:

C : insieme di tutte le celle

D : soglia fissata che indica la distanza minima a cui devono trovarsi due celle per avere entrambe

una stazione

$d(i, j)$: distanza tra il baricentro della cella i e quello della cella j

L'equazione 5 definisce, quindi, che la nuova stazione può essere posta solo in una delle due celle se la distanza tra queste è inferiore a quella imposta.

5.1.5 Distanza minima dalle stazioni esistenti

Il secondo vincolo relativo alla distanza fa riferimento alla posizione delle nuove stazioni rispetto a quelle esistenti. Conoscendo la posizione delle stazioni del servizio che permette di effettuare viaggi round-trip, ho calcolato sempre attraverso il software QGIS, la distanza dei baricentri delle celle rispetto alla stazione più vicina del servizio. La formulazione di tale vincolo prevede la possibilità di installare nuove stazioni solo in celle la cui accessibilità al servizio attualmente risulta essere fortemente limitata dovuta dalla distanza che l'utente dovrebbe percorrere. Il valore minimo di distanza che una nuova stazione deve avere da uno già esistente può essere variato a seconda degli obiettivi che la fase di ottimizzazione si pone di raggiungere. Questo vincolo è stato pensato per poter favorire il posizionamento delle stazioni in aree generalmente esterne al centro città dove il servizio presenta una copertura solo parziale o risulta totalmente non accessibile. Infatti, aumentando la soglia minima di distanza tra una stazione nuova ed una esistente, quasi la totalità delle celle dislocate nel centro della città viene inibita da questo vincolo, lasciando attive e quindi disponibili al posizionamento di una nuova stazione solo quelle più esterne.

$$x_i \leq 1 \quad \forall i, \text{ con } i \in C \text{ e } j \in E \text{ e tali che } d(i, j) < D \quad [6]$$

Dove:

C : insieme di tutte le celle

E : insieme di tutte le celle che hanno già una stazione

D : soglia fissata che indica la distanza minima a cui devono trovarsi due celle per avere entrambe stazioni

$d(i, j)$: distanza tra il baricentro della cella i e quello della cella j

Ho, così, definito un problema di ottimizzazione lineare a numeri interi con variabili decisionali binarie. L'esito dell'ottimizzazione è un vettore composto solo da 0 e 1, dove 1 va ad indicare il

posizionamento di una nuova stazione, mentre 0 il contrario. Questo risultato permette di individuare le celle in cui sarebbe necessario inserire una stazione: il pedice della variabile decisionale indica il numero della cella a cui fa riferimento. In questo modo, si ha una corrispondenza tra la variabile e la rappresentazione GIS.

Dopo aver definito obiettivi e vincoli, ho implementato il problema in MATLAB utilizzando lo strumento di ottimizzazione per programmi lineari interi previsto all'interno del software. Il codice è interamente consultabile nell'ALLEGATO C dell'elaborato.

Una considerazione doverosa da fare riguarda la scrittura dei vincoli: lo strumento di ottimizzazione prevede solo l'utilizzo di vincoli di uguaglianza (=) e di disuguaglianza che possono essere scritti solo con il simbolo di minore/uguale (\leq) o di maggiore/uguale (\geq). Per tale motivo, alcuni dei vincoli precedentemente descritti sono stati modificati per renderli compatibili con il funzionamento del pacchetto utilizzato mantenendo ad ogni modo inalterato il loro significato.

Il programma richiede tre input per il corretto funzionamento: il primo è il valore dell'indice per ogni cella della griglia, il secondo è la matrice delle distanze e l'ultimo riporta, per ogni cella, il numero di stazioni del servizio attive e la distanza del baricentro della cella dalla stazione più vicina del servizio. L'esito dell'ottimizzazione è il vettore delle variabili decisionali valorizzato solo per quelle celle per cui viene ritenuta necessaria l'installazione di una nuova stazione. Il programma, come output, restituisce direttamente il codice identificativo delle sole celle per cui si prevede una nuova stazione

All'interno del codice, ho, inoltre, implementato la possibilità di condurre l'ottimizzazione non solo con l'indice associato a ciascuna cella, valore che viene dato in ingresso al programma, ma anche con quello che viene definito 'indice aggregato', ovvero l'indice calcolato tenendo conto anche del valore delle celle limitrofe (4.3.3). In questo caso, si ha un ulteriore output che prevede anche la restituzione del nuovo indice calcolato associato a ciascuna cella.

5.2 Scenari analizzati

Sono, infine, passato all'applicazione del programma di ottimizzazione e all'introduzione progressiva dei vincoli e alla loro variazione per ottenere ed analizzare scenari diversi al fine di confrontarli tra di loro.

Per prima cosa, ho definito l'indice con il quale portare avanti la fase di ottimizzazione. In particolare, la scelta è ricaduta sull'indice calcolato con il set di coefficienti 1 ottenuto con il metodo del confronto a coppie (vedi Tabella 4.9) in quanto ho ritenuto i pesi assegnati a ciascuna variabile equamente bilanciati e che il metodo utilizzato permette di ridurre il grado di soggettività che questo passaggio porta inevitabilmente con sé. La definizione dell'indice, nel caso di una

possibile applicazione reale, è responsabilità della figura del decision maker, che sia un decisore politico o un operatore. Infatti, è compito di chi ha interesse nell'erogare servizio definire quali siano le variabili da pesare maggiormente rispetto ad altre che risultano essere di interesse secondario.

Inoltre, ho deciso di considerare l'indice aggregato, ovvero quello che tiene conto non solo del valore della cella stessa ma anche di un contributo derivante dalle celle limitrofe. Ho preferito questo approccio in quanto ritenuto più rappresentativo della condizione reale.

Ho, poi, imposto un ulteriore parametro non soggetto a variazione, ovvero il numero di stazioni massime da posizionare. Per tutte le elaborazioni tale valore viene posto pari a 10: ho deciso di mantenerlo costante per seguire una linea coerente per tutta la fase di ottimizzazione. Anche questa decisione risulta essere in mano al decision maker che decide sulla base degli interessi in gioco.

L'imposizione di questo vincolo permette già di ottenere un primo posizionamento delle nuove stazioni. Questo approccio non risulta, però, essere particolarmente significativo in quanto inevitabilmente le stazioni si vanno a posizionare nelle 10 celle con indice maggiore portando, quindi, alla massimizzazione dell'obiettivo. Tale ottimizzazione non tiene conto delle stazioni già esistenti e della posizione reciproca che le stazioni nuove devono assumere. Per queste ragioni, il risultato ottenuto non viene analizzato all'interno dell'elaborato in quanto privo di significatività.

5.2.1 Scenario 0

La prima vera soluzione che ho riportato, denominata Scenario 0 in quanto punto di partenza per le successive elaborazioni, è quella che prevede l'aggiunta del vincolo sulla distanza minima tra due nuove stazioni del servizio, descritto dall'equazione 5. Il vincolo prevede che le nuove stazioni abbiano una posizione reciproca che rispetti il vincolo sulla distanza minima che viene imposto. Questa distanza può essere definita in maniera arbitraria e permette principalmente di definire il grado di dispersione delle nuove stazioni sull'area operativa. Maggiore è il valore attribuito alla distanza minima tra due stazioni, maggiore sarà la diffusione sul territorio delle stesse. In questo primo scenario proposto, ho definito tale distanza pari a 1000 metri. Questo valore non è stato scelto arbitrariamente: il vincolo così costruito si traduce nella decisione di non aver due nuove stazioni in celle limitrofe bensì almeno una cella vuota in mezzo. Tale decisione è data dal fatto che una stazione posizionata su una cella, va già a soddisfare parzialmente i bisogni della cella limitrofa (contributo di cui già ho tenuto conto nell'adozione dell'indice aggregato). Per questo motivo, ho ritenuto fosse ridondante aver due nuove stazioni in celle limitrofe. La soluzione di questo scenario viene riportata in Figura 5.1.

Il posizionamento delle stazioni in questo scenario risulta ancora essere molto dipendente dal valore dell'indice di valutazione delle celle. Infatti, le nuove stazioni si dispongono nelle aree limitrofe al centro città dove ci sono le celle che presentano i maggiori valori dell'indice. È

possibile, inoltre, notare come le stazioni ricadano inevitabilmente in celle dove si ha già la presenza di almeno una stazione in quanto non è stato imposto tale vincolo.

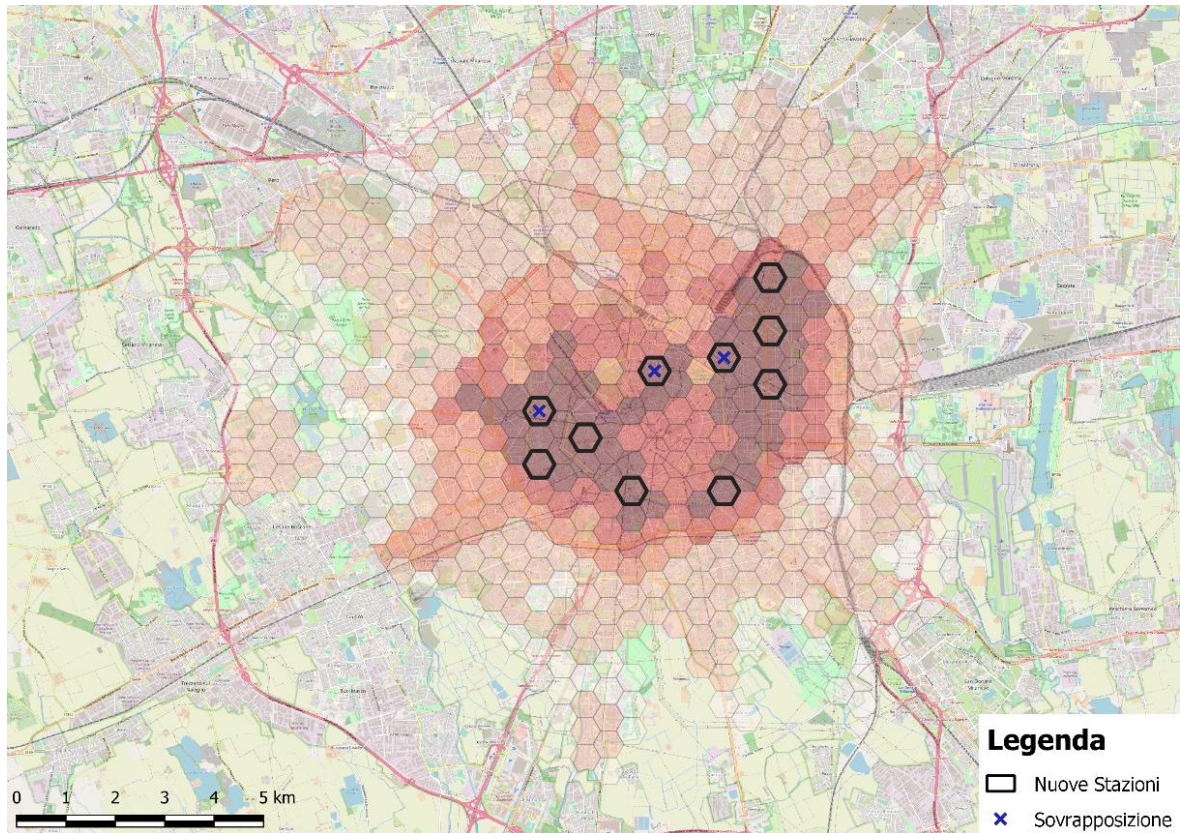


Figura 5.1: Rappresentazione dello scenario 0

5.2.2 Scenario 1

Partendo dallo Scenario 0, ho poi sviluppato i successivi, aggiungendo i vincoli precedentemente descritti. Lo scenario successivo (Scenario 1) ha come scopo quello di superare l'incongruenza dell'installazione di una nuova stazione laddove ce ne sono già di esistenti. Per questo motivo, ho imposto il vincolo (Equazione 4) di posizionare le stazioni nuove solo in celle che non presentano già una stazione.

Con questo scenario ho ottenuto solo lievi differenze rispetto allo Scenario 0: infatti, la posizione delle nuove stazioni risulta sempre essere nelle aree limitrofe al centro città. In particolare, le nuove stazioni vengono posizionate dal processo di ottimizzazione principalmente nell'area est della città, nelle zone di Loreto e Città Studi, e nell'area Ovest, nei pressi del quartiere San Siro e Porta Genova. Infine, si hanno anche due nuove stazioni in zona Porta Romana e Porta Ticinese.

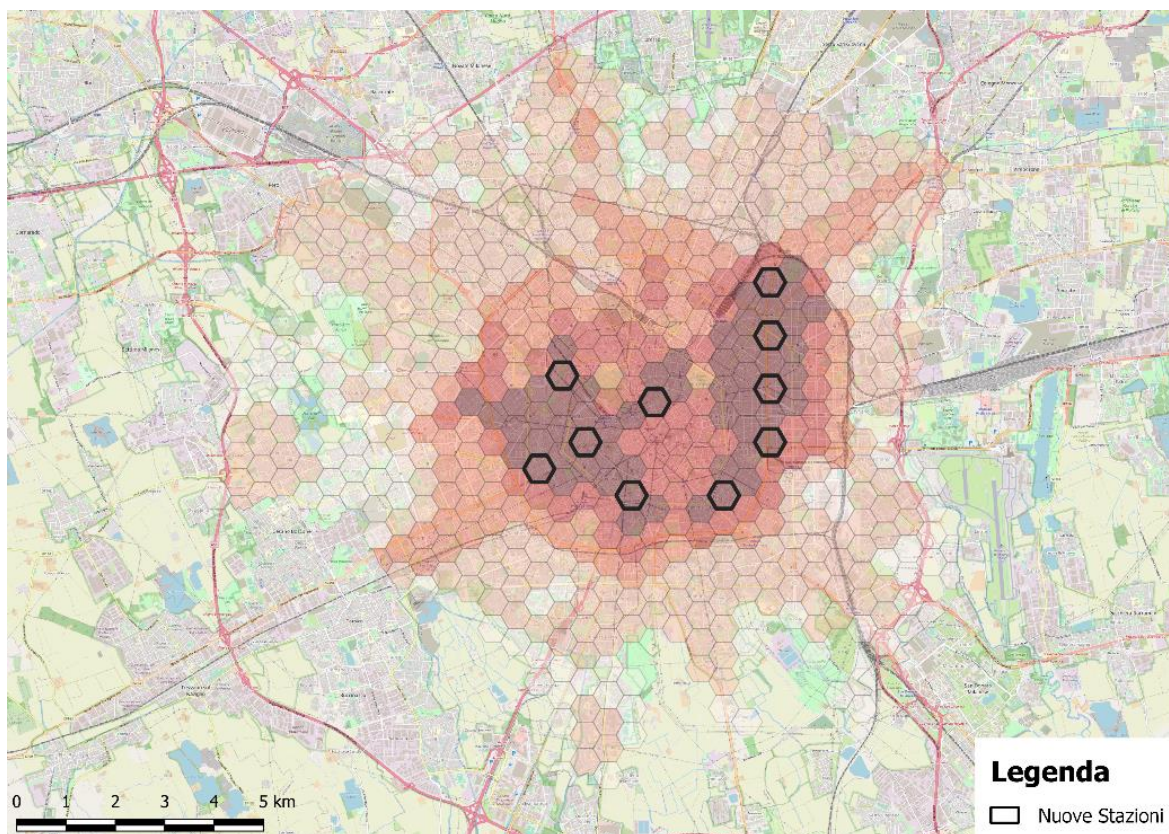


Figura 5.2: Rappresentazione dello Scenario 1

Questi due primi scenari portano inevitabilmente ad avere nuove stazioni laddove la richiesta risulta essere maggiore, favorendo in questo modo un approccio volto alla massimizzazione dei potenziali profitti derivanti da un potenziamento del servizio. Infatti, queste soluzioni permettono di rendere maggiormente accessibile il servizio laddove già è presente, riducendo la distanza massima da percorrere per usufruirne.

Per ottenere una maggiore diffusione delle nuove stazioni è possibile aumentare il valore della distanza minima tra le nuove stazioni. Vengono, quindi, analizzati due ulteriori scenari ponendo come distanza minima 1600m (Scenario 1bis) e 2150m (Scenario 1ter). Il primo valore descrive una distanza tra le nuove stazioni di almeno 2 celle, mentre il secondo di almeno 3 celle.

Dalla Figura 5.3 è possibile notare che le nuove stazioni si dispongono sempre nelle aree prossime al centro città in quanto presentano il maggior valore dell'indice ma la loro diffusione sul territorio aumenta, andando a coprire un'area più ampia. Aver imposto una distanza minima tra le stazioni di 1600m significa che un utente al più dovrebbe percorrere 800m, il che risulta essere un valore elevato per avere un servizio effettivamente attrattivo. Questo passaggio dell'ottimizzazione non tiene conto, però, della presenza delle stazioni già esistenti all'interno del territorio e in particolare nel centro città portando quindi ad avere una condizione più favorevole dovuta ad una distanza da percorrere minore rispetto a quella imposta per l'ottimizzazione.

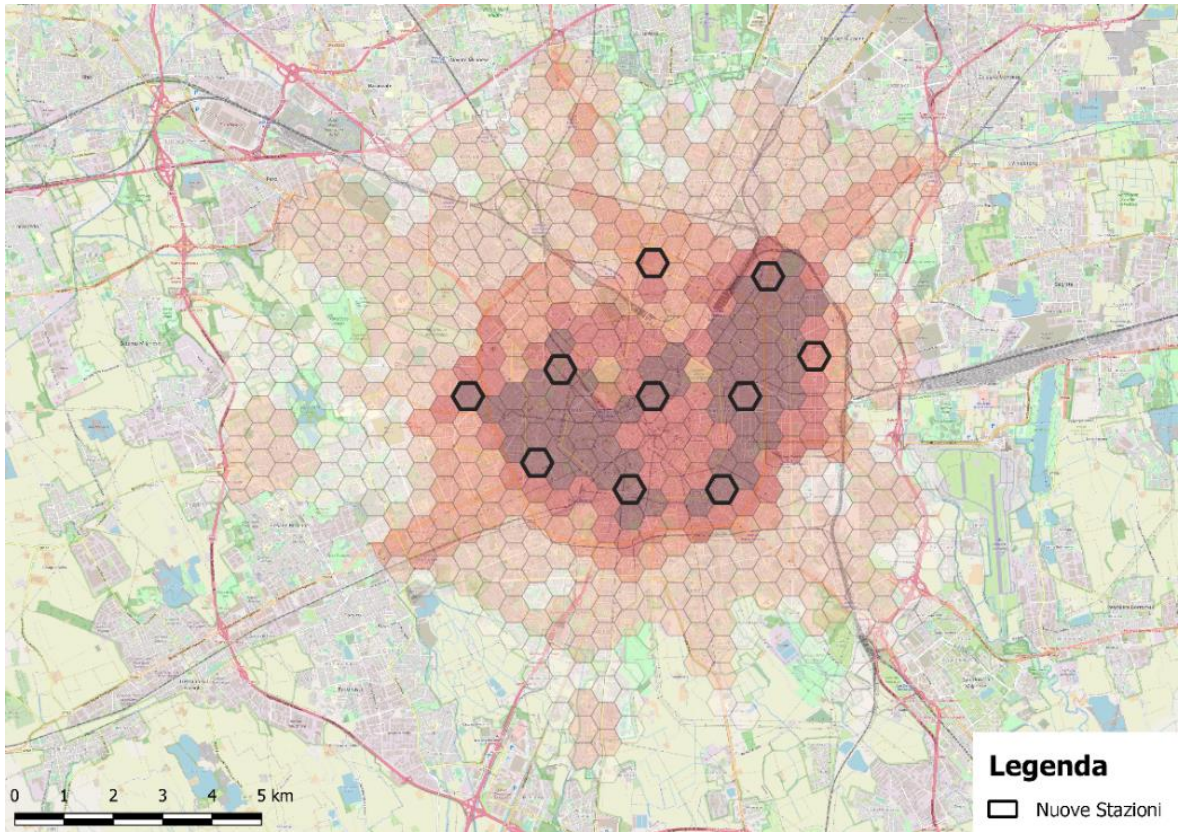


Figura 5.3: Rappresentazione dello Scenario 1bis

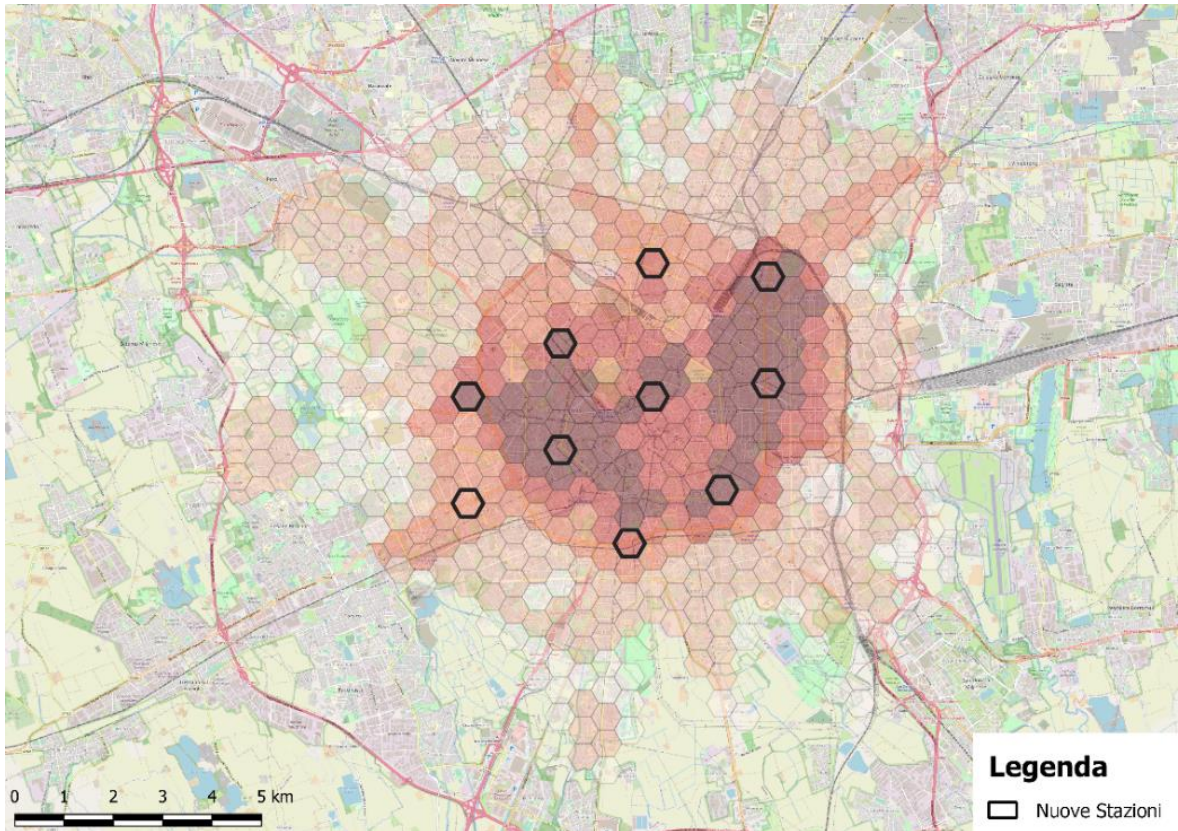


Figura 5.4: Rappresentazione dello Scenario 1ter

Nel caso, invece, il vincolo venga posto a 2150m (Figura 5.4) la diffusione delle nuove stazioni all'interno del territorio aumenta, ampliando l'area di copertura del servizio pur rimanendo distanti dalle aree più periferiche della città.

5.2.3 Scenario 2

Dopo aver esaminato questi primi scenari, ho introdotto il terzo ed ultimo vincolo che agisce sulla distanza delle nuove stazioni con quelle già esistenti. Ho imposto una distanza minima alla quale le nuove stazioni si devono posizionare rispetto a quelle già attive del servizio. In questo modo, è possibile ottenere una migliore distribuzione delle stazioni sulla base della distanza che un utente potrebbe essere disposto a percorrere a piedi. Questo parametro, come visto precedentemente, risulta essere circa di 500m [21], limite oltre al quale la percentuale di potenziali utenti si riduce fortemente.

Come primo approccio, ho imposto una distanza minima di 600m (Scenario 2 rappresentato in Figura 5.5) tra una stazione esistente e una nuova stazione. Ho scelto tale valore in quanto consente di rimanere all'interno della soglia minima riportata precedentemente: così facendo, un utente potrebbe percorrere una distanza superiore a 300m, valore comunque accettabile, per raggiungere una stazione del servizio. Per quanto riguarda, invece, la distanza reciproca tra le nuove stazioni, ho riportato tale valore a 1000m (che prevede di non avere nuove stazioni in celle limitrofe).

La distribuzione delle stazioni sul territorio risulta ancora essere a favore delle celle dell'area limitrofa al centro città. Questa tendenza ad avere ancora una numerosa presenza di nuove stazioni in un'area pressoché ancora centrale mostra come ci siano delle celle la cui distanza dalla stazione più vicina del servizio è superiore ai 600m, valore ritenuto accettabile ma non ottimale per garantire un servizio altamente accessibile. In questo modo, è possibile ottenere un servizio con un'accessibilità incrementata nell'area centrale della città aumentandone quindi l'attrattività.

Il vincolo precedentemente imposto, tuttavia, ha un'ulteriore funzione, ovvero quella di poter determinare il posizionamento delle stazioni nelle aree periferiche della città. Infatti, la distanza delle celle delle aree centrali o limitrofe al centro città rispetto alla stazione del servizio più vicina è generalmente inferiore ai 700m. Prendendo questo valore come vincolo, il posizionamento delle stazioni cambia radicalmente (Scenario 2bis)

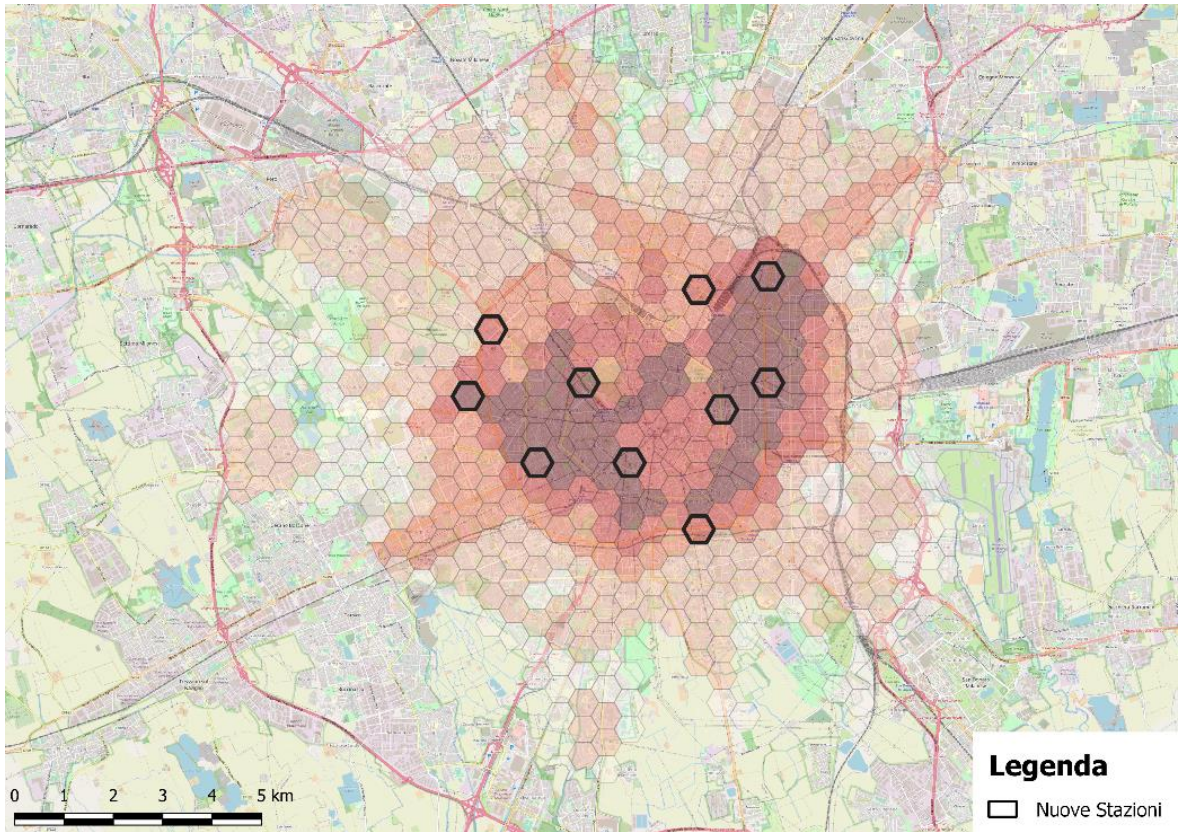


Figura 5.5: Rappresentazione dello Scenario 2

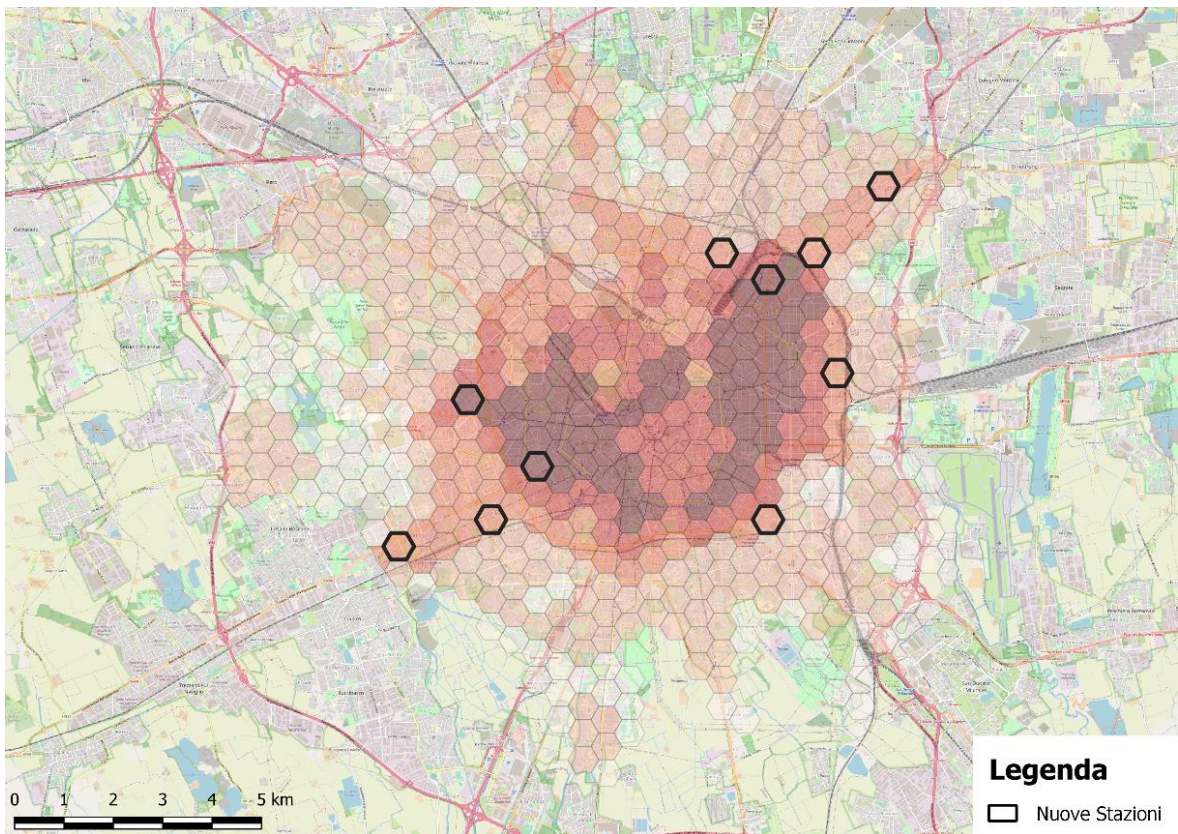


Figura 5.6: Rappresentazione dello Scenario 2bis

Dalla Figura 5.6 appare evidente quanto prima evidenziato. Le nuove stazioni si allontanano dalle aree centrali della città, nonché quelle a maggiore richiesta del servizio per posizionarsi nelle aree più periferiche. In particolare, le nuove stazioni si dispongono nelle aree della città a Nord-Est, nei pressi di Cimiano e Crescenzago, e a sud-ovest, in zona San Cristoforo e Lorenteggio.

Il vincolo che può essere imposto sulla distanza minima dalla stazione del servizio più vicina risulta, quindi, essere particolarmente interessante se si dovesse presentare la necessità di potenziare il servizio nelle aree periferiche della città. In queste zone sicuramente la domanda risulta essere inferiore rispetto alle aree evidenziate in precedenza, ma avrebbe come principale scopo quello di creare un servizio ben distribuito e accessibile su tutto il territorio comunale.

Nello scenario 2ter (consultabile nell'ALLEGATO D), portando il valore del vincolo relativo alla distanza minima dalle stazioni esistenti ad 800m, appare ancora più evidente la forzatura di consentire il posizionamento delle stazioni nelle aree più periferiche.

5.2.4 Scenario 3

L'ultimo scenario che ho analizzato prevede l'introduzione di una distanza minima di 1600m tra due nuove stazioni e una distanza minima rispetto alla stazione più vicina del servizio variabile. Nel primo caso, imponendo una distanza minima di 600m (Scenario 3), ho ottenuto una soluzione media rispetto a quelle precedentemente esposte. Infatti, le nuove stazioni si dispongono ancora prevalentemente nel centro città ma l'area di copertura viene ampliata. Inoltre, si hanno alcune stazioni che si dispongono in aree più periferiche come la zona di Lorenteggio, Forlanini e San Siro come è possibile vedere in Figura 5.7.

Aumentando il valore della distanza dalla stazione del servizio più vicina, ho ottenuto risultati simili a quelli descritti per lo scenario 2: si ha una forzatura ancora più spinta del posizionamento delle stazioni nelle aree più periferiche. Questi risultati (Scenario 3bis e Scenario 3ter) sono consultabili nell'ALLEGATO D.

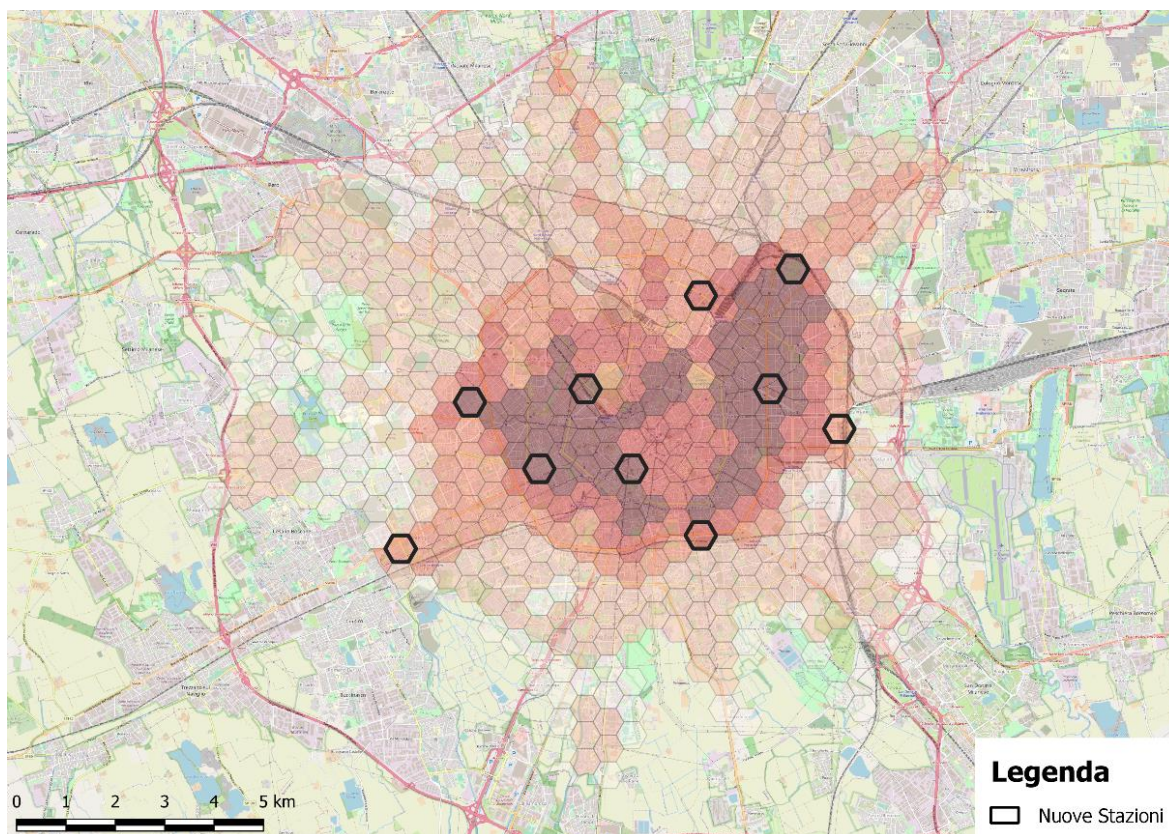


Figura 5.7: Rappresentazione dello Scenario 3

In Tabella 5.1, ho riportato uno schema riassuntivo degli scenari appena descritti, riportante il valore che i vincoli assumono.

Tabella 5.1: Riassunto degli scenari esaminati

	No stazioni se già presenti	Distanza minima tra le nuove stazioni	Distanza dalle stazioni esistenti
Scenario 0		1000m	
Scenario 1	x	1000m	
Scenario 1bis	x	1600m	
Scenario 1ter	x	2150m	
Scenario 2	x	1000m	600m
Scenario 2bis	x	1000m	700m
Scenario 2ter	x	1000m	800m
Scenario 3	x	1600m	600m
Scenario 3bis	x	1600m	700m
Scenario 3ter	x	1600m	800m

6

CONCLUSIONI

Lo studio che ho condotto mi ha permesso di risolvere solo alcuni dei quesiti che mi ero posto all'inizio dell'elaborato.

- Il primo obiettivo che mi ero proposto di raggiungere era di individuare le variabili che concorrono alla definizione della domanda del servizio di car sharing e che, quindi, risultano essere fondamentali per la costruzione di un modello per la previsione della domanda di trasporto. Per dare risposta a questo quesito, ho condotto una dettagliata analisi della letteratura dalla quale è emersa una complessità di fattori che possono determinare una maggiore o minore domanda.

In particolare, gli attributi spesso preponderanti per la definizione dei livelli di utilizzo del servizio sono soprattutto riconducibili alla sfera socioeconomica e relativi ad alcune caratteristiche proprie dell'utente.

Tra tutte le variabili, quella della densità abitativa assume un ruolo cardine per la generazione di domanda potenziale del servizio.

Seguono, poi, ulteriori caratteristiche dell'area oggetto di studio quali il reddito, la percentuale di cittadini con titolo universitario e l'età dei residenti. In particolare, ad un livello più elevato di reddito corrisponde generalmente una maggiore propensione all'utilizzo del car sharing. Si ha un comportamento analogo anche per quanto riguarda la percentuale di residenti con titolo universitario e la percentuale di residenti di età compresa tra i 18 e 40 anni. Per quanto riguarda l'età, in alcuni studi è emerso anche che in aree della città con percentuali elevate di residenti anziani (over 60 o over 70), la propensione all'utilizzo del car sharing risulta essere più bassa.

I set di dati precedentemente citati fanno riferimento ai soli residenti nella città di Milano. Per questo motivo, per gli sviluppi futuri del lavoro, potrebbe essere interessante avere a disposizione queste informazioni per l'intera cittadinanza e valutare eventuali variazioni da quanto emerso dalle mie analisi.

Un altro dato interessante da considerare è quello relativo all'occupazione. Questa informazione è disponibile come valore medio sulla città di Milano. Negli sviluppi futuri sarebbe utile riuscire ad ottenere questa informazione con un grado di dettaglio maggiore all'interno del territorio comunale in quanto la maggior parte degli utenti interessati e che utilizzano il car sharing rientrano nella categoria dei lavoratori o degli studenti. Questo dato potrebbe, quindi, concorrere alla formulazione di un modello per predire la domanda di viaggio.

Due ulteriori variabili che potrebbero arricchire il set di dati sono: il possesso dell'auto privata da parte degli utenti e la disponibilità di parcheggi in città. Queste informazioni potrebbero giocare un ruolo importante nella definizione della domanda ma non sono accessibili. Il primo dato, ovvero il possesso dell'auto privata, potrebbe essere recuperato dai dati ISTAT in quanto è un'informazione richiesta nei moduli censuari sottoposti alla popolazione; la distribuzione e la disponibilità dei parcheggi, almeno quelli su strada, è un'informazione che le municipalità hanno a disposizione. L'aggiunta di queste informazioni potrebbe dare maggiore significatività al lavoro presentato. Infatti, le aree dove c'è bassa disponibilità di posti auto presentano un tasso di utilizzo del car sharing superiore in quanto questo servizio ha, generalmente, a disposizione dei parcheggi riservati.

Il dato sul possesso dell'auto privata è, invece, molto interessante. Gli utenti che non hanno a disposizione un'auto privata usufruiscono del car sharing per compiere gli spostamenti non altrimenti effettuabili con il trasporto pubblico locale. In questo modo il servizio di car sharing si afferma come complementare rispetto al TPL. Chi non possiede un'auto privata, quindi, è maggiormente propenso all'utilizzo del servizio per ampliare le sue possibilità di mobilità.

Un altro aspetto importante di cui tenere conto è il motivo dello spostamento. È emerso che generalmente il car sharing non viene utilizzato per effettuare gli spostamenti pendolari ma quei viaggi legati a motivi ricreativi o sociali. Tale informazione non è disponibile ma potrebbe essere raccolta attraverso un'indagine sul territorio. Questo dato permetterebbe di individuare quali sono le attività commerciali che, generalmente, sono generatrici o attrattive dei viaggi effettuati con il car sharing. Conoscendo la posizione all'interno del territorio comunale di questi poli, è possibile riconoscere delle aree dove la richiesta del

servizio potrebbe essere maggiore.

Infine, gioca un ruolo molto importante anche l'accessibilità del servizio che si traduce nella distanza massima che un utente deve percorrere a piedi. Posizionando le stazioni del servizio ad una distanza tra loro ridotta, aumenta la propensione dell'utente ad usufruire del servizio. Questo dato dipende dalla distanza massima che un potenziale utente sarebbe disposto a percorrere per usufruire del servizio. Generalmente, questo valore viene posto ad un massimo di 500m, limite oltre il quale il servizio perde di attrattività.

Tabella 6.1: Schema riassuntivo delle variabili presentata in letteratura e quelle effettivamente disponibili

VARIABILI ESTRATTE DALLA LETTERATURA	VARIABILI DISPONIBILI
DENSITÀ	x
% DI LAUREATI	x
REDDITO	x
% DI GIOVANI (18-40 ANNI)	x
OCCUPAZIONE	x
PARCHEGGI SU STRADA	-
POSSESSO DI AUTO PRIVATA	-
MOTIVO DEL VIAGGIO	-
ACCESSIBILITÀ	x

- Il secondo obiettivo che mi ero posto era la definizione e calibrazione di un modello di domanda per la previsione degli utenti potenziali del servizio di car sharing. Per perseguire tale obiettivo sono partito dall'analisi delle correlazioni tra i viaggi effettuati in car sharing e le variabili disponibili Tabella 6.2.

Questa analisi è stata condotta per diversi casi: considerando la totalità dei viaggi effettuati in car sharing, solo i viaggi one way e solo quelli round-trip.

Le correlazioni più importanti sono emerse rispetto le variabili della densità e la percentuale di residenti in possesso di titolo universitario. Il reddito, invece, ha presentato due diversi comportamenti: nel caso di viaggi one way è emersa una correlazione piuttosto forte mentre non ho riscontrato la stessa tendenza nel caso dei viaggi round-trip.

Al contrario rispetto a quanto mi sarei potuto aspettare, i viaggi effettuati con il servizio di car sharing (siano questi one way o round-trip) non hanno mostrato alcun tipo di dipendenza con la percentuale dei residenti giovani. Una possibile spiegazione a questo

comportamento potrebbe essere data dal fatto che il set di dati considerato riporta solo i residenti nella città di Milano, tralasciando parte della popolazione che non ha questo titolo.

Sono risultati interessanti anche gli attributi relativi alla percentuale di utenti che utilizza l'auto privata per effettuare lo spostamento pendolare o che si muove a piedi o in bici. Nel primo caso, ho trovato una dipendenza negativa in quanto chi utilizza l'auto privata non ha interesse ad utilizzare un servizio di car sharing. Questo dato è infatti interessante per sostituire parzialmente l'informazione sul possesso dell'auto privata. Con il secondo dato, ho trovato, invece, una correlazione positiva con il numero di viaggi. Ovvero, le aree con una maggiore percentuale di spostamenti a piedi o in bici sono generalmente generatrici di viaggi in car sharing.

Un ultimo aspetto interessante emerso da questa analisi è la correlazione tra il numero di attività commerciali, specialmente di carattere serale, e il numero di viaggi effettuati. Ho riscontrato, infatti, un numero di viaggi maggiore laddove c'è una presenza diffusa di bar e pub.

Tabella 6.2: Variabili considerate nell'analisi delle correlazioni

DENSITÀ	FERMATE METRO
REDDITO	FERMATE STAZIONI
% GIOVANI (18-40 ANNI)	FERMATE CAR SHARING ROUND-TRIP
% LAUREATI	FERMATE CAR SHARING ONE WAY
MEZZO DI TRASPORTO PREVALENTE	DISTANZE DALLE FERMATE
FERMATE TPL	ATTIVITÀ COMMERCIALI

Il modello di domanda che ho formulato e calibrato è di tipo lineare. Ho scelto le variabili da includere nel modello partendo dalle correlazioni emerse dall'analisi precedente. Ho, anche in questo caso, calibrato considerando tre set di dati: i viaggi totali effettuati con il car sharing, quelli one way e quelli round-trip.

Nel caso dei viaggi one way e dei viaggi totali effettuati con il car sharing il modello considerato comprende come variabili: la densità abitativa, il reddito, la percentuale di residenti con titolo universitario e il numero delle attività commerciali quali pub e bar.

Ho escluso dal modello la percentuale di utenti che utilizza l'auto privata o che si sposta a piedi o in bici. Nonostante la forte correlazione mostrata, ho preso tale scelta in quanto il dato si riferisce allo spostamento pendolare che in generale non è una delle motivazioni più importati per l'utilizzo del sistema; inoltre, i coefficienti di queste due variabili non hanno presentato significatività statistica all'interno del modello.

Nel caso dei viaggi round-trip, il modello ottenuto tiene conto della densità abitativa, della percentuale di residenti in possesso di titolo di studio e del numero di stazioni del car sharing. In questo caso, il numero di attività commerciali presenti sul territorio non ha portato ad un aumento significativo del coefficiente di determinazione. Per questo motivo, ho deciso di non includere questa variabile all'interno del modello.

Ho, però, ritenuto i risultati ottenuti dai modelli formulati e calibrati non soddisfacenti in quanto, nella fase di validazione del modello, ho registrato forti differenze tra il valore dei viaggi previsti e quello effettivi. Il problema potrebbe essere dovuto al set di dati utilizzato che potrebbe non essere sufficientemente puntuale per poter ottenere un'elevata variabilità delle caratteristiche assegnate ad ogni cella. Per futuri sviluppi del lavoro, potrebbe essere interessante reperire i dati del censimento della popolazione condotto da ISTAT. In questo modo, ci sarebbe la possibilità di caratterizzare meglio le celle in cui è suddivisa l'area di studio.

Potrebbe, però, anche essere dovuto alla tipologia di modello che si utilizza. Infatti, non tutte le variabili considerate presentano necessariamente una dipendenza lineare. Per esempio, il numero di stazioni del servizio di car sharing non può avere questo tipo di dipendenze perché porterebbe all'assurdo di avere un aumento di domanda ad un incremento dell'offerta.

Un'informazione che potrebbe arricchire il modello di domanda riguarda il costo dell'utilizzo del servizio. Ho, però, ritenuto questo dato difficilmente integrabile in quanto il peso da assegnare a questo attributo dipende spesso da valutazioni proprie dell'utente che mette a confronto la convenienza dell'utilizzo di uno specifico servizio in confronto con altri sistemi che permettono di effettuare lo stesso spostamento.

Un aspetto molto interessante del lavoro di ricerca delle correlazioni tra le variabili e di costruzione dei modelli è dato dal fatto che ho potuto condurre tale analisi su una serie storica di viaggi reali (o calcolati in base a stime) che comprende tutti gli operatori attivi sulla città. In questo modo, ho potuto osservare in generale quali sono effettivamente le

correlazioni tra le variabili considerate e i viaggi effettuati, non limitandomi ad uno studio specifico relativo ad un solo operatore. Inoltre, ho condotto separatamente l'analisi sui viaggi round-trip e quelli one way così da poter valutare la dipendenza di queste due modalità di viaggi rispetto alle variabili considerate.

- L'ultimo obiettivo che mi ero posto di raggiungere era la costruzione di un nuovo strumento che permettesse l'ottimizzazione della posizione delle nuove stazioni di un servizio di car sharing. Per condurre questa elaborazione, ho preso come base la posizione delle stazioni del servizio di car sharing round-trip attivo sulla città. Questa fase dell'elaborato ha risentito delle difficoltà avute per la stima della domanda potenziale.

Per questo motivo, ho costruito un indice che mi ha permesso di classificare le celle in cui è suddivisa l'area di studio valutando, sulla base delle variabili che caratterizzano le celle del modello, una maggiore o minore propensione ad essere generatrici di viaggi.

Tale indice è costituito dalla somma pesata degli attributi riportati in Tabella 6.3, dove vengono anche indicati i coefficienti per ciascuna variabile. Le variabili che ho scelto di considerare sono quelle emerse dalla letteratura o dalle correlazioni precedentemente indagate.

Tabella 6.3: Variabili e relativi pesi utilizzati per la costruzione dell'indice

VARIABILI	PESO
Densità abitativa	24%
Reddito medio	9%
% Istruzione universitaria	16%
% Popolazione giovane (18-40 anni)	16%
% Utilizzatori del TPL	2%
% Utenti che si spostano in bici o a piedi	2%
Distanza dalle stazioni del car sharing round-trip	16%
Spostamenti pendolari in origine dalla cella	3%
Viaggi in car sharing in origine dalla cella	5%
% di viaggi round-trip su viaggi one-way	5%

Partendo da questo valore, ho, poi, calcolato un indice aggregato che permette di tenere conto non solo del contributo della singola cella ma anche una quota parte delle celle limitrofe.

Per questa fase del lavoro, inoltre, ho deciso di superare la classica suddivisione dell'area

di studio in una griglia a celle quadrate e ho considerato una geometria delle celle di tipo esagonale. In questo modo, ho ottenuto delle celle equilatera che hanno una distanza tra loro costante, requisito utile sia per la formulazione dell'indice aggregato, sia per la successiva fase di ottimizzazione.

Sulla base del valore dell'indice associato a ciascuna cella, ho, quindi, condotto l'ottimizzazione del posizionamento delle nuove stazioni. Le variabili decisionali sono di tipo binario dove 1 indica l'installazione di una nuova stazione in una determinata cella e 0 il contrario. L'obiettivo proposto è la massimizzazione dell'indice calcolato precedentemente. I vincoli che ho imposto all'ottimizzazione sono:

- Il numero massimo di stazioni: ho tenuto questo valore costante e pari a 10;
- Le nuove stazioni si possono disporre solo nelle celle dove non ci sono stazioni esistenti del servizio;
- La distanza reciproca tra le nuove stazioni: l'obiettivo è quello di non avere due stazioni in celle limitrofe ed avere una maggiore diffusione del servizio;
- La distanza minima da una stazione esistente: questo vincolo è stato imposto soprattutto per favorire il dislocamento delle stazioni nelle aree periferiche della città.

Il valore dei vincoli può essere modificato per poter ottenere diversi scenari. I risultati presentati sono già rappresentativi di alcuni scenari che potrebbero essere esaminati nel caso di un miglioramento di un servizio esistente.

Ho individuato due soluzioni in generale negli scenari che ho analizzato. La prima prevede un aumento dell'accessibilità del servizio nell'area centrale della città ed un ampliamento del servizio nelle aree appena esterne a questa zona. Infatti, in queste aree, si registra una distanza dalla stazione in alcuni casi superiore ai 600m che quindi rende il servizio poco attrattivo per essere raggiunto a piedi da un utente. Lo strumento di ottimizzazione in questo caso cerca di risolvere questo problema portando ad avere una copertura il più possibile omogenea del servizio.

La seconda soluzione, invece, mette generalmente in evidenza le aree periferiche che potrebbero maggiormente beneficiare dell'introduzione di nuove stazioni del servizio. In questo caso, emergono l'area a nord-est della città, ovvero le zone di Cimiano e Crescenzago; e l'area a sud-ovest, verso Lorenteggio. Tali aree, non sono quelle che presentano un indice di classificazione più alto ma, nel caso si volesse ampliare il servizio

nelle aree periferiche per renderlo il più distribuito possibile in città, sono quelle che ne beneficerebbero maggiormente.

Il modello così ottenuto permette, quindi, di superare le difficoltà emerse dalla stima della domanda, permettendo di ottenere delle indicazioni relativamente alle aree dove potrebbe essere interessante valutare l'ampliamento del servizio, a seconda degli obiettivi del decisore.

Voglio, infine, evidenziare che le analisi che ho condotto hanno riguardato solo l'area del comune di Milano non tenendo conto dei comuni limitrofi alla città. In alcune aree della municipalità questo approccio può essere ritenuto accettabile, soprattutto nell'area sud, dove l'ambiente cittadino termina lasciando spazio ad aree rurali. Risulta, invece, fortemente limitate per le aree a nord della città, soprattutto nelle aree di Sesto San Giovanni e Cinisello Balsamo, dove non si hanno nette distinzioni tra le municipalità. Questo potrebbe portare ad avere dei valori diversi delle variabili delle celle periferiche limitrofe a queste aree. Per questo motivo, ritengo che l'area di studio, nel caso di ulteriori analisi, debba essere aumentata in modo tale da poter avere il più possibile contatto con la realtà cittadina.

Le elaborazioni che ho effettuato rappresentano un primo passo per il raggiungimento degli obiettivi del progetto nuMIDAS. Lo studio condotto e i risultati ottenuti sono un primo basilare esempio di modelli e di strumenti con i quali i partner europei vogliono costruire un toolkit che possa supportare il decision maker nel processo decisionale e portare alla risoluzione dei problemi che affliggono i nuovi sistemi di trasporto in ambito urbano. Il mio lavoro ha, quindi, fornito una base di partenza per la definizione degli strumenti che la municipalità di Milano si aspetta di ottenere da questo progetto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] «nuMIDAS,» [Online]. Available: <https://numidas.eu>. [Consultato il giorno 24 06 2021].
- [2] O. Pribyl e al., «Deliverable 2.1. State of the art assessment,» 2021.
- [3] R. Mounce e J. D. Nelson, «On the potential for one-way electric vehicle car-sharing in future mobility systems,» *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 120, p. 17–30, 2019.
- [4] S. e. a. Shaheen, «Sharing strategies: carsharing, shared micromobility (bikesharing and scooter sharing), transportation network companies, microtransit, and other innovative mobility modes,» *Transportation, Land Use, and Environmental Planning, Elsevier*, pp. 237-262, 2020.
- [5] «Wikipedia.Car sharing,» Wikipedia, L'enciclopedia libera, [Online]. Available: http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Car_sharing&oldid=120738273. [Consultato il giorno 25 06 2021].
- [6] F. e. a. Ferrero, «Car-sharing services: An annotated review,» *Sustainable Cities and Society* 37, p. 501–518., 2018.
- [7] D. Jorge e G. Correia, «Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review,» *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 13.3, 2013.
- [8] S. Shaheen, A. Cohen e E. Martin, «Carsharing Parking Policy: A Review of North American Practices and San Francisco Bay Area Case Study,» *Institute of Transportation Studies, UC Davis, Institute of Transportation Studies, Working Paper Series*, 2010.
- [9] J. Jung e Y. Koo, «Analyzing the Effects of Car Sharing Services on the Reduction of Greenhouse Gas (GHG) Emissions,» *Sustainability* 10.2, 2018.
- [10] «iCS. Breve storia del car sharing in Italia,» [Online]. Available: <https://www.icscarsharing.it/breve-storia-del-car-sharing-in-italia/>. [Consultato il giorno 25 06 2021].
- [11] «SHARE NOW,» [Online]. Available: <https://www.share-now.com/it/it/>. [Consultato il giorno 07 07 2021].

- [12] «enjoy,» [Online]. Available: <https://enjoy.eni.com/it/milano/home/>. [Consultato il giorno 07 07 2021].
- [13] «LEASYS GO,» [Online]. Available: <https://go.leasys.com/it>. [Consultato il giorno 07 07 2021].
- [14] «e-vai,» [Online]. Available: <https://www.e-vai.com/>. [Consultato il giorno 07 07 2021].
- [15] «ubeequo,» [Online]. Available: <https://www.ubeeqo.com/it-it/car-sharing-milano>. [Consultato il giorno 07 07 2021].
- [16] J. E. Burkhardt e A. Millard-Ball, «Who is attracted to car-sharing?,» *Transportation Research Record* 1986.1, pp. 98-105, 2006.
- [17] R. Cervero, «City CarShare: First-year travel demand impacts,» *Transportation research record* 1839.1, p. 159–166, 2003.
- [18] S. Shaheen e E. Martin, «Assessing early market potential for carsharing in China: a case study of Beijing,» 2006.
- [19] C. Celsor e A. Millard-Ball, «Where Does Carsharing Work?: Using Geographic Information Systems to Assess Market Potential,» *Transportation Research Record*, pp. 61-69, 2007.
- [20] G. Brandstätter, M. Kahr e M. Leitner, «Determining optimal locations for charging stations of electric car-sharing systems under stochastic demand,» *Transportation Research Part B: Methodological* 104, p. 17–35, 2017.
- [21] M. Ampudia-Renuncio, B. Guirao e R. Sánchez, «The impact of free-floating carsharing on sustainable cities: analysis of first experiences in Madrid with the University Campus,» *Sustainable Cities and Society* 43, 2018.
- [22] C. J. Bergstad e al., «STARS - Shared mobility opportunities And challenges for European cities,» 2018.
- [23] «OPEN DATA - Comune di Milano,» [Online]. Available: <https://dati.comune.milano.it/>. [Consultato il giorno 28 06 2021].
- [24] «Corriere della Sera,» [Online]. Available: <https://public.flourish.studio/visualisation/6427941/>. [Consultato il giorno 18 06 2021].
- [25] Y. Cheng e al., «Optimizing Location of Car-Sharing Stations Based on Potential Travel Demand and Present Operation Characteristics: Potential Travel Demand and Present Operation Characteristics,» *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2019, 2019.
- [26] G. Gabriele, *L'uso del car sharing in Italia e un confronto internazionale*, 2018.
- [27] M. Juschten e al., «Carsharing in Switzerland: identifying new markets by predicting membership based

on data on supply and demand,» *Transportation*, n. 46, pp. 1171-1194, 2019.

- [28] J. Kang, K. Hwang e S. Park, « Finding factors that influence carsharing usage: Case study in Seoul,» *Sustainability*8.8, p. 709, 2016.
- [29] F. Talini e F. Barchielli, «Il confronto a coppie con "metodo AHP" e la sua applicazione per la valutazione degli elementi qualitativi nell'aggiudicazione dei contratti pubblici con il criterio del miglior rapporto qualità prezzo (OeV),» *AmbienteDiritto.it - Rivista Giuridica Telematica*, p. 8, 2018.
- [30] H. Ohta e al., « Analysis of the acceptance of carsharing and ecocars in Japan,» *International Journal of Sustainable Transportation*7.6, p. 449–467., 2013.
- [31] T. Stillwater, P. L. Mokhtarian e S. A. Shaheen, «Carsharing and the built environment: Geographic information system–basedstudy of one US operator,» *Transportation Research Record*2110.1, p. pp. 27–34., (2009), .

ALLEGATO A

Nell'ALLEGATO A, ho riportato le mappe di calore ottenute che riportano la variazione percentuale nel caso dei viaggi in destinazione.

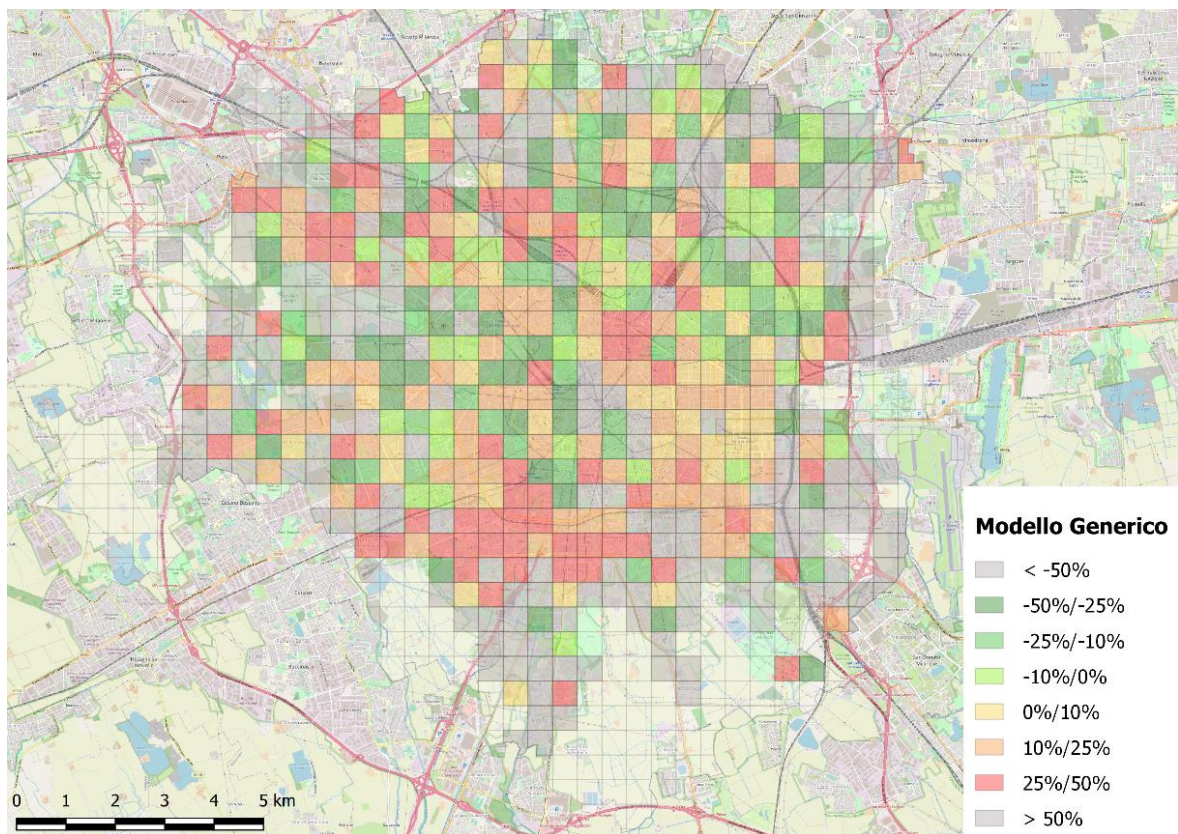


Figura A.1: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi in origine effettivi

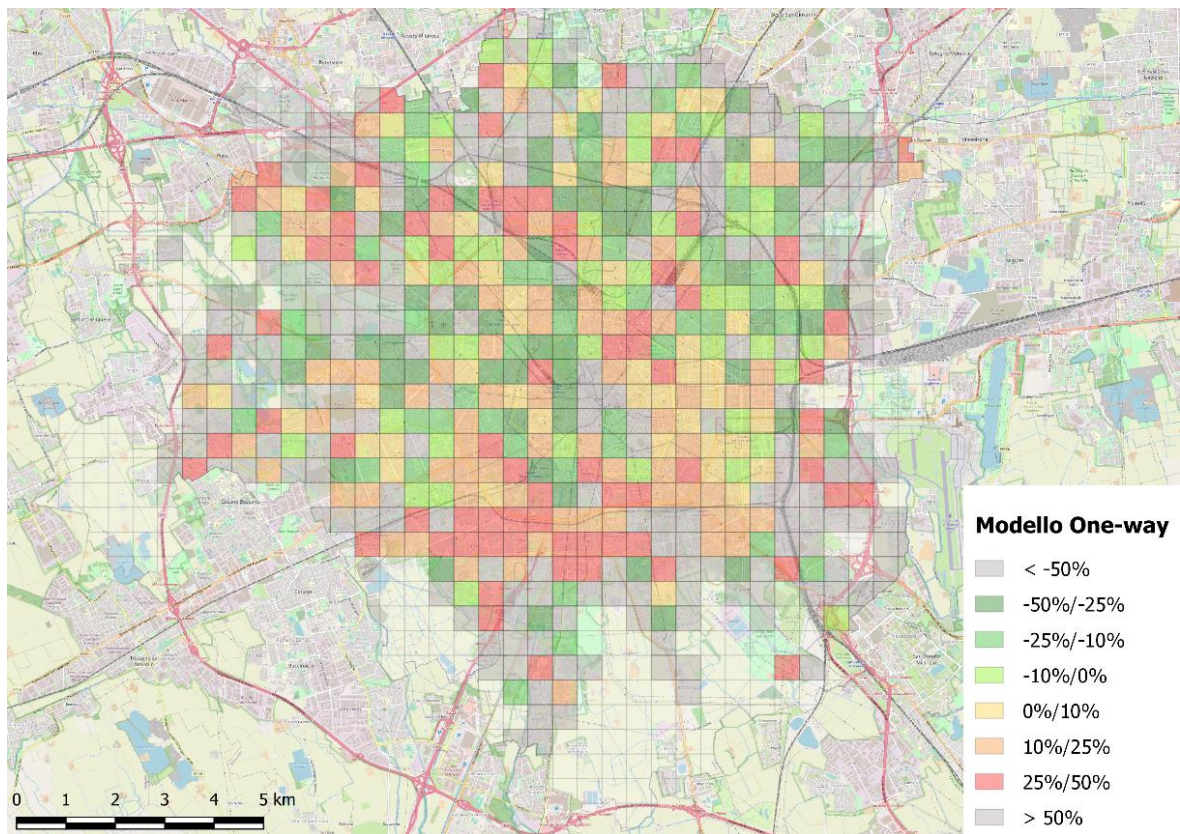


Figura A.2: Variazione percentuale tra domanda prevista dal modello e viaggi one-way in origine effettivi

ALLEGATO B

Nell'ALLEGATO B ho riportato le tabelle relative al confronto coppie effettuato per ricavare il set di coefficienti 1 e 2 riportati in Tabella 4.7. Ho riportato, inoltre, le rappresentazioni dei quattro indici calcolati, sia nel caso in cui l'indice non tiene conto dell'apporto delle celle limitrofe, sia nel caso dell'indice aggregato.

Tabella B.1: Matrice del confronto a coppie del coefficiente 1

VARIABILI	DENSITÀ	REDDITO	ISTRUZIONI	ETÀ	TPL	PIEDI/BICI	DISTANZA RT	ORIGINE PEND	ORIGINI CS	%RT/VIAGGI1W
DENSITÀ	1	3	2	2	7	7	2	6	5	5
REDDITO	1/3	1	1/3	1/3	5	5	1/3	4	3	3
ISTRUZIONI	1/2	3	1	1	6	6	1	5	4	4
ETÀ	0.5	3	1	1	6	6	1	5	4	4
TPL	1/7	1/5	1/6	1/6	1	1	1/6	1/2	1/3	1/3
PIEDI/BICI	1/7	1/5	1/6	1/6	1	1	1/6	1/2	1/3	1/3
DISTANZA RT	0.5	3	1	1	6	6	1	5	4	4
ORIGINE PEND	1/6	1/4	1/5	1/5	2	2	1/5	1	1/2	1/2
ORIGINI CS	1/5	1/3	1/4	1/4	3	3	1/4	2	1	1
%RT/VIAGGI1W	1/5	1/3	1/4	1/4	3	3	1/4	2	1	1

Tabella B.2: Matrice del confronto a coppie del coefficiente 2

VARIABILI	DENSITÀ	REDDITO	ISTRUZI- ONE	ETÀ	TPL	PIEDI/BICI	DISTANZA RT	ORIGINE PEND	ORIGINI CS	%RT/ VIAGGI1W
DENSITÀ	1	3	2	1	7	7	1	6	5	5
REDDITO	1/3	1	1/4	1/3	5	5	1/3	4	3	3
ISTRUZI- ONE	1/2	4	1	1/2	6	6	1/2	5	4	4
ETÀ	1	3	2	1	7	7	1	6	5	5
TPL	1/7	1/5	1/6	1/7	1	1	1/6	1/2	1/3	1/3
PIEDI/BICI	1/7	1/5	1/6	1/7	1	1	1/6	1/2	1/3	1/3
DISTANZA RT	1	3	2	1	6	6	1	6	5	5
ORIGINE PEND	1/6	1/4	1/5	1/6	2	2	1/6	1	1/2	1/2
ORIGINI CS	1/5	1/3	1/4	1/5	3	3	1/5	2	1	1
%RT/ VIAGGI1W	1/5	1/3	1/4	1/5	3	3	1/5	2	1	1

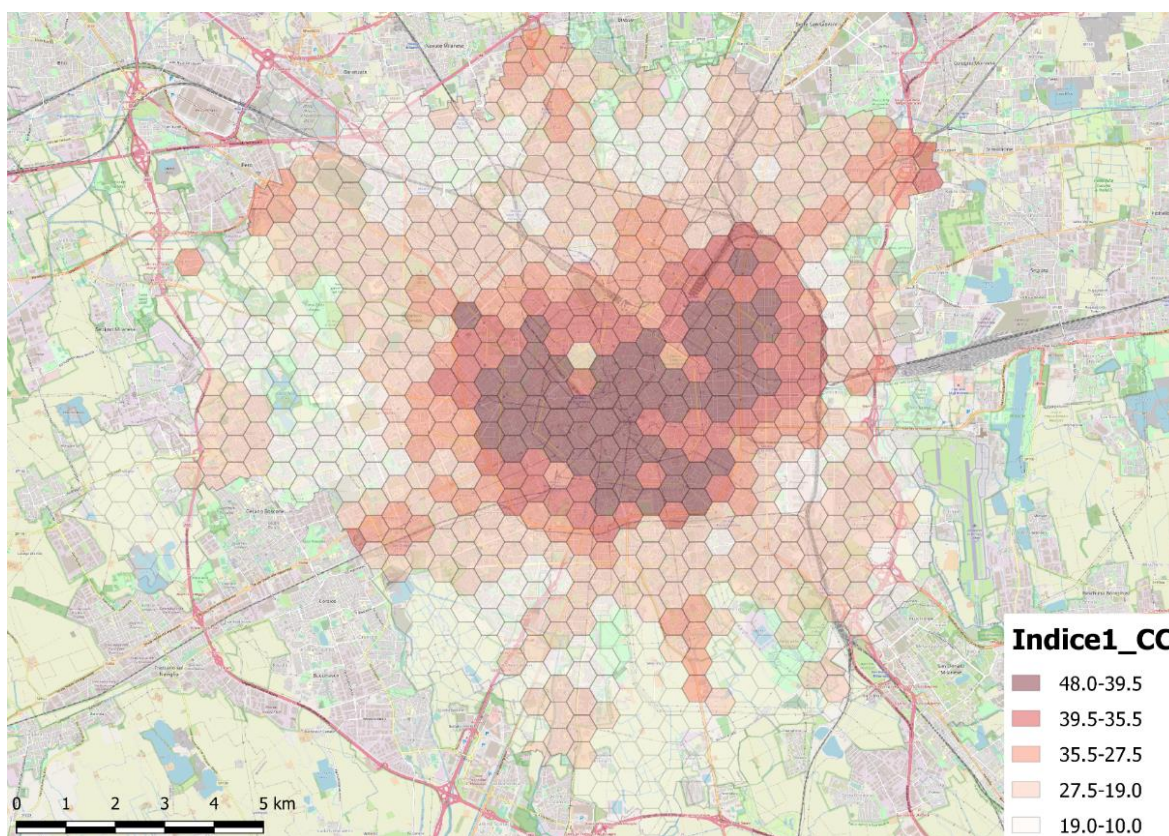


Figura B.1: Mappa dell'indice 1 valutato con il metodo del confronto a coppie

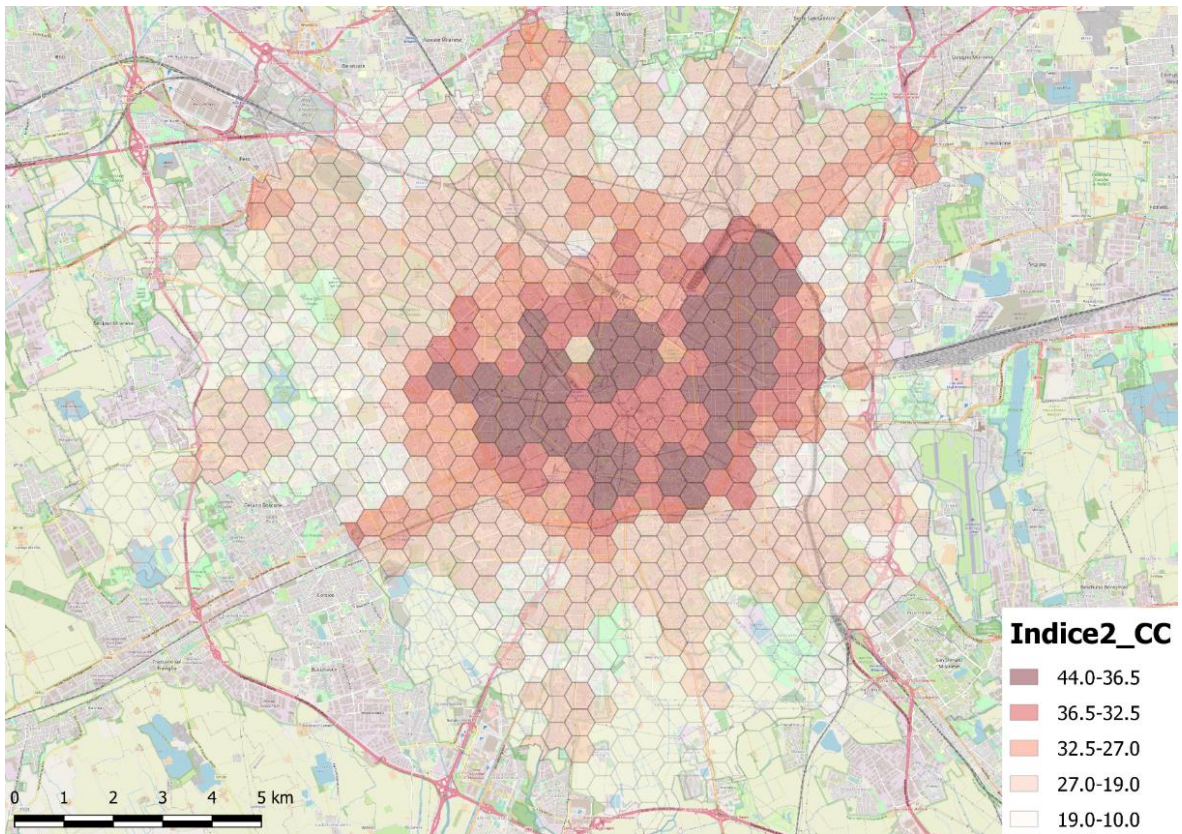


Figura B.2: Mappa dell'indice 2 valutato con il metodo del confronto a coppie

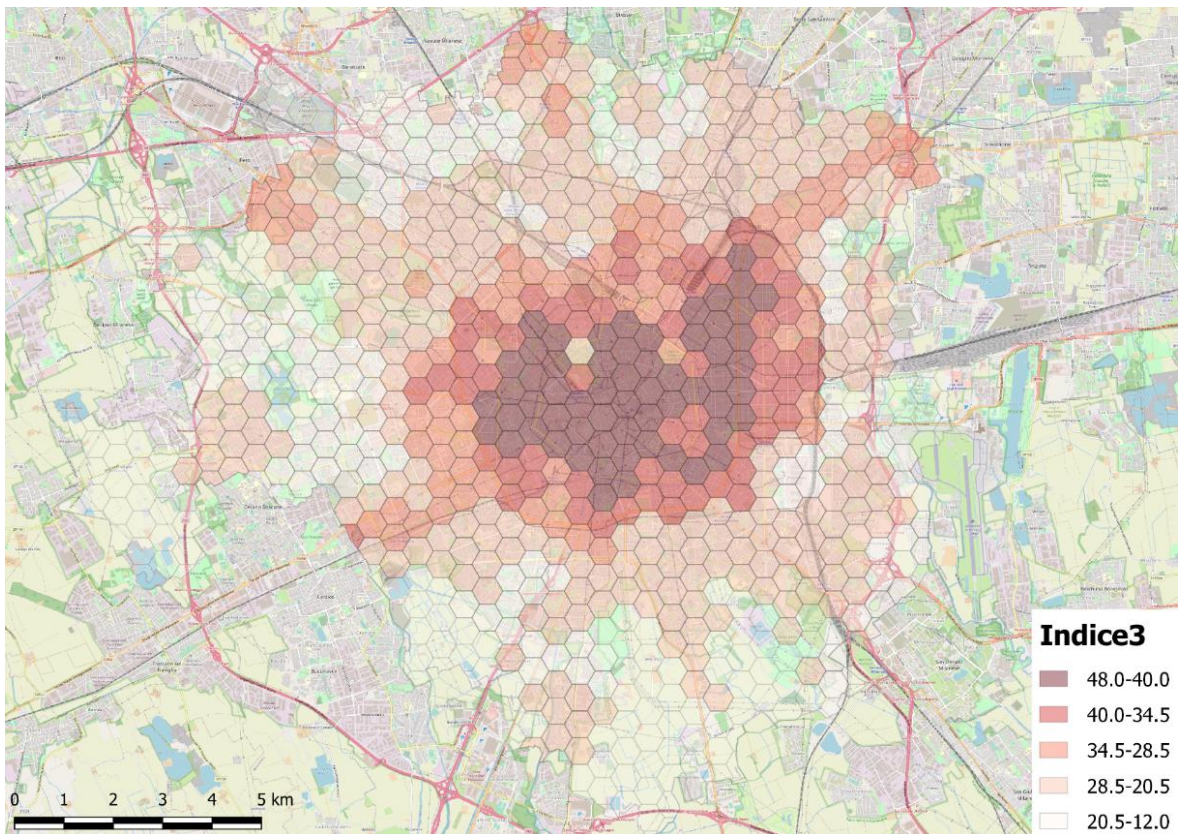


Figura B.3: Mappa dell'indice 3 valutato con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti

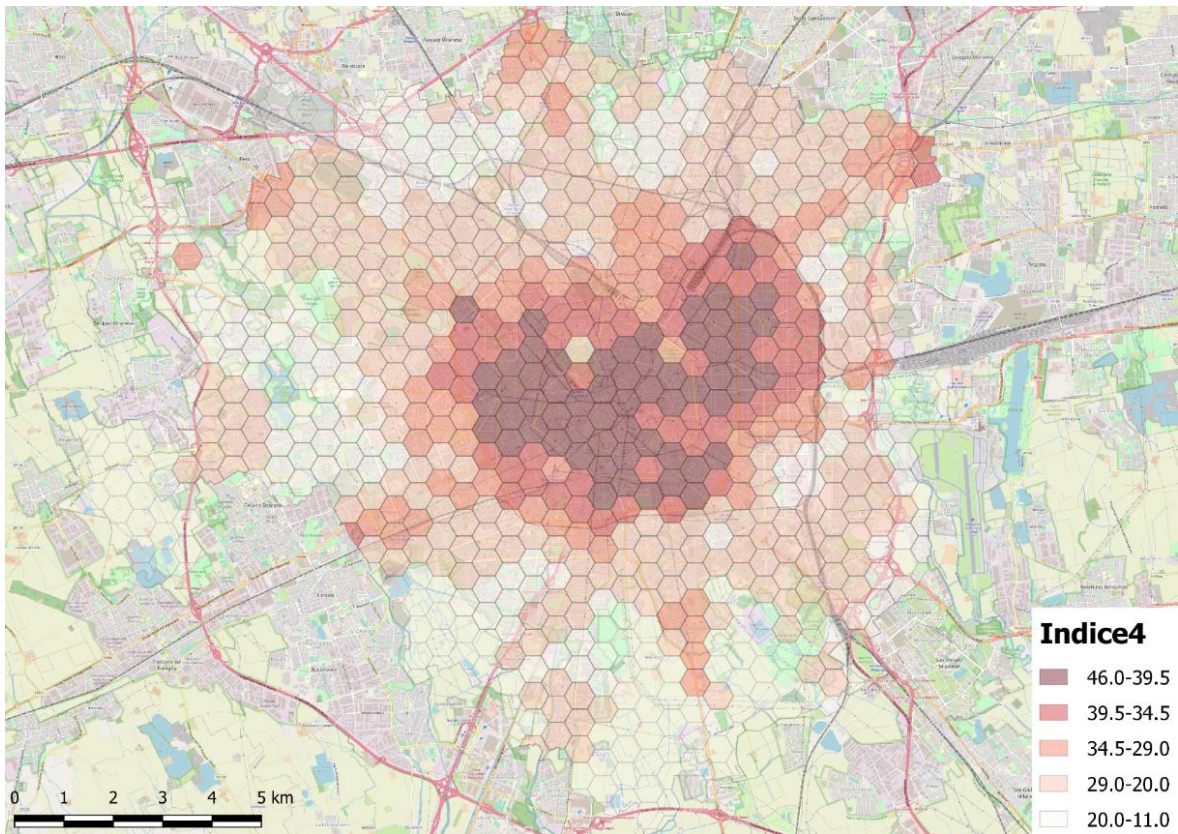


Figura B.4: Mappa dell'indice 4 valutato con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti

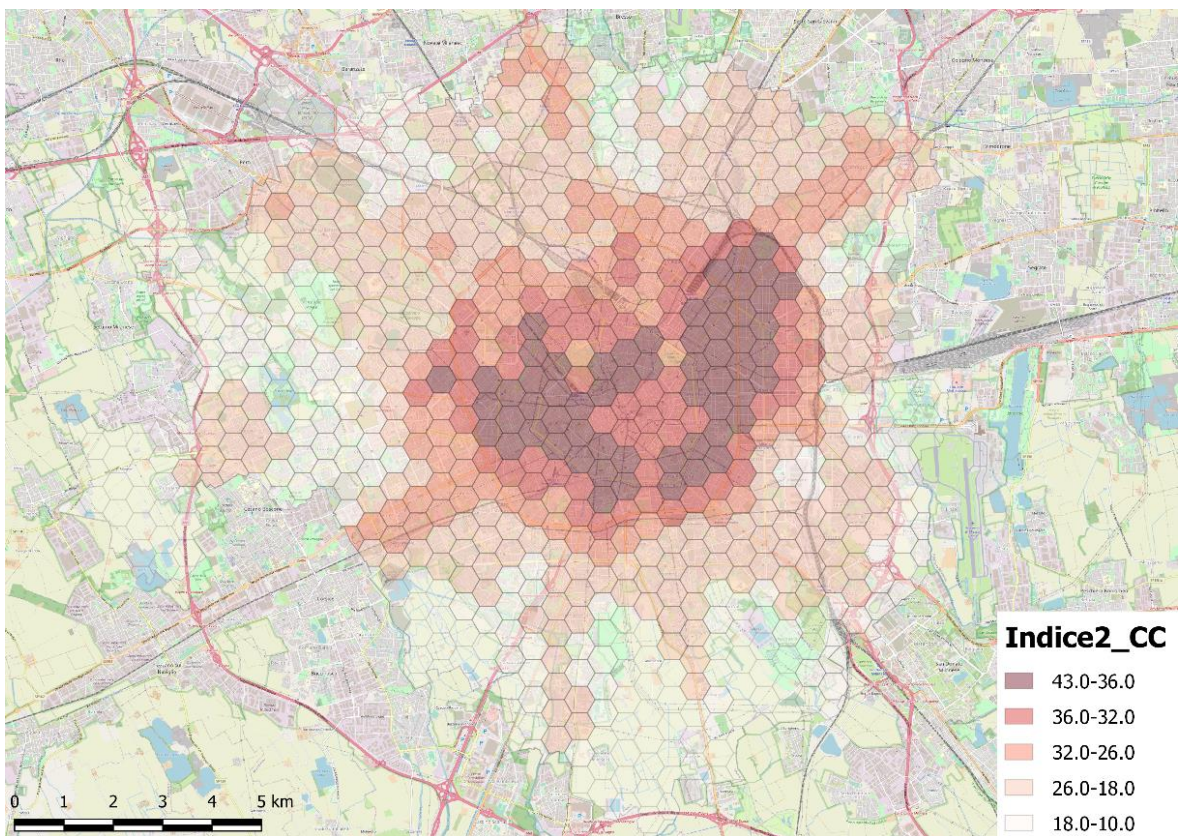


Figura B.5: Mappa dell'indice 2 aggregato valutato con il metodo del confronto a coppie

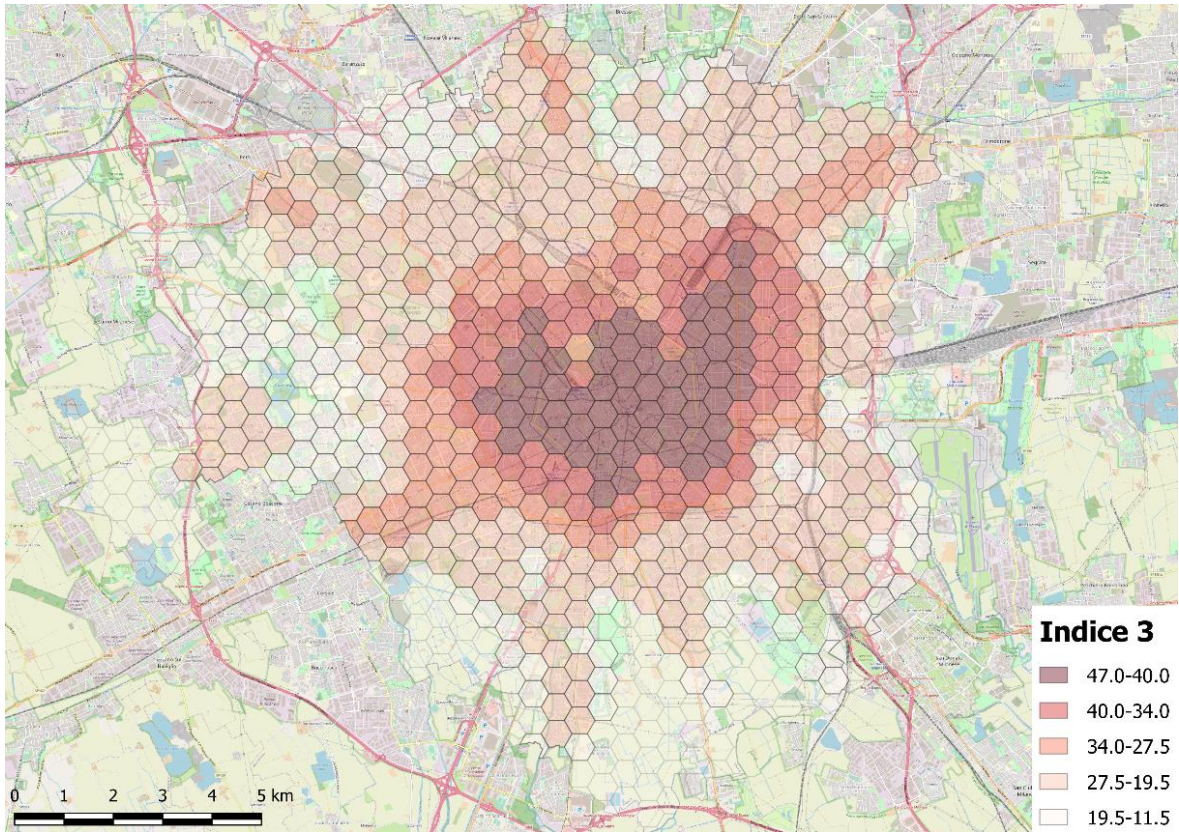


Figura B.6: Mappa dell'indice 3 aggregato valutato con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti

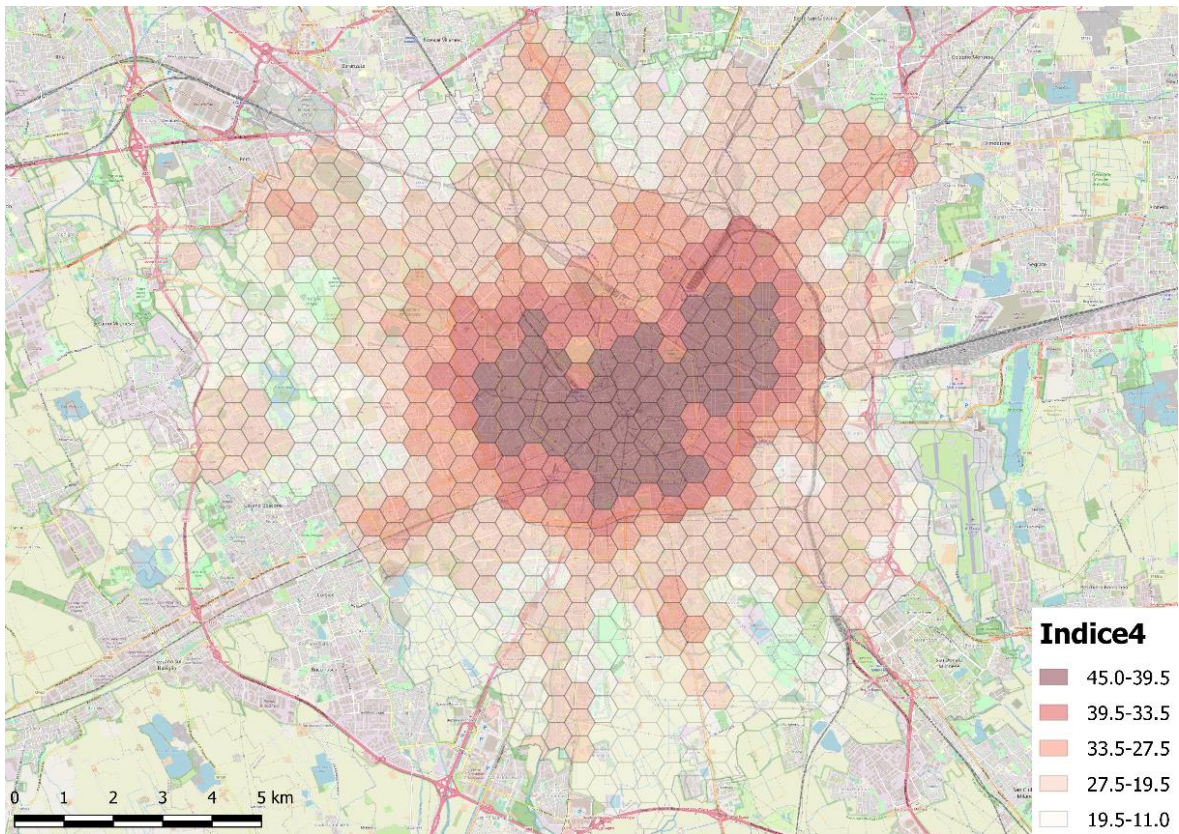


Figura B.7: Mappa dell'indice 4 aggregato valutato con il metodo dell'assegnazione diretta dei coefficienti

ALLEGATO C

Nell'ALLEGATO C riporto per intero il codice MATLAB utilizzato per condurre l'ottimizzazione del posizionamento delle stazioni.

INPUT IN INGRESSO AL PROGRAMMA

Il programma prende in ingresso il valore dell'indice con il rispettivo numero di cella, la matrice delle distanze con il rispettivo numero di cella e un file dove si riportano le variabili di interesse per i vincoli ovvero il numero di stazioni di car sharing per ogni cella e la distanza del baricentro della cella dalla stazione più vicina.

```
indice;  
matricedistanze;  
variabili;  
  
fprintf('PROGRAMMA DI OTTIMIZZAZIONE DELLA POSIZIONE DELLE NUOVE STAZIONI.\n')  
prompt = 'Se vuoi ottimizzare con l''indice corrente digita 1, 0 per l''indice aggregato: ';  
x = input(prompt);
```

PROCEDURA DI CALCOLO PER L'INDICE AGGREGATO

Calcolo dell'indice aggregato tenendo conto del contributo delle celle limitrofe.

```
if x == 0  
  
    indice(:,3) = 0;  
    indice(:,4) = 0;  
    indice(:,5) = 0;  
    indice(:,6) = 0;  
    indice(:,7) = 0;  
    indice(:,8) = 0;  
    l = 2;
```

```

% Si raccolgono i valori degli indici limitrofi da integrare con quello
% centrale. Si fa pesare 2/3 quello centrale e 1/3 la media dei
% limitrofi.

prompt = 'Definire fino a che distanza considerare i contributi delle limitrofe (600m):
';
y = input(prompt);

for i = 1:length(indice)
    for j = 1:length(indice)
        if indice(i,1) == matricedistanze(j+1,1)
            for h = 1:length(indice)
                if matricedistanze(j+1,h+1) < y
                    for k = 1:length(indice)
                        if matricedistanze(1,h+1) == indice(k,1)
                            l = l + 1;
                            indice(i,l) = indice(k,2);
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
    l = 2;
end
end

% Stampa degli indici nuovi da caricare sul GIS.

nuoviindici = zeros(length(indice),2);
nuoviindici(:,1) = indice(:,1);

for i = 1:length(indice)
    for j = 1:7
        if j == 1
            nuoviindici(i,2) = 2*indice(i,j+1)/3;
        else
            nuoviindici(i,2) = nuoviindici(i,2) + indice(i,j+1)/18;
        end
    end
end
end

indice = nuoviindici;
writematrix(indice,'nuoviindici.csv')

end

```

DATI DI INPUT PER L'OTTIMIZZAZIONE

Le matrici date in ingresso vengono stoccate in altre variabili per avere coerenza con la parte di script successiva.


```

Indice = indice;
Matrice = matricedistanze;
variabili = variabili;

% In questo modo elimino dalla matrice delle distanze il numero di cella
% che non serve per la trattazione successiva.

Matrice = zeros(length(matricedistanze)-1);
for i = 1:length(matricedistanze)-1
    for j = 1:length(matricedistanze)-1
        Matrice(i,j) = matricedistanze(i+1,j+1);
    end
end

% Non mi serve tutta la matrice, scelgo solo il triangolo basso e metto
% zeri sul triangolo alto in modo tale da ragionare con una matrice
% triangolare. Evito così di avere ridondanza degli indici.

for i = 1:length(Matrice)
    for j = 1:length(Matrice)
        if j > i
            Matrice(i,j) = 0;
        end
    end
end

% Valori di input che possono essere variati volta per volta. Questi valori
% e decisioni permettono anche di definire il percorso di ottimizzazione.

fprintf('Decisione dei vincoli da imporre\n')
prompt = 'Numero di stazioni da inserire (10): ';
v = input(prompt);
prompt = 'Distanza minima tra due nuove stazioni (1000m - No stazioni limitrofe): ';
x = input(prompt);
prompt = 'Se non è consentito avere una stazione dove ce ne sta già una digita 1,
altrimenti 0: ';
y = input(prompt);
prompt = 'C'è una distanza minima dalla stazione più vicina? 1 = sì, 0 = no: ';
z = input(prompt);
prompt = 'Digita distanza minima (800m): ';
w = input(prompt);

% Mi metto a contare quante sono le celle che presentano questo tipo di
% problema ovvero che hanno una distanza minore di quella richiesta. Metto
% già in conto in questa fase quale debba essere il limite di distanza da
% imporre nel caso delle celle. Non mi interessa delle celle che sono zero
% perchè sono la diagonale principale sulle quali non metto vincoli e
% quelle celle sopra la diagonale principale che sarebbe solo una
% ripetizione del vincolo.

k = 0;
for i = 1:length(Matrice)
    for j = 1:length(Matrice)
        if Matrice(i,j) < x && Matrice(i,j) ~= 0
            k = k + 1;
        end
    end
end

```

```

end
end

% Adesso voglio vedere quante sono le celle che hanno già un certo
% numero di stazioni. Vado quindi a contare quante sono le celle
% per avere poi le dimensioni del vettore dei vincoli.

if y == 1
    h=0;
    for i = 1:length(Variabili)
        if Variabili(i,2) > 0
            h = h + 1;
        end
    end
end
end

% Voglio andare a vedere quante sono le celle che invece hanno una distanza
% superiore ad un certo valore così da poter considerare e mettere vincoli
% alle celle che hanno una distanza dalle stazioni inferiore rispetto a
% quel valore.

if z == 1
    l=0;
    for i = 1:length(Variabili)
        if Variabili(i,3) < w
            l = l + 1;
        end
    end
end
end
end

```

OTTIMIZZAZIONE

```

posizionestazioni = optimproblem('ObjectiveSense','max');

```

VARIABILI DECISIONALI

```

stazioni =
optimvar('stazioni',size(Indice,1),'Type','integer','LowerBound',0,'UpperBound',1);

```

OBIETTIVO

```

indicecelle = transpose(Indice(:,2));
indice = indicecelle*stazioni;
posizionestazioni.Objective = indice;

```

VINCOLO NUMERO DI STAZIONI

```
sommastazioni = sum(stazioni) == v;  
posizionestazioni.Constraints.vincolo1 = sommastazioni;
```

VINCOLO DISTANZA MINIMA TRA STAZIONI NUOVE

```
% Il vincolo sulla distanza viene impostato in maniera tale da non avere  
% ripetizioni. Somma delle variabili minore di 1 così che si possa definire  
% che la stazione o va da una parte o dall'altra e non in celle limitrofe.
```

```
distanza = optimconstr(k,1);  
k = 1;  
  
for i = 1:length(Matrice)  
    for j = 1:length(Matrice)  
        if Matrice(i,j) < x && Matrice(i,j) ~= 0  
            distanza(k) = stazioni(i) + stazioni(j) <= 1;  
            k = k + 1;  
        end  
    end  
end  
  
posizionestazioni.Constraints.vincolo2 = distanza;
```

VINCOLO SULL'INSTALLAZIONE DI NUOVE STAZIONI IN CELLE CON STAZIONE ESISTENTE

```
% Si mette il valore 0.5 in quanto con lo zero funziona male e con l'1  
% bisognerebbe mettere il minore e uguale in quanto solo il minore non  
% risulta essere supportato.
```

```
if y == 1  
    ubeequo = optimconstr(h,1);  
    h = 1;  
  
    for i = 1:length(Variabili)  
        if Variabili(i,2) > 0  
            ubeequo(h) = stazioni(i) <= 0.5;  
            h = h + 1;  
        end  
    end  
  
    posizionestazioni.Constraints.vincolo3 = ubeequo;  
end
```

VINCOLO SULLA DISTANZA - NO STAZIONI SE DISTANZA INFERIORE AD UN CERTO LIMITE

```
% Si impone una certa distanza minima alla quale mettere una nuova stazione  
% rispetto alle esistenti.
```

```
if z == 1  
    distanzastazione = optimconstr(1,1);  
    l = 1;  
  
    for i = 1:length(Variabili)  
        if Variabili(i,3) < w  
            distanzastazione(l) = stazioni(i) <= 0.5;  
            l = l + 1;  
        end  
    end  
  
    posizionestazioni.Constraints.vincolo3 = distanzastazione;  
end
```

SOLUZIONE

```
[soluzione,obiettivo] = solve(posizionestazioni);  
  
celle = soluzione.stazioni.*Indice(:,1);  
k = 1;  
cellese1 = [];  
  
for i = 1:length(celle)  
    if celle(i) ~= 0  
        cellese1(k) = celle(i);  
        k = k + 1;  
    end  
end  
  
cellese1 = transpose(cellese1);  
writematrix(cellese1,'nuovestazioni.csv')  
  
clear all
```

ALLEGATO D

Nell'ALLEGATO D riporto i risultati ottenuti nel caso degli scenari di ottimizzazione 2ter, 3bis e 3ter.

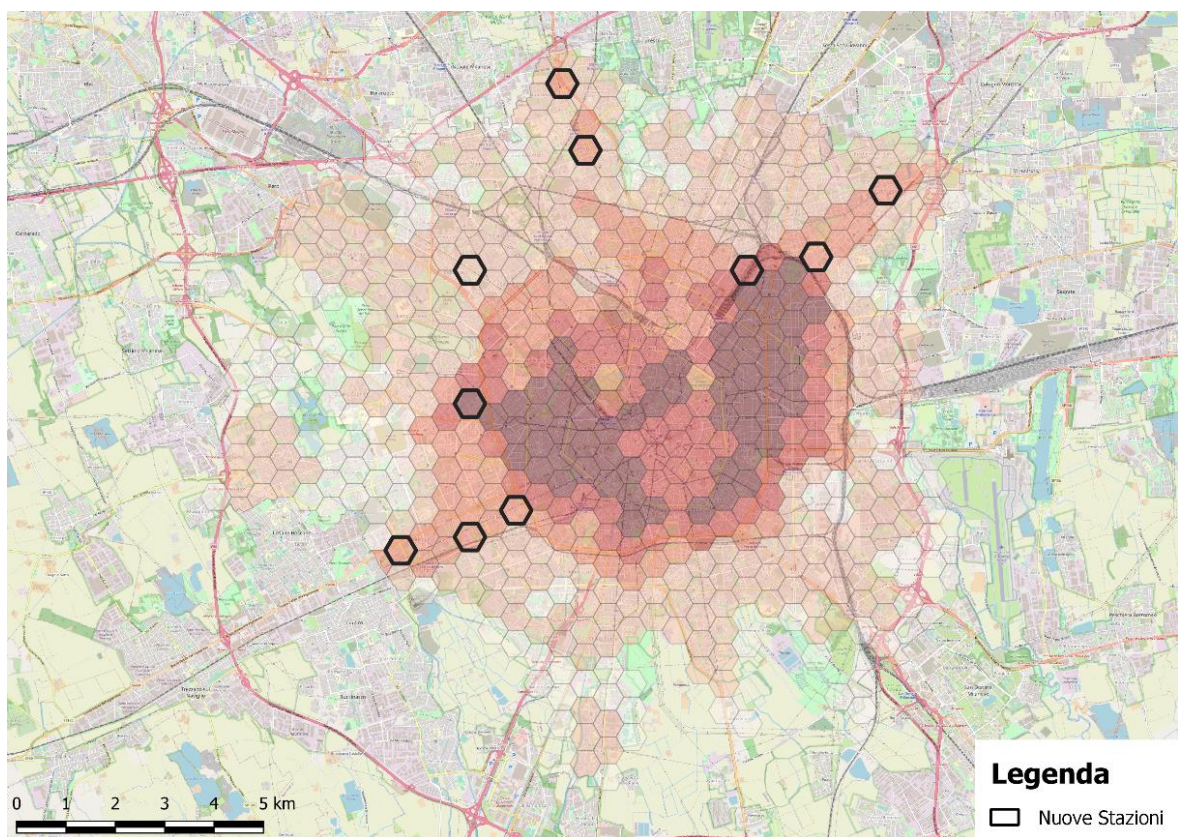


Figura D.1: Rappresentazione dello Scenario 2ter

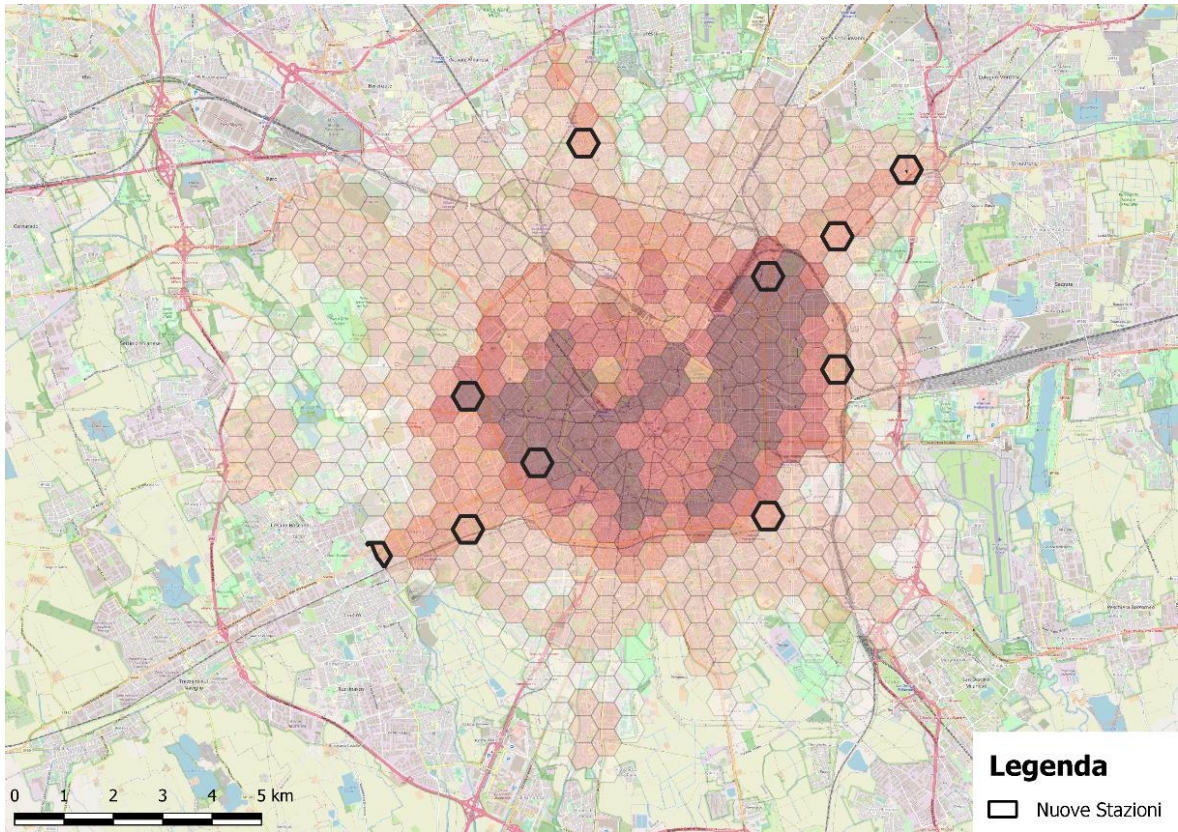


Figura D.2: Rappresentazione dello Scenario 3bis

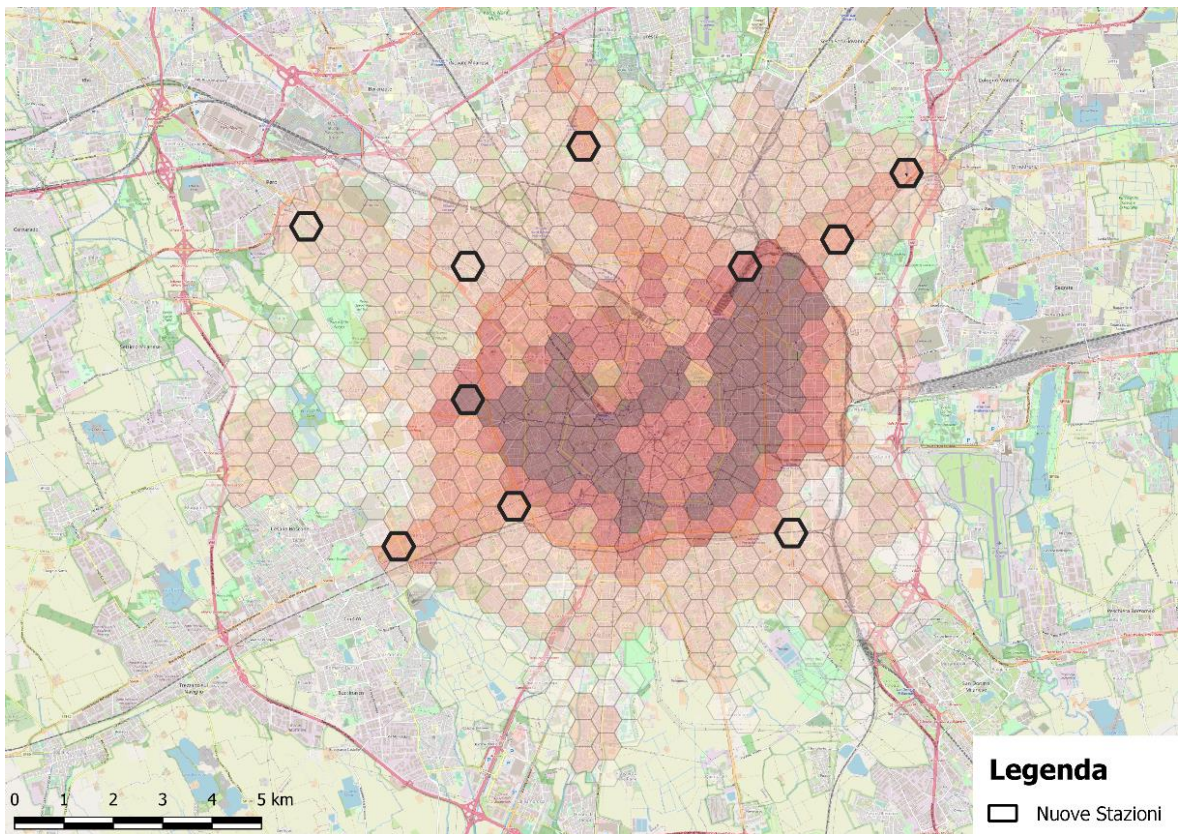


Figura D.3: Rappresentazione dello Scenario 3ter